



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΚΑΙ ΔΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

ΚΟΥΝΕΝΙΔΑΚΗΣ Κ. ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘ. ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ

2020

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Κουνενιδάκης Θεμιστοκλής-Νεκτάριος** του **Κωνσταντίνου**, μεταπτυχιακός φοιτητής του **Π.Μ.Σ.: «Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη»**,

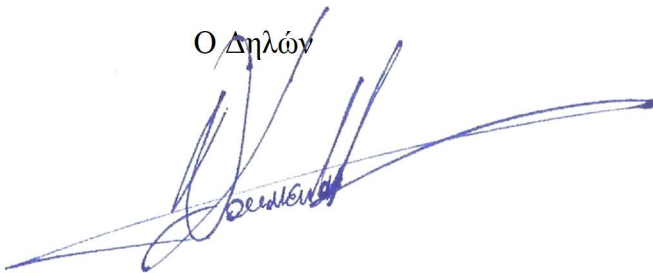
του **Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος, και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Μ.Δ.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απομείνει Μεταπτυχιακό Δίπλωμα, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης Ειδικής Σύνθεσης του Τμήματος. Η Συνέλευση Ειδικής Σύνθεσης του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Μ.Δ.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Μ.Δ.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρ.18 §5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Θεμιστοκλής Κουνενιδάκης

Ημερομηνία

15-07-2020

Σημείωμα

Η παρούσα εργασία μου ανατέθηκε από τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή, στα πλαίσια της μεταπτυχιακής μου διατριβής, που εντάσσεται στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Στην εργασία παρουσιάζεται η μελέτη υπάρχουσας κατασκευής μέσω μη γραμμικών ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας, η οποία παρουσίασε βλάβες κατά το σεισμό της Αθήνας το 1999. Στόχος της εργασίας είναι να συμβάλει στην κατανόηση της συμπεριφοράς του κτηρίου μέσω υπολογιστικών μοντέλων. Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον μελετητή, που αποτύπωσε το κτήριο και μου παραχώρησε τα δεδομένα του, κ. Μαγούλα Σπύρο, που χωρίς αυτά θα ήταν αδύνατη η συγγραφή της παρούσας εργασίας σε αυτή τη μορφή.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή για τις συμβουλές, την καθοδήγηση, την παρότρυνση και τις παρατηρήσεις που μου έκανε, συμβάλλοντας καθοριστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας. Η συνεργασία μας, που διήρκησε λίγο περισσότερο από ένα έτος, μπορεί να καταγραφεί στα θετικότερα σημεία των ακαδημαϊκών μου σπουδών.

Αξίζει να σημειωθεί η συμβολή του κ. Γιαρλέλη Χρήστου ήταν επίσης καθοριστική σε αρκετά προβλήματα που υπήρξαν κατά τις αναλύσεις.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω, ένα μεγάλο Ευχαριστώ στην Ειρήνη-Μαργαρίτα Τζεμπούλου για την βοήθεια της στην επιμέλεια του κειμένου, σε λεπτομέρειες που τελειοποίησαν την εικόνα της παρούσας εργασίας και για την αμέριστη στήριξη της στο πρόσωπο μου.

Την Κατερίνα την ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου για τη δύναμη, τη συντροφικότητα και την υποστήριξη που μου δείχνει σε κάθε μου εγχείρημα.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου, την αδερφή μου Αγγελική και τη μητέρα μου Αλεξάνδρα που της χρωστώ τόσα πολλά που δε θα έφτανε ολόκληρη βιβλιοθήκη να χωρέσει ευχαριστίες. Η παρούσα εργασία αφιερώνεται κατ' εξοχή σε εκείνη.

Κουνενιδάκης Θεμιστοκλής-Νεκτάριος

Αθήνα, 9 Ιουλίου 2020

Περίληψη

Σκοπός τη παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς υφιστάμενου κτηρίου μέσω υπολογιστικών μοντέλων, το οποίο υπέστη βλάβες κατά τον σεισμό της Αθήνας το 1999. Το κτήριο αποτελείται από τέσσερις ορόφους με pilotis κατασκευασμένο το έτος 1978 στο Δήμο Χαϊδαρίου με χρήση κατοικίας και φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πρόκειται για διεύρυνση των αποτελεσμάτων, αφού η κατασκευή έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενη εργασία για τη συμπεριφορά της μέσω ελαστικών και ανελαστικών στατικών αναλύσεων. Στο παρόν σύγγραμμα πραγματοποιούνται εκ νέου μη γραμμικές ανελαστικές στατικές αναλύσεις για το κτήριο, ώστε να υπάρχει σύνδεση και κοινή αφετηρία με τις προηγούμενες αναλύσεις, και επιπροσθέτως πραγματοποιούνται μη γραμμικές δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας από δεδομένα επιταχυνσιογράφων που κατέγραψαν τον σεισμό της Αθήνας το 1999.

Για την προσομοίωση του κτηρίου κατασκευάστηκε μοντέλο με όσο πιστότερη γινόταν γεωμετρία και με τιμές υλικών ανάλογες της πραγματικότητας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο στατικά προγράμματα και, αφού έγιναν προ-αναλύσεις, επιλέχθηκε εκείνο που τα δεδομένα του ήταν πιο κοντά τόσο στις παρατηρούμενες βλάβες, όσο και στα αποτελέσματα των προηγούμενων αναλύσεων που είχαν πραγματοποιηθεί. Επιπροσθέτως, διερευνήθηκε κατά πόσο επηρεάζει η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων τη συμπεριφορά του κτηρίου. Τέλος επιλέχθηκαν κριτήρια απόδοσης για κάθε μέλος του φορέα, ώστε να υπάρχει άμεση εποπτεία και επιλέχθηκαν οι κείμενοι κανονισμοί.

Αφού εξετάστηκε το κατά πόσο επηρεάζεται ο φορέας από την παρουσία τοιχοπληρώσεων, πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας από τρεις επιταχυνσιογράφους. Επειδή δεν υπήρχε καταγραφή κοντά στην εξεταζόμενη κατασκευή, επιλέχθηκαν οι καταγραφές από τους σταθμούς των Σεπολίων (SPLB), Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399) και Συντάγματος (SGMA). Σε κάθε μία από τις καταγραφές έγιναν περαιτέρω αναλύσεις για περιπτώσεις όπως η προσαύξηση των καταγραφών και ύπαρξη ανισοσταθμίας στα κατακόρυφα στοιχεία στο επίπεδο pilotis. Συνολικά, εκτός των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στο παρόν σύγγραμμα, πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από τριάντα έξι αναλύσεις.

Τέλος, μετά το πέρας των μη γραμμικών ανελαστικών στατικών αναλύσεων και δυναμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, σε συνδυασμό με τις παρατηρούμενες βλάβες που συνέβησαν στο σεισμό της Αθήνας το 1999, προκύπτουν συμπεράσματα τόσο για το υπό μελέτη κτήριο όσο και για τη θέση του η οποία επηρεάστηκε από τις σεισμικές επιταχύνσεις, δεδομένου ότι δεν υπήρχαν επιταχυνσιογράφοι στην περιοχή.

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	1
1.1. Ο σεισμός των Αθηνών του έτους 1999.....	2
1.2. Χωροθέτηση και πληροφορίες επιταχυνσιογράφων	4
1.3. Αντικείμενο μελέτης.....	5
Θεωρητικό υπόβαθρο – Μεθοδολογία	7
2.1. Υπολογισμός υλικών	8
2.2. Έννοια χωροθέτησης και επιλογή πλαστικών αρθρώσεων	9
2.3. Στάθμες επιτελεστικότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.	10
2.4. Καμπύλη ικανότητας (capacity curve)	12
2.5. Καμπύλες F-δ δομικών στοιχείων	12
2.6. Προσομοίωση	13
Περιγραφή Κτηρίου	17
Στατικές Αναλύσεις	33
4.1. Ανάλυση φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις	35
4.2. Ανάλυση φορέα με τοιχοπληρώσεις.....	37
4.3. Αποτελέσματα μη γραμμικών στατικών αναλύσεων	40
Δυναμικές Αναλύσεις	43
5.1. Ανάλυση φορέα βάση καταγραφής του σταθμού SPLB.....	45
5.2. Ανάλυση φορέα βάση καταγραφής του σταθμού ATH399	62
5.3. Ανάλυση φορέα βάση καταγραφής του σταθμού SGMA	76
Συμπεράσματα	83
Βιβλιογραφία	85

1

Εισαγωγή

Σκοπός τη παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς υφιστάμενου κτηρίου μέσω υπολογιστικών μοντέλων, το οποίο υπέστη βλάβες κατά τον σεισμό της Αθήνας το 1999. Το κτήριο αποτελείται από τέσσερις ορόφους με pilotis κατασκευασμένο το έτος 1978 στο Δήμο Χαϊδαρίου με χρήση κατοικίας και φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πρόκειται για διεύρυνση των αποτελεσμάτων, αφού η κατασκευή έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενη εργασία για τη συμπεριφορά της μέσω ελαστικών και ανελαστικών στατικών αναλύσεων. Στο παρόν σύγγραμμα πραγματοποιούνται εκ νέου μη γραμμικές ανελαστικές στατικές αναλύσεις για το κτήριο, ώστε να υπάρχει σύνδεση και κοινή αφετηρία με τις προηγούμενες αναλύσεις, και επιπροσθέτως πραγματοποιούνται μη γραμμικές δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας από δεδομένα επιταχυνσιογράφων που κατέγραψαν τον σεισμό της Αθήνας το 1999.

1.1. Ο σεισμός των Αθηνών του έτους 1999

Την 7^η Σεπτεμβρίου 1999 και τοπική ώρα 14:56:50 καταγράφηκε σεισμός, ο οποίος έγινε ευρύτερα γνωστός ως ο «σεισμός της Αθήνας του 1999», μεγέθους 5.9 της κλίμακας Ρίχτερ. Το επίκεντρο του σημειώθηκε στις νοτιοδυτικές παρυφές της Πάρνηθας, μια περιοχή χαμηλής μέσης σεισμικότητας μόλις 18 χιλιόμετρα από το κέντρο της Αθήνας, ενώ χαρακτηρίστηκε ως επιφανειακός σεισμός λόγω του μικρού εστιακού του βάρους. Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Γενικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ανακοίνωσε αρχικά πως ο σεισμός προκλήθηκε από ρήγμα 15 χιλιομέτρων που καλύπτει την περιοχή μεταξύ της Πεντέλης και της Πάρνηθας. Το νέο ρήγμα, που δημιουργήθηκε, είχε διεύθυνση ανατολική – νοτιοανατολική και κλίση προς τα νοτιοανατολικά ενώ το γνωστότερο σημείο, στο οποίο μπορούμε σήμερα να προσδιορίσουμε την εμφάνιση του ρήγματος στην επιφάνεια, είναι η Μονή Κυπριανού στη Φυλή. Εκεί, το μοντέλο ολίσθησης υπολόγισε ότι η διάρρηξη σταμάτησε σε βάθος 1200 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Στην επιφανειακή παραμόρφωση, που κατέγραψε το δορυφορικό ραντάρ το χρονικό διάστημα Σεπτέμβριος 1999 - Σεπτέμβριος 2002, βρέθηκε ότι το ρήγμα της Πάρνηθας συνέχισε να ολισθαίνει επί δυόμισι περίπου χρόνια μετά τον Σεπτέμβριο του 1999 (Κιούσης & Νοδάρως, 2009).

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται τα στοιχεία του σεισμού, όπως γεωγραφικό μήκος και πλάτος, εστιακό βάθος, μέγεθος σεισμικής ροπής, παράταξη, γωνία κλίσης και ολίσθησης από διάφορα Ινστιτούτα και ερευνητές ενώ στο Σχήμα 1.1 αποτυπώνονται ισοϋψείς επιταχύνσεων σύμφωνα με το USGN.

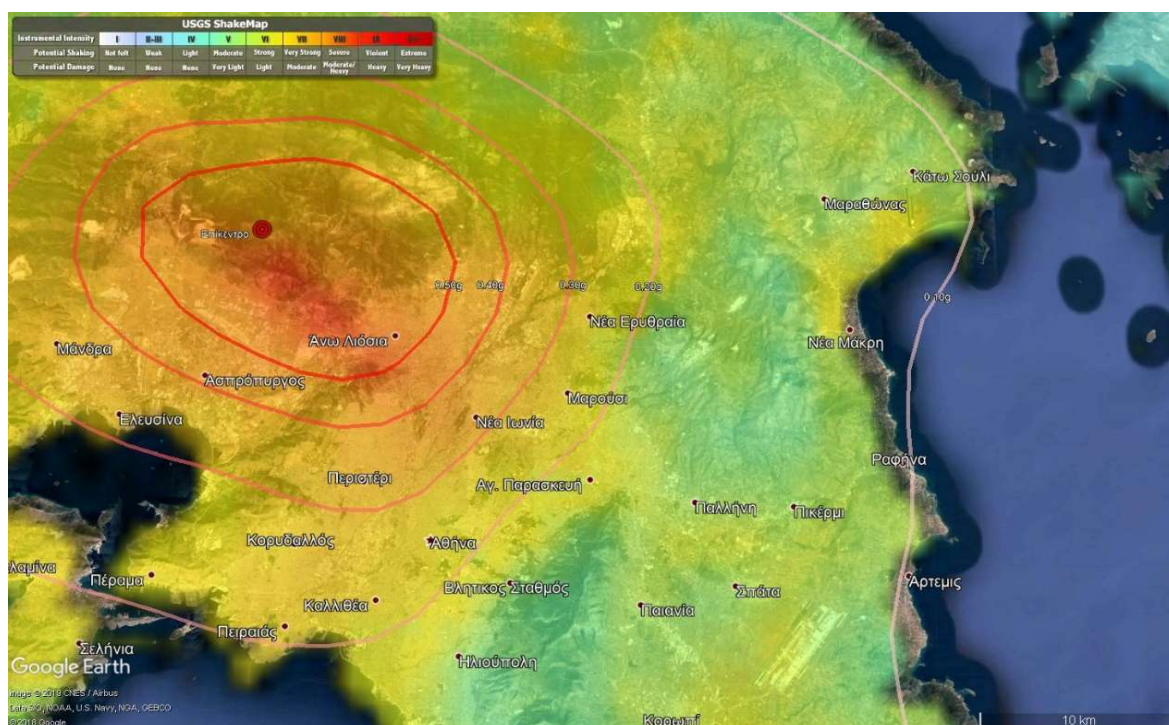
Πίνακας 1.1: Εστιακός μηχανισμός για το σεισμό των Αθηνών από διάφορα Ινστιτούτα και ερευνητές

Γεωγραφικό Πλάτος (°N)	Γεωγραφικό Μήκος (°E)	Εστιακό Βάθος (km)	M ₀ (x10 ¹⁸ Ntm)	Παράταξη / Γωνία Κλίσης / Γωνία ολίσθησης (°)	Βιβλιογραφική Αναφορά
38.02	23.55	9.0	0.78	123/55/-84	USGS-NEIC
37.87	23.64	15.0	1.14	116/39/-81	Global CMT catalog
38.13	23.55	12.0	1.18	102/47/-79	SED
38.06	23.54	10.0	0.92	115/57/-80	Louvari and Kiratzi [2001]
38.08	58		0.57		Stavrakakis et al. [2002]
		10	0.60	115/60/-80	Sargeant et al. [2002]
38.08	23.58	16.8		113/39/-90	Papadopoulos et al. [2000]
38.12	23.58	9.5	1.6	112/60/-84	Baumont et al. [2004]

Αξίζει να σημειωθεί ότι βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης της συμβολομετρίας¹, μεθοδολογία που αξιοποιεί δορυφορικά δεδομένα και εξετάζει την καθ' ύψος παραμόρφωση

¹ Η διαφορική συμβολομετρία (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο για τον υπολογισμό μόνιμων παραμορφώσεων που παρατηρούνται στη γήινη επιφάνεια μετά από τη

του εδάφους, την οποία απέδειξε αργότερα και η σεισμολογική μελέτη (Eftaxias et al., 2001), ενεργοποιήθηκαν δύο ρήγματα στην περίπτωση του σεισμού της Αθήνας, τα οποία οδήγησαν στην εκδήλωση δύο σεισμών 5.8 και 5.5 Ρίχτερ αντίστοιχα, ενώ το γεγονός ότι εκδηλώθηκαν με χρονική απόσταση 3.5 δευτερολέπτων ανάμεσά τους οδήγησε στην αντίληψη ότι πραγματοποιήθηκε ένας σεισμός. Η άποψη αυτή έγινε αποδεκτή το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο το 2008 (Atzori et al., 2008).



Σχήμα 1.1: Χάρτης έντασης τους σεισμού της Αθήνας του 1999 και ισοϋψών επιταχύνσεων του (USGS National Earthquake Information Center)

Ο σεισμός δεν ήταν μεγάλος, ωστόσο χαρακτηρίστηκε από αρκετά υψηλές εδαφικές επιταχύνσεις, σε συνδυασμό με μικρό επιφανειακό βάθος και της εγγύτητας του επίκεντρου στην Αθήνα, στοίχησε 143 ανθρώπινες ζωές και 1600 τραυματίες, ενώ άφησε 50000 άστεγους (Κιούσης & Νοδάρος, 2009). Τα κτήρια των Αθηνών είχαν σχεδιαστεί, στην πλειοψηφία τους, με βάση τον παλιό αντισεισμικό κανονισμό², ο οποίος προέβλεπε τη χρήση σεισμικών συντελεστών της τάξης των 0.04, 0.06 και 0.08 για σκληρά, μέσης σκληρότητας και μαλακά εδάφη αντίστοιχα. Για τον λόγο αυτόν, η ένταση που κλήθηκαν να αναλάβουν τα κτήρια ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη βάση της έντασης για την οποία είχαν σχεδιαστεί

γένεση μεγάλων σεισμών. Στο πλαίσιο αυτής της μεθόδου, χρησιμοποιούνται δυο δορυφορικές εικόνες υψηλής ευκρίνειας (τύπου SAR), από τις οποίες η πρώτη έχει ληφθεί πριν και η δεύτερη μετά από τη γένεση του υπό μελέτη σεισμού. Κάθε μια από τις δορυφορικές εικόνες αποτελεί μια διδιάστατη καταγραφή των πλατών και φάσεων των ανακλώμενων στη γήινη επιφάνεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μικροκυματικής συχνότητας. Οι δυο εικόνες συνδυάζονται με σκοπό να υπολογιστούν οι διαφορές των φάσεων των ανακλώμενων κυμάτων. Οι διαφορές αυτές μεταφράζονται σε υψομετρικές διαφορές, που στις συγκεκριμένες εφαρμογές της μεθόδου αντιστοιχούν σε μόνιμες παραμορφώσεις που προκάλεσε ο σεισμός (Ρουμελιώτη, 2003).

² ΒΔ 19-2-1959 (ΦΕΚ36Α/26-22-1959): «Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων»

αρχικά. Οι πιο σοβαρές βλάβες παρατηρήθηκαν στα δυτικά προάστια της Αθήνας, σε περιοχές που βρίσκονταν κοντά στο επίκεντρο, και κυρίως στα Άνω Λιόσια, το Μενίδι, τη Μεταμόρφωση, και τους Θρακομακεδόνες. Συνολικά σε 37155 αυτοψίες που πραγματοποιήθηκαν, μέχρι την 12^η Σεπτεμβρίου του 1999, προέκυψε ότι το 11% των κτηρίων χαρακτηρίστηκαν κατεδαφιστέα, το 39% με βλάβες και επισκευάσιμα, ενώ το 50% μπορούσε να κατοικηθεί άμεσα (Βιδάλης & Γαϊτάνης, 2000). Εν γένει, «ο σεισμός της Αθήνας ήταν ιδιαίτερα δυσμενής για τις δύσκαμπτες κατασκευές συγκρινόμενος με τους καταστρεπτικότερους των τελευταίων ετών» (Ζεντέλης, 2006). Περίπου 80 κατοικίες και κτήρια βιομηχανικής χρήσης κατέρρευσαν, ενώ περισσότερα από 100 κτήρια έπαθαν μη επισκευάσιμες βλάβες (Γκαζέτας, κ.α., 2002).

1.2. Χωροθέτηση και πληροφορίες επιταχυνσιογράφων

Ο εν λόγω σεισμός καταγράφηκε από ένα πλήθος εγκατεστημένων επιταχυνσιογράφων από τα μόνιμα δίκτυα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, του Ι.Τ.Σ.Α.Κ. και της Δ.Ε.Η. Εξαιτίας της μη χαρτογράφησης του συγκεκριμένου ρήγματος, καθώς δεν προβλεπόταν να δώσει τον εν λόγω σεισμό, δεν υπήρχαν εγκατεστημένοι επιταχυνσιογράφοι κοντά στην περιοχή του επίκεντρου.

Πίνακας 1.2: Στοιχεία επιταχυνσιογράφων

Περιοχή	Κωδικός Σταθμού	Χώρος Εγκατάστασης	Βάθος Οργάνου (m)	Τοπικές Εδαφικές Συνθήκες	Απόσταση από Προβολή ρήγματος (km)	Επιτάχυνση		
						LONG	TRANS	VERT
Σεπόλια	SPLA	Υπόγειο 2-ορόφου	13	13 m αλλοβιακές αποθέσεις επί σχιστόλιθου	9	0.25	0.22	0.08
Σεπόλια	SPLB	Επιφάνεια Εδάφους	0	10 - 15 m εδάφους επί σχιστόλιθου	9	0.36	0.31	0.19
Κ.Ε.Δ.Ε.	ATH-03	Ισόγειο 1-ορόφου	0	Μάργα	11	0.26	0.31	0.16
Μοναστηράκι	MNSA	Ελεύθερο πεδίο	0	αλλούβια-αποσπασμένος αθηναϊκός σχιστόλιθος	10	0.23	0.51	0.16
Σύνταγμα	SGMA	Μετρό Στάθμη -1	7	αθηναϊκός σχιστόλιθος	11	0.15	0.24	0.05
Σύνταγμα	SGMB	Μετρό Στάθμη -3	26	αθηναϊκός σχιστόλιθος	11	0.11	0.09	0.09
Χαλάνδρι	ATH-02	Υπόγειο 2-ορόφου	0	Αλλούβια	12	0.11	0.16	0.09
Γ.Υ.Σ.	GYS	Υπόγειο 3-ορόφου	0	Αλλούβια	10	0.12	0.11	0.05
Πεντάγωνο	PNT	Μετρό Στάθμη -2	15	Αλλούβια	13	0.09	0.08	0.06
Νέο Ψυχικό	ATHA	Υπόγειο 3-ορόφου	0	αθηναϊκός σχιστόλιθος	12	0.08	0.1	0.11
Δάφνη	DFNA	Μετρό Στάθμη -2	13.5	3.5 m εδάφους επί σχιστόλιθου	13	0.04	0.08	0.04
Νέος Κόσμος (ΦΙΞ)	FIX	Μετρό Στάθμη -1	15	αθηναϊκός σχιστόλιθος	12	0.09	0.12	0.05
Δημόκριτος	DMK	Ελεύθερο πεδίο	0	ασβεστόλιθος	16	0.05	0.08	0.04
Ραφήνα	RFN	Μικρή Ξύλινη Κατασκευή	0	Τεταρτογενείς αποθέσεις - Ασβεστόλιθος	30	0.08	0.01	0.03
Αλιβέρι	ALIB	-	0		54	0.02	0.02	0.01

2

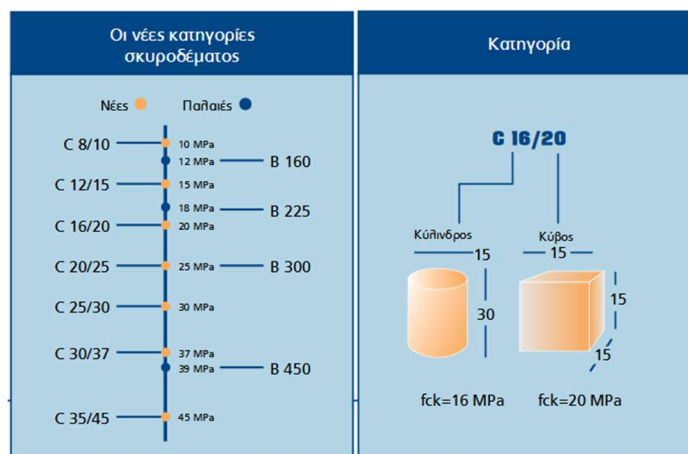
Θεωρητικό υπόβαθρο – Μεθοδολογία

Για την προσομοίωση του κτηρίου κατασκευάστηκε μοντέλο με όσο πιστότερη γινόταν γεωμετρία και με τιμές υλικών ανάλογες της πραγματικότητας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο στατικά προγράμματα και, αφού έγιναν προ-αναλύσεις, επιλέχθηκε εκείνο που τα δεδομένα του ήταν πιο κοντά τόσο στις παρατηρούμενες βλάβες, όσο και στα αποτελέσματα των προηγούμενων αναλύσεων που είχαν πραγματοποιηθεί. Επιπροσθέτως, διερευνήθηκε κατά πόσο επηρεάζει η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων τη συμπεριφορά του κτηρίου. Τέλος επιλέχθηκαν κριτήρια απόδοσης για κάθε μέλος του φορέα, ώστε να υπάρχει άμεση εποπτεία και επιλέχθηκαν οι κείμενοι κανονισμοί.

2.1. Υπολογισμός υλικών

Όπως θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο, για το υπό μελέτη κτήριο εκδόθηκε Ο.Α. το 1978, ενώ η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1980. Συνεπώς, ενέπιπτε σε κανονισμούς προ του 1978 και συγκεκριμένα στον κανονισμό σκυροδέματος του 1954³, όσον αφορά τα υλικά με τα οποία κατασκευάστηκε. Το συγκεκριμένο διάταγμα, προβλέπει Σκυρόδεμα Β 225 με αντοχή σε θλίψη $W_{\Sigma B} = 225 \text{ kg/cm}^2$, χάλυβες τύπου Ι με ελάχιστο όριο διαρροής 2200 kg/cm^2 , και αντοχή σε εφελκυσμό $3400 - 5000 \text{ kg/cm}^2$ και τύπου ΙΙ με 4200 kg/cm^2 ή 4000 kg/cm^2 αναλόγως τη διατομή και $\geq 5000 \text{ kg/cm}^2$ αντίστοιχα.

Είναι προφανές ότι χρειάζεται η αντιστοίχιση των παλαιών κατηγοριών των υλικών με νεότερες κατηγορίες, σύμφωνα με τα ισχύοντα αναθεωρημένα πρότυπα. Το σκυρόδεμα κατηγορίας Β 225 στη βιβλιογραφία αντιστοιχεί σε διάφορες τιμές θλιπτικής αντοχής κοντά στα 18 ΜΡα. βρίσκεται δηλαδή ενδιάμεσα στην κατηγορία C16/20 και C20/25 όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Κατηγορίες Σκυροδέματος (Interbeton, 2000)

Για τους χάλυβες, ο τύπος STI αντιστοιχεί σε κατηγορία S220 ενώ, ο STIII σε κατηγορία S450 (Νέζης & Δρίτσος, 2008). Το μέτρο ελαστικότητας ορίζεται από τον κανονισμό σε $E = 2.0 \times 10^8 \text{ kPa}$ ⁴, ο λόγος Poisson σε 0.3⁵ και ο συντελεστής γραμμικής διαστολής λαμβάνεται ίσος με 12.0×10^{-6} . Η ονομαστική τάση διαρροής (f_y) προκύπτει από το τύπο χάλυβα ενώ, για τη μέση τιμή τάσης διαρροής (f_{ye}) επιλέγεται συντελεστής 1.15 βάσει του ορίου $f_{ye}/f_y \leq 1.25$ που ορίζεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χάλυβα⁶ και τις συστάσεις για $f_{ye}/f_y \leq 1.15$ από τους (Πεντέλης & Κάμπος, 1992). Τέλος για την ονομαστική

³ Βλ. υποσημείωση 5

⁴ ΚΤΧ 2008 §3.3[α]

⁵ ΚΤΧ 2008 §3.3[γ]

⁶ ΚΤΧ 2008 - Πίν. 3-3 κατά ΕΛΟΤ 1421-3 (1.30 για τον Ευρωκώδικα 2)

εφελκυστική αντοχή (f_u)⁷ λαμβάνεται συντελεστής ίσος με 1.25, ενώ για τη μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής επιλέγεται τιμή 1.10 βάσει του Κανονισμού Επεμβάσεων⁸. Συνεπώς για τύπους STI και STIII ισχύουν τα εξής που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1

Τύπος	Μέτρο Ελαστικότητας E (GA)	Λόγος Poisson	Τάση Διαρροής f_y (MPa)	Εφελκυστική Αντοχή f_u (MPa)	Μέση τιμή Διαρροής f_{ye} (MPa)	Μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής f_{ue} (MPa)
STI	200	0.3	220	275	253	242
STIII	200	0.3	420	525	483	462

Όλες οι ανώτερες παράμετροι που υπολογίζονται για το σκυρόδεμα και το χάλυβα αποτελούν απαιτούμενες τιμές του προγράμματος για την εισαγωγή των υλικών κατασκευής.

2.2. Έννοια χωροθέτησης και επιλογή πλαστικών αρθρώσεων

Μια πλαστική άρθρωση, θεωρητικά, μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε διατομή του φορέα συμβεί διαρροή. Η πλαστική άρθρωση προκύπτει ότι αφορά πρακτικά μόνο τα άκρα των ραβδωτών δομικών στοιχείων, όταν βρίσκεται σε συνήθεις πλαισιακούς φορείς, με συνήθη κατακόρυφα φορτία και υπό την επίδραση οριζόντιων δυνάμεων όπως οι αντίστοιχες σεισμικές. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να θεωρηθεί ότι ένα μέλος διαρρέει στην ακραία διατομή του όταν η τιμή της αναπτυσσόμενης έντασης στη διατομή αυτή υπερβεί την αντίστοιχη τιμή της αντοχής διαρροής. Στη συνέχεια, περαιτέρω αύξηση της έντασης οδηγεί σε διαρροή σε ολόένα και μεγαλύτερο τμήμα της ακραίας περιοχής του μέλους, όπου επεκτείνεται η ανάπτυξη των ανελαστικών παραμορφώσεων. Έτσι, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι πλαστικές αρθρώσεις αφορούν σε πεπερασμένου μήκους περιοχές στα άκρα των μελών του φορέα.

Το γεγονός αυτό, μάλιστα, υπεισέρχεται πλέον και σε όλους τους σύγχρονους κανονισμούς, υπό την έννοια του καθορισμού κρίσιμων περιοχών σε δομικά στοιχεία, οι οποίες αντιμετωπίζονται με ιδιαιτερότητες στον τρόπο διαμόρφωσης (π.χ. πύκνωση συνδετήρων), καθώς αναμένεται η ανελαστική τους λειτουργία. Οι περιοχές αυτές ορίζονται από τους Κανονισμούς κατά κανόνα στα άκρα των ραβδωτών στοιχείων του φορέα, και έχουν και ένα καθορισμένο μήκος.

Ως απόρροια των παραπάνω, η ελαστοπλαστική λειτουργία υπεισέρχεται μόνο στις ακραίες διατομές των δοκών και των στύλων, ενώ όλες οι υπόλοιπες διατομές αναμένεται να λειτουργήσουν ελαστικά, και δεν υπάρχει περαιτέρω ενασχόληση μαζί τους (Κουνενιδάκης, 2011).

⁷ Βάσει του εύρους $1.15 \leq F_u/F_y \leq 1.35$ που ορίζεται από EUROCODE 2 - Πίν. C.1 και KTX 2008 - Πίν. 3-3 κατά ΕΛΟΤ 1421-3

⁸ ΚΑΝ.ΕΠΕ. § Π4.1.2[β] μεταξύ ορίων 1.05-1.10

Τα λογισμικά χρησιμοποιούν δύο τύπους πλαστικών αρθρώσεων, τα Hinges και τα NLinks. Σε γενικές γραμμές, τα Hinges χρησιμοποιούνται κυρίως σε pushover αναλύσεις καθώς η κατάσταση της άρθρωσης μπορεί να εμφανίζεται γραφικά για κάθε προσαύξηση pushover, ενώ τα NLinks χρησιμοποιούνται σε χρονοϊστορίες, καθώς μπορεί να διαμορφωθεί η απόσβεση της ενέργειας που εμφανίζεται κατά την ανάλυση του χρονικού ιστορικού και είναι χρήσιμες για την καταγραφή της δυναμικής φόρτωσης και εκφόρτωσης λόγω της πολυαξονικής απόκρισης των. Τα ιστροπικά, κινηματικά και στροφικά μοντέλα υστέρησης είναι κατάλληλα για Hinges, ενώ για ισότροπη υστέρηση τα Hinges εκφορτίζονται ελαστικά, παράλληλα με την εφαπτόμενη αρχική δυσκαμψία, ενώ για άλλους τύπους υστέρησης η εκφόρτωση ακολουθεί μια πιο σύνθετη γραμμική σχέση. Για NLinks διατίθενται διάφορα υστερικά μοντέλα και η υστεροσκοπική συμπεριφορά μπορεί να οριστεί για πολλαπλούς βαθμούς ελευθερίας χρησιμοποιώντας ένα σύνδεσμο (CSI, n.d.).

2.3. Στάθμες επιτελεσματικότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., γίνεται δεκτή μια ονομαστική τεχνική διάρκεια ζωής των κτηρίων, ίση με τον συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών. Η υιοθέτηση στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής διέγερσης, κατά 50%, οδηγεί εν γένει σε πιο συχνές, πιο εκτεταμένες και πιο έντονες βλάβες έναντι ενός αντίστοιχου στόχου με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης, κατά 10%. Η πιθανότητα υπέρβασης κατά 50% σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 70 χρόνων, ενώ η πιθανότητα υπέρβασης κατά 10% σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 ετών. Τέλος ορίζει τις στάθμες επιτελεσματικότητας του φέροντος οργανισμού σε τρεις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2.2: Στάθμες επιτελεσματικότητας

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεσματικότητας φέροντος οργανισμού		
	«Περιορισμένες βλάβες»	«Σημαντικές βλάβες»	«Οιονεί κατάρρευση»
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

- α. «Περιορισμένες Βλάβες» (A): Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- β. «Σημαντικές Βλάβες» (B): Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα

κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

- γ. «Οιονεί κατάρρευση» (Γ): Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες, Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, το σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμα και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

Τέλος, στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι αναμενόμενες βλάβες στα βασικά στοιχεία μιας κατασκευής από Ω.Σ., ανά στάθμη επιτελεστικότητας.

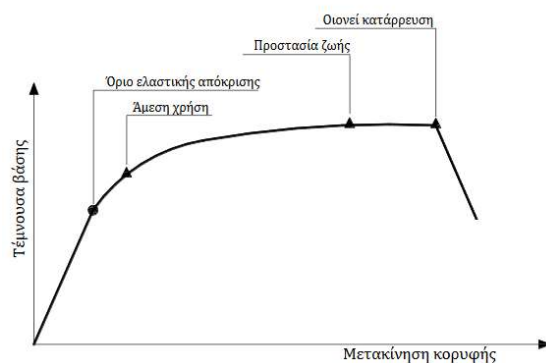
Πίνακας 2.3 Ενδεικτική περιγραφή αναμενόμενων βλαβών σε κτήρια από Ω.Σ. για στάθμες επιτελεστικότητας (Applied Technology Council (ATC), 1996)

Στοιχείο	Περιορισμός βλαβών	Προστασία ζωής	Οιονεί κατάρρευση
Υποστυλώματα	Περιορισμένες καμπτικές και διατμητικές ρηγματώσεις χωρίς ή πολύ μικρή αποκόλληση του σκυροδέματος επικάλυψης. Καμία μόνιμη οριζόντια παραμόρφωση. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Πλαστικές αρθρώσεις σχηματίζονται στο κατώτερο τμήμα του κτηρίου που προκαλούν αποκόλληση του σκυροδέματος επικάλυψης πάνω και κάτω από τους κόμβους. Δημιουργούνται μόνιμες οριζόντιες παραμορφώσεις που αντιστοιχούν σε οριζόντια παραμόρφωση ορόφου (interstorydrift) 2.0%, που μπορεί να είναι και οριακά μεγαλύτερες σε ορισμένες περιοχές. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Πλαστικές αρθρώσεις σχηματίζονται στο κατώτερο τμήμα του κτηρίου που προκαλούν σημαντική αποκόλληση του σκυροδέματος επικάλυψης πάνω και κάτω από τους κόμβους και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στο εσωτερικό των κόμβων. Δημιουργούνται μόνιμες οριζόντιες παραμορφώσεις που αντιστοιχούν σε οριζόντια παραμόρφωση ορόφου (interstorydrift) 3.5%, που μπορεί να είναι και οριακά μεγαλύτερες σε ορισμένες περιοχές. Η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων διατηρείται σχεδόν σε όλα τα υποστυλώματα της κατασκευής.
Τοιχώματα	Ελάχιστες διατμητικές ρηγματώσεις στο επίπεδο του τοιχώματος. Καθόλου ή πολύ μικρές ρηγματώσεις στη βάση του τοιχώματος. Καμία μόνιμη παραμόρφωση. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Εκτεταμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης και διατμητικές και καμπτικές ρηγματώσεις στη βάση του τοιχώματος. Ενδείξεις αστοχιών λόγω διατμητικής ολίσθησης. Δημιουργούνται μόνιμες οριζόντιες παραμορφώσεις που αντιστοιχούν σε οριζόντια παραμόρφωση ορόφου (interstorydrift) 2.0%, που μπορεί να είναι και οριακά μεγαλύτερες σε ορισμένες περιοχές. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Εκτεταμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης και διατμητικές και καμπτικές ρηγματώσεις σε όλο το ύψος του τοιχώματος και ειδικά στις περιοχές με τη μεγαλύτερη μόνιμη παραμόρφωση. Ενδείξεις λυγισμού διαμήκων ράβδων οπλισμού. Ενδείξεις αστοχιών λόγω διατμητικής ολίσθησης στις θέσεις των αρμών σκυροδέτησης και στη βάση του τοιχώματος. Δημιουργούνται μόνιμες οριζόντιες παραμορφώσεις που αντιστοιχούν σε οριζόντια παραμόρφωση ορόφου (interstorydrift) 3.5%, που μπορεί να είναι και οριακά μεγαλύτερες σε ορισμένες περιοχές. Η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων διατηρείται σχεδόν σε όλα τα τοιχώματα της κατασκευής.
Δοκοί	Περιορισμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης γύρω από τους κόμβους. Περιορισμένες καμπτικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων. Καμία μόνιμη παραμόρφωση. Διατηρείται η ικανότητα	Αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης στους κόμβους και τις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων. Καμπτικές και διατμητικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων, που επεκτείνονται και μέσα στους κόμβους. Επιμήκυνση των συνδετήρων κοντά στους κόμβους. Μόνιμες κατακόρυφες παραμορφώσεις της τάξης του L/175.	Εκτεταμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης στους κόμβους και τις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων. Εκτεταμένες καμπτικές και διατμητικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων, που επεκτείνονται και μέσα στους κόμβους. Θραύση των συνδετήρων κοντά στους κόμβους. Μόνιμες κατακόρυφες παραμορφώσεις της τάξης του L/75. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.

	παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	
Πλάκες	Περιορισμένες ρηγματώσεις κοντά στις στηρίξεις. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Ρηγματώσεις κοντά στις στηρίξεις. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων.	Εκτεταμένες ρηγματώσεις κοντά στις στηρίξεις. Αποκολλήσεις τμημάτων σκυροδέματος μεταξύ των οπλισμών. Κατακόρυφες παραμορφώσεις κοντά στις στηρίξεις της τάξης του $d/4$ (d =πάχος πλάκας). Όχι κατάρρευση της πλάκας.
Θεμελίωση	Καμία ένδειξη διαφορικής καθίζησης μεταξύ γειτονικών υποστυλωμάτων	Διαφορικές καθιζήσεις της τάξης του $L/150$ μεταξύ γειτονικών υποστυλωμάτων	Διαφορικές καθιζήσεις της τάξης του $L/60$ μεταξύ γειτονικών υποστυλωμάτων

2.4. Καμπύλη ικανότητας (capacity curve)

Ο καθορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται πάνω στην καμπύλη ικανότητας του κτηρίου, η οποία εκφράζεται από τη μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης της οροφής. Η δημιουργία της γίνεται με τον υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής για διάφορους συνδυασμούς του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου. Οι συνδυασμοί αυτοί μπορεί να είναι ομοιόμορφης κατανομής, τριγωνικής κατανομής, της πρώτης ιδιομορφής του κτηρίου ή συνδυασμοί με συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών. Για την κατασκευή της καμπύλης γίνονται αλληπάλληλες στατικές αναλύσεις σε σταδιακά βήματα με αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό της μετακίνησης της κορυφής του κτηρίου ανά βήμα, λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει (μέθοδος pushover).

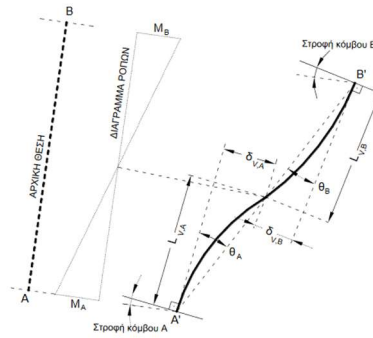


Σχήμα 2.2: Καμπύλη Ικανότητας και στάθμες επιτελεστικότητας

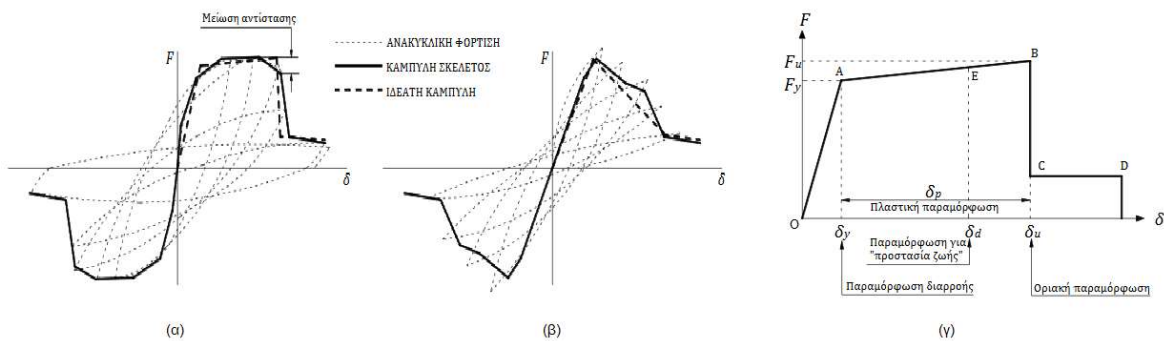
2.5. Καμπύλες F-δ δομικών στοιχείων

Για να καθοριστούν οι νόμοι που διέπουν την ανελαστική συμπεριφορά των μελών της κατασκευής, δημιουργούνται διαγράμματα τα οποία σχετίζουν τα εντατικά μεγέθη με τις παραμορφώσεις ή τις σχετικές μετακινήσεις των μελών του φορέα. Στην περίπτωση που στην ανελαστική συμπεριφορά του μέλους καθοριστικό μέγεθος είναι η κάμψη, τα εντατικά μεγέθη που λαμβάνονται υπόψη είναι η ροπή κάμψης M και η καμπυλότητα C ή $1/r$, ενώ αν καθοριστικό μέγεθος είναι η διάτμηση λαμβάνεται υπόψη η διατμητική δύναμη και

παραμόρφωση αντίστοιχα. Όπως είναι γνωστό στα στοιχεία από Ω.Σ., οι καμπτικές και οι διατμητικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν, έτσι η καταλληλότερη επιλογή εντατικών μεγεθών είναι η ροπή κάμψης M και η γωνία στροφής θ στα άκρα του στοιχείου, η οποία ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον άξονα του στοιχείου στο άκρο υπό διαρροή και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του ανοίγματος διάτμησης (το σημείο μηδενισμού των ροπών).



Σχήμα 2.3: Ορισμός γωνίας στροφής θ (Ψυχάρης, 2015)

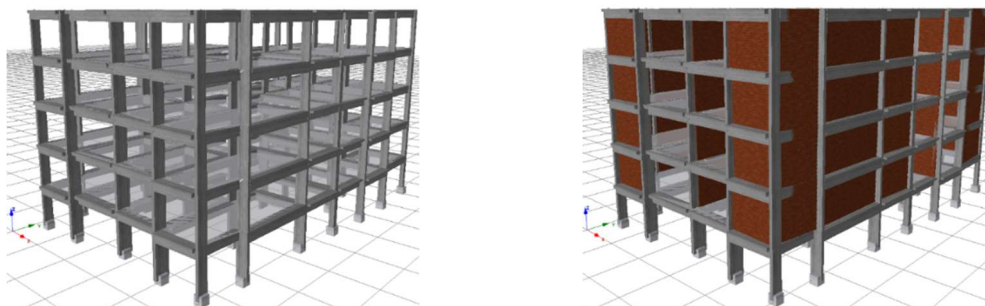


Σχήμα 2.4: (α) Καμπτική συμπεριφορά μέλους από Ω.Σ., (β) Διατμητική συμπεριφορά, (γ) Ιδεατή καμπύλη δοκικών στοιχείων (Ψυχάρης, 2015)

Στους κανονισμούς δίνονται οδηγίες υπολογισμού των χαρακτηριστικών σημείων του διαγράμματος στο Σχήμα 2.4 (γ). Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε έχει προκαθορισμένα κριτήρια απόδοσης (Code-Based Checks), τα οποία εκφράζουν διάφορους κανονισμούς με όρια αστοχίας κάθε μέλους βάση της ανάλογης στάθμης επιτελεστικότητας. Έτσι επιλέχθηκε η χρήση κριτηρίων απόδοσης για διαρροή σε κάμψη, αστοχίες σε κάμψη και τέμνουσα για κάθε μέλος ως εργαλείο ικανοποιητικότερης εποπτείας των δομικών στοιχείων της κατασκευής.

2.6. Προσομοίωση

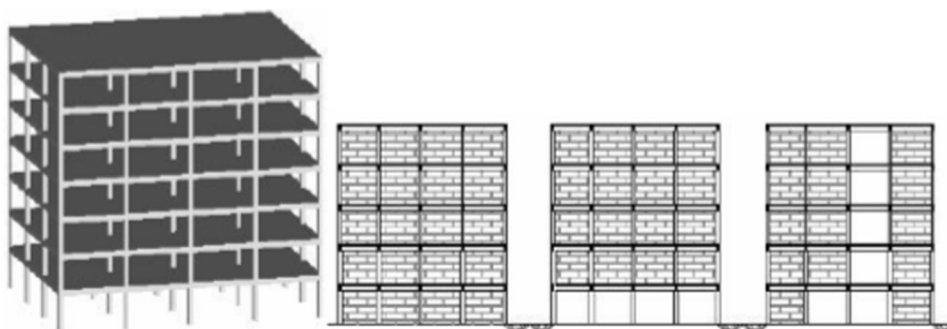
Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Seismostruct 2018 της Seismosft.



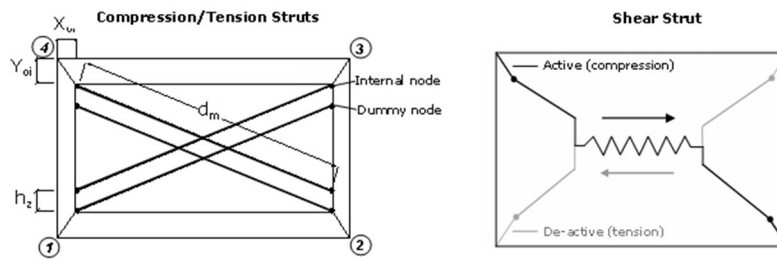
Σχήμα 2.5: Προσομοίωμα μοντέλου με και χωρίς τοιχοπληρώσεις στο λογισμικό Seismostruct 2018

Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου προσομοιώνεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5 με γραμμικά στοιχεία και οι πλάκες θεωρούνται απαραμόρφωτες στο επίπεδό τους (διαφραγματική λειτουργία). Η προσομοίωση των δοκών, των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων του κτηρίου έγινε με στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστικότητας.

Στη συμπεριφορά του κτηρίου θα πρέπει να υπολογιστεί η επιρροή της τοιχοποιίας στον φέροντα οργανισμό, καθώς η συνεισφορά της μπορεί να είναι καθοριστική. Η θετική επιρροή των τοιχοπληρώσεων οφείλεται στο γεγονός ότι συμβάλλουν στην αντίσταση έναντι σεισμικών δράσεων, με αύξηση της αντοχής της κατασκευής (υπεραντοχή), τουλάχιστον στα πρώτα στάδια της σεισμικής επιβάρυνσης (ελαστική περιοχή), στην απορρόφηση της ενέργειας, αλλά και στην αύξηση της πλευρικής δυσκαμψίας του φορέα που έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των σεισμικών μετακινήσεων της. Αντίθετα, η τοιχοποιία ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά την σεισμική απόκριση της κατασκευής σε περιπτώσεις ασυνέχειας καθ' ύψος των τοιχοπληρώσεων (δημιουργία μαλακού ορόφου) ή μη συμμετρικής τους διάταξης σε κάτοψη (φαινόμενα στρέψης) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6 (Reparis et al., 2006) (Reparis & Zeris, 2018). Κατά συνέπεια, στο παρόν σύγγραμμα εξετάζεται η συνεισφορά των τοιχοπληρώσεων με δύο προσομοιώματα, ένα χωρίς την συμμετοχή των τοιχοπληρώσεων και ένα με την συμμετοχή της. Πρέπει να σημειωθεί ότι ελήφθησαν υπόψιν μόνο οι μπατικές τοιχοποιίες με την παραδοχή ότι το ποσοστό ανοιγμάτων προς το σύνολο της επιφάνειας της τοιχοπλήρωσης ήταν μικρότερο του 50%.



Σχήμα 2.6: Τύποι κτηρίων με διαφορετική κατανομή τοιχοπληρώσεων (Ρεπαρίης et al., 2003)



Σχήμα 2.7: Προσομοίωμα Crisafulli (Seismostruct, 2018)

Έτσι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7 η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων έγινε με το προσομοίωμα του Crisafulli, το οποίο είναι ανελαστικό στοιχείο τοιχοπλήρωσης, το οποίο αποτελείται από 2 διαγώνιους θλιπτήρες σε κάθε διαγώνιο και ένα ελατήριο που μεταφέρει το διατμητικό φορτίο (Crisafulli, 1997). Το πάχος του θλιπτήρα λαμβάνεται ίσο με το πάχος της τοιχοποιίας ενώ το ισοδύναμο πλάτος του θλιπτήρα υπολογίστηκε σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Οι πλάκες φορτίστηκαν με ομοιόμορφο φορτίο $G=1.50 \text{ kN/m}^2$ και $Q=2.00 \text{ kN/m}^2$, οι εξώστες με φορτίο $G=1.00 \text{ kN/m}^2$ και $Q=5.00 \text{ kN/m}^2$, ενώ οι πλάκες στο δώμα με $G=1.00 \text{ kN/m}^2$ και $Q=2.00 \text{ kN/m}^2$. Οι περιμετρικές δοκοί φορτίστηκαν με 9 kN/m ενώ οι εσωτερικές με 6 kN/m .

Τέλος οι ιδιοπερίοδοι της κατασκευής, υπολογίστηκαν βάση του προσομοιώματος, σε $T_1=0.795 \text{ sec}$ και $T_2=0.637 \text{ sec}$ για την περίπτωση της απουσίας τοιχοπλήρωσης ενώ για την παρουσία τοιχοπληρώσεων στο φορέα σε $T_1=0.555 \text{ sec}$ και $T_2=0.487 \text{ sec}$.

3

Περιγραφή Κτηρίου

Για την προσομοίωση του κτηρίου κατασκευάστηκε μοντέλο με όσο πιστότερη γινόταν γεωμετρία και με τιμές υλικών ανάλογες της πραγματικότητας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο στατικά προγράμματα και, αφού έγιναν προ-αναλύσεις, επιλέχθηκε εκείνο που τα δεδομένα του ήταν πιο κοντά τόσο στις παρατηρούμενες βλάβες, όσο και στα αποτελέσματα των προηγούμενων αναλύσεων που είχαν πραγματοποιηθεί. Επιπροσθέτως, διερευνήθηκε κατά πόσο επηρεάζει η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων τη συμπεριφορά του κτηρίου. Τέλος επιλέχθηκαν κριτήρια απόδοσης για κάθε μέλος του φορέα, ώστε να υπάρχει άμεση εποπτεία και επιλέχθηκαν οι κείμενοι κανονισμοί.

Το υπό μελέτη κτήριο πρόκειται για υφιστάμενη κατασκευή, με χρήση κατοικίας, τεσσάρων ορόφων με ισόγειο pilotis κατασκευασμένο με Ο.Α. του 1978 και έτος ολοκλήρωσης το 1980 με χρήση κατοικίας. Το κτήριο ανήκει στην κατηγορία των κτηρίων, που μελετήθηκαν και σχεδιάστηκαν με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959, με τον κανονισμό σκυροδέματος του 1954⁹ και με τον κανονισμό φορτίσεων του 1945¹⁰. Βρίσκεται στο Δήμο Χαϊδαρίου, περιοχή που σύμφωνα με το νεότερο αντισεισμικό κανονισμό, έχει ενταχθεί στη Ζώνη Ι¹¹, δηλαδή με απαίτηση τα κτήρια να αντέχουν σε επιταχύνσεις έως 0.16g με έδαφος Β, προδιαγραφές που, προφανώς, δεν εφαρμόστηκαν στις απαιτήσεις για την ανέγερση του κτηρίου. Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται ο φέρων οργανισμός του κτηρίου που μελετήθηκε, καθώς και η κύρια όψη του.



Σχήμα 3.1: Φωτορεαλιστική αποτύπωση φέροντα οργανισμού και κύρια όψη κτηρίου

Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου αποτελείται από μεικτό σύστημα, πλαισιακό, με υποστυλώματα και τοιχώματα ποικίλων διαστάσεων, όπου μειώνονται ανοδικά ανά επίπεδο ορόφου. Χρησιμοποιήθηκαν πλακοδοκοί διατομής, κυρίως 60/20, 65/20 και 65/25, καθώς και πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα διαφόρων παχών κατηγορίας B225 και χάλυβας κατηγορίας STIII για τον κύριο οπλισμό του, όπως και συνδετήρες κατηγορίας STI. Ο πυρήνας του ανελκυστήρα αποτελείται από τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος και μαζί με το κλιμακοστάσιο βρίσκονται στο κέντρο της κατόψεως. Τέλος η θεμελίωση αποτελείται από μεμονωμένα πέδιλα με συνδετήριους δοκούς μόνο περιμετρικά του κτηρίου, διαστάσεων 20/70.

«Η χρήση του κτηρίου είναι κατοικία. Μπορούμε επομένως να λάβουμε υπόψη τις παραδοχές φόρτισης της αρχικής μελέτης. Στην αρχική μελέτη ο σεισμικός συντελεστής είναι $\epsilon=0.04$, ενώ

⁹ ΒΔ 18-2-1954 (ΦΕΚ160Α/26-6-1954): «Περί κανονισμών για τη μελέτη και εκτέλεση οικοδομικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα»

¹⁰ ΒΔ 10-12-1945 (ΦΕΚ 325/Α/31-12-1945): «Περί κανονισμού φορτίσεως δομικών έργων»

¹¹ Τροποποίηση διατάξεων του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000» λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Φ.Ε.Κ. Β' 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275)

σήμερα η σεισμική επιτάχυνση έχει ληφθεί ίση με $\alpha=0.16g$, με κατηγορία εδάφους B και άρα επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{\epsilon\delta}=300 \text{ kN/m}^2$.

Όσον αφορά τους οπλισμούς, χρησιμοποιούνται μικρές διατομές χάλυβα τόσο στις δοκούς όσο και στα υποστυλώματα. Η όπλιση είναι ελαφριά σε όλα τα μέλη του κτιρίου, ειδικά στους υψηλότερους ορόφους. Την εποχή που σχεδιάστηκε το εξεταζόμενο έναντι σεισμού, κτίριο, ο απαιτούμενος διαμήκης και διατμητικός οπλισμός σε δοκούς και υποστυλώματα, υπολογιζόταν με την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων (ορθών και διατμητικών), δηλαδή με γραμμική ελαστική ανάλυση. Το κτίριο υποβαλλόταν σε οριζόντιες δυνάμεις (μονώροφο μοντέλο). Οι δυνάμεις αυτές ήταν πολύ μικρότερες από αυτές που απαιτούνται από τους σύγχρονους Κανονισμούς.

Σε κτίρια χαμηλού ύψους (3-4 ορόφων) που είχαν συμμετρική διάταξη υποστυλωμάτων με σαφή πλαίσια ανάληψης οριζοντίων δυνάμεων, η μέθοδος των επιτρεπόμενων τάσεων έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι χαμηλοί συντελεστές σεισμικότητας και η μέθοδος που εφαρμοζόταν για τον υπολογισμό διατμητικών τάσεων, έδινε ως αποτέλεσμα, τοποθέτηση συνδετήρων σε μεγάλες σχετικές αποστάσεις με όχι ικανοποιητικό οπλισμό στα υποστυλώματα εν αντιθέσει με τις δοκούς.

Παρατηρούμε λοιπόν στο συγκεκριμένο κτίριο, ότι οι συνδετήρες στα υποστυλώματα και στις δοκούς είναι $\Phi 8$ ανά 25 έως 30 εκ. Στις ακραίες στηρίξεις των συνεχών δοκών τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι μορφής Π (φουρκέτες), ενώ η κάλυψη των διατμητικών δυνάμεων στις στηρίξεις των δοκών γινόταν με σπαστό οπλισμό (τα μισά του κύριου οπλισμού κάμψης) και επιπλέον πρόσθετο οπλισμό (πάπιες) στις στηρίξεις. Επίσης ελλειπείς επικαλύψεις όλων των δομικών στοιχείων. Υπάρχουν έμμεσες στηρίξεις καθώς και κοντά υποστυλώματα στην πιλοτή λόγω φύσης, μικρό ύψος υποστυλώματος με μεγάλη διάσταση. Λόγος διάτμησης $a < 2.50$.» (Μαγουλάς, 2017)

Κατά το σεισμό της Αθήνας του 1999 υπέστη βλάβες στο φέροντα οργανισμό, επισκευάσιμες, κυρίως στην pilotis, καθώς και ορισμένες βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης. Όπως διαπιστώθηκε μετά από αυτοψία, «σοβαρή βλάβη είχε υποστεί το ένα από τα τρία τοιχία του πυρήνα του ανελκυστήρα. Επίσης είχαν παρατηρηθεί και βλάβες λόγω διάβρωσης και οξείδωσης οπλισμών (αποφλοιώσεις), οι οποίες αποτέλεσαν την κύρια τρωτότητα της κατασκευής, αφού οι βλάβες εμφανιστήκαν στα σημεία αυτά, εκτός της παθογένειας του Φ.Ο, λόγω της κακής διάταξης τοιχωμάτων (τοιχώματα μια διεύθυνσης) και των κοντών υποστυλωμάτων. Βλάβες ελαφριές υπέστη και ο οργανισμός πλήρωσης (τοιχοποιίες) του ισογείου καθώς του Α ορόφου (τοιχοποιίες με βλάβες, ρηγματώσεις, αποκολλήσεις). Επίσης ρηγματώσεις εμφανίστηκαν σε ορισμένες πλάκες του ισογείου κοντά στις στηρίξεις και σε δοκούς του ισογείου, (ελαφριές απλές ρηγματώσεις μικρότερες των 3 mm).

Οι βλάβες οφείλονται στους παρακάτω λόγους:

α) Στη μεγάλη ένταση του σεισμού της περιοχής σε σχέση με το επίπεδο σεισμικής διέγερσης που προέβλεπε ο τότε κανονισμός (αντισεισμικός κανονισμός 1959), με τον οποίο μελετήθηκε

και κατασκευάστηκε το κτίριο ($\varepsilon=0.04$) περιοχή σεισμικότητας I. Το επίπεδο σεισμικής διέγερσης ήταν πολύ υψηλότερο από αυτό που προδιέγραφε ο τότε κανονισμός.

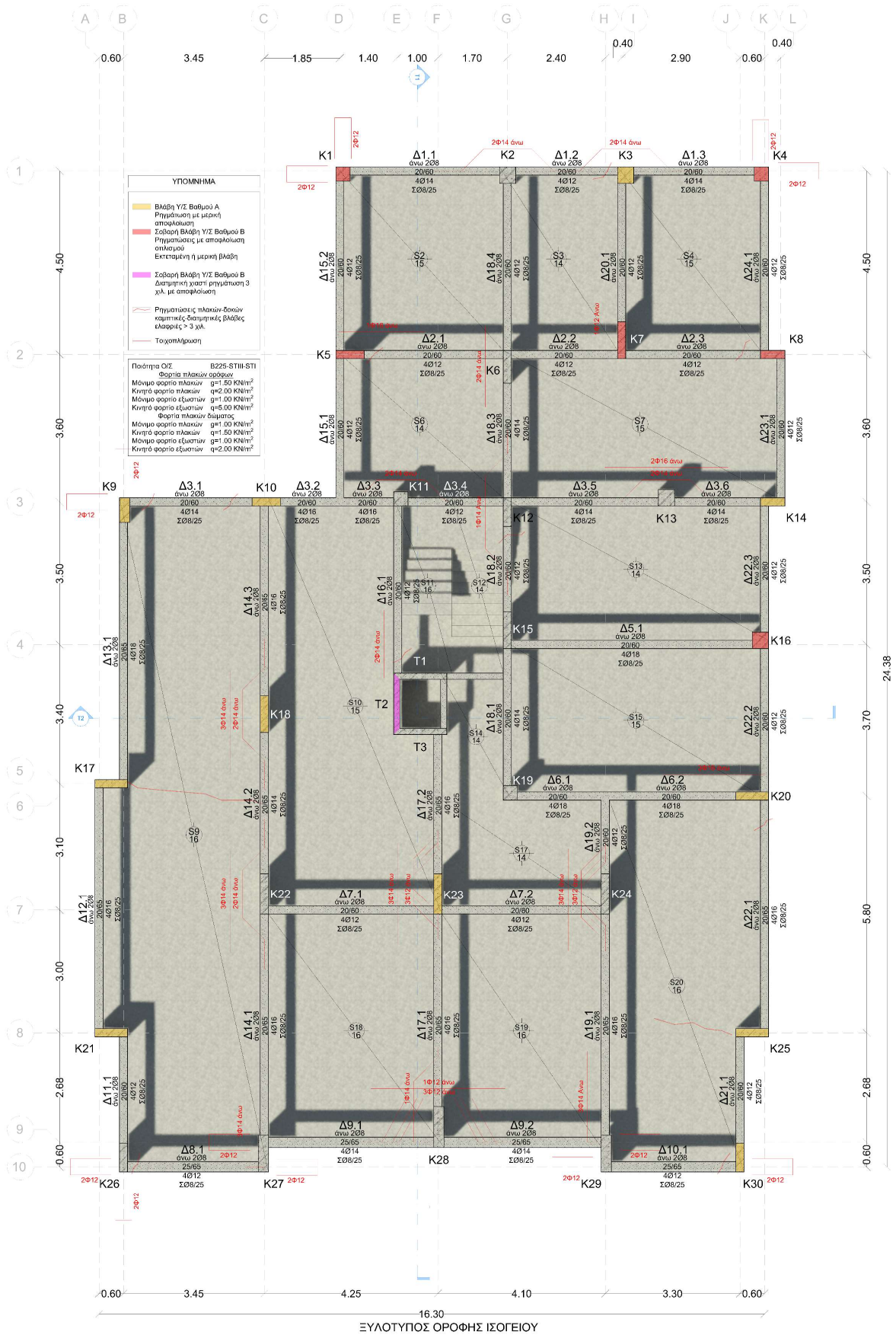
β) Σε κακοτεχνίες της κατασκευής. Έλλειψη συνδετήρων στη βάση, κυρίως των υποστυλωμάτων (ευρέθησαν συνδετήρες σε απόσταση μεταξύ τους $>30\text{cm}$), μικρές αναμονές οπλισμών. Υπήρξαν αναμονές που ήταν εκτός της περιμέτρου του συνδετήρα του υποστυλώματος.

γ) Στην ύπαρξη πιλοτής χωρίς αυτό να έχει ληφθεί υπ' όψιν στους υπολογισμούς. Αύξηση των εντατικών μεγεθών λόγω ασυνέχειας τοιχοπληρώσεων (μαλακός όροφος).

Όσον αφορά τις ελαφριές βλάβες που έχουν υποστεί τα κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής, υποδεικνύονται με την ένδειξη β.Α και αναφέρονται σε οριζόντιες και κατακόρυφες ρηγματώσεις μικρότερες των 3 χιλιοστών, σε αποκολλήσεις, τριχοειδείς ρωγμές, σε ρηγματώσεις στα σημεία διακοπής συνδετήρων και στη διάβρωση του οπλισμού, η οποία προκαλεί διόγκωση της επικάλυψης και της αποφλοιώσης των οπλισμών. Η ένδειξη β.Β αφορά σοβαρές βλάβες ρηγματώσεων χιαστί ή λοξές μεγαλύτερες των 3 χιλιοστών, αποκολλήσεις τμημάτων σκυροδέματος και αποφλοιώσεις οπλισμού με μερική ενδεχομένως θραύση του σκυροδέματος τοπικά. Για τις δοκούς και τις πλάκες, με την ένδειξη κόκκινης γραμμής αναφέρονται ελαφριές καμπτικές και διατμητικές βλάβες μεγαλύτερες των 3 χιλιοστών.» (Μαγουλάς, 2017)

Οι βλάβες, καθώς και τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού, παρουσιάζονται στα σχέδια και τους πίνακες που ακολουθούν, ενώ στα Σχέδια 1.6 και 1.7 παρουσιάζεται η τομή με προσανατολισμό Βορρά – Νότου με ισοσταθμία και ανισοσταθμία υποστυλωμάτων pilotis αντίστοιχα¹² ενώ στο Σχήμα 3.2 σημειώνονται οι θέσεις των εγκατεστημένων επιταχυνσιογράφων, η θέση του κτηρίου καθώς και το επίκεντρο του σεισμού της Αθήνας το 1999.

¹² Λόγω ελλιπών στοιχείων κατά τη μοντελοποίηση του φέροντα οργανισμού επιλέχθηκε ύψος 3m ανά στάθμη ορόφου, και συνεπώς οι αναλύσεις έγιναν με αυτά. Μετά από επικοινωνία με τον μελετητή του κτηρίου έγινε σαφές ότι υπήρχε ανισοσταθμία στα υποστυλώματα του ισογείου. Τα βορινά υποστυλώματα μέχρι τον πυρήνα είχαν ύψος 2.60 m, ενώ τα υπόλοιπα 2.80 m.



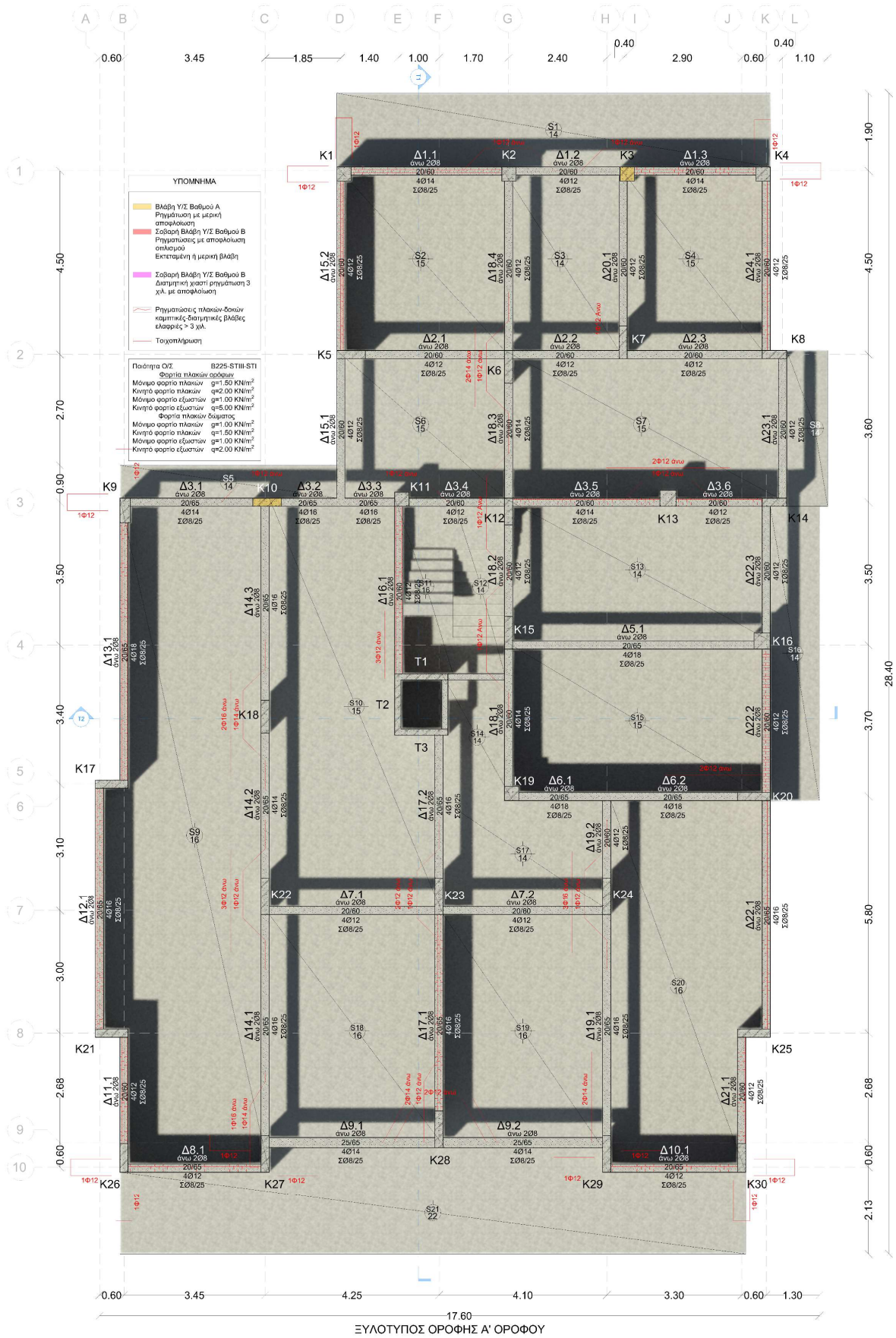
Σχήμα 3.3: Ευλόγυπος Οροφής Ισογείου

Πίνακας 3.1: Στοιχεία Υποστυλομάτων Ισογείου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct	Διάσταση	Οπλισμός	Βλάβη
K1	C1	35x35	4Ø20
K2	C2	40x40	4Ø16+4Ø14
K3	C3	40x40	4Ø16+4Ø14
K4	C4	35x35	4Ø20
K5	C5	70x20	8Ø14
K6	C6	20x80	4Ø16+4Ø14
K7	C7	20x90	4Ø20+4Ø18
K8	C8	60x20	8Ø14
K9	C9	25x60	4Ø16+4Ø14
K10	C10	70x20	4Ø16+4Ø14
K11	C11	35x35	4Ø18
K12	C12	20x70	8Ø14
K13	C13	40x40	4Ø16+4Ø14
K14	C14	60x20	8Ø14
K15	C15	20x90	4Ø20+4Ø18
K16	C16	40x40	4Ø16+4Ø14
K17	C17	80x20	4Ø16+4Ø14
K18	C18	20x90	4Ø20+4Ø18
K19	C19	35x35	4Ø18
K20	C20	80x20	4Ø20+4Ø18
K21	C21	80x20	4Ø16+4Ø14
K22	C22	20x100	10Ø14
K23	C23	20x100	10Ø14
K24	C24	20x100	10Ø14
K25	C25	80x20	4Ø16+4Ø14
K26	C26	20x70	8Ø14
K27	C27	25x90	4Ø20+4Ø18
K28	C28	25x100	4Ø20+4Ø18
K29	C29	25x90	4Ø20+4Ø18
K30	C30	20x70	8Ø14
T1	W31	130x15	4Ø14+10Ø8
T2	W32	150x15	4Ø14+8Ø8
T3	W33	130x15	4Ø14+10Ø8

Πίνακας 3.2: Στοιχεία Δοκών Ισογείου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct	Διάσταση	Βλάβη	
		Αρ.	Δξ.
Δ1.1	B1	60x20	
Δ1.2	B2	60x20	X
Δ1.3	B3	60x20	
Δ2.1	B4	60x20	X
Δ2.2	B5	60x20	
Δ2.3	B6	60x20	X
Δ3.1	B7	60x20	X X
Δ3.2	B8	60x20	
Δ3.3	B9	60x20	
Δ3.4	B10	60x20	
Δ3.5	B11	60x20	
Δ3.6	B12	60x20	
Δ5.1	B13	60x20	
Δ6.1	B15	65x20	
Δ6.2	B16	65x20	
Δ7.1	B17	60x20	
Δ7.2	B18	60x20	
Δ8.1	B19	65x25	
Δ9.1	B20	65x25	
Δ9.2	B21	65x25	
Δ10.1	B22	65x25	
Δ11.1	B23	60x20	
Δ12.1	B24	65x20	
Δ13.1	B25	65x20	
Δ14.1	B26	65x20	
Δ14.2	B27	65x20	
Δ14.3	B28	65x20	
Δ15.1	B29	60x20	
Δ15.2	B30	60x20	
Δ16.1	B34	60x20	X
Δ17.1	B31	65x20	
Δ17.2	B32	65x20	
Δ18.1	B35-36	60x20	
Δ18.2	B37	60x20	X
Δ18.3	B38	60x20	
Δ18.4	B39	60x20	
Δ19.1	B40	60x20	
Δ19.2	B41	60x20	
Δ20.1	B42	60x20	
Δ21.1	B43	60x20	
Δ22.1	B44	65x20	X
Δ22.2	B45	60x20	
Δ22.3	B46	60x20	
Δ23.1	B47	60x20	
Δ24.1	B48	60x20	



Σχήμα 3.4: Ευλότυπος Οροφής Α' Ορόφου

Πίνακας 3.3: Στοιχεία Υποστυλωμάτων Α' Ορόφου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct	Διά- σταση	Οπλισμός	Βλάβη
K1	C1	35x35	4Ø20
K2	C2	35x35	4Ø20
K3	C3	35x35	4Ø20 β.Α
K4	C4	35x35	4Ø20
K5	C5	70x20	8Ø14
K6	C6	20x80	4Ø16+4Ø14
K7	C7	20x80	4Ø16+4Ø14
K8	C8	60x20	8Ø14
K9	C9	25x60	4Ø16+4Ø14
K10	C10	70x20	4Ø16+4Ø14 β.Α
K11	C11	35x35	4Ø20
K12	C12	20x65	8Ø14
K13	C13	40x40	4Ø16+4Ø14
K14	C14	60x20	8Ø14
K15	C15	20x80	4Ø16+4Ø14
K16	C16	40x40	4Ø16+4Ø14
K17	C17	80x20	4Ø16+4Ø14
K18	C18	20x80	4Ø16+4Ø14
K19	C19	35x35	4Ø18
K20	C20	80x20	4Ø18+4Ø16
K21	C21	80x20	4Ø16+4Ø14
K22	C22	20x90	10Ø14
K23	C23	20x90	10Ø14
K24	C24	20x90	10Ø14
K25	C25	80x20	4Ø16+4Ø14
K26	C26	20x70	8Ø14
K27	C27	20x90	4Ø20+4Ø18
K28	C28	20x100	8Ø18
K29	C29	20x90	4Ø20+4Ø18
K30	C30	20x70	8Ø14
T1	W31	130x15	4Ø14+10Ø8
T2	W32	150x15	4Ø14+8Ø8
T3	W33	130x15	4Ø14+10Ø8

Πίνακας 3.4: Στοιχεία Δοκών Α' Ορόφου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct	Διάσταση	Βλάβη	
		Αρ.	Δξ.
Δ1.1	B1		
Δ1.2	B2		
Δ1.3	B3		
Δ2.1	B4		
Δ2.2	B5		
Δ2.3	B6		
Δ3.1	B7		
Δ3.2	B8		
Δ3.3	B9		
Δ3.4	B10		
Δ3.5	B11		
Δ3.6	B12		
Δ5.1	B13		
Δ6.1	B15		
Δ6.2	B16		
Δ7.1	B17		
Δ7.2	B18		
Δ8.1	B19		
Δ9.1	B20		
Δ9.2	B21		
Δ10.1	B22		
Δ11.1	B23		
Δ12.1	B24		
Δ13.1	B25		
Δ14.1	B26		
Δ14.2	B27		
Δ14.3	B28		
Δ15.1	B29		
Δ15.2	B30		
Δ16.1	B34		
Δ17.1	B31		
Δ17.2	B32		
Δ18.1	B35-36		
Δ18.2	B37		
Δ18.3	B38		
Δ18.4	B39		
Δ19.1	B40		
Δ19.2	B41		
Δ20.1	B42		
Δ21.1	B43		
Δ22.1	B44		
Δ22.2	B45		
Δ22.3	B46		
Δ23.1	B47		
Δ24.1	B48		



Σχήμα 3.5: Ευλότυπος Οροφής Β' Ορόφου

Πίνακας 3.5: Στοιχεία Υποστυλωμάτων Β' Ορόφου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct	Διάσταση	Οπλισμός	Βλάβη
K1	C1	35x35	4Ø20
K2	C2	35x35	4Ø18
K3	C3	35x35	4Ø18
K4	C4	35x35	4Ø20
K5	C5	60x20	6Ø14
K6	C6	20x70	8Ø14
K7	C7	20x80	4Ø16+4Ø14
K8	C8	60x20	8Ø14
K9	C9	25x60	4Ø16+4Ø14
K10	C10	60x20	8Ø14
K11	C11	35x35	4Ø20
K12	C12	20x60	8Ø14
K13	C13	35x35	4Ø18
K14	C14	60x20	8Ø14
K15	C15	20x70	8Ø14
K16	C16	35x35	4Ø18
K17	C17	80x20	4Ø16+4Ø14
K18	C18	20x70	8Ø14
K19	C19	35x35	4Ø18
K20	C20	70x20	4Ø16+4Ø14
K21	C21	80x20	4Ø16+4Ø14
K22	C22	20x80	4Ø18+4Ø16
K23	C23	20x80	4Ø18+4Ø16
K24	C24	20x80	4Ø18+4Ø16
K25	C25	80x20	4Ø16+4Ø14
K26	C26	20x70	8Ø14
K27	C27	20x90	10Ø14
K28	C28	20x80	4Ø18+4Ø16
K29	C29	20x90	10Ø14
K30	C30	20x70	8Ø14
T1	W31	130x15	4Ø14+10Ø8
T2	W32	150x15	4Ø14+8Ø8
T3	W33	130x15	4Ø14+10Ø8

Πίνακας 3.6: Στοιχεία Δοκών Β' Ορόφου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct	Διάσταση	Βλάβη	
		Αρ.	Δξ.
Δ1.1	B1	60x20	
Δ1.2	B2	60x20	
Δ1.3	B3	60x20	
Δ2.1	B4	60x20	
Δ2.2	B5	60x20	
Δ2.3	B6	60x20	
Δ3.1	B7	60x20	
Δ3.2	B8	60x20	
Δ3.3	B9	60x20	
Δ3.4	B10	60x20	
Δ3.5	B11	60x20	
Δ3.6	B12	60x20	
Δ5.1	B13	65x20	
Δ6.1	B15	60x20	
Δ6.2	B16	60x20	
Δ7.1	B17	60x20	
Δ7.2	B18	60x20	
Δ8.1	B19	60x20	
Δ9.1	B20	65x25	
Δ9.2	B21	65x25	
Δ10.1	B22	60x20	
Δ11.1	B23	60x20	
Δ12.1	B24	60x20	
Δ13.1	B25	60x20	
Δ14.1	B26	65x20	
Δ14.2	B27	60x20	
Δ14.3	B28	60x20	
Δ15.1	B29	60x20	
Δ15.2	B30	60x20	
Δ16.1	B34	60x20	
Δ17.1	B31	60x20	
Δ17.2	B32	60x20	
Δ18.1	B35-36	60x20	
Δ18.2	B37	60x20	
Δ18.3	B38	60x20	
Δ18.4	B39	60x20	
Δ19.1	B40	65x20	
Δ19.2	B41	60x20	
Δ20.1	B42	60x20	
Δ21.1	B43	60x20	
Δ22.1	B44	65x20	
Δ22.2	B45	60x20	
Δ22.3	B46	60x20	
Δ23.1	B47	60x20	
Δ24.1	B48	60x20	



Σχήμα 3.6: Ευλότυπος Οροφής Γ' Ορόφου

Πίνακας 3.7: Στοιχεία Υποστυλωμάτων Γ' Ορόφου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct		Διάσταση	Οπλισμός	Βλάβη
K1	C1	35x35	4Ø20	
K2	C2	30x30	4Ø16	
K3	C3	30x30	4Ø16	
K4	C4	35x35	4Ø20	
K5	C5	50x20	6Ø14	
K6	C6	20x60	8Ø14	
K7	C7	20x60	8Ø14	
K8	C8	60x20	8Φ14	
K9	C9	20x60	6Ø16	
K10	C10	60x20	8Φ14	
K11	C11	35x35	4Ø18	
K12	C12	20x60	8Ø14	
K13	C13	35x35	4Ø20	
K14	C14	60x20	8Φ14	
K15	C15	20x60	8Ø14	
K16	C16	35x35	4Ø16+4Ø14	
K17	C17	80x20	4Ø16+4Ø14	
K18	C18	20x60	8Ø14	
K19	C19	30x30	4Ø16	
K20	C20	60x20	4Ø16+4Ø14	
K21	C21	80x20	4Ø16+4Ø14	
K22	C22	20x70	4Ø18+4Ø16	
K23	C23	20x70	4Ø18+4Ø16	
K24	C24	20x70	4Ø18+4Ø16	
K25	C25	80x20	4Ø16+4Ø14	
K26	C26	20x60	8Ø14	
K27	C27	20x80	4Ø16+4Ø14	
K28	C28	20x90	10Ø14	
K29	C29	20x80	4Ø16+4Ø14	
K30	C30	20x60	8Ø14	
T1	W31	130x15	4Ø14+10Ø8	
T2	W32	150x15	4Ø14+8Ø8	
T3	W33	130x15	4Ø14+10Ø8	

Πίνακας 3.8: Στοιχεία Δοκών Γ' Ορόφου (Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct		Διάσταση	Βλάβη	
			Αρ.	Δξ.
Δ1.1	B1	60x20		
Δ1.2	B2	60x20		
Δ1.3	B3	60x20		
Δ2.1	B4	60x20		
Δ2.2	B5	60x20		
Δ2.3	B6	60x20		
Δ3.1	B7	60x20		
Δ3.2	B8	60x20		
Δ3.3	B9	60x20		
Δ3.4	B10	60x20		
Δ3.5	B11	60x20		
Δ3.6	B12	60x20		
Δ5.1	B13	65x20		
Δ6.1	B15	60x20		
Δ6.2	B16	60x20		
Δ7.1	B17	60x20		
Δ7.2	B18	60x20		
Δ8.1	B19	60x20		
Δ9.1	B20	65x25		
Δ9.2	B21	65x25		
Δ10.1	B22	60x20		
Δ11.1	B23	60x20		
Δ12.1	B24	60x20		
Δ13.1	B25	60x20		
Δ14.1	B26	65x20		
Δ14.2	B27	60x20		
Δ14.3	B28	60x20		
Δ15.1	B29	60x20		
Δ15.2	B30	60x20		
Δ16.1	B34	60x20		
Δ17.1	B31	60x20		
Δ17.2	B32	65x20		
Δ18.1	B35-36	60x20		
Δ18.2	B37	60x20		
Δ18.3	B38	60x20		
Δ18.4	B39	60x20		
Δ19.1	B40	65x20		
Δ19.2	B41	60x20		
Δ20.1	B42	60x20		
Δ21.1	B43	60x20		
Δ22.1	B44	65x20		
Δ22.2	B45	60x20		
Δ22.3	B46	60x20		
Δ23.1	B47	60x20		
Δ24.1	B48	60x20		



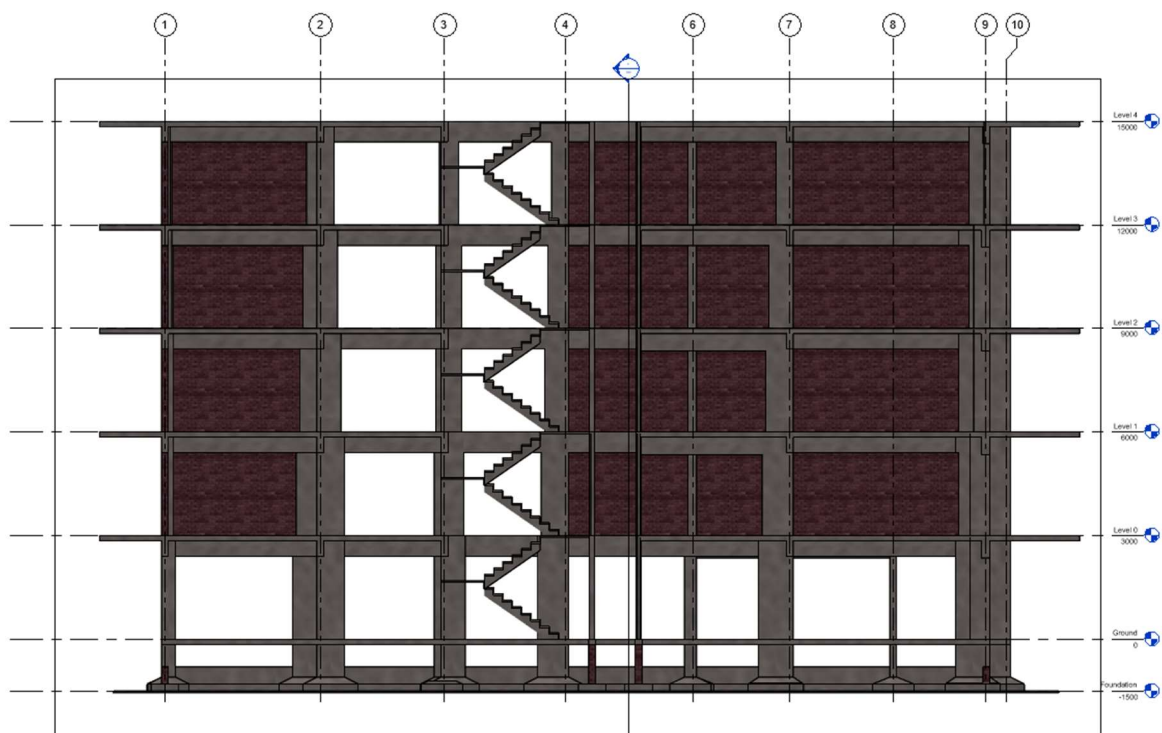
Σχήμα 3.7: Ευλότυπος Οροφής Δ' Ορόφου

Πίνακας 3.9: Στοιχεία Υποστυλωμάτων Δ' Ορόφου
(Μαγουλάς, 2017)

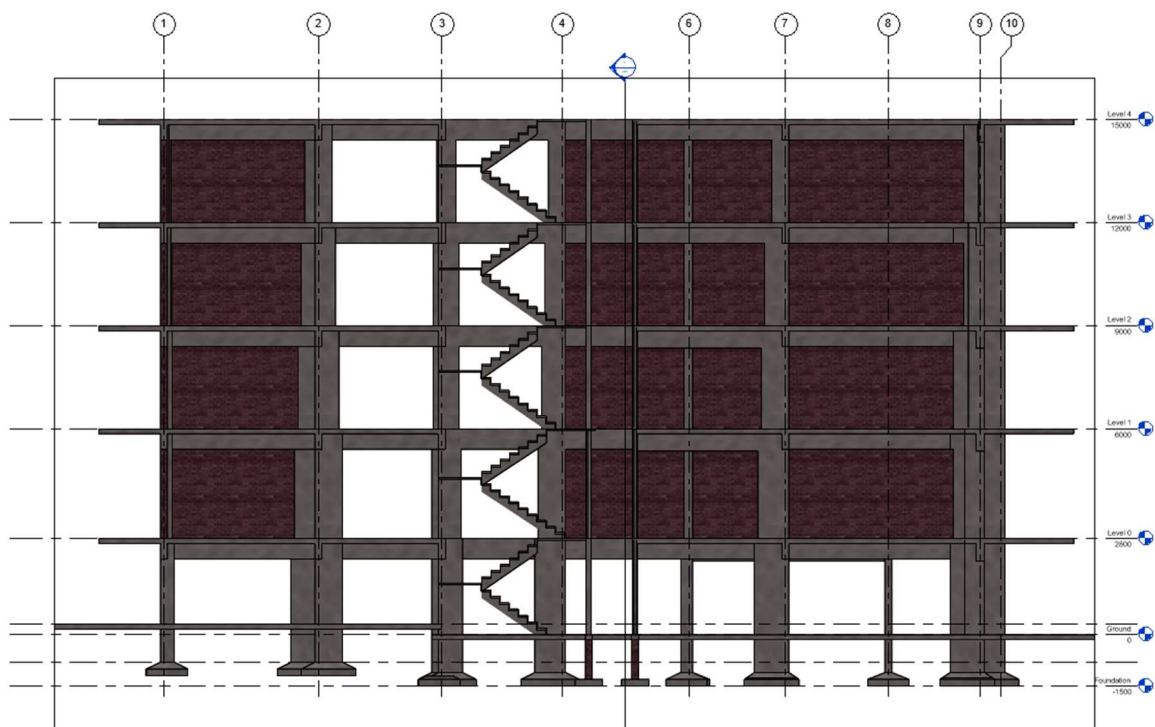
Όνομα – Seismostruct		Διάσταση	Οπλισμός	Βλάβη
K1	C1	30x30	4Ø16	
K2	C2	25x25	4Ø14	
K3	C3	25x25	4Ø14	
K4	C4	30x30	4Ø16	
K5	C5	50x20	6Ø14	
K6	C6	20x50	4Ø16	
K7	C7	20x50	4Ø16	
K8	C8	50x20	6Ø14	
K9	C9	20x60	6Ø16	
K10	C10	50x20	6Ø14	
K11	C11	25x25	4Ø14	
K12	C12	20x50	4Ø16	
K13	C13	25x25	4Ø14	
K14	C14	50x20	6Ø14	
K15	C15	20x50	4Ø16	
K16	C16	30x30	4Ø16	
K17	C17	80x20	4Ø16+4Ø14	
K18	C18	20x50	4Ø16	
K19	C19	25x25	4Ø14	
K20	C20	60x20	4Ø16+4Ø14	
K21	C21	80x20	4Ø16+4Ø14	
K22	C22	20x50	4Ø16	
K23	C23	20x50	4Ø16	
K24	C24	20x50	4Ø16	
K25	C25	80x20	4Ø16+4Ø14	
K26	C26	20x60	6Ø16	
K27	C27	20x70	6Ø16	
K28	C28	20x60	6Ø16	
K29	C29	20x70	6Ø16	
K30	C30	20x60	6Ø16	
T1	W31	130x15	4Ø14+10Ø8	
T2	W32	150x15	4Ø14+8Ø8	
T3	W33	130x15	4Ø14+10Ø8	

Πίνακας 3.10: Στοιχεία Δοκών Δ' Ορόφου
(Μαγουλάς, 2017)

Όνομα – Seismostruct		Διάσταση	Βλάβη	
			Αρ.	Δξ.
Δ1.1	B1	60x20		
Δ1.2	B2	60x20		
Δ1.3	B3	60x20		
Δ2.1	B4	60x20		
Δ2.2	B5	60x20		
Δ2.3	B6	60x20		
Δ3.1	B7	60x20		
Δ3.2	B8	60x20		
Δ3.3	B9	60x20		
Δ3.4	B10	60x20		
Δ3.5	B11	60x20		
Δ3.6	B12	60x20		
Δ5.1	B13	65x20		
Δ6.1	B15	60x20		
Δ6.2	B16	60x20		
Δ7.1	B17	60x20		
Δ7.2	B18	60x20		
Δ8.1	B19	60x20		
Δ9.1	B20	65x20		
Δ9.2	B21	65x20		
Δ10.1	B22	60x20		
Δ11.1	B23	60x20		
Δ12.1	B24	60x20		
Δ13.1	B25	60x20		
Δ14.1	B26	60x20		
Δ14.2	B27	60x20		
Δ14.3	B28	60x20		
Δ15.1	B29	60x20		
Δ15.2	B30	60x20		
Δ16.1	B34	60x20		
Δ17.1	B31	60x20		
Δ17.2	B32	60x20		
Δ18.1	B35-36	60x20		
Δ18.2	B37	60x20		
Δ18.3	B38	60x20		
Δ18.4	B39	60x20		
Δ19.1	B40	60x20		
Δ19.2	B41	60x20		
Δ20.1	B42	60x20		
Δ21.1	B43	60x20		
Δ22.1	B44	65x20		
Δ22.2	B45	60x20		
Δ22.3	B46	60x20		
Δ23.1	B47	60x20		
Δ24.1	B48	60x20		



Σχήμα 3.8: Τομή Βορρά-Νότου, με ισοσταθμία υποστυλωμάτων pilotis



Σχήμα 3.9: Τομή Βορρά-Νότου, με ανισοσταθμία υποστυλωμάτων pilotis

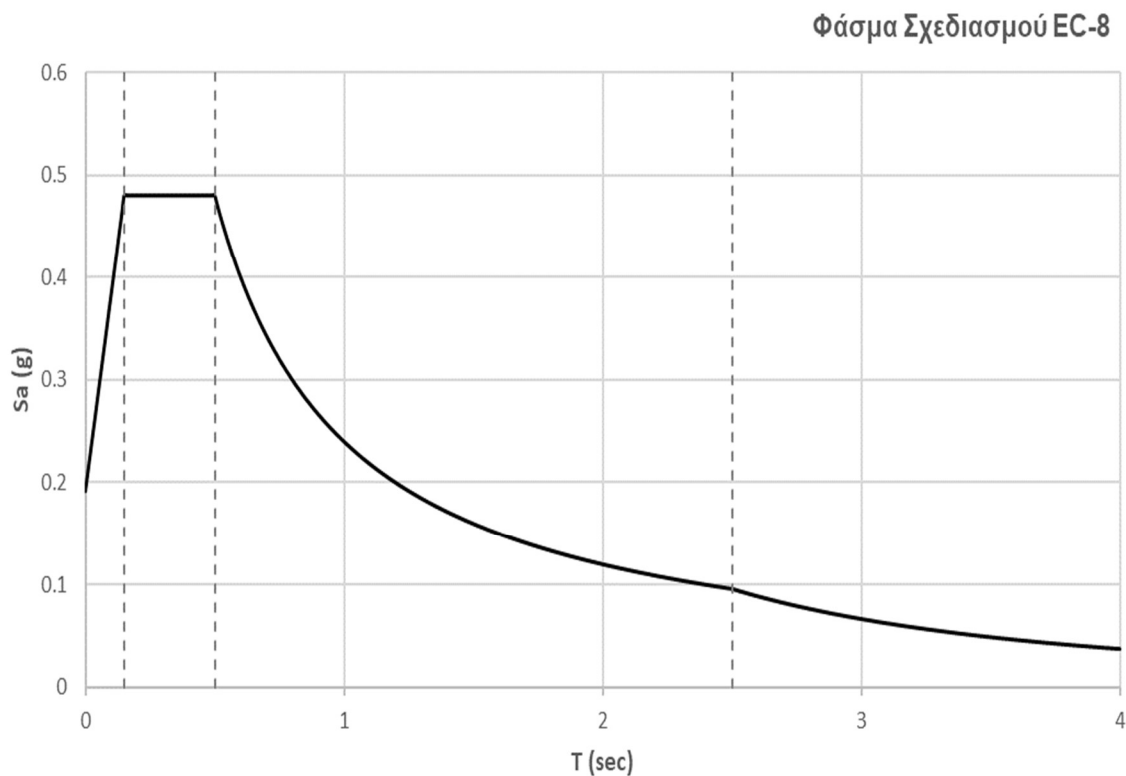
4

Στατικές Αναλύσεις

Για να ληφθεί μια πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς του κτηρίου, να διερευνηθεί ο ρόλος των τοιχοπληρώσεων, ο πιθανός μηχανισμός κατάρρευσης, η καμπύλη ικανότητας, καθώς και η κατανομή των βλαβών σε σχέση με τις βλάβες που καταγράφηκαν μετά το σεισμό της Αθήνας το 1999, πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές στατικές αναλύσεις με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίων για τις δύο διευθύνσεις του κτηρίου, με και χωρίς τοιχοπληρώσεις. Με αυτό το τρόπο συλλέγονται χρήσιμα συμπεράσματα που θα αξιοποιηθούν στη μοντελοποίηση για να πραγματοποιηθούν μη γραμμικές δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και επιβεβαιώνεται η υφιστάμενη βιβλιογραφία ώστε να υπάρξει κοινό σημείο αναφοράς.

Για τις ανάγκες της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές στατικές αναλύσεις με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίων για τις δύο διευθύνσεις του κτηρίου, με και χωρίς τοιχοπληρώσεις, ώστε να διερευνηθεί η κατανομή των βλαβών, ο πιθανός μηχανισμός κατάρρευσης, η καμπύλη ικανότητας, καθώς και η συνεισφορά των τοιχοπληρώσεων στην κατασκευή. Οι αναλύσεις έγιναν με την χρήση του λογισμικού Seismostruct (Seismostruct, 2018) και χρησιμοποιήθηκαν μέσες τιμές.

Όπως προαναφέρθηκε στο *Κεφάλαιο 3*, ο φέρων οργανισμός του κτηρίου προσομοιώθηκε με γραμμικά στοιχεία, ενώ οι πλάκες θεωρήθηκαν απαραμόρφωτες στο επίπεδό τους, ώστε να διασφαλιστεί η διαφραγματική τους λειτουργία. Οι προσομοιώσεις των δοκών, των υποστυλωμάτων, όπως και των τοιχωμάτων του κτηρίου έγινε με στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστικότητας, ενώ η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων πραγματοποιήθηκε με το προσομοίωμα του Crisafulli. Επίσης, επιλέχθηκαν ξεχωριστά κριτήρια επίδοσης για κάθε μέλος του φορέα, με αναφορά σε διαρροή από κάμψη, σε αστοχία από κάμψη καθώς και σε αστοχία από διάτμηση.

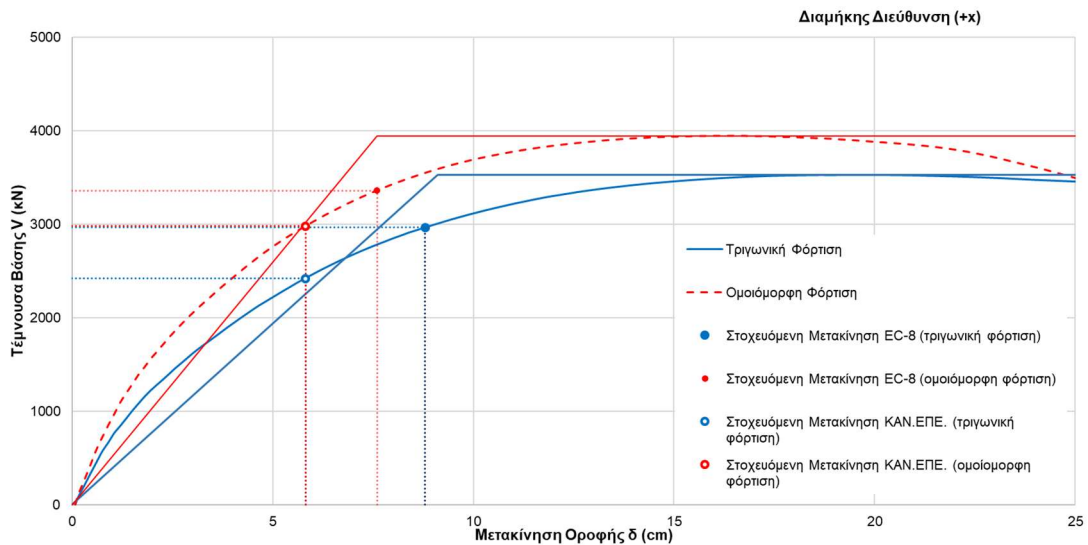


Σχήμα 4.1: Φάσμα Σχεδιασμού EC-8

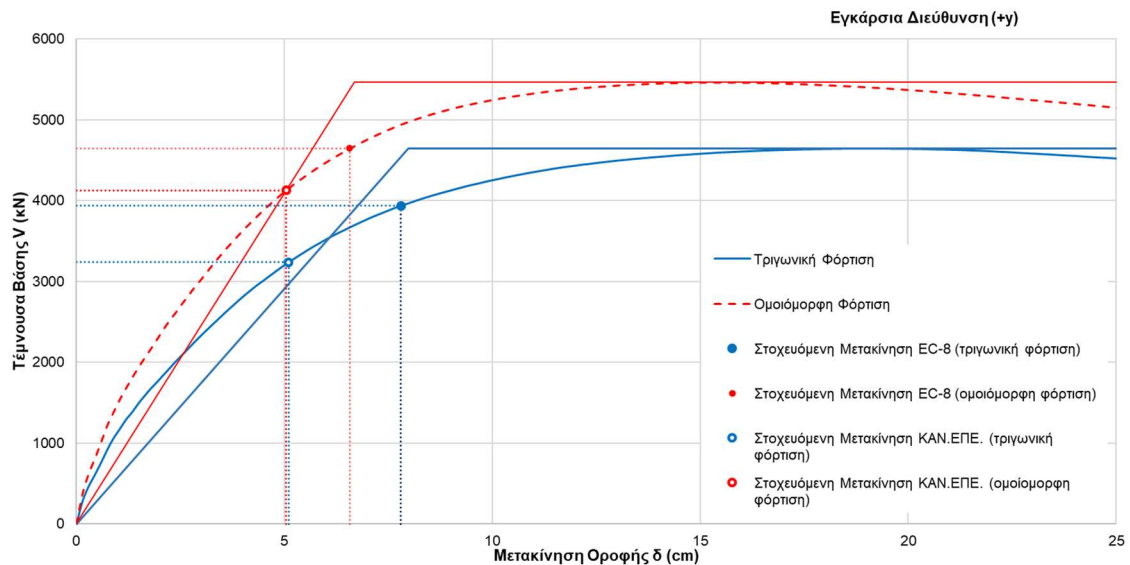
Τέλος, στο *Σχήμα 4.1* παρουσιάζεται το φάσμα σχεδιασμού του EC-8 για τη στάθμη επιτελεστικότητας στις «Σημαντικές Βλάβες» (Limit State of Significant Damage, SD), το έδαφος Β, η ζώνη σεισμικότητας Ι και ο συντελεστής απόσβεσης $\zeta=5\%$, ενώ η σεισμική επιτάχυνση λήφθηκε ίση με $0.16g$, η οποία προκύπτει από τη τοποθεσία που βρίσκεται το κτήριο.

4.1. Ανάλυση φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις

Στα Σχήματα 4.2 και 4.3, που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι καμπύλες ικανότητας ανά διεύθυνση του κτηρίου, χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τη στοχευόμενη μετακίνηση να υπολογίζεται βάση του EC-8 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με στάθμες επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» και «Σημαντικές Βλάβες», αντίστοιχα.



Σχήμα 4.2: Καμπύλη Ικανότητας στη διαμήκη διεύθυνση του κτηρίου (x), χωρίς τοιχοπληρώσεις



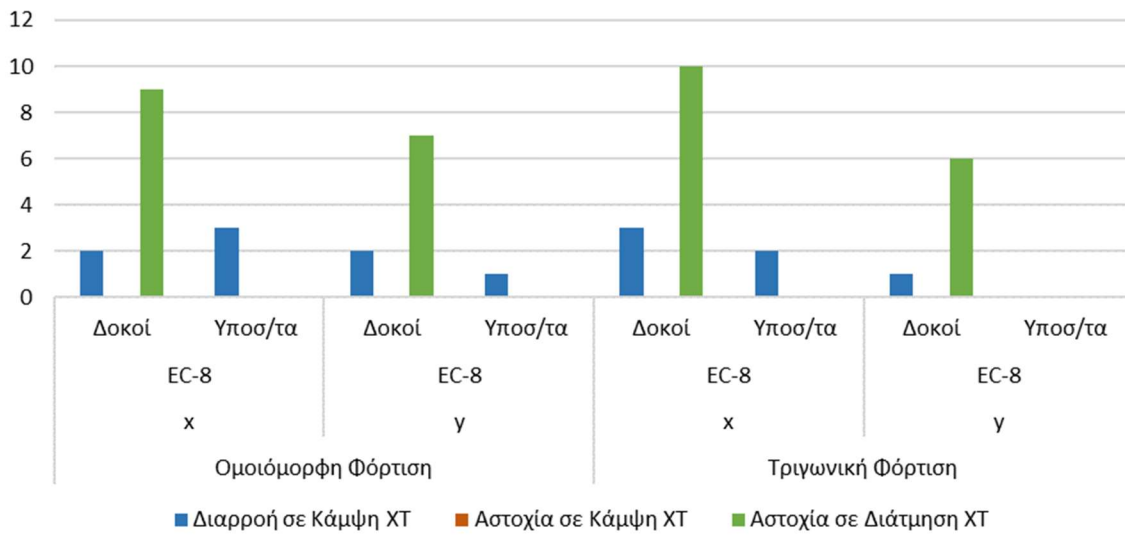
Σχήμα 4.3: Καμπύλη Ικανότητας στην εγκάρσια διεύθυνση του κτηρίου (y), χωρίς τοιχοπληρώσεις

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω Σχήματα, η αντοχή της κατασκευής στη διαμήκη διεύθυνση (διεύθυνση x – μικρή διεύθυνση του κτηρίου) είναι μικρότερη από ότι στην εγκάρσια, ενώ η απαίτηση είναι παρόμοια και στις δύο διευθύνσεις.

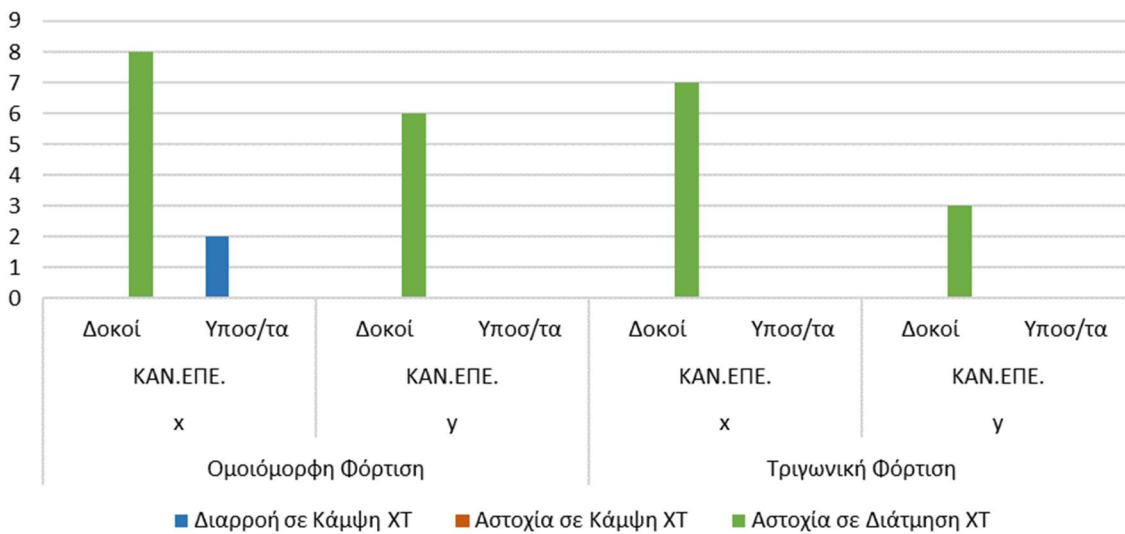
Οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις σε υποστυλώματα αρχίζουν να σχηματίζονται σε μετακίνηση οροφής 5.0cm περίπου, ενώ δεν παρατηρούνται καμπτικές αστοχίες παρά μόνο σε μετακινήσεις άνω των 18cm. Η στοχευόμενη μετακίνηση εκτιμώμενη σύμφωνα με τον EC-8

για στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» κυμαίνεται από 6.5 έως 8.8cm για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή των πλευρικών φορτίων, στις δύο διευθύνσεις του κτηρίου για το φάσμα του EC-8. Και στις δύο διευθύνσεις παρατηρούνται διατμητικές αστοχίες σε πολλές δοκούς με μετακινήσεις άνω των 4.0cm, ενώ δεν παρατηρούνται αντίστοιχες στα υποστυλώματα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα Σχήματα 4.4, 4.5 και 4.6, στα οποία φαίνονται οι βλάβες στα κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία του φορέα, όταν η καμπύλη ικανότητας έχει ικανοποιήσει τις τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για τη στάθμη επιτελεστικότητας που έχει οριστεί. Το πλήθος εκπλήρωσης βλαβών παρουσιάζονται σε όρους διαρροής από κάμψη, αστοχία σε κάμψη και αστοχία από διάτμηση, όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

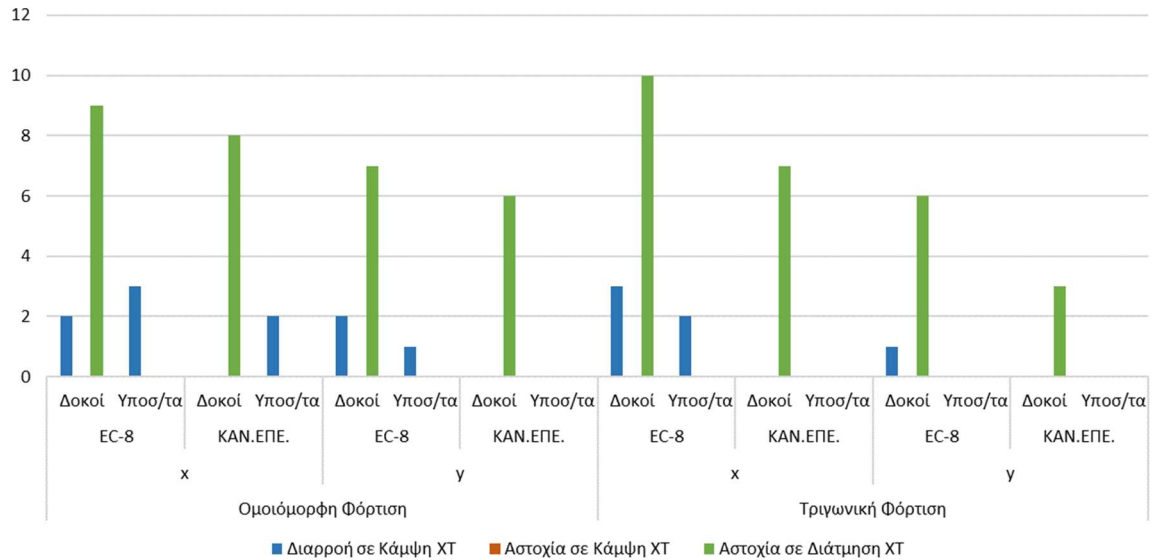


Σχήμα 4.4: Βλάβες κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων, σύμφωνα με τον EC-8 χωρίς τοιχοπληρώσεις



Σχήμα 4.5: Βλάβες κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠ.Ε. χωρίς τοιχοπληρώσεις

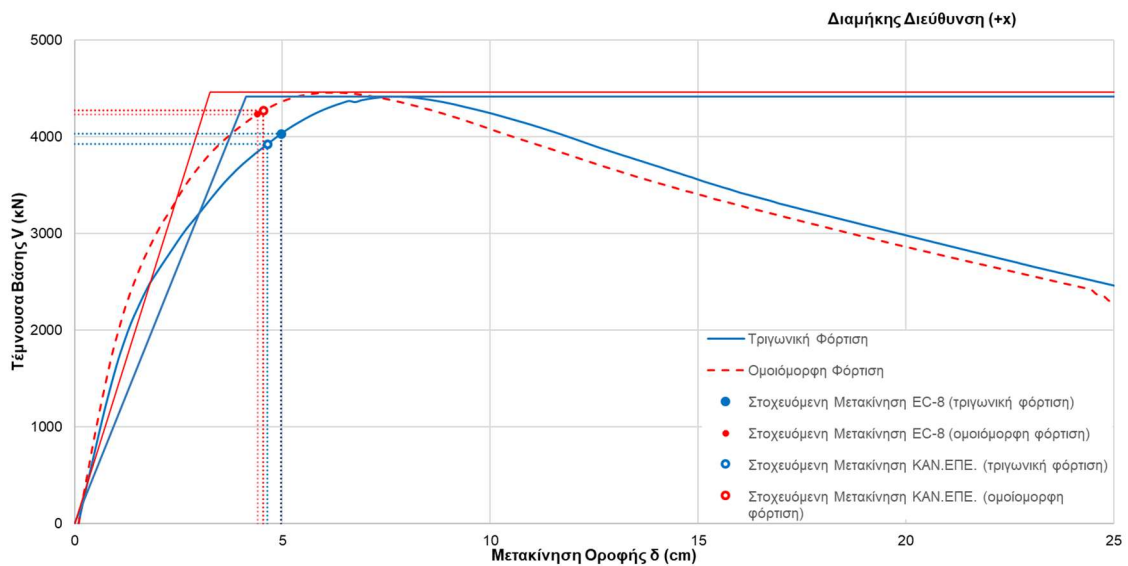
Οι βλάβες, αν και λαμβάνουν χώρα στη pilotis, δε βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις βλάβες που παρατηρήθηκαν κατά τον σεισμό της Αθήνας του 1999, καθώς διαρρέουν πολλές δοκοί και ελάχιστα υποστυλώματα.



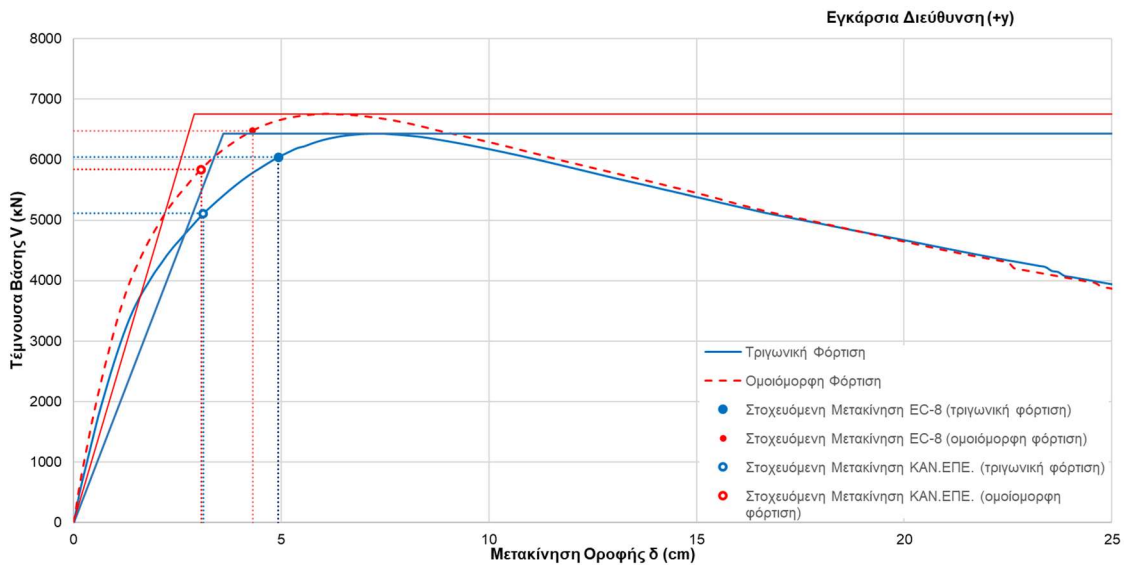
Σχήμα 4.6: Συγκεντρωτικό Σχήμα για βλάβες στον φέροντα οργανισμό χωρίς τοιχοπληρώσεις

4.2. Ανάλυση φορέα με τοιχοπληρώσεις

Στα Σχήματα 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται οι καμπύλες ικανότητας μαζί με τη διγραμμική προσέγγιση της καμπύλης του κτηρίου με τοιχοπληρώσεις με τη στοχευόμενη μετακίνηση να υπολογίζεται βάση του EC-8 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με στάθμες επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» και «Σημαντικές Βλάβες», αντίστοιχα.



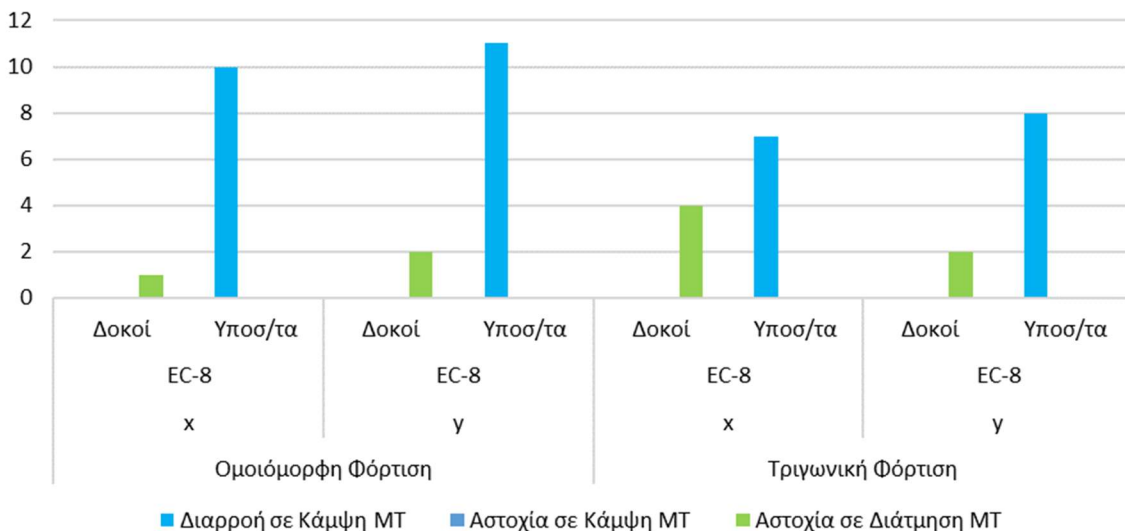
Σχήμα 4.7: Καμπύλη Ικανότητας στην εγκάρσια διεύθυνση του κτηρίου (y), με τοιχοπληρώσεις



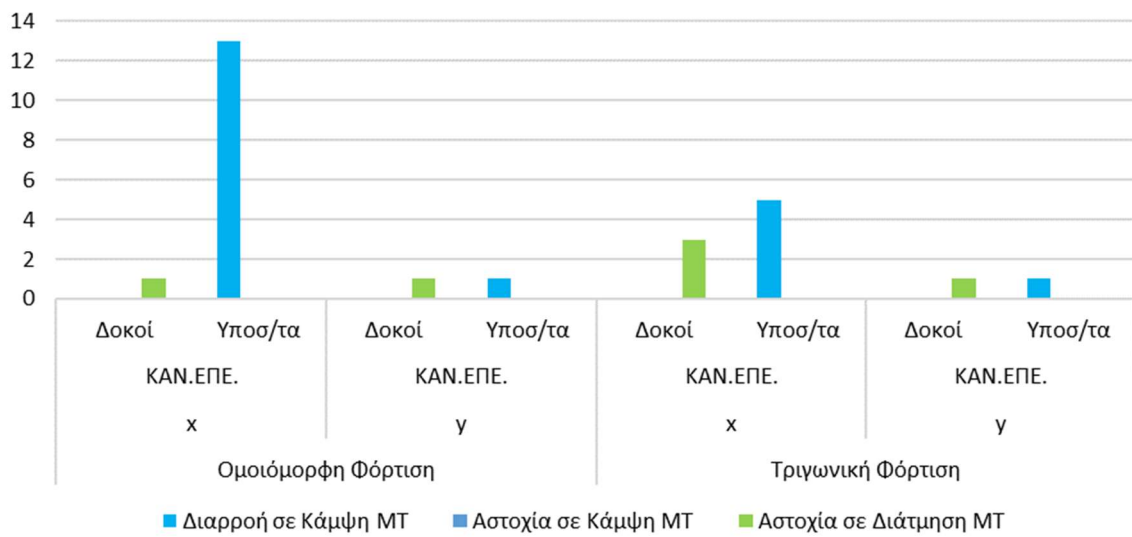
Σχήμα 4.8: Καμπύλη Ικανότητας στην εγκάρσια διεύθυνση του κτηρίου (y), με τοιχοπληρώσεις

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, για φέροντα οργανισμό χωρίς τοιχοπληρώσεις, η αντοχή της κατασκευής στη διαμήκη διεύθυνση (διεύθυνση x – μικρή διεύθυνση του κτηρίου) είναι μικρότερη από ότι στην εγκάρσια, ενώ η απαίτηση είναι παρόμοια και στις δύο διευθύνσεις.

Στα Σχήματα 4.9, 4.10 και 4.11 που ακολουθούν, φαίνονται οι βλάβες στα κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία του φορέα, όταν η καμπύλη ικανότητας έχει ικανοποιήσει τις τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για τη στάθμη επιτελεστικότητας, που έχει οριστεί. Το πλήθος εκπλήρωσης βλαβών παρουσιάζονται σε όρους διαρροής από κάμψη, αστοχία σε κάμψη και αστοχία από διάτμηση, όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

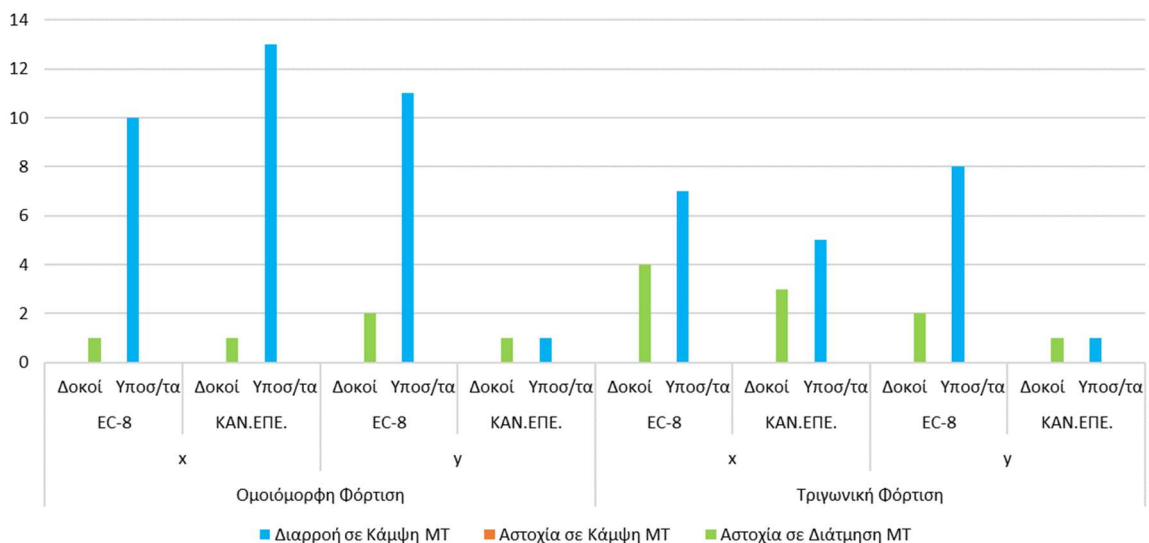


Σχήμα 4.9: Βλάβες κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων, σύμφωνα με τον EC-8 με τοιχοπληρώσεις



Σχήμα 4.10: Βλάβες κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων, σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. με τοιχοπληρώσεις

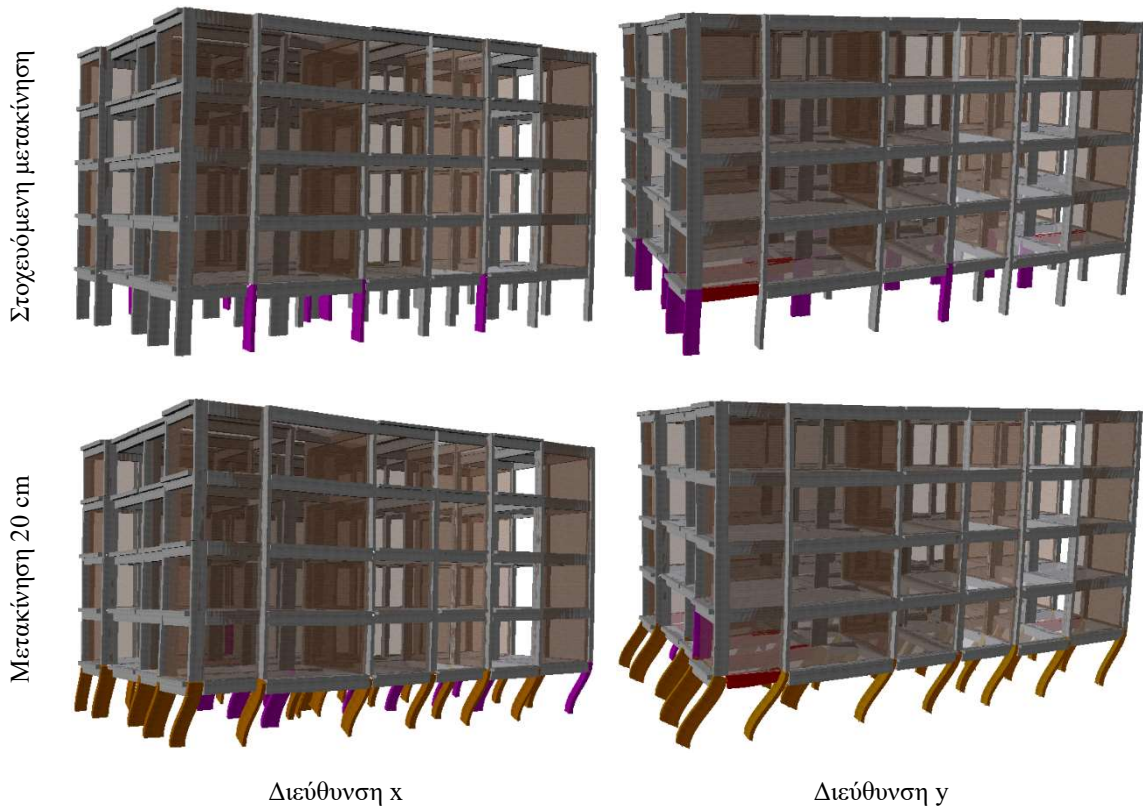
Οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις σε υποστυλώματα αρχίζουν να σχηματίζονται σε μετακίνηση οροφής 2.5cm περίπου, οι πρώτες καμπτικές αστοχίες παρατηρούνται στο τοίχωμα του ανελκυστήρα (στο οποίο είχαν παρατηρηθεί σημαντικές βλάβες και στον σεισμό του 1999) σε μετακίνηση 8.5cm, ενώ σε μεγαλύτερες μετακινήσεις παρατηρούνται αστοχίες σε υποστυλώματα κυρίως του ισογείου. Η στοχευόμενη μετακίνηση εκτιμώμενη σύμφωνα με τον EC-8 για στάθμη επιτελεστικότητα «Σημαντικές Βλάβες» κυμαίνεται από 4.3 έως 5.0cm για τις μη γραμμικές στατικές αναλύσεις, με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή των πλευρικών φορτίων, στις δύο διευθύνσεις του κτηρίου για το φάσμα του EC-8. Στην διεύθυνση y παρατηρούνται διατμητικές αστοχίες στο υποστυλώμα K29 του ισογείου σε μετακίνηση περίπου 6.0cm, μεγαλύτερη από την στοχευόμενη.



Σχήμα 4.11: Συγκεντρωτικό Σχήμα για βλάβες στον φέροντα οργανισμό με τοιχοπληρώσεις

Τέλος, παρατηρείται διατμητική αστοχία σε μία μόνο δοκό του ισογείου στην οποία πατάει με έμμεση φόρτιση μια εγκάρσια δοκός, σε μετακίνηση περίπου 2.5 με 3.5cm, δηλαδή

μικρότερη από την στοχευόμενη αστοχία. Οι βλάβες αυτές βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις βλάβες που παρατηρήθηκαν κατά τον σεισμό. Ωστόσο, παρατηρούνται διαρροές σε διαφορετικά υποστυλώματα και με διαφορετική σειρά σε σχέση με εκείνα που παρατηρήθηκαν στον Σεισμό της Αθήνας του 1999.



Σχήμα 4.12: Κατανομή βλαβών κτηρίου με τοιχοπληρώσεις από την μη γραμμική στατική ανάλυση στις δύο διευθύνσεις για τριγωνική κατανομή στην στοχευόμενη μετακίνηση και μετακίνηση 20cm.

(Μωβ η διαρροή και Πορτοκαλί η αστοχία των υποστυλωμάτων. Κόκκινο η διαρροή των δοκών)

Στην Σχήμα 4.12 παρουσιάζεται η κατανομή βλαβών από τις μη γραμμικές στατικές αναλύσεις στις δύο διευθύνσεις του κτηρίου, για τριγωνική κατανομή των πλευρικών δυνάμεων, στη στοχευόμενη μετακίνηση και σε μετακίνηση οροφής ίση με 20cm. Φαίνεται ότι στη στοχευόμενη μετακίνηση υπάρχουν κάποιες διαρροές σε υποστυλώματα κυρίως του ισογείου, ενώ παρατηρείται και μια διατμητική αστοχία σε δοκό με έμμεση στήριξη. Αντίθετα, στην μετακίνηση των 20cm παρατηρούνται εκτεταμένες αστοχίες στα υποστυλώματα κυρίως του ισογείου.

4.3. Αποτελέσματα μη γραμμικών στατικών αναλύσεων

Οι βλάβες, σε κάθε περίπτωση, εμφανίζονται στο ισόγειο του κτηρίου, και για στοχευόμενη μετακίνηση εκτιμώμενη σύμφωνα με τον EC-8 και τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. περιορίζονται σε διαρροές από κάμψη και σε αστοχίες από διάτμηση. Στο Σχήμα 4.13 φαίνεται ξεκάθαρα ότι ενώ στην περίπτωση της απουσίας τοιχοπληρώσεων υπερτερούν οι βλάβες σε οριζόντια στοιχεία από ότι στα κατακόρυφα, στην περίπτωση του τοιχοπληρωμένου κτηρίου συμβαίνει το

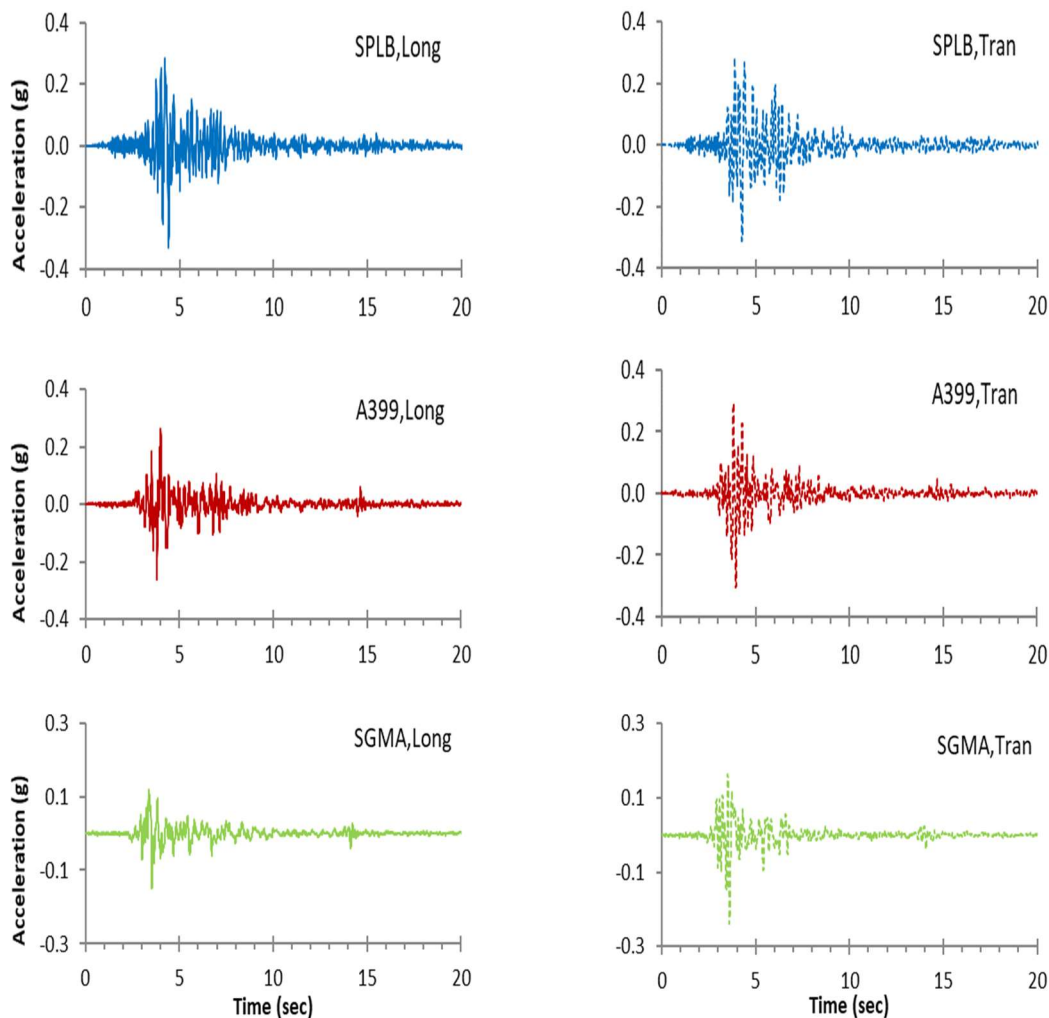
5

Δυναμικές Αναλύσεις

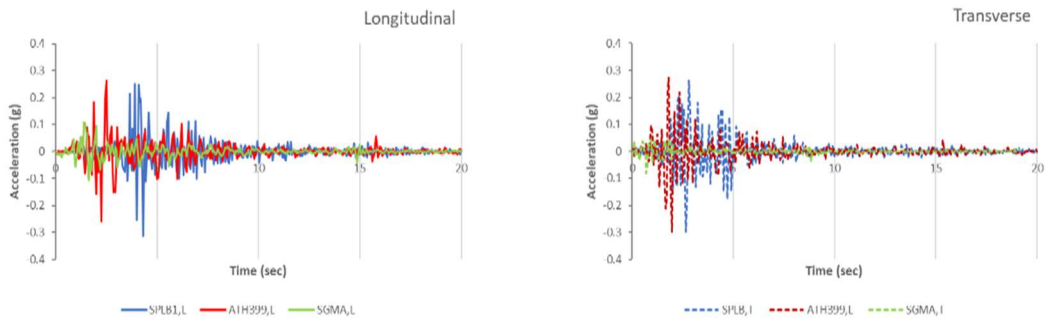
Αφού εξετάστηκε το κατά πόσο επηρεάζεται ο φορέας από την παρουσία τοιχοπληρώσεων, πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας από τρεις επιταχυνσιογράφους. Επειδή δεν υπήρχε καταγραφή κοντά στην εξεταζόμενη κατασκευή, επιλέχθηκαν οι καταγραφές από τους σταθμούς των Σεπολίων (SPLB), Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399) και Συντάγατος (SGMA). Σε κάθε μία από τις καταγραφές έγιναν περαιτέρω αναλύσεις για περιπτώσεις όπως η προσαύξηση των καταγραφών και ύπαρξη ανισοσταθμίας στα κατακόρυφα στοιχεία στο επίπεδο pilotis. Συνολικά, εκτός των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στο παρόν σύγγραμμα, πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από τριάντα έξι αναλύσεις.

Μετά το πέρας των μη γραμμικών στατικών αναλύσεων, και αφού διερευνήθηκε η σημασία συνυπολογισμού των τοιχοπληρώσεων στο φέροντα οργανισμό, πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Επειδή δεν υπήρχε καταγραφή κοντά στο υπό διερεύνηση κτήριο, επιλέχθηκαν δεδομένα από τις καταγραφές τριών σταθμών, των Σεπολίων (SPLB), του Συντάγματος (SGMA) και του Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399), ώστε να γίνει ακριβέστερη εκτίμηση της σεισμικής απαίτησης για τον συγκεκριμένο σεισμό της Αθήνας, από τον οποίο το κτήριο υπέστη βλάβες.

Τα επιταχυνσιογραφήματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1, ενώ στο Σχήμα 5.2 οι επιταχύνσεις που επιβλήθηκαν στις βάσεις των υποστυλωμάτων ανά διεύθυνση του κτηρίου. Αναλυτικά στοιχεία των σταθμών παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 1.1. Στο Σχήμα 5.3 φαίνονται τα ελαστικά φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων (με απόσβεση $\zeta=5\%$) μαζί με το φάσμα του Ευρωκώδικα (EC8-3, 2005) για ζώνη σεισμικότητας Ι και έδαφος Β.

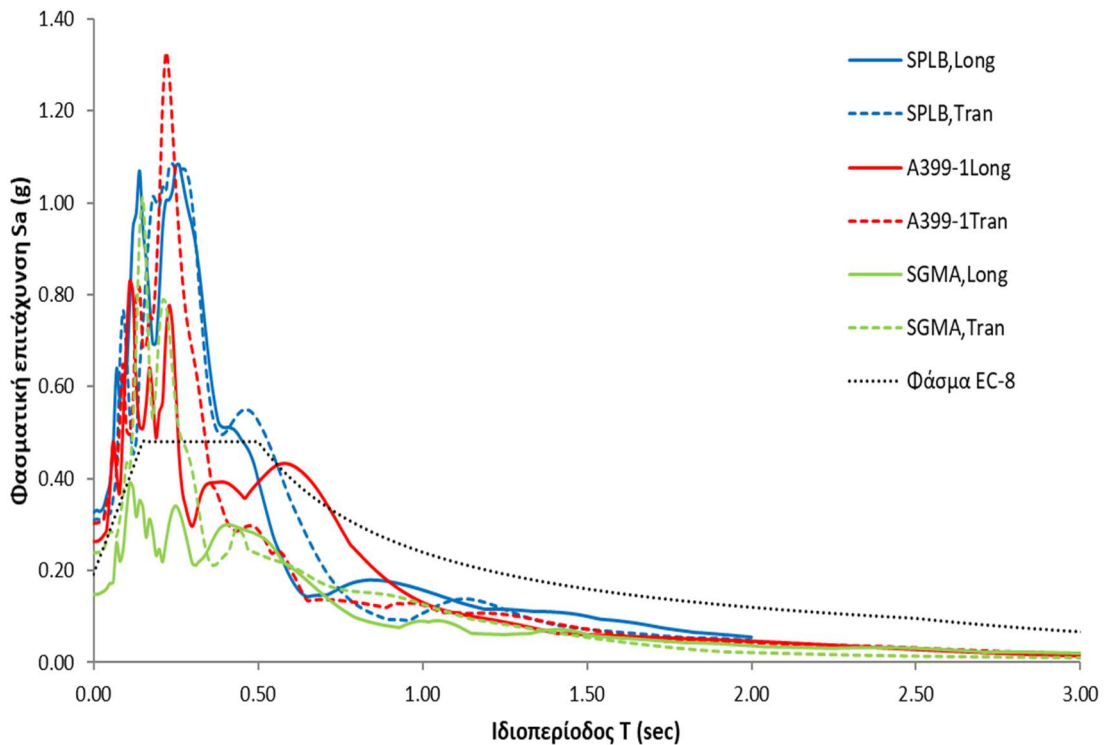


Σχήμα 5.1: Σεισμικές καταγραφές από τον σεισμό της Αθήνας του 1999 από τους σταθμούς στα Σεπόλια, στο Κ.Ε.Δ.Ε. και στο Σύνταγμα (διαμήκης και εγκάρσια συνιστώσα)



Σχήμα 5.2: Επιταχύνσεις που επιβλήθηκαν στις βάσεις των υποστυλωμάτων ανά διεύθυνση

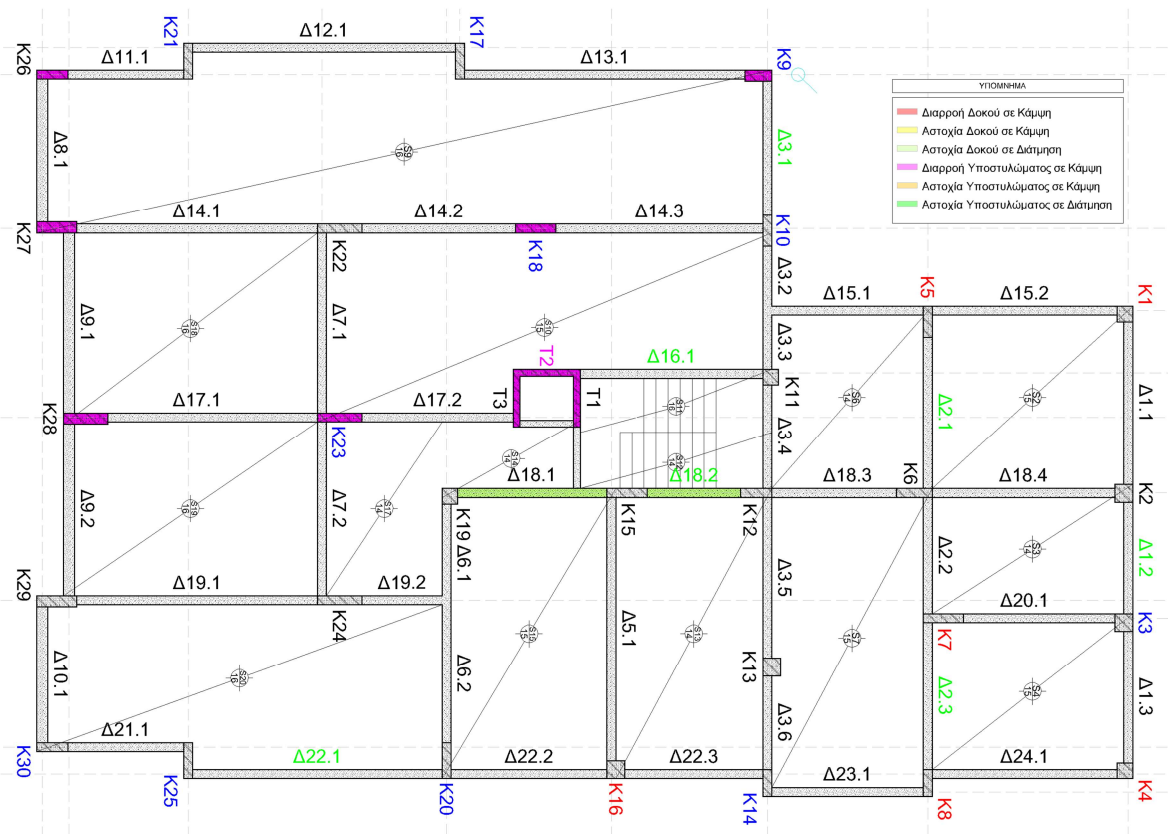
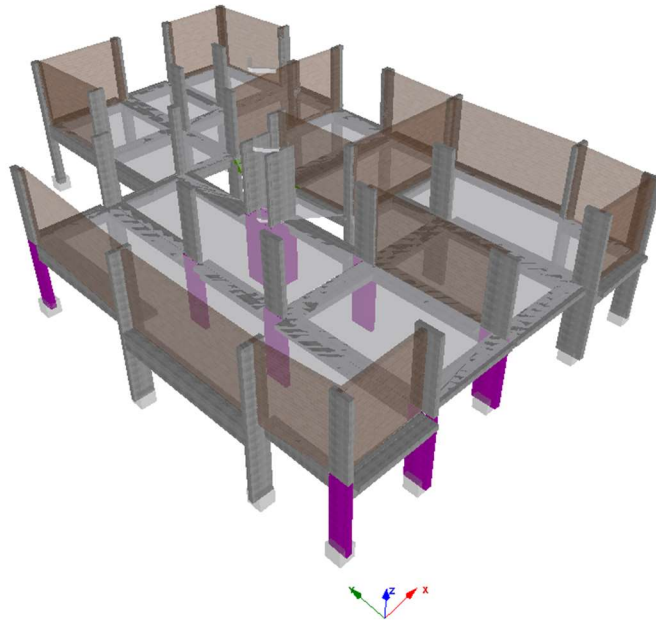
Σε όλες τις περιπτώσεις μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας, ο φορέας φορτίστηκε στη διεύθυνση x (μικρή πλευρά) με την διαμήκη συνιστώσα (Longitudinal) του σεισμού και κατά την διεύθυνση y (μεγάλη πλευρά) με την εγκάρσια συνιστώσα (Transverse), καθώς αυτός ήταν ο προσανατολισμός του κτηρίου.



Σχήμα 5.3: Ελαστικά φάσματα καταγραφών για 5% απόσβεση μαζί με το ελαστικό φάσμα του Ευρωκώδικα (EC8-3, 2005) για ζώνη σεισμικότητας I και έδαφος B.

5.1. Ανάλυση φορέα βάση καταγραφής του σταθμού SPLB

Οι βλάβες από τον σεισμό για την καταγραφή των Σεπολίων (SPBL) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4. Παρατηρούνται κυρίως διαρροές σε λίγα υποστυλώματα του ισογείου.



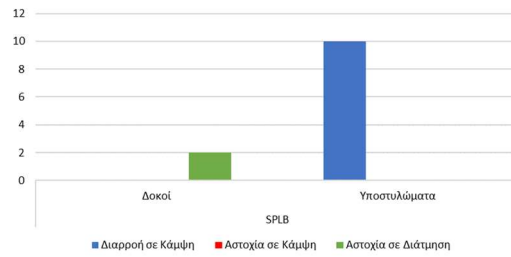
- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Τέμνουσα
- Κ** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοιώση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοιώση Οπλισμού
- Τ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοιώση Οπλισμού **Δ** Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατμητικές Βλάβες

Σχήμα 5.4: Κατανομή βλαβών κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

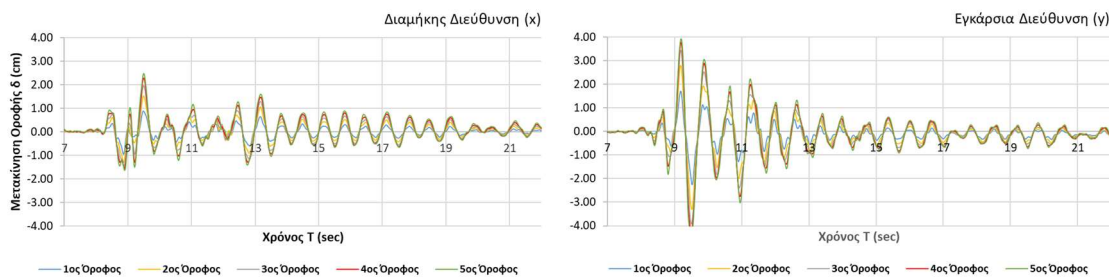
Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη διαρροή σε κάμψη εμφανίζεται σε τοίχωμα του πυρήνα (T3) ενώ η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ18.1). Συνολικά διαρρέουν σε κάμψη δέκα κατακόρυφα στοιχεία και αστοχούν σε τέμνουσα δύο οριζόντια, όλα στο επίπεδο pilotis. Η σειρά μόρφωσης των βλαβών καθώς και το πλήθος τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού SPLB

Χρονικό Βήμα	Στοιχείο	Είδος Βλάβης
8.85	T1	Διαρροή σε Κάμψη
9.14	T2	Διαρροή σε Κάμψη
9.18	K22	Διαρροή σε Κάμψη
9.19	Δ18.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.43	Δ18.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.47	T3	Διαρροή σε Κάμψη
9.48	K18	Διαρροή σε Κάμψη
9.48	K26	Διαρροή σε Κάμψη
9.49	K9	Διαρροή σε Κάμψη
9.49	K23	Διαρροή σε Κάμψη
9.49	K27	Διαρροή σε Κάμψη
9.50	K28	Διαρροή σε Κάμψη

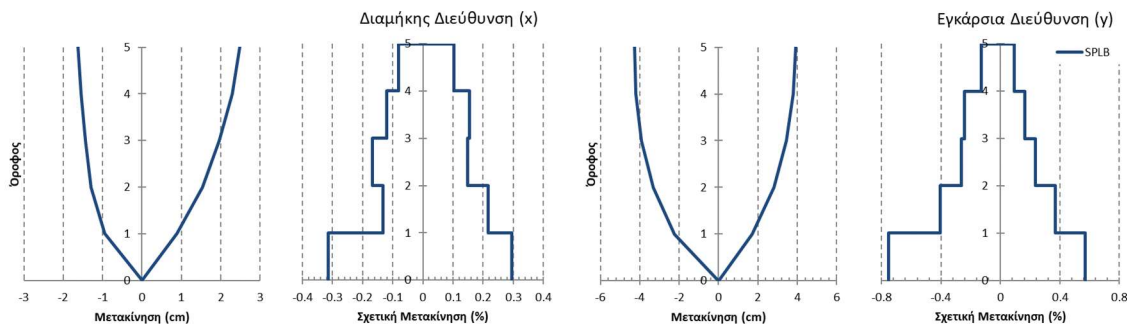


Στο Σχήμα 5.5 αποτυπώνονται οι ιστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Η μέγιστη μετακίνηση στη διαμήκη διεύθυνση (x) είναι 2.48cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 3.93cm.

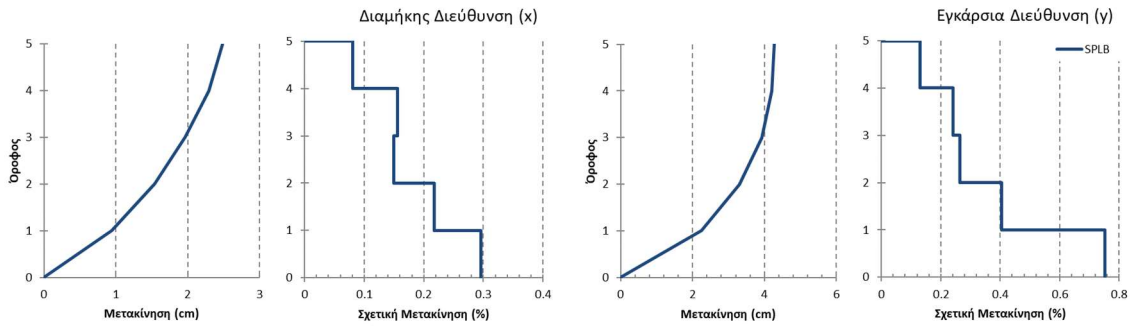


Σχήμα 5.5: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.6, ενώ οι μέγιστες μετακινήσεις και σχετικές μετακινήσεις κατ' απόλυτη τιμή φαίνονται στο Σχήμα 5.7.

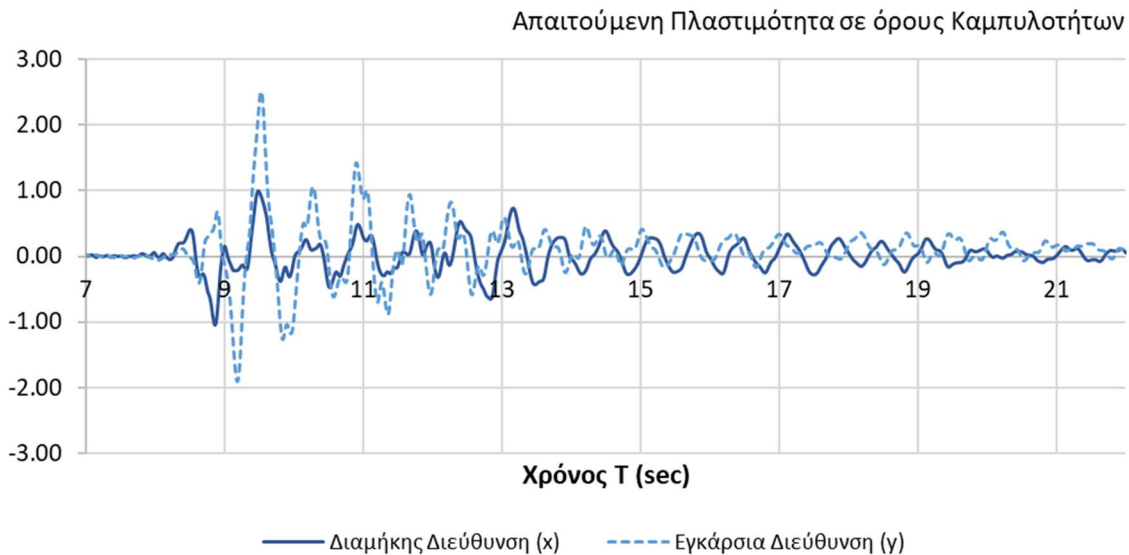


Σχήμα 5.6: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)



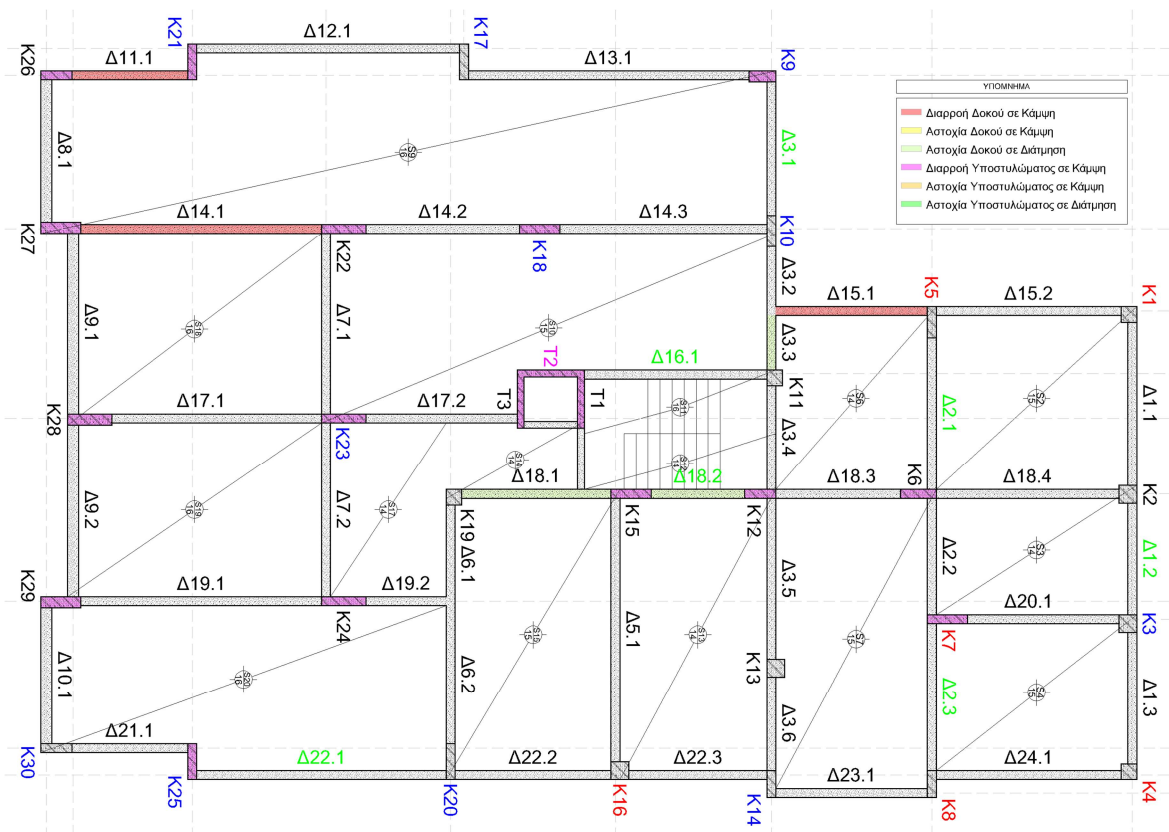
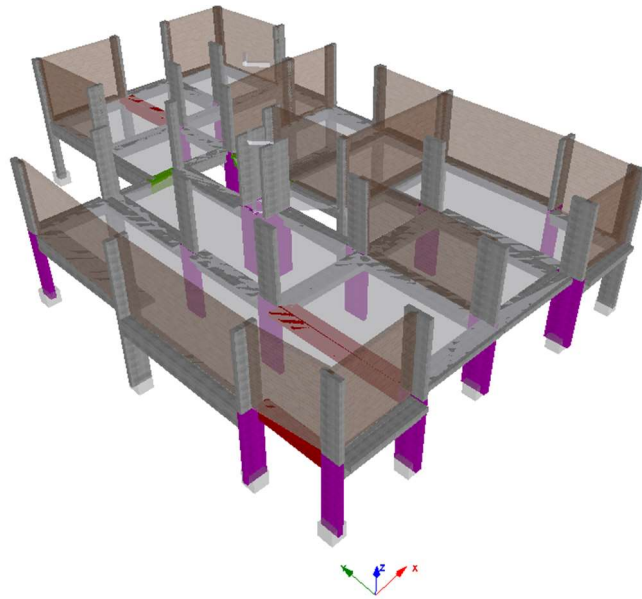
Σχήμα 5.7: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων, στις δύο διευθύνσεις, για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

Η μέγιστη σχετική μετακίνηση παρουσιάζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.29% και 0.75% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου αντίστοιχα. Τέλος, παρουσιάζεται το Σχήμα 5.8, όπου χαρακτηρίζεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστύλωμα K9 του επιπέδου pilotis.



Σχήμα 5.8: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος K9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

Από τα παραπάνω δεδομένα, είναι λοιπόν εύλογο ότι η σεισμική διέγερση ήταν μεγαλύτερη στην περιοχή που βρισκόταν το κτήριο, από τις καταγραφές του σταθμού των Σεπολίων. Για να προσεγγιστεί, λοιπόν, το μέγεθος της σεισμικής διέγερσης έγιναν διαδοχικές αναλύσεις με σταδιακή αύξηση της έντασης του σεισμού. Δηλαδή, σε κάθε διαδοχική ανάλυση προσαυξήθηκαν οι τιμές του επιταχυνσιογραφήματος κατά 5%. Έτσι, εκτιμήθηκε ότι η καταγραφή των Σεπολίων προσαυξημένη κατά 20% προσεγγίζει ικανοποιητικότερα τις παρατηρούμενες βλάβες σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις. Η κατανομή των βλαβών για αυτήν την αυξημένη καταγραφή παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9.



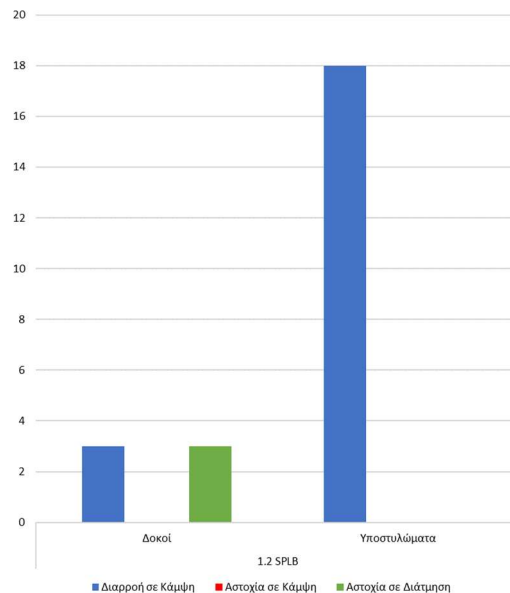
ΥΠΟΜΗΝΗΜΑ	
—	Διαρροή Δοκού σε Κάμψη
—	Αστοχία Δοκού σε Κάμψη
—	Αστοχία Δοκού σε Διάτμηση
—	Διαρροή Υποστυλώματος σε Κάμψη
—	Αστοχία Υποστυλώματος σε Κάμψη
—	Αστοχία Υποστυλώματος σε Διάτμηση

- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Τέμνουσα
- Κ** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- Τ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού **Δ** Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατμητικές Βλάβες

Σχήμα 5.9: Κατανομή βλαβών κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσάυζηση κατά 20%

Πίνακας 5.2 Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού SPLB με προσαύξηση κατά 20%

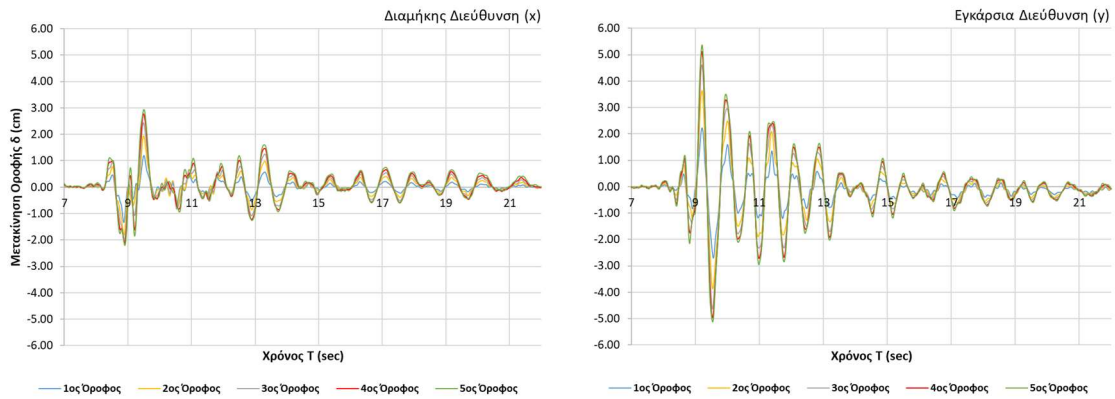
Χρονικό Βήμα	Στοιχείο	Είδος Βλάβης
8.83	T1	Διαρροή σε Κάμψη
8.84	T3	Διαρροή σε Κάμψη
8.87	Δ18.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
8.91	T.2	Διαρροή σε Κάμψη
9.16	K22	Διαρροή σε Κάμψη
9.16	K26	Διαρροή σε Κάμψη
9.17	K18	Διαρροή σε Κάμψη
9.17	Δ11.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.18	K9	Διαρροή σε Κάμψη
9.18	K27	Διαρροή σε Κάμψη
9.19	K23	Διαρροή σε Κάμψη
9.19	Δ14.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.20	K28	Διαρροή σε Κάμψη
9.44	Δ18.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.46	Δ3.3	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.50	K15	Διαρροή σε Κάμψη
9.50	K24	Διαρροή σε Κάμψη
9.50	K6	Διαρροή σε Κάμψη
9.51	K12	Διαρροή σε Κάμψη
9.51	K21	Διαρροή σε Κάμψη
9.51	K29	Διαρροή σε Κάμψη
9.51	Δ18.4	Διαρροή σε Κάμψη
9.52	K25	Διαρροή σε Κάμψη
9.52	K7	Διαρροή σε Κάμψη



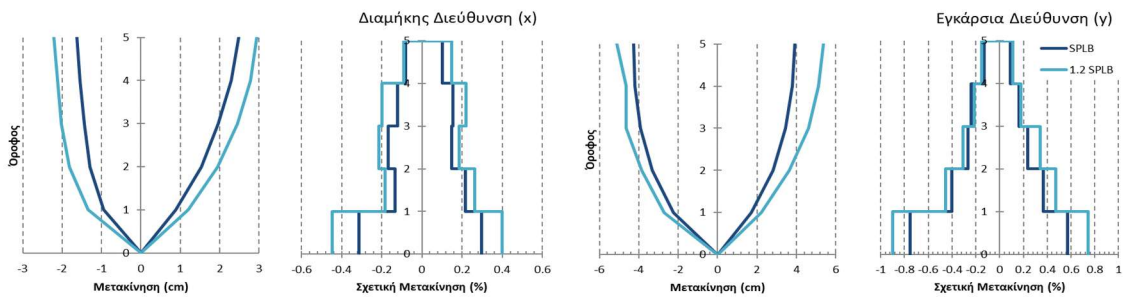
Όπως ήταν αναμενόμενο, ομοίως με την αρχική ανάλυση, η πρώτη διαρροή σε κάμψη εμφανίζεται σε τοίχωμα του πυρήνα (T3), ενώ η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ18.1). Σε αυτή την περίπτωση όμως, συνολικά διαρρέουν σε κάμψη δεκαοκτώ κατακόρυφα στοιχεία, τρία οριζόντια ενώ αστοχούν σε τέμνουσα επίσης τρία οριζόντια, όλα και πάλι στο επίπεδο pilotis.

Στον Πίνακα 5.2 φαίνεται η σειρά μόρφωσης των βλαβών για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων με συντελεστή προσαύξησης 1.20. Η κατανομή αυτή των βλαβών βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις παρατηρούμενες βλάβες του κτηρίου από τον σεισμό της Αθήνας. Έτσι, γίνεται μια αρχική εκτίμηση ότι οι επιταχύνσεις στην περιοχή ενδέχεται να ήταν κατά 20% περίπου αυξημένες σε σχέση με εκείνες της καταγραφής των Σεπολίων, δηλαδή της τάξης του 0.40 g, το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με τον χάρτη κατανομής των επιταχύνσεων που έδωσε το USGS (USGS National Earthquake Information Center).

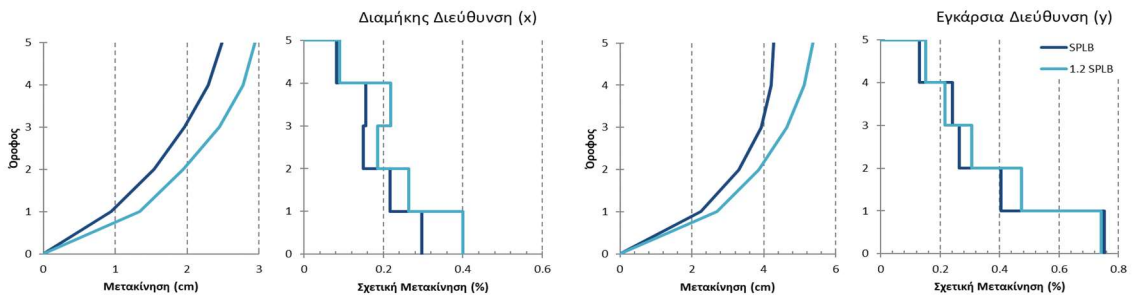
Στο Σχήμα 5.10 που ακολουθεί, αποτυπώνονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Η μέγιστη μετακίνηση στη διαμήκη διεύθυνση (x) ισούται με 2.94cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 5.36cm.



Σχήμα 5.10: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσαύξηση κατά 20%



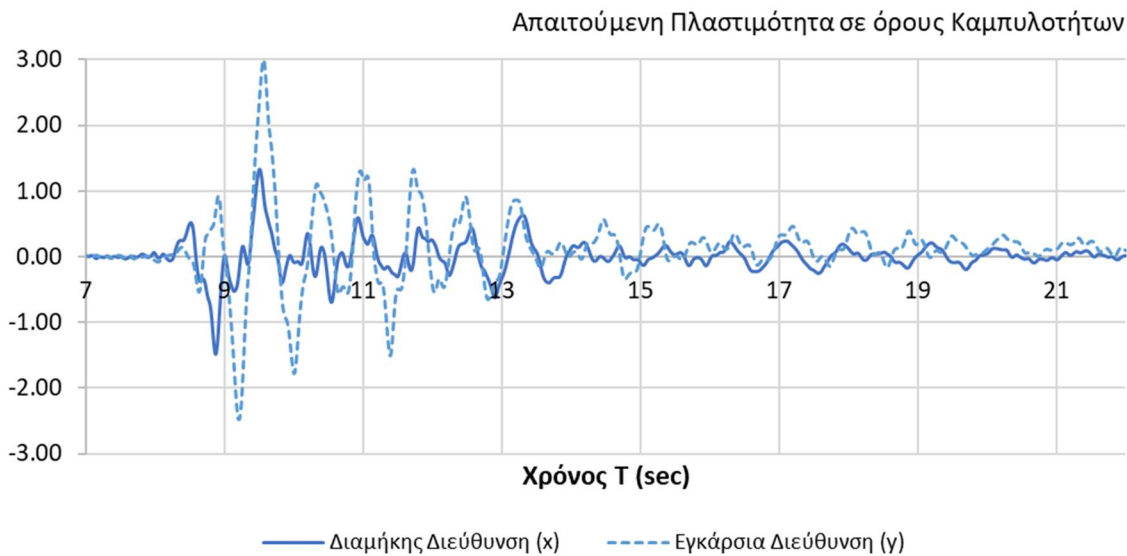
Σχήμα 5.11: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με συντελεστή προσαύξησης 1.0 και 1.2



Σχήμα 5.12: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στις δύο διευθύνσεις, για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με συντελεστή προσαύξησης 1.0 και 1.2

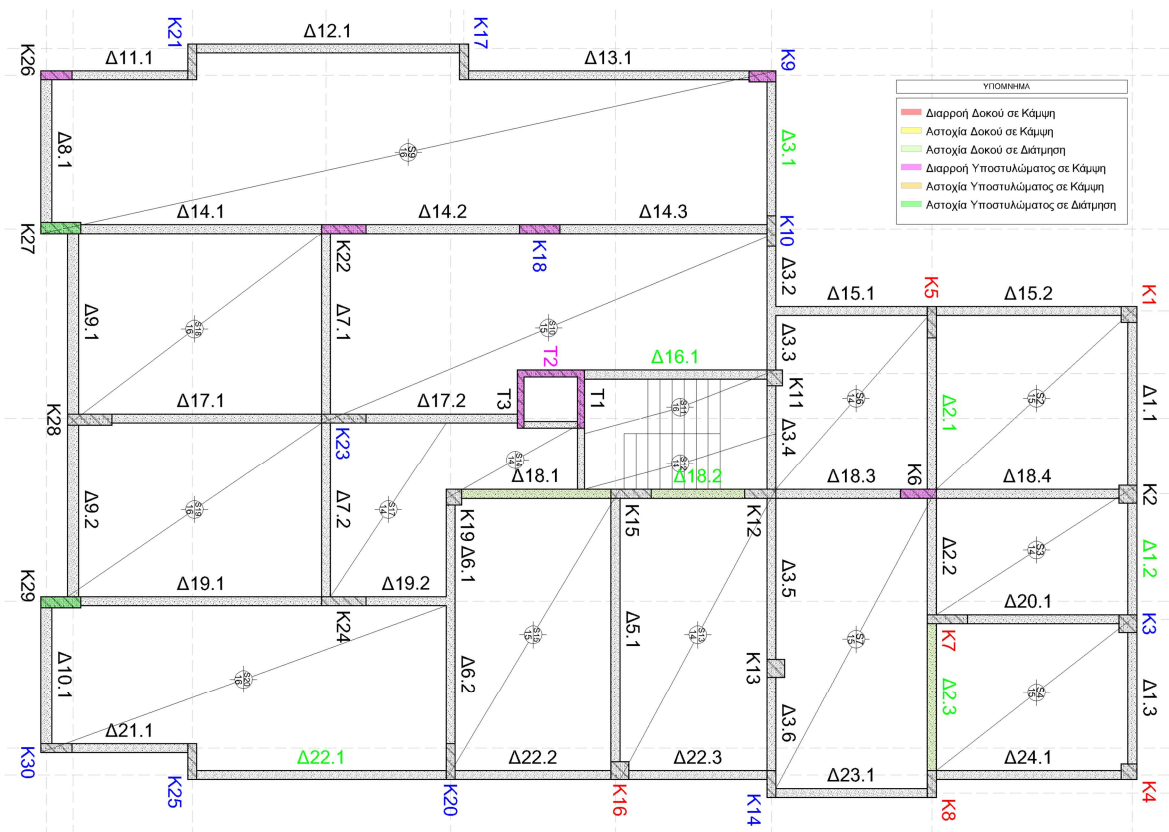
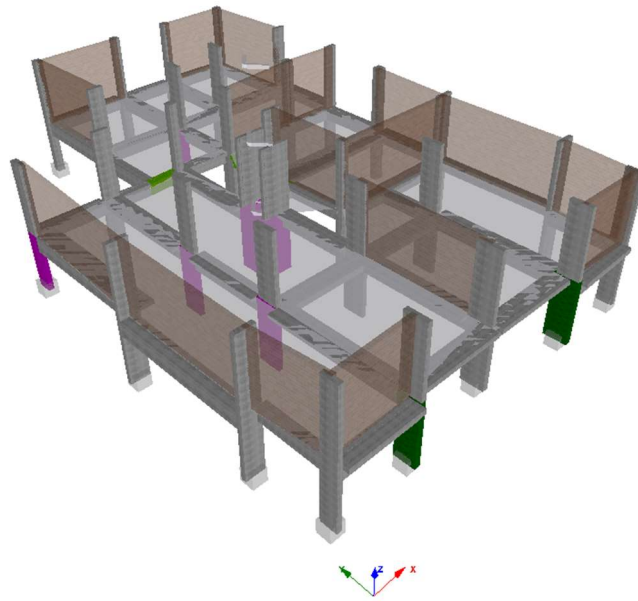
Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.11, ενώ οι μέγιστες καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.12. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση για την περίπτωση της μεγεθυμένης καταγραφής παρουσιάζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.39% και 0.74% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου, δικαιολογώντας τις βλάβες στα υποστυλώματα του ισογείου.

Τέλος, παρουσιάζεται το Σχήμα 5.13, όπου χαρακτηρίζεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστυλώμα K9 του επιπέδου pilotis.



Σχήμα 5.13: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος K9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσαύξηση κατά 20%

Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, λόγω ελλειπών στοιχείων κατά τη μοντελοποίηση του φέροντα οργανισμού επιλέχθηκε ύψος 3m ανά στάθμη ορόφου, και όλες οι αναλύσεις έγιναν βάση ισοσταθμίας των κατακόρυφων στοιχείων σε κάθε στάθμη του κτηρίου. Όταν γνωστοποιήθηκε η ύπαρξη ανισοσταθμίας στα υποστυλώματα και στον πυρήνα στο επίπεδο της pilotis (τα βορινά υποστυλώματα μέχρι τον πυρήνα είχαν ύψος 2.60m, ενώ τα υπόλοιπα 2.80m), γεννήθηκε το ερώτημα κατά πόσο η φαινομενικά μικρή αλλαγή του ύψους των διατομών τους θα επηρέαζε τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Αρχικά έγινε μοντελοποίηση και επιβλήθηκε η προσαυξημένη καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων κατά 20% ως απόρροια των ανωτέρω συμπερασμάτων. Το γεγονός, όμως, ότι σε επόμενη χρονοϊστορία παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις, χάριν διερεύνησης, το μοντέλο με ανισοσταθμία φορτίστηκε με τις επιταχύνσεις των αρχικών καταγραφών του σταθμού των Σεπολίων. Συνεπώς, η κατανομή των βλαβών για φορέα με ανισοσταθμία στο επίπεδο pilotis υπό διέγερση από την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.14.



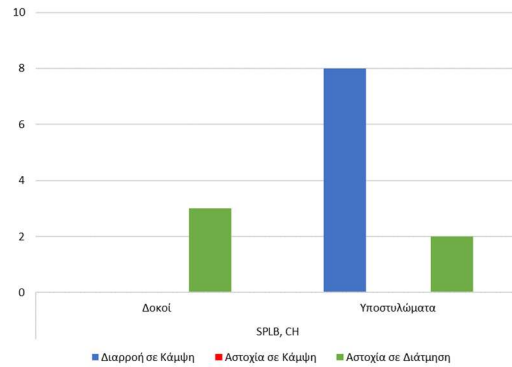
- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Τέμνουσα
- Κ** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- Τ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού **Δ** Ρηγματομένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατμητικές Βλάβες

Σχήμα 5.14: Κατανομή βλαβών κτηρίου με ανισοσταθμία υποστυλωμάτων στο επίπεδο pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

Στην περίπτωση της ανισοσταθμίας των κατακόρυφων στοιχείων στο επίπεδο pilotis παρατηρείται το ίδιο πλήθος βλαβών από την περίπτωση της ισοσταθμίας, με διαφορετικό τύπο βλαβών.

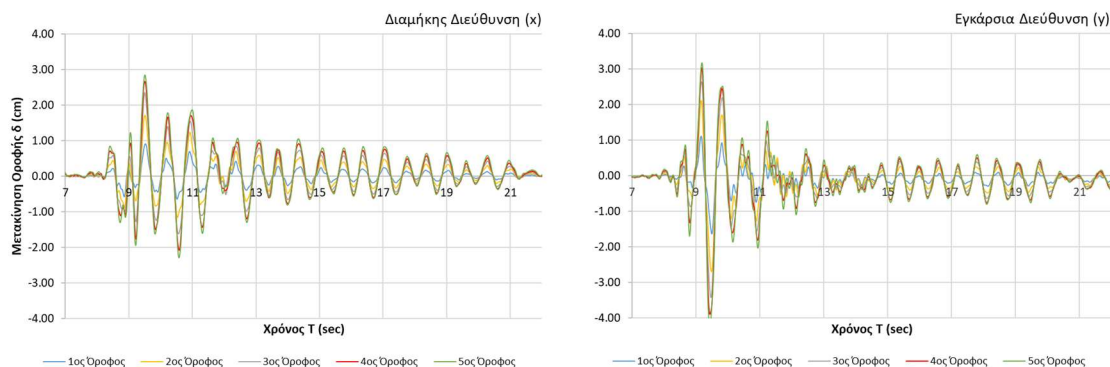
Πίνακας 5.3: Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου με ανισοσταθμία pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού SPLB

Χρονικό Βήμα	Στοιχείο	Είδος Βλάβης
9.15	T2	Διαρροή σε Κάμψη
9.40	Δ18.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.46	Δ3.3	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.47	T1	Διαρροή σε Κάμψη
9.47	K9	Διαρροή σε Κάμψη
9.47	K27	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.48	K22	Διαρροή σε Κάμψη
9.48	T3	Διαρροή σε Κάμψη
9.48	K29	Αστοχία σε Τέμνουσα
9.49	K18	Διαρροή σε Κάμψη
9.49	K6	Διαρροή σε Κάμψη
9.56	K26	Διαρροή σε Κάμψη
11.12	Δ18.1	Αστοχία σε Τέμνουσα



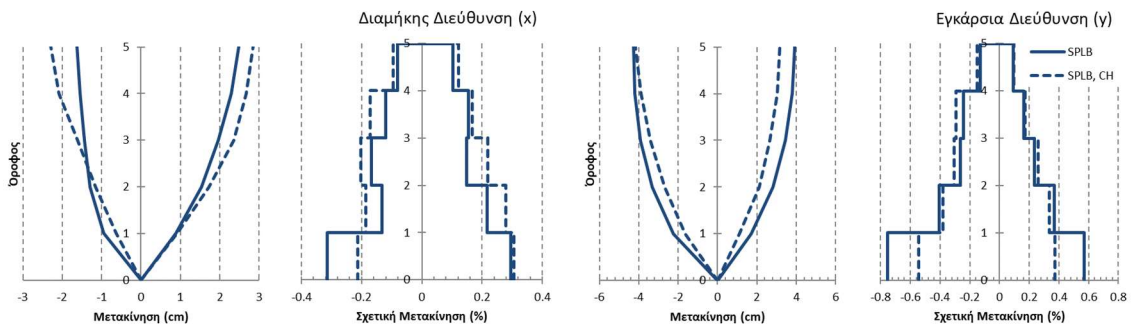
Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη διαρροή σε κάμψη εμφανίζεται σε τοίχωμα του πυρήνα (T2), στοιχείο που είχαν παρατηρηθεί βλάβες κατά το σεισμό της Αθήνας, ενώ η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ18.2). Συνολικά διαρρέουν σε κάμψη οκτώ κατακόρυφα στοιχεία, ενώ σε τέμνουσα αστοχούν τρία οριζόντια και δύο κατακόρυφα στοιχεία, όλα στο επίπεδο pilotis. Το πλήθος ανά κατηγορία και η σειρά μόρφωσης των βλαβών παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.3.

Στο Σχήμα 5.15 απεικονίζονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Η μέγιστη μετακίνηση για το μοντέλο με ύπαρξη ανισοσταθμίας στη στάθμη pilotis για τη διαμήκη διεύθυνση (x) ισούται με 2.84cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 4.18cm, από 2.47cm και 4.27cm αντίστοιχα για την περίπτωση ισοσταθμίας. Φαίνεται, ότι η μετακίνηση κορυφής ελαφρώς αυξάνεται στην πιο εύκαμπτη διεύθυνση του κτηρίου με την ύπαρξη μιας ανισοσταθμίας 40cm και μείωσης 20cm στα κατακόρυφα στοιχεία της στάθμης pilotis.

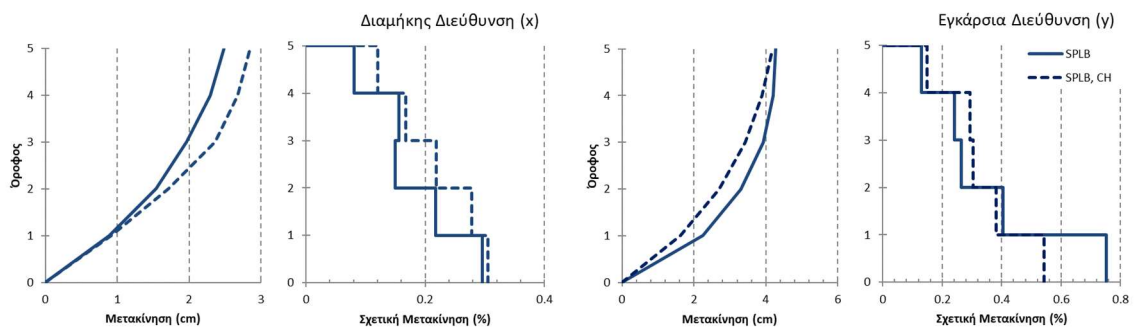


Σχήμα 5.15: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

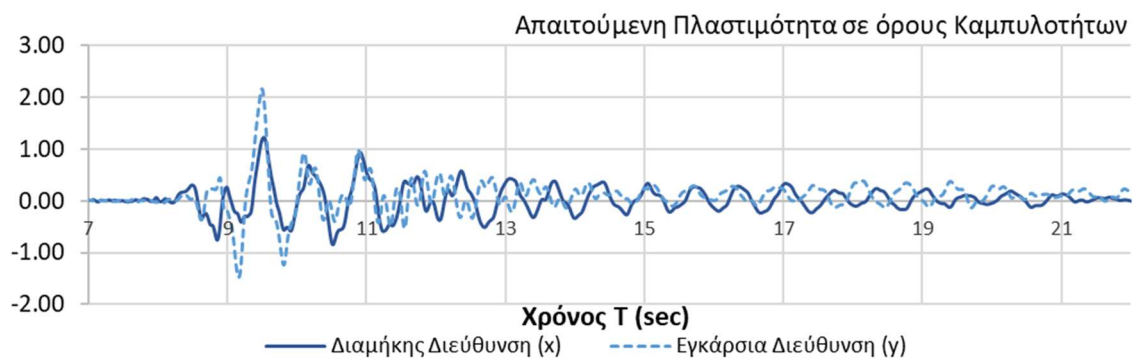
Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο *Σχήμα 5.16*, ενώ οι μέγιστες καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο *Σχήμα 5.17*. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση για την περίπτωση της καταγραφής με την παρουσία ανισοσταθμίας παρουσιάζεται στο ισογείο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.30% και 0.54% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου, δικαιολογώντας τις βλάβες στα υποστυλώματα του ισογείου. Τέλος παρουσιάζεται το *Σχήμα 5.18*, όπου χαρακτηρίζεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστυλώμα K9 του επιπέδου pilotis.



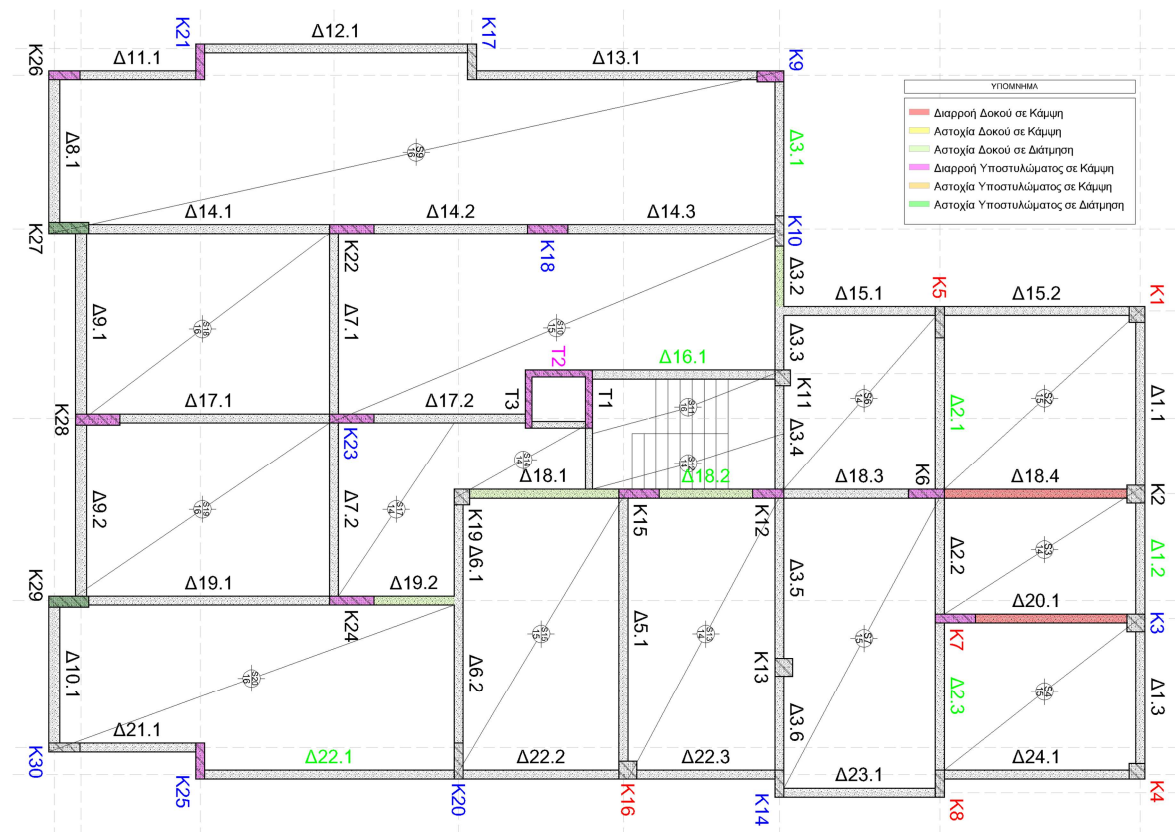
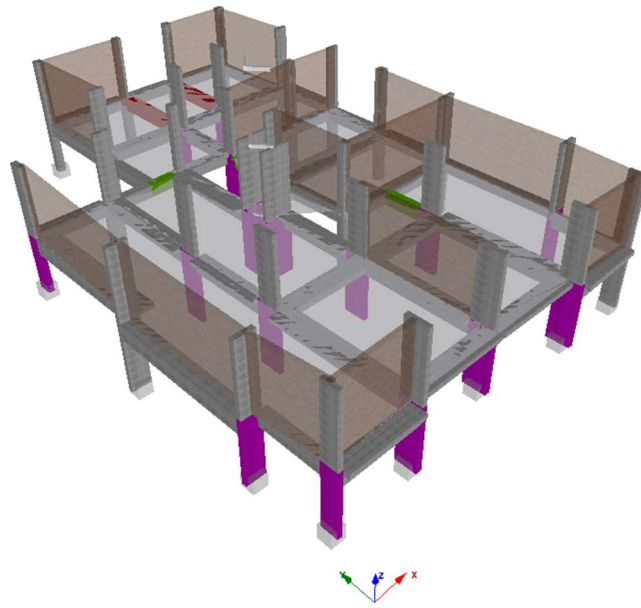
Σχήμα 5.16: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με και χωρίς ανισοσταθμία για τα κατακόρυφα στοιχεία της pilotis



Σχήμα 5.17: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στις δύο διευθύνσεις για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με και χωρίς ανισοσταθμία για τα κατακόρυφα στοιχεία της pilotis



Σχήμα 5.18: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος K9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

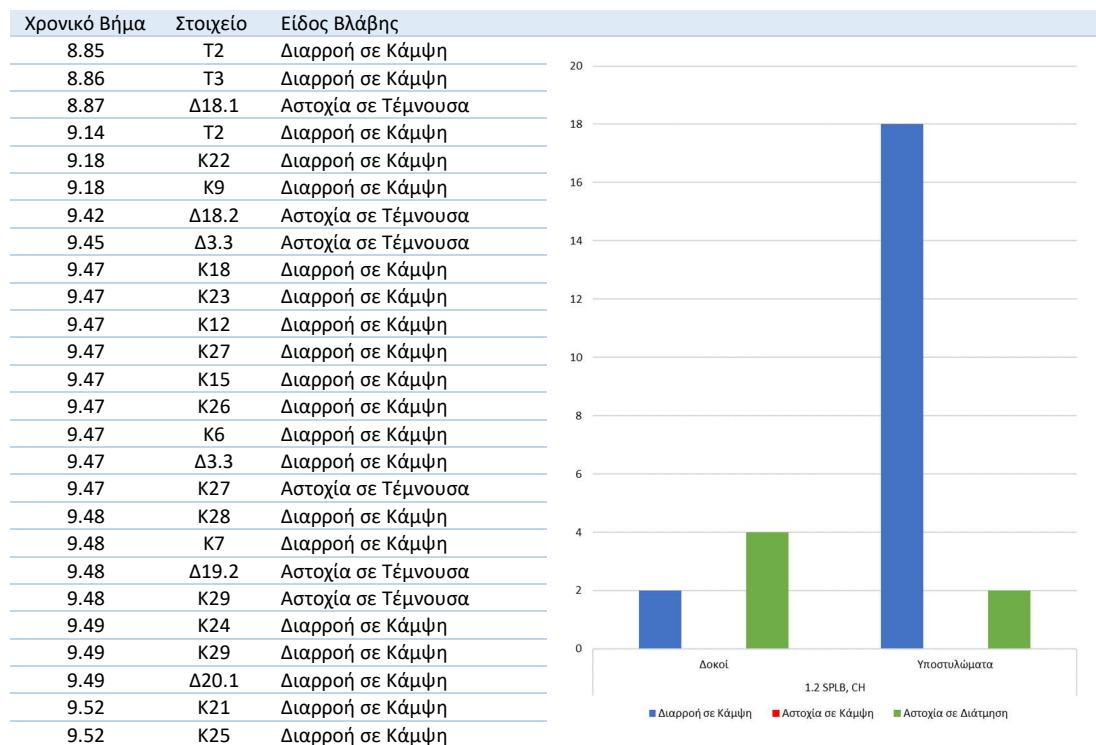


- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Τέμνουσα
- Κ** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- Τ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού **Δ** Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διαμητικές Βλάβες

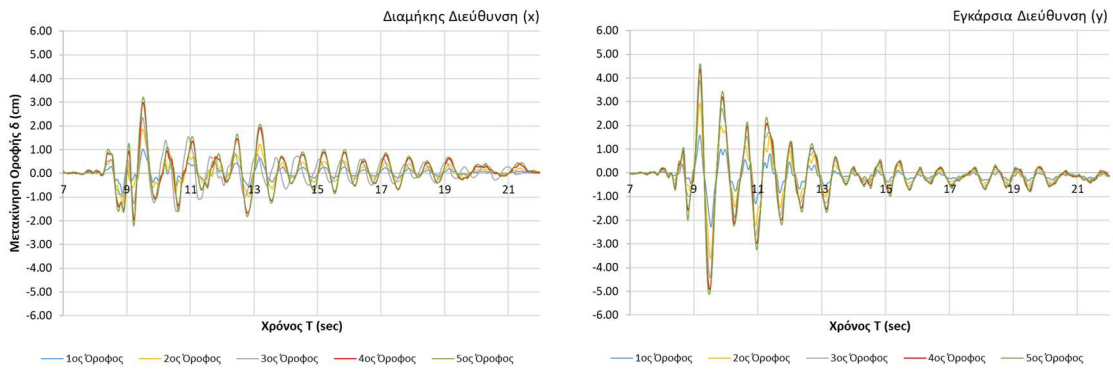
Σχήμα 5.19: Κατανομή βλαβών κτηρίου με ανισοσταθμία υποστυλωμάτων στο επίπεδο pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσαύξηση κατά 20%

Τέλος, παρουσιάζονται τα δεδομένα για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB), όπου πραγματοποιήθηκε ανάλυση σε ανισόσταθμο μοντέλο στο επίπεδο pilotis και προσαύξηση του επιταχυνσιογραφήματος κατά 20%. Οι βλάβες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.19. Οι παρατηρούμενες βλάβες είναι ένας συνδυασμός των προηγούμενων περιπτώσεων. Ακολουθεί, δηλαδή, το πλήθος βλαβών κατακόρυφων στοιχείων της περίπτωσης ισοσταθμίας με προσαυξημένο επιταχυνσιογράφημα κατά 20% , ενώ το είδος των κριτηρίων απόδοσης συμμορφώνεται με το μοντέλο με ανισοσταθμία στο επίπεδο pilotis. Η πρώτη διαρροή σε κάμψη εμφανίζεται, όπως και προηγουμένως, σε τοίχωμα του πυρήνα (T1), ενώ η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ18.1). Συνολικά διαρρέουν σε κάμψη δεκαοκτώ κατακόρυφα στοιχεία, ενώ επίσης, αστοχούν δύο δοκοί. Τέλος σε τέμνουσα αστοχούν τέσσερα οριζόντια στοιχεία και δύο κατακόρυφα, όλα στο επίπεδο pilotis. Το πλήθος ανά κατηγορία και η σειρά μόρφωσης των βλαβών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου με ανισοσταθμία pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσαύξηση κατά 20%

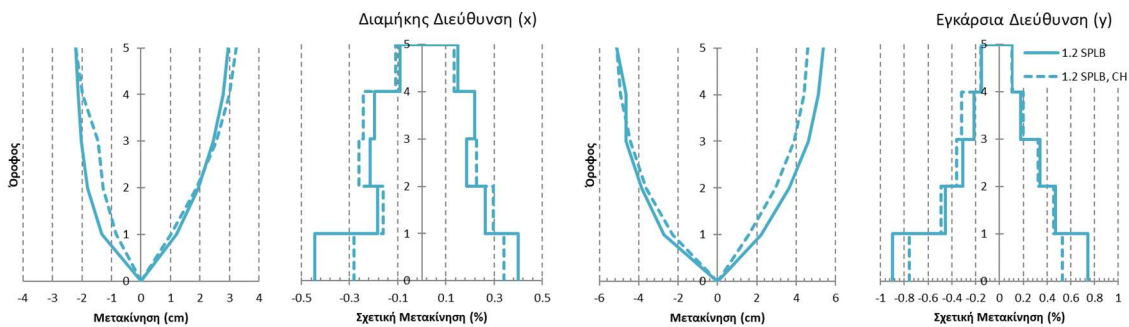


Στο Σχήμα 5.20 φαίνονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Η μέγιστη μετακίνηση για το μοντέλο με ύπαρξη ανισοσταθμίας στη στάθμη pilotis και προσαύξηση του επιταχυνσιογραφήματος κατά 20% για τη διαμήκη διεύθυνση (x) ισούται με 3.21cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 5.12cm, από 2.94cm και 5.36cm αντίστοιχα για την περίπτωση ισοσταθμίας. Όπως προηγουμένως, ότι η μετακίνηση κορυφής ελαφρώς αυξάνεται στην πιο εύκαμπτη διεύθυνση του κτηρίου με την ύπαρξη μιας ανισοσταθμίας 40cm και μείωσης 20cm στα κατακόρυφα στοιχεία της στάθμης pilotis

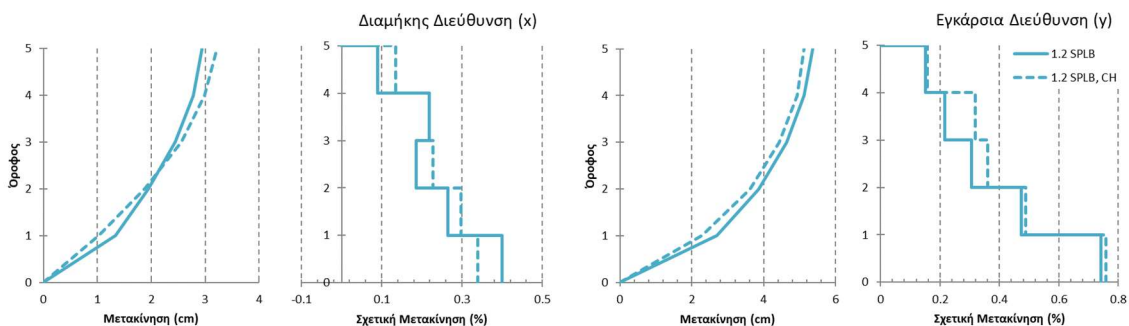


Σχήμα 5.20: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσαύξηση κατά 20%

Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων αποτυπώνονται στο Σχήμα 5.21, ενώ οι μέγιστες καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.22. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση για την περίπτωση της καταγραφής με την παρουσία ανισοσταθμίας και προσαύξησης επιταχύνσεων κατά 20% παρουσιάζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.34% και 0.75% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου.

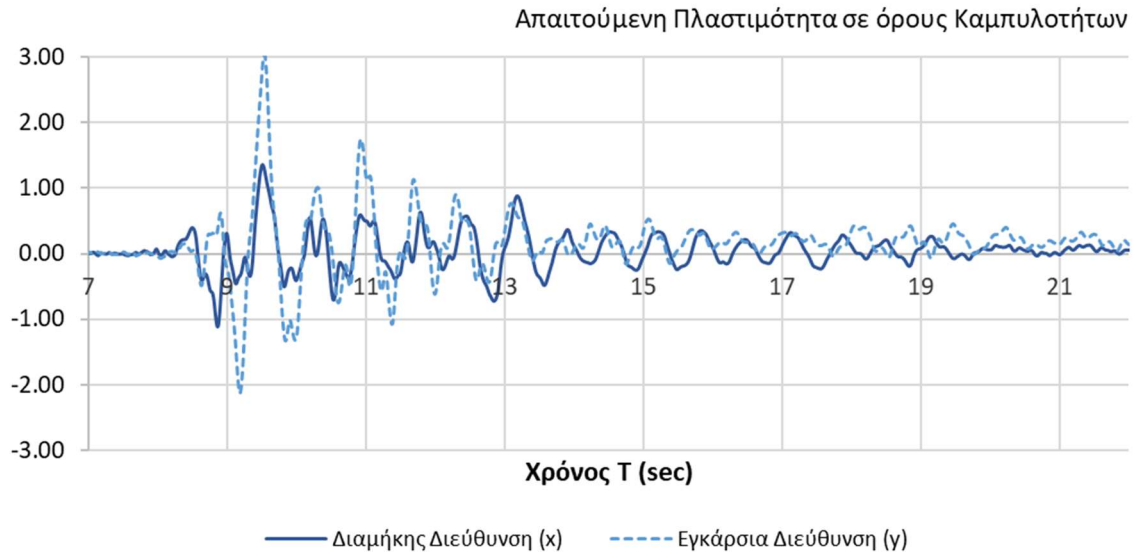


Σχήμα 5.21: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με συντελεστή προσαύξησης 1.0 και 1.2



Σχήμα 5.22: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με συντελεστή προσαύξησης 1.0 και 1.2

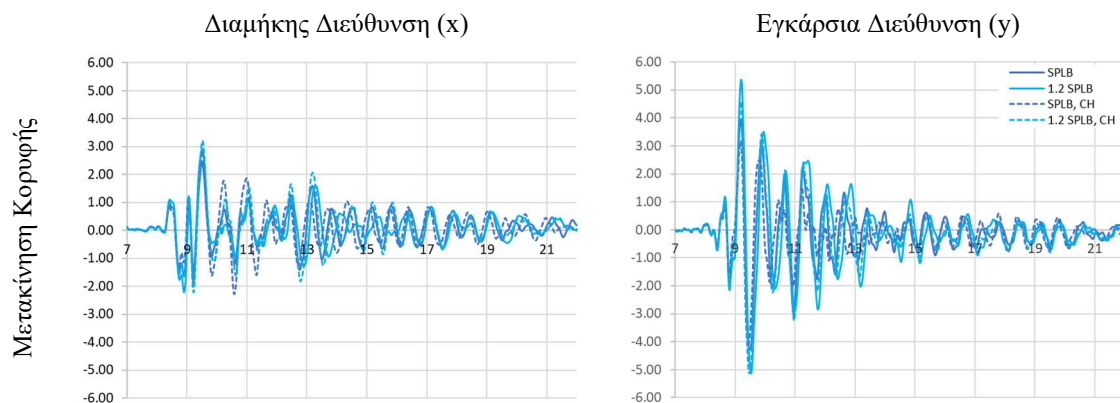
Τέλος παρουσιάζεται το Σχήμα 5.23, όπου χαρακτηρίζεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστυλώμα K9 του επιπέδου pilotis.

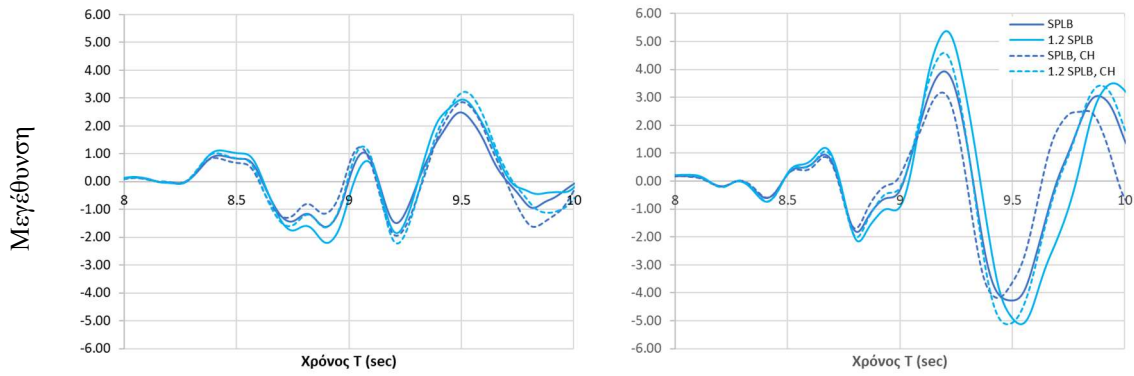


Σχήμα 5.23: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος K9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB) με προσαύξηση κατά 20%

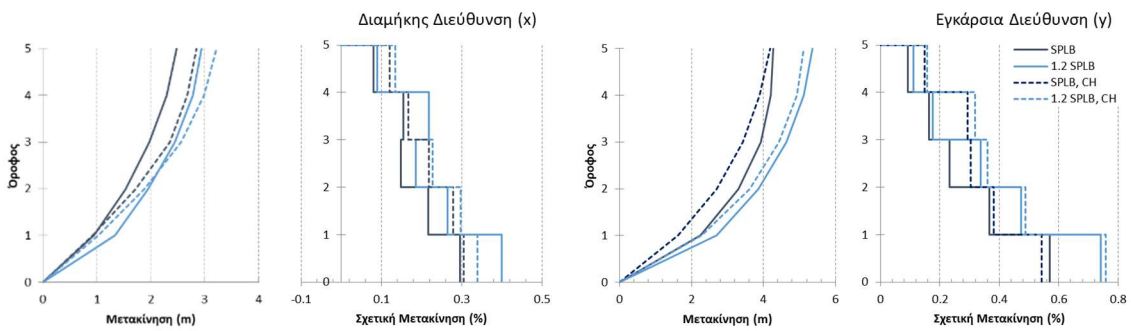
Για να γίνουν καλύτερα αντιληπτές οι διαφορές στην μοντελοποίηση για τη καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων παρουσιάζονται τα Σχήματα 5.24, 5.25 και 5.26 σε όρους μετακίνησης κορυφής, σχετικής μετακίνησης και απαιτούμενης πλαστιμότητας, συναρτήσεως του χρόνου, καθώς και με την αναγκαία για ικανοποιητικότερη εποπτεία μεγέθυνση τους για τις δυο διευθύνσεις του κτηρίου.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα διαγράμματα, η ύπαρξη ανισοσταθμίας στο επίπεδο pilotis, δρα ευνοϊκότερά στην εγκάρσια διεύθυνση, δηλαδή στην πιο δύσκαμπτη πλευρά του κτηρίου σε όρους μετακίνησης κορυφής, ενώ στην εύκαμπτη (διαμήκη διεύθυνση) αυξάνεται κατά περίπου 2.0cm.

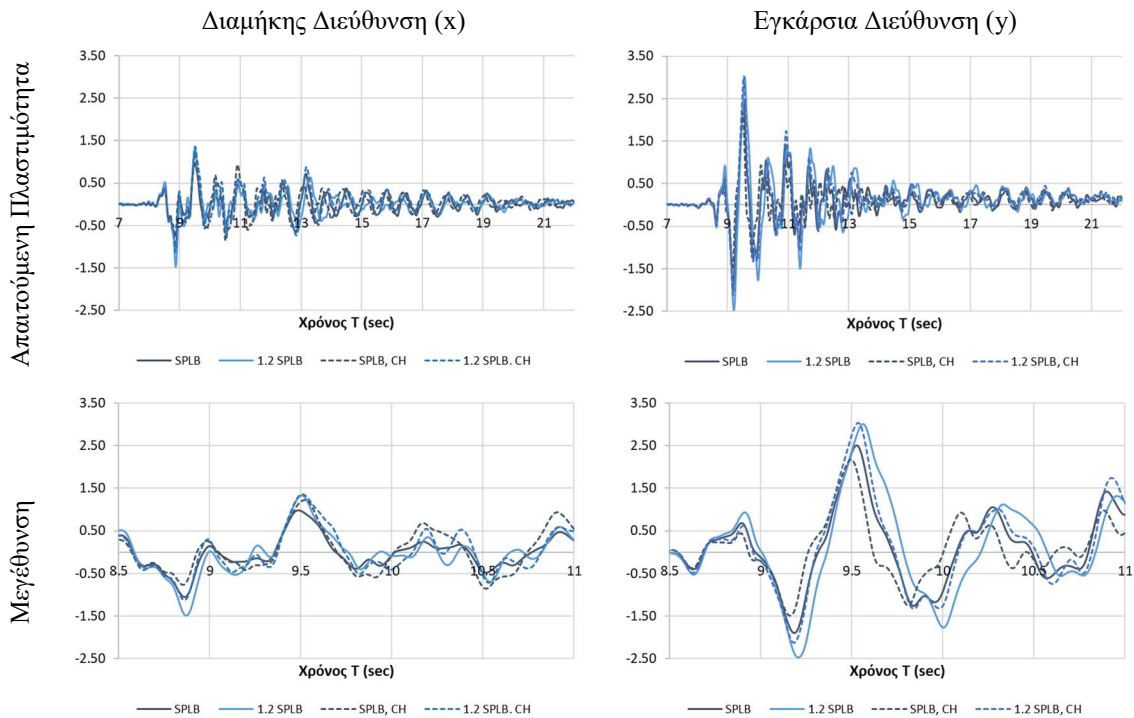




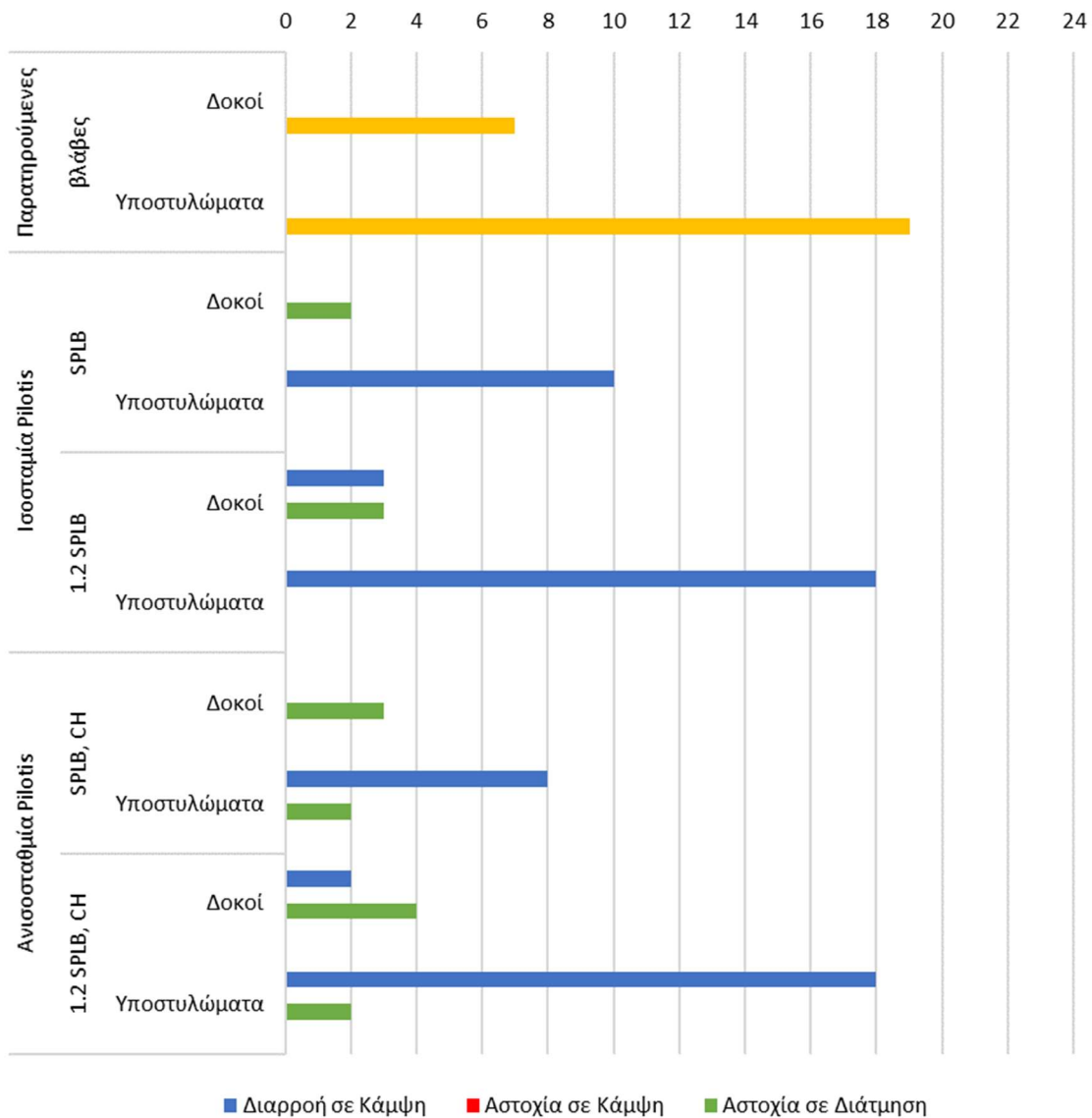
Σχήμα 5.24: Συγκεντρωτικό Σχήμα χρονιοστορίας μετακινήσεων οροφής κτηρίου για τις αναλύσεις που έγιναν στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)



Σχήμα 5.25: Συγκεντρωτικό Σχήμα καθ' ύψους κατανομής των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)



Σχήμα 5.26: Συγκεντρωτικό Σχήμα απαιτούμενης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, κτηρίου για τις αναλύσεις που έγιναν υπό της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)



Σχήμα 5.27: Συγκεντρωτικό Σχήμα πλήθους βλαβών για τις αναλύσεις που έγιναν υπό της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

Τέλος, στο Σχήμα 5.27 και στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται το πλήθος και η θέση των μελών του φορέα που αστόχησαν ή διέρρευσαν. Είναι οφθαλμοφανές ότι η προσαύξηση του επιταχυνσιογραφήματα κατά 1.2 προσεγγίζει ικανοποιητικότερα το πλήθος των βλαβών που παρατηρήθηκαν μετά το σεισμό της Αθήνας του 1999, όπως προαναφέρθηκε. Η θέση όμως των βλαβών, βάση των αναλύσεων, προσανατολίζεται σε διαφορετική περιοχή του κτηρίου από τις παρατηρούμενες βλάβες. Όσον αφορά την ύπαρξη ανισοσταθμίας φαίνεται ότι η κατασκευή επηρεάζεται στο είδος και στη θέση της βλάβης και όχι στο συνολικό αριθμό.

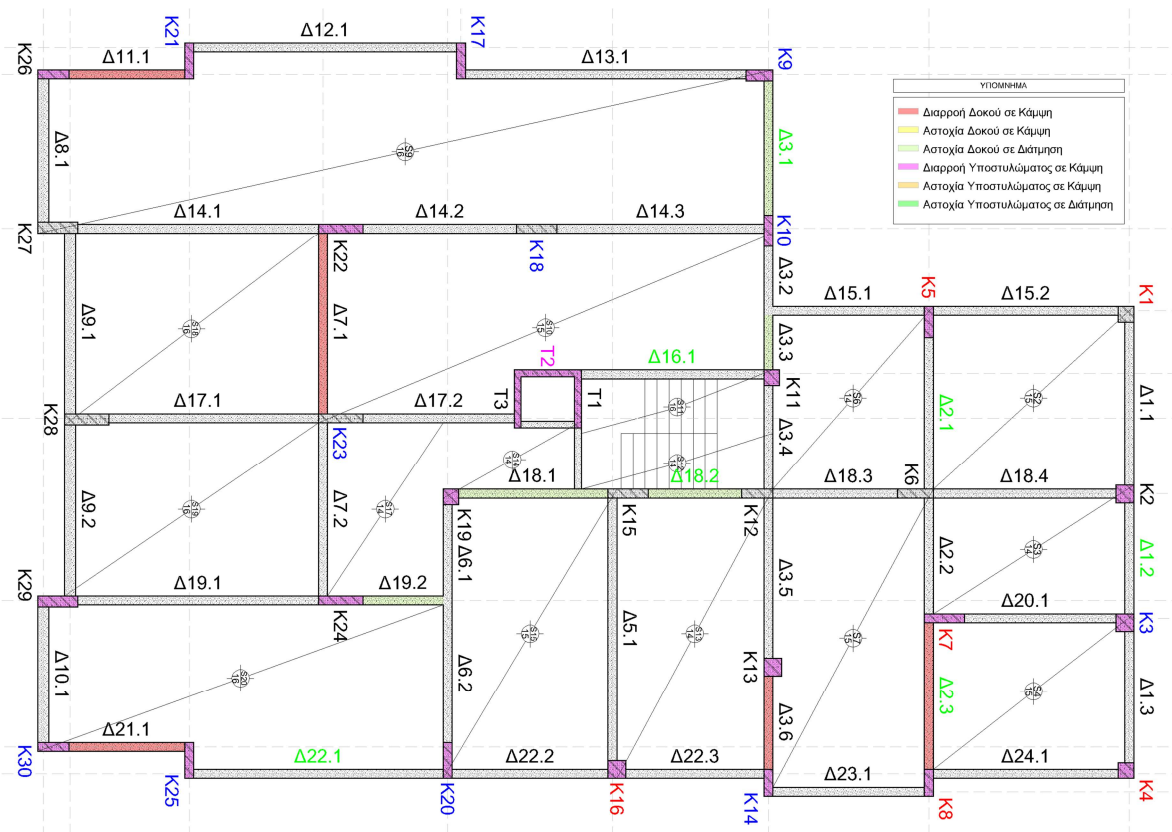
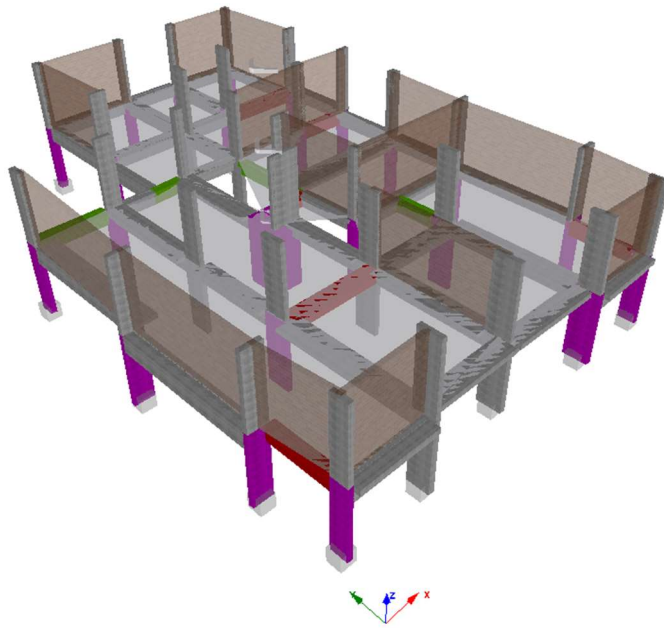
Πίνακας 5.5: Συγκεντρωτικός πίνακας βλαβών μελών του φορέα για τις αναλύσεις που έγιναν υπό της καταγραφής του σταθμού των Σεπολίων (SPLB)

	Παρατηρούμενες	SPLB	1.2SPLB	SPLB, CH	1.2SPLB, CH
K1	■				
K2					
K3	■				
K4	■				
K5					
K6			■	■	■
K7	■		■	■	■
K8	■				
K9	■	■	■	■	■
K10	■				
K11	■				
K12			■		■
K13					
K14	■				
K15			■		■
K16	■				
K17	■				
K18	■	■	■	■	■
K19					
K20	■				
K21	■	■	■	■	■
K22		■	■	■	■
K23	■	■	■	■	■
K24			■		■
K25	■	■	■	■	■
K26		■	■	■	■
K27		■	■	■	■
K28		■	■	■	■
K29			■	■	■
K30	■				
T1		■	■	■	■
T2	■	■	■	■	■
T3		■	■	■	■
Σ	19	10	18	10	20

	Παρατηρούμενες	SPLB	1.2SPLB	SPLB, CH	1.2SPLB, CH
Δ1.1					
Δ1.2	■				
Δ1.3					
Δ2.1	■				
Δ2.2					
Δ2.3	■				
Δ3.1	■				
Δ3.2					
Δ3.3			■	■	■
Δ3.4					
Δ3.5					
Δ3.6					
Δ5.1					
Δ6.1					
Δ6.2					
Δ7.1					
Δ7.2					
Δ8.1					
Δ9.1					
Δ9.2					
Δ10.1					
Δ11.1			■		
Δ12.1					
Δ13.1					
Δ14.1			■		
Δ14.2					
Δ14.3					
Δ15.1					
Δ15.2					
Δ16.1	■				
Δ17.1					
Δ17.2					
Δ18.1					
Δ18.2	■	■	■	■	■
Δ18.3					
Δ18.4			■		■
Δ19.1					
Δ19.2					■
Δ20.1					■
Δ21.1					
Δ22.1	■				
Δ22.2					
Δ22.3					
Δ23.1					
Δ24.1					
Σ	7	1	5	2	5

5.2. Ανάλυση φορέα βάση καταγραφής του σταθμού ΑΤΗ399

Στη συνέχεια, ακολούθησε η μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας βάση των τιμών του επιταχυνσιογραφήματος του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. Οι βλάβες από τη συγκεκριμένη καταγραφή παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.28. Παρατηρούνται διαρροές και αστοχίες στα περισσότερα υποστυλώματα του ισογείου καθώς και σε αρκετές δοκούς.



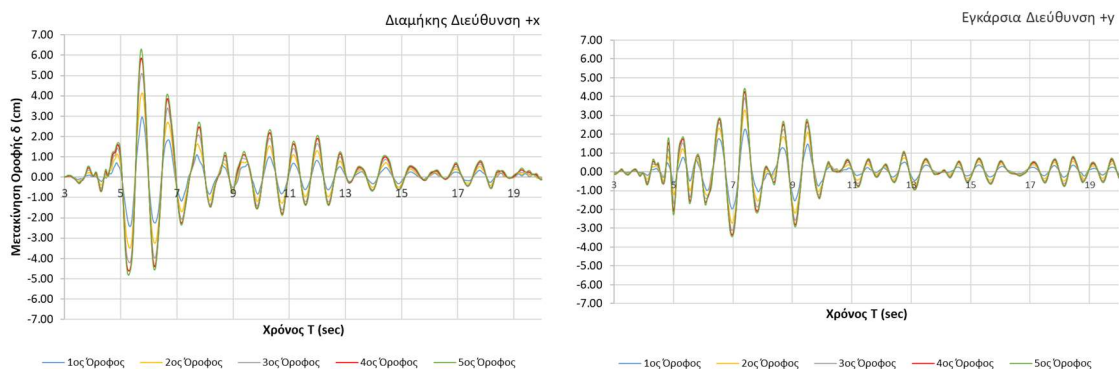
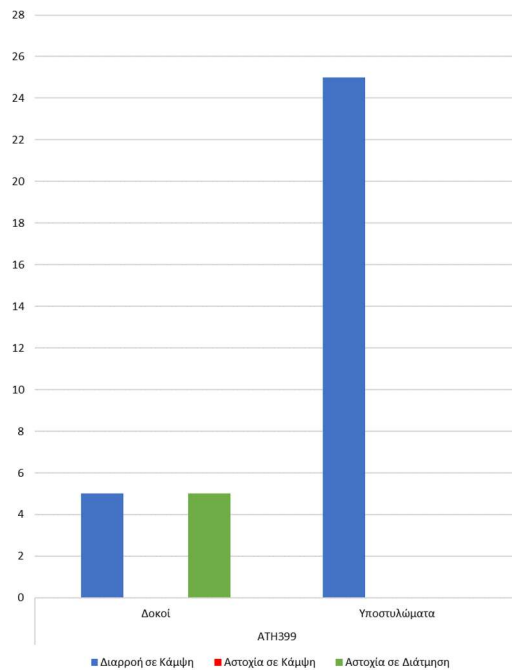
- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Τέμνουσα
- Κ** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- Τ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού **Δ** Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατημητικές Βλάβες

Σχήμα 5.28: Κατανομή βλαβών κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399)

Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ18.1), ενώ η πρώτη διαρροή σε κάμψη στο τοίχωμα του πυρήνα (Τ3). Συνολικά διαρρέουν σε κάμψη εικοσιπέντε κατακόρυφα στοιχεία και πέντε οριζόντια, ενώ αστοχούν σε τέμνουσα πέντε δοκοί, όλα στο επίπεδο pilotis. Η σειρά μόρφωσης των βλαβών και είδους κριτηρίου βλάβης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε ΑΤΗ399

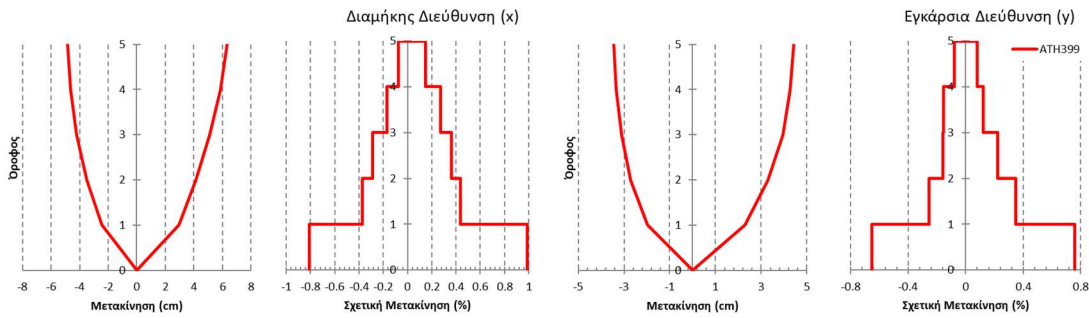
Χρονικό Βήμα	Στοιχείο	Είδος Βλάβης
4.76	Δ18.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
5.14	T3	Διαρροή σε Κάμψη
5.21	K10	Διαρροή σε Κάμψη
5.21	K5	Διαρροή σε Κάμψη
5.22	K17	Διαρροή σε Κάμψη
5.22	K21	Διαρροή σε Κάμψη
5.22	K14	Διαρροή σε Κάμψη
5.22	K25	Διαρροή σε Κάμψη
5.22	Δ2.3	Διαρροή σε Κάμψη
5.23	K20	Διαρροή σε Κάμψη
5.23	K8	Διαρροή σε Κάμψη
5.31	Δ3.6	Διαρροή σε Κάμψη
5.50	Δ18.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
5.53	Δ19.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
5.56	Δ3.3	Αστοχία σε Τέμνουσα
5.63	K3	Διαρροή σε Κάμψη
5.64	K2	Διαρροή σε Κάμψη
5.67	K1	Διαρροή σε Κάμψη
5.68	Δ3.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
5.69	K13	Διαρροή σε Κάμψη
5.69	K4	Διαρροή σε Κάμψη
5.72	K13	Διαρροή σε Κάμψη
5.73	K11	Διαρροή σε Κάμψη
5.74	Δ7.1	Διαρροή σε Κάμψη
5.78	K19	Διαρροή σε Κάμψη
5.87	T2	Διαρροή σε Κάμψη
6.50	K26	Διαρροή σε Κάμψη
6.96	K9	Διαρροή σε Κάμψη
7.36	Δ11.1	Διαρροή σε Κάμψη
7.38	K22	Διαρροή σε Κάμψη
7.93	K30	Διαρροή σε Κάμψη
7.93	Δ21.1	Διαρροή σε Κάμψη
7.98	K24	Διαρροή σε Κάμψη
7.98	K29	Διαρροή σε Κάμψη
7.98	K7	Διαρροή σε Κάμψη



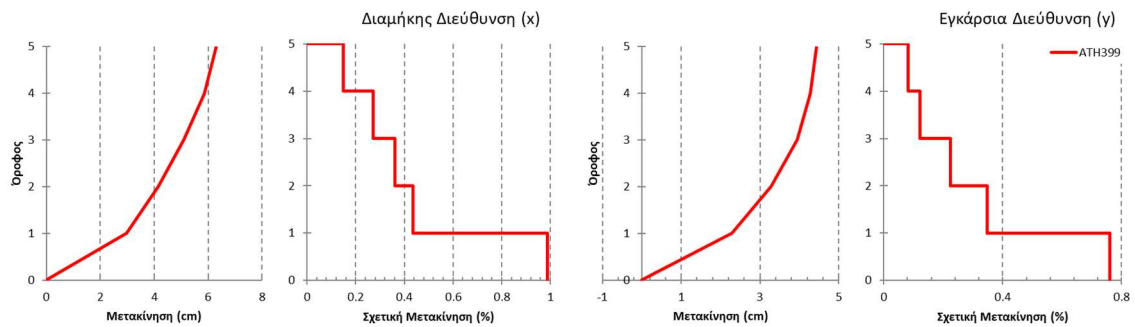
Σχήμα 5.29: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399)

Επίσης, στο Σχήμα 5.29 αποτυπώνονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Η μέγιστη μετακίνηση στη διαμήκη διεύθυνση (x) είναι 6.30cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 4.43cm.

Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.30, ενώ οι μέγιστες μετακινήσεις και σχετικές μετακινήσεις κατ' απόλυτη τιμή φαίνονται στο Σχήμα 5.31.

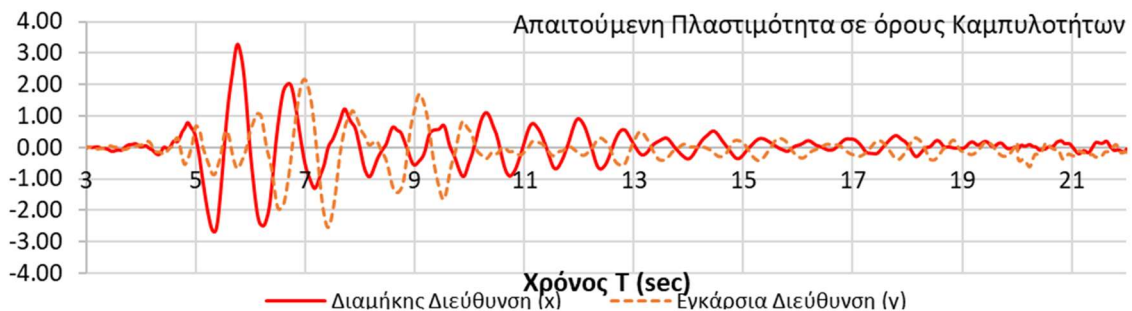


Σχήμα 5.30: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Α.Ε. (ATH399)



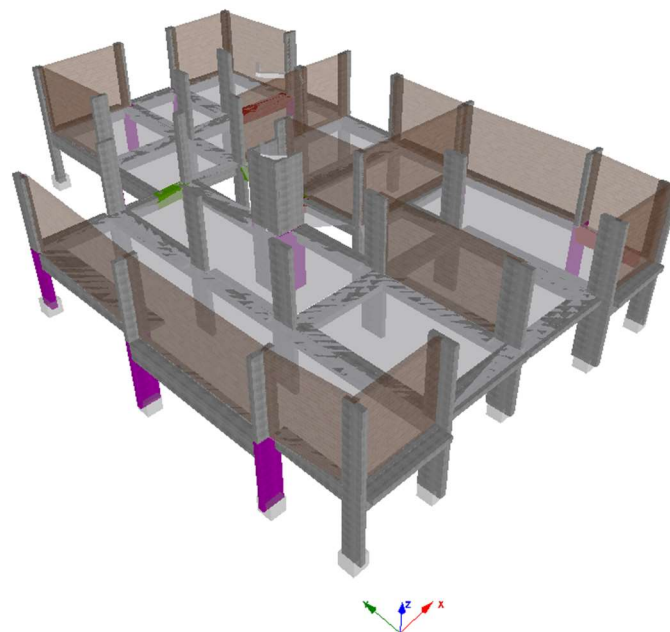
Σχήμα 5.31: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στις δύο διευθύνσεις, για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Α.Ε. (ATH399)

Η μέγιστη σχετική μετακίνηση παρουσιάζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.98% και 0.76% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου αντίστοιχα. Τέλος παρουσιάζεται το Σχήμα 5.32, όπου φαίνεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστύλωμα K9 του επιπέδου pilotis.



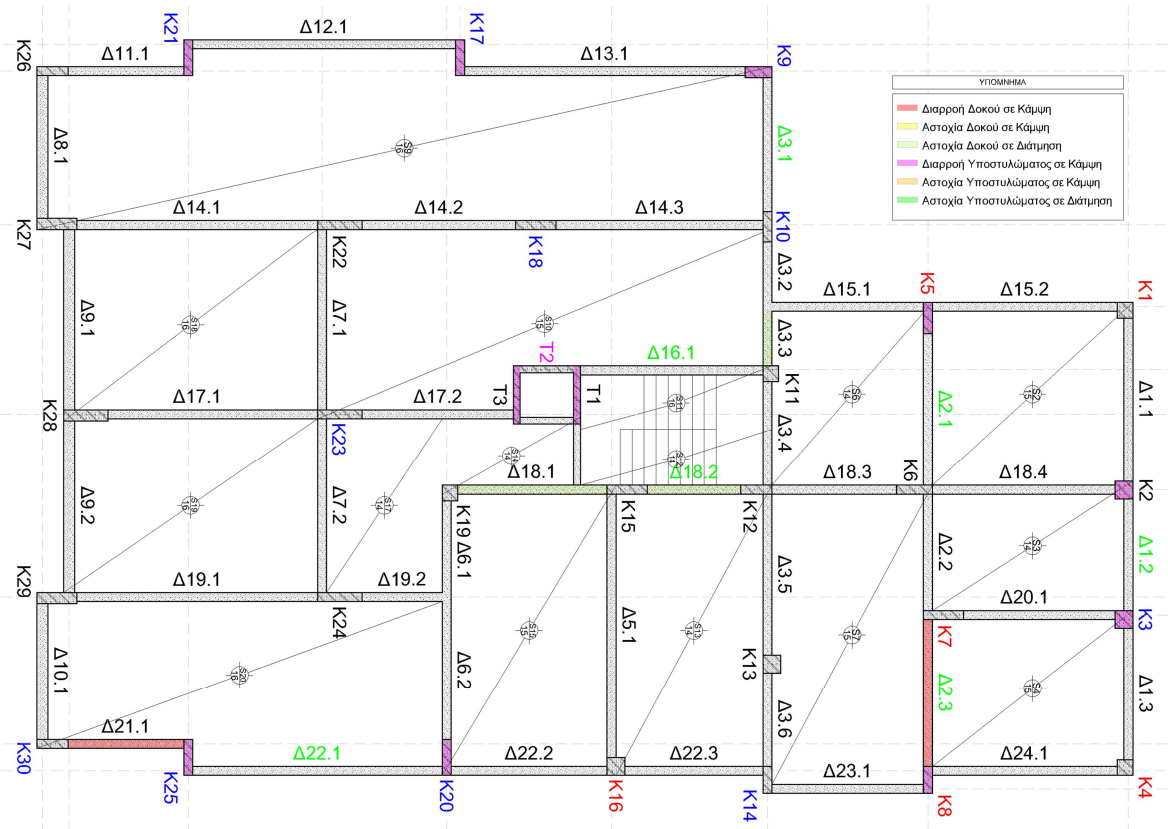
Σχήμα 5.32: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος K9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Α.Ε. (ATH399)

Οι βλάβες που εμφανίστηκαν στο μοντέλο από την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399), αν και προσανατολίζονταν στην περιοχή που το κτήριο παρουσίασε αρκετές βλάβες, ήταν περισσότερες από τις παρατηρούμενες και συνεπώς η έρευνα κατευθύνθηκε σύμφωνα με τα δεδομένα των αποτελεσμάτων του επιταχυνσιογραφήματος του σταθμού των Σεπολίων (SPLB). Μετά την ενημέρωση για την παρουσία ανισοσταθμίας των κατακόρυφων στοιχείων στη στάθμη pilotis, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ανάλυση, περισσότερο χάριν πληρότητας των περιπτώσεων. Αν και υπήρχε μια αίσθηση ότι με την αλλαγή της γεωμετρίας θα υπάρξει μια μικρή απομείωση του πλήθους των βλαβών, τα αποτελέσματα της καινούργιας ανάλυσης αντιτέθηκαν στις προβλέψεις και έφτασαν στο να μπορούν να συγκριθούν με τις παρατηρούμενες βλάβες σε ικανοποιητικό βαθμό. Στο Σχήμα 5.33 παρουσιάζονται οι βλάβες στο μοντέλο από την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399). Παρατηρούνται διαρροές και αστοχίες στα υποστυλώματα του ισογείου, καθώς και σε αρκετές δοκούς οι οποίες προσεγγίζουν τις παρατηρούμενες σε ικανοποιητικό βαθμό. Επίσης καταγράφεται αστοχία σε τέμνουσα σε δοκό του Α' ορόφου (Δ18.2)



- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστυλώματος σε Τέμνουσα
- Κ** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- Τ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού **Δ** Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατμητικές Βλάβες

Σχήμα 5.33α: Κατανομή βλαβών κτηρίου με ανισοσταθμία υποστυλωμάτων στο επίπεδο Pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε (ΑΤΗ399)

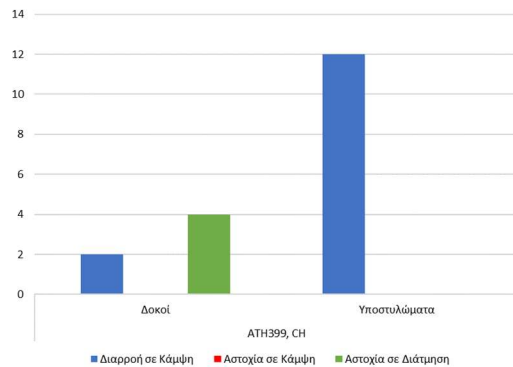


■ Διαρροή Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
■ Διαρροή Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Τέμνουσα
Κ Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **Κ** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
Τ Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού **Δ** Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατμητικές Βλάβες

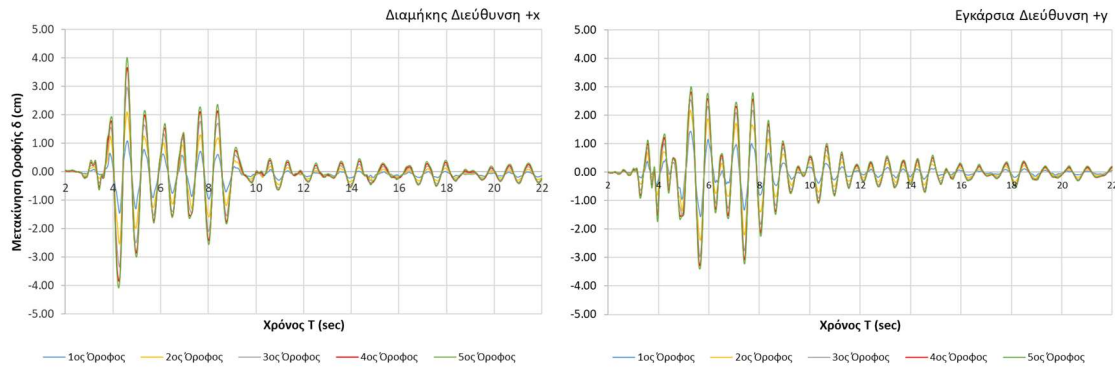
Σχήμα 5.33β: Κατανομή βλαβών κτηρίου με ανισοσταθμία υποστύλωμάτων στο επίπεδο Pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε (ΑΤΗ399)

Πίνακας 5.7: : Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου με ανισοσταθμία pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε ΑΤΗ399

Χρονικό Βήμα	Στοιχείο	Είδος Βλάβης
4.18	T3	Διαρροή σε Κάμψη
4.19	T1	Διαρροή σε Κάμψη
4.24	K21	Διαρροή σε Κάμψη
4.24	K25	Διαρροή σε Κάμψη
4.26	K17	Διαρροή σε Κάμψη
4.26	K20	Διαρροή σε Κάμψη
4.26	Δ18.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.41	Δ18.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.49	Δ3.3	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.64	Δ18.2-2	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.89	K5	Διαρροή σε Κάμψη
4.89	K2	Διαρροή σε Κάμψη
4.89	K3	Διαρροή σε Κάμψη
4.90	K8	Διαρροή σε Κάμψη
4.91	Δ2.3	Διαρροή σε Κάμψη
5.66	K9	Διαρροή σε Κάμψη
6.49	Δ21.1	Διαρροή σε Κάμψη



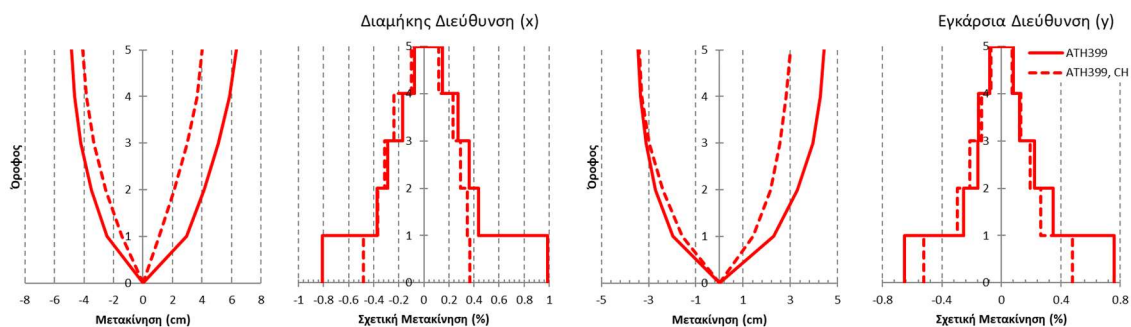
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.7, η πρώτη διαρροή σε κάμψη εμφανίζεται σε τοίχωμα του πυρήνα (T3), ενώ η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ18.1). Συνολικά διαρρέουν σε κάμψη δώδεκα κατακόρυφα στοιχεία έναντι εικοσιπέντε στην περίπτωση ισοσταθμίας, ενώ επίσης, αστοχούν δύο δοκοί. Τέλος σε τέμνουσα αστοχούν τέσσερα οριζόντια στοιχεία, όλα στο επίπεδο pilotis.



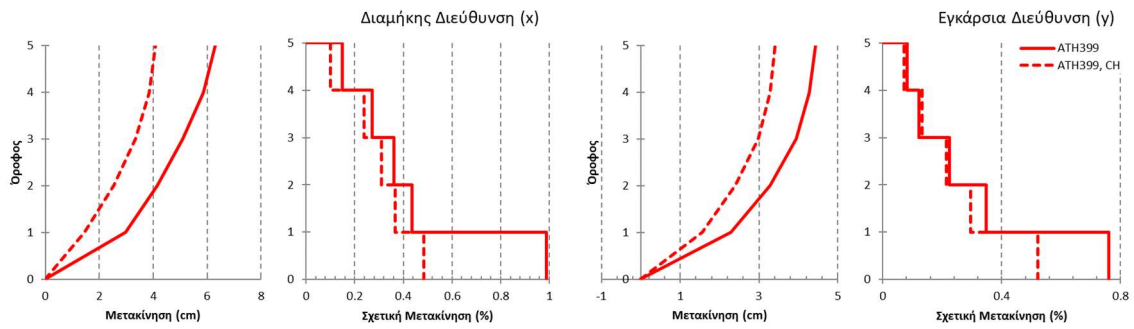
Σχήμα 5.34: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399)

Στο Σχήμα 5.34 αποτυπώνονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Στην περίπτωση της ανισοσταθμίας υποστυλωμάτων στο επίπεδο pilotis, η μέγιστη μετακίνηση στη διαμήκη διεύθυνση (x) είναι 4.07cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 3.40cm, ενώ στην περίπτωση ισοσταθμίας οι μετακινήσεις διαμορφώνονταν σε 6.30cm και 4.43cm αντίστοιχα.

Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.35, ενώ οι μέγιστες μετακινήσεις και σχετικές μετακινήσεις κατ' απόλυτη τιμή φαίνονται στο Σχήμα 5.36. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση, όπως και στην προηγούμενη ανάλυση, παρουσιάζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.48% και 0.52% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου αντίστοιχα.

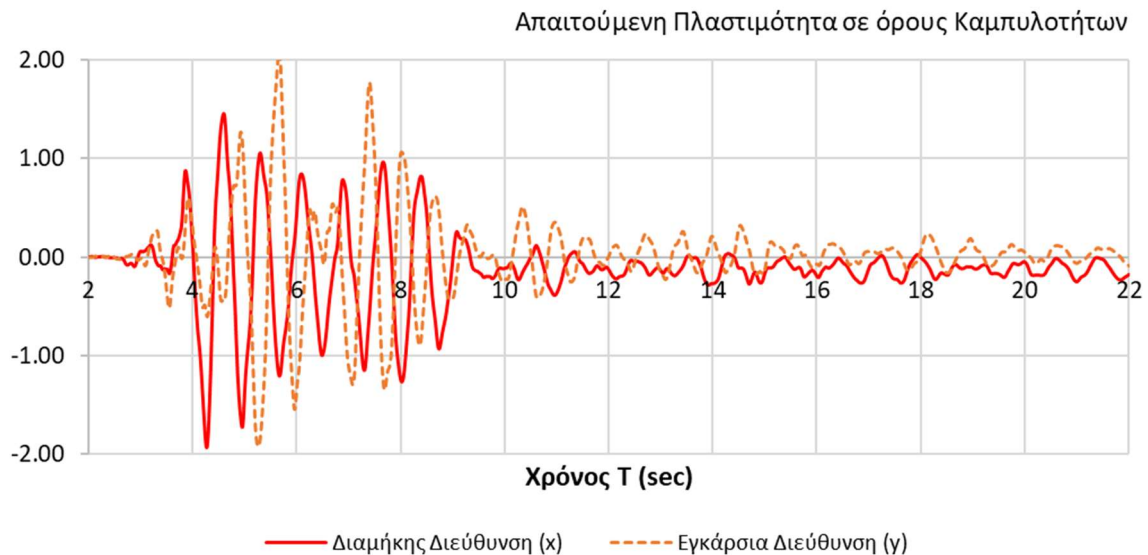


Σχήμα 5.35: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399) με και χωρίς ανισοσταθμία για τα κατακόρυφα στοιχεία της pilotis



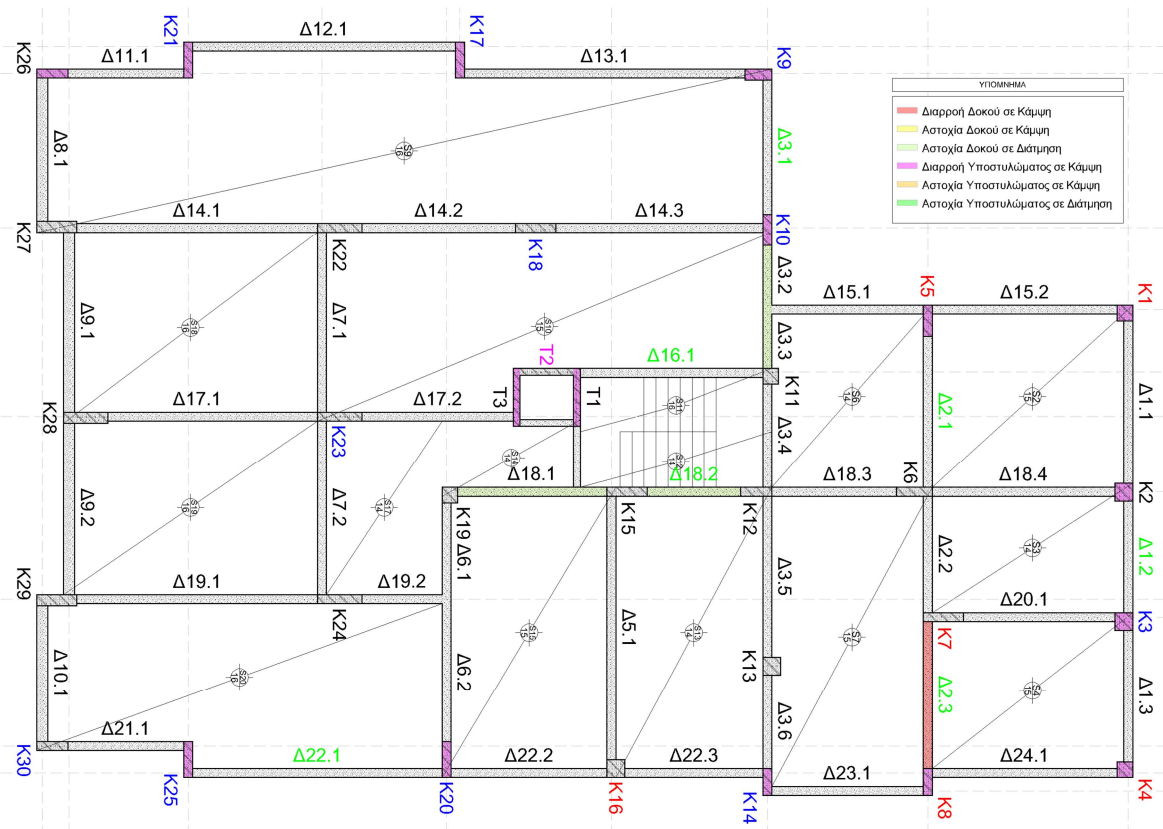
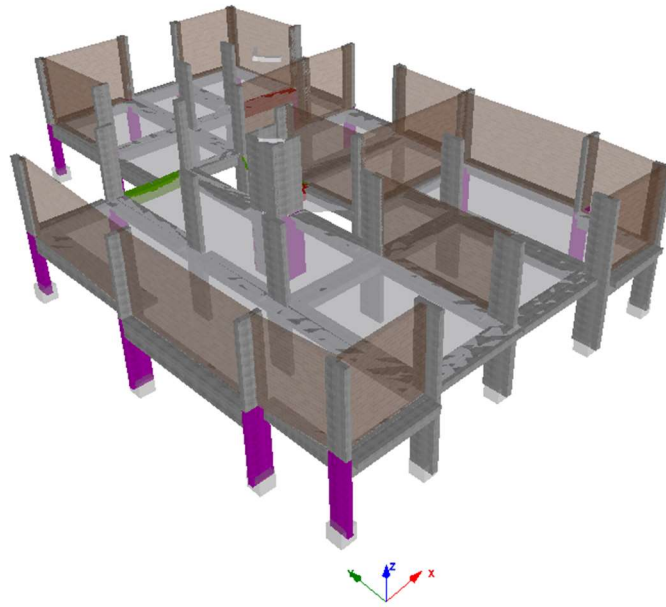
Σχήμα 5.36: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στις δύο διευθύνσεις, για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399) με και χωρίς ανισοσταθμία για τα κατακόρυφα στοιχεία της pilotis

Τέλος παρουσιάζεται το Σχήμα 5.37, όπου φαίνεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστυλώμα Κ9 του επιπέδου pilotis.



Σχήμα 5.37: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος Κ9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της Pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399)

Οι βλάβες από την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε (ATH399), αν και εν γένει προσανατολίζονται στις περιοχές που παρατηρήθηκαν βλάβες κατά το σεισμό της Αθήνας του 1999, είναι λιγότερες. Συνεπώς, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τις αναλύσεις από τις καταγραφές του σταθμού των Σεπολίων (SPLB), δηλαδή σε κάθε διαδοχική ανάλυση προσαυξήθηκαν οι τιμές του επιταχυνσιογραφήματος κατά 5%. Στο σύνολο έγιναν τέσσερις αναλύσεις με προσαύξηση μέχρι το συντελεστή 1.20. Μετά το πέρας των αναλύσεων εκτιμήθηκε ότι ο συντελεστής προσαύξησης 1.10 προσέγγιζε ικανοποιητικότερα τις παρατηρούμενες βλάβες. Στο Σχήμα 5.38 παρουσιάζονται οι βλάβες στο μοντέλο από την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399) για τη μοντελοποίηση με ανισοσταθμία στο επίπεδο pilotis.



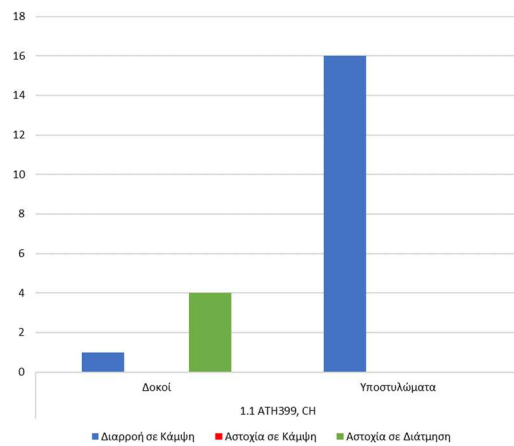
- Διαρροή Δοκού σε Κάμψη
- Αστοχία Δοκού σε Κάμψη
- Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διαρροή Υποστύλωματος σε Κάμψη
- Αστοχία Υποστύλωματος σε Κάμψη
- Αστοχία Υποστύλωματος σε Τέμνουσα
- K** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση
- K** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- T** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- Δ Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διατμητικές Βλάβες

Σχήμα 5.38 Κατανομή βλαβών κτηρίου με ανισοσταθμία υποστυλωμάτων στο επίπεδο pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε (ΑΤΗ399) με προσαύζηση κατά 10%

Παρατηρούνται διαρροές και αστοχίες στα υποστυλώματα του ισογείου καθώς και σε αρκετές δοκούς οι οποίες προσεγγίζουν τις παρατηρούμενες σε ικανοποιητικό βαθμό τόσο στο πλήθος των στοιχείων που διέρρευσαν σε κάμψη ή αστόχησαν σε τέμνουσα όσο στη θέση τους σε σύγκριση με τις παρατηρούμενες βλάβες. Το πλήθος ανά κατηγορία και η σειρά μόρφωσης των βλαβών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου με ανισοσταθμία pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε (ΑΤΗ399) με συντελεστή προσαύξησης 1.10

Χρονικό Βήμα	Στοιχείο	Είδος Βλάβης
4.18	T3	Διαρροή σε Κάμψη
4.18	T1	Διαρροή σε Κάμψη
4.23	K25	Διαρροή σε Κάμψη
4.23	Δ3.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.24	K10	Διαρροή σε Κάμψη
4.24	K21	Διαρροή σε Κάμψη
4.24	K14	Διαρροή σε Κάμψη
4.25	K17	Διαρροή σε Κάμψη
4.25	K20	Διαρροή σε Κάμψη
4.26	Δ18.1	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.40	Δ18.2	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.50	Δ3.3	Αστοχία σε Τέμνουσα
4.55	K5	Διαρροή σε Κάμψη
4.59	K8	Διαρροή σε Κάμψη
4.89	K2	Διαρροή σε Κάμψη
4.89	K3	Διαρροή σε Κάμψη
4.91	Δ2.3	Διαρροή σε Κάμψη
4.92	K4	Διαρροή σε Κάμψη
4.94	K1	Διαρροή σε Κάμψη
5.29	K9	Διαρροή σε Κάμψη
5.31	K26	Διαρροή σε Κάμψη



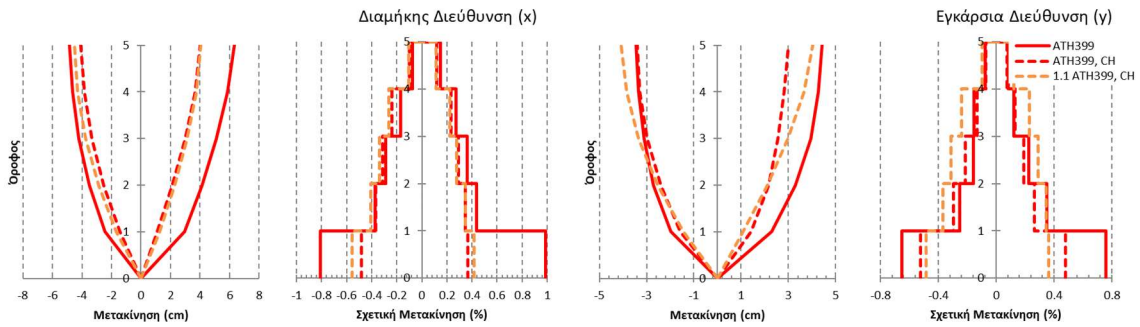
Η πρώτη διαρροή σε κάμψη εμφανίζεται σε τοίχωμα του πυρήνα (T3), ενώ η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα παρουσιάζεται σε δοκό (Δ3.2). Συνολικά διαρρέουν σε κάμψη δεκαέξι κατακόρυφα στοιχεία και ένα οριζόντιο ενώ σε τέμνουσα αστοχούν τέσσερα οριζόντια στοιχεία, όλα στο επίπεδο pilotis.



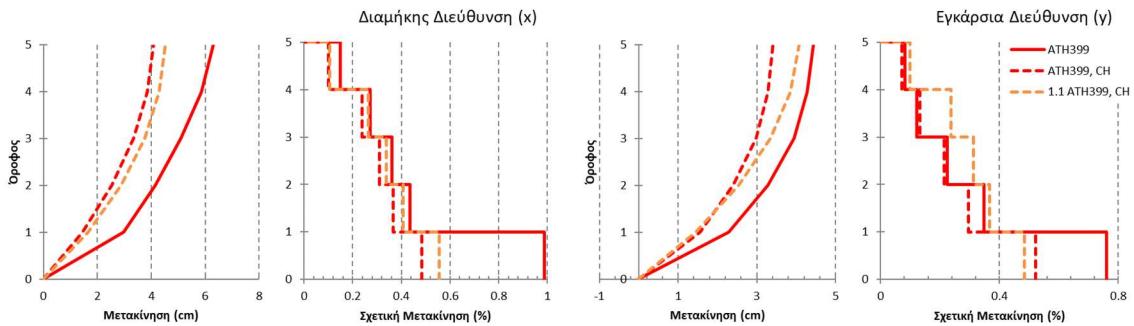
Σχήμα 5.39: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399) με προσαύξηση κατά 10%

Στο Σχήμα 5.39 αποτυπώνονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Στην περίπτωση της ανισοσταθμίας υποστυλωμάτων στο επίπεδο pilotis με συντελεστή προσαύξησης 1.10 των τιμών του επιταχυνσιογραφήματος, η μέγιστη μετακίνηση στη διαμήκη διεύθυνση (x) είναι 4.51cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 4.07cm.

Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.40, ενώ οι μέγιστες μετακινήσεις και σχετικές μετακινήσεις κατ' απόλυτη τιμή φαίνονται στο Σχήμα 5.41. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση, επίσης, παρουσιάζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.55% και 0.48% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου, αντίστοιχα.

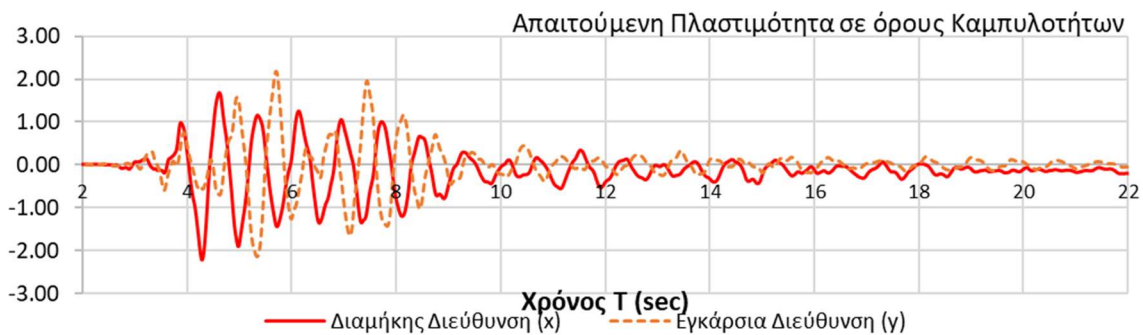


Σχήμα 5.40: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399) με και χωρίς ανισοσταθμία για τα κατακόρυφα στοιχεία της pilotis και συντελεστή προσαύξησης 1.0 και 1.2



Σχήμα 5.41: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στις δύο διευθύνσεις, για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399) με και χωρίς ανισοσταθμία για τα κατακόρυφα στοιχεία της pilotis και συντελεστή προσαύξησης 1.0 και 1.2

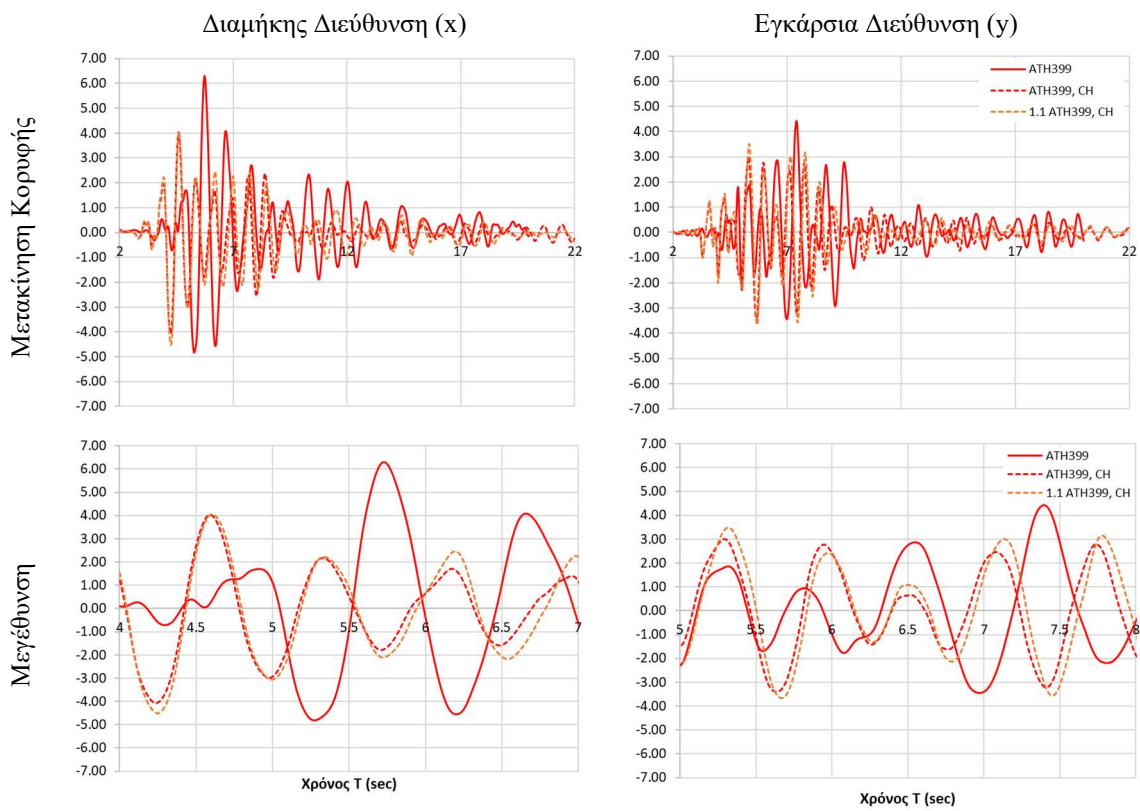
Τέλος, παρουσιάζεται το Σχήμα 5.42, όπου φαίνεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστυλώμα Κ9 του επιπέδου pilotis.



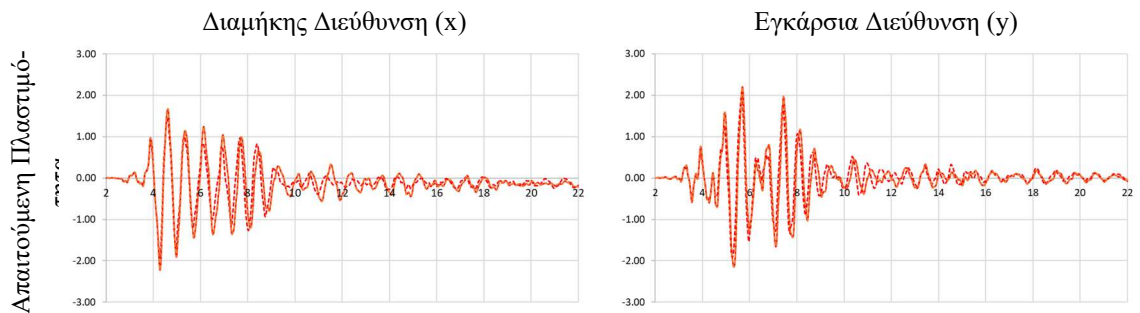
Σχήμα 5.42: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος Κ9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, λαμβάνοντας υπόψη την ανισοσταθμία των κατακόρυφων στοιχείων της pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399) με προσαύξηση κατά 10%

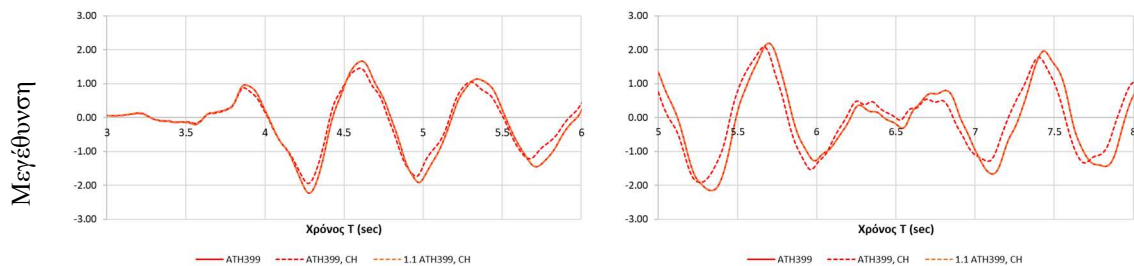
Όπως και στην ενότητα για την καταγραφή του σταθμού των Σεπολίων, παρουσιάζονται συμπληρωματικά των Σχημάτων 5.40 και 5.41, τα Σχήματα 5.43 και 5.44 που αναφέρονται σε όρους μετακίνησης κορυφής και απαιτούμενης πλαστιμότητας αντίστοιχα για τις δυο διευθύνσεις του κτηρίου, συναρτήσει του χρόνου, με τις απαιτούμενες μεγεθύνσεις τους, για την ικανοποιητικότερη τους εποπτεία.

Ομοίως με προηγουμένως, σε αυτή την καταγραφή, είναι ξεκάθαρο ότι η ύπαρξη ανισοσταθμίας στο επίπεδο pilotis δρα ευνοϊκότερα, όσο αφορά τις μετακινήσεις οροφής σε σύγκριση με την ισοσταθμία στα κατακόρυφα στοιχεία του ισογείου. Η διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων είναι περίπου 2.0cm.



Σχήμα 5.43: Συγκεντρωτικό Σχήμα χρονοϊστορίας μετακινήσεων οροφής κτηρίου για τις αναλύσεις που έγιναν στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, για την καταγραφή του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399)





Σχήμα 5.44: Συγκεντρωτικό Σχήμα απαιτούμενης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση, κτηρίου για τις αναλύσεις που έγιναν υπό της καταγραφής τ του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399)

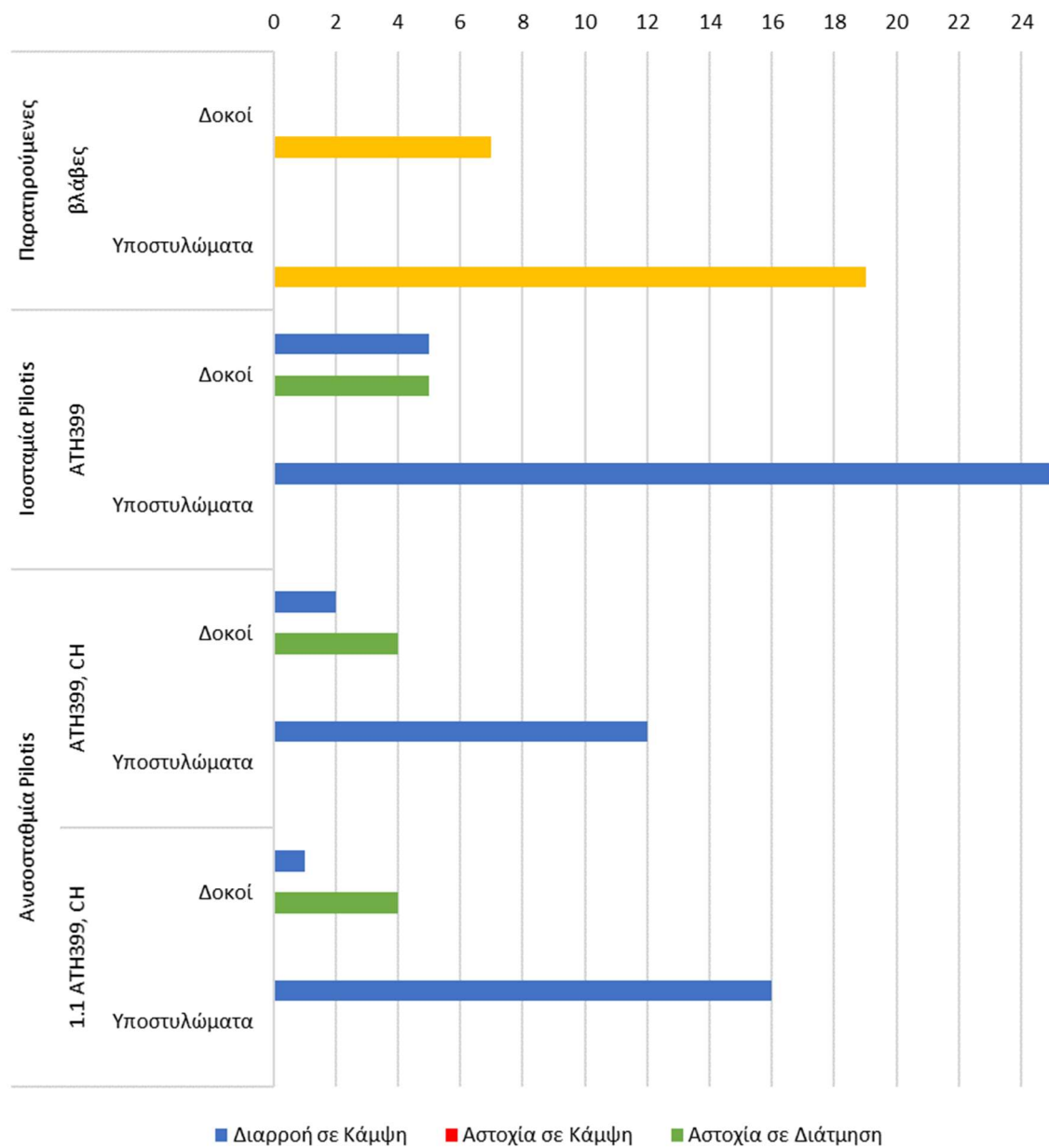
Τέλος, στο Σχήμα 5.45 και στον Πίνακα 5.9 παρουσιάζονται το πλήθος και η θέση των μελών του φορέα που αστόχησαν ή διέρρευσαν. Μολονότι που οι επιταχύνσεις οι οποίες καταγράφηκαν από το σταθμό του Κ.Ε.Δ.Ε. και φορτίστηκε το μοντέλο, οι πλαστικές αρθρώσεις που δημιουργήθηκαν προσανατολίζονταν σε περιοχές που παρατηρήθηκαν βλάβες κατά το σεισμό της Αθήνας του 1999 ήταν εκτεταμένες. Αξιοσημείωτο όμως είναι ότι με την παρουσία ανισοσταθμίας στο επίπεδο pilotis και προσαύξηση της καταγραφής κατά 10%, οι πλαστικές αρθρώσεις περιορίστηκαν στα επίπεδα των παρατηρούμενων βλαβών.

Πίνακας 5.9: Συγκεντρωτικός πίνακας βλαβών μελών του φορέα για τις αναλύσεις που έγιναν υπό της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399)

	Παρατηρούμενες	ΑΤΗ399	ΑΤΗ399, CH	1.1ΑΤΗ399, CH
K1				
K2				
K3				
K4				
K5				
K6				
K7				
K8				
K9				
K10				
K11				
K12				
K13				
K14				
K15				
K16				
K17				
K18				
K19				
K20				
K21				
K22				
K23				
K24				
K25				
K26				
K27				
K28				
K29				
K30				
T1				
Δ1.1				
Δ1.2				
Δ1.3				
Δ2.1				
Δ2.2				
Δ2.3				
Δ3.1				
Δ3.2				
Δ3.3				
Δ3.4				
Δ3.5				
Δ3.6				
Δ5.1				
Δ6.1				
Δ6.2				
Δ7.1				
Δ7.2				
Δ8.1				
Δ9.1				
Δ9.2				
Δ10.1				
Δ11.1				
Δ12.1				
Δ13.1				
Δ14.1				
Δ14.2				
Δ14.3				
Δ15.1				
Δ15.2				
Δ16.1				
Δ17.1				

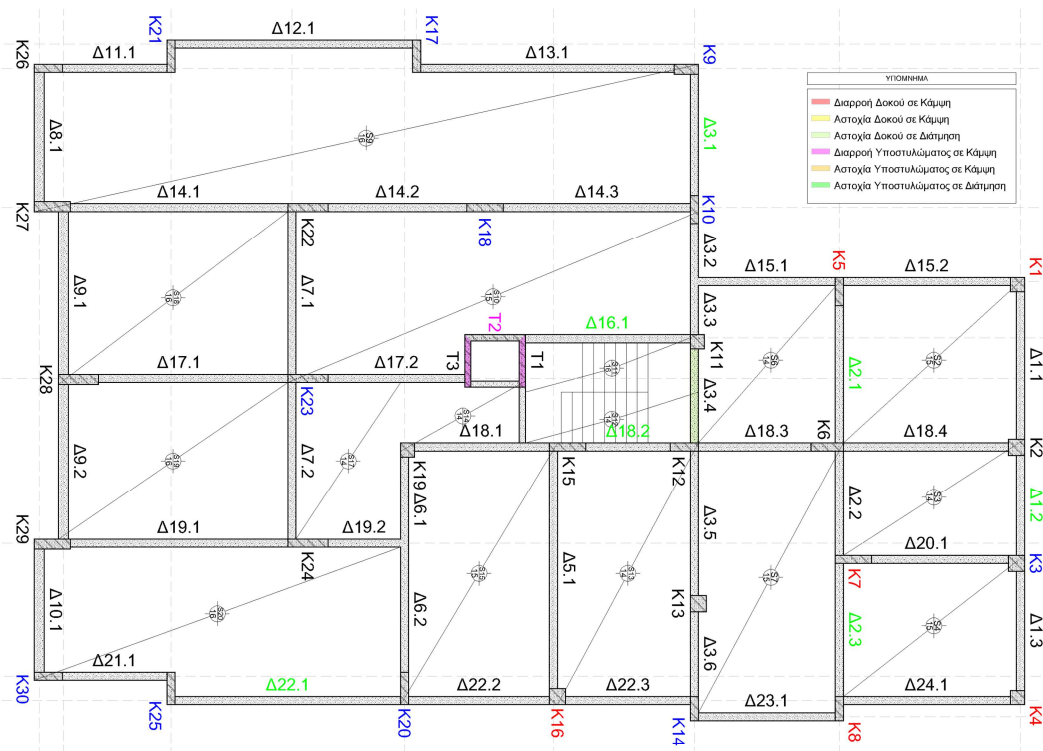
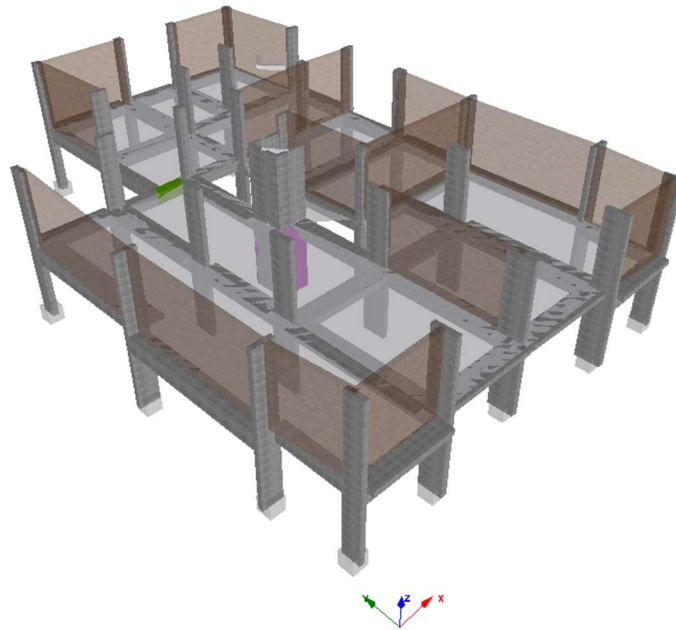
T2				
T3				
Σ	19	25	11	16

Δ17.2				
Δ18.1				
Δ18.2				
Δ18.3				
Δ18.4				
Δ19.1				
Δ19.2				
Δ20.1				
Δ21.1				
Δ22.1				
Δ22.2				
Δ22.3				
Δ23.1				
Δ24.1				
Σ	7	9	4	4



Σχήμα 5.45: Συγκεντρωτικό Σχήμα πλήθους βλαβών για τις αναλύσεις που έγιναν υπό της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ATH399)

5.3. Ανάλυση φορέα βάση καταγραφής του σταθμού SGMA



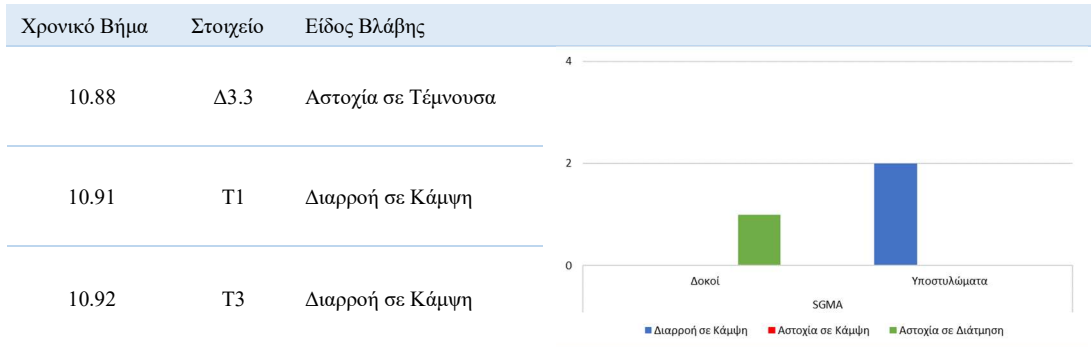
- Διάρρηξη Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Κάμψη ■ Αστοχία Δοκού σε Τέμνουσα
- Διάρρηξη Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Κάμψη ■ Αστοχία Υποστύλωματος σε Τέμνουσα
- K** Βλάβη Βαθμού Α - Ρηγματώσεις με Μερική Αποφλοίωση **K** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού
- T** Σοβαρή Βλάβη Βαθμού Β - Ρηγματώσεις με Αποφλοίωση Οπλισμού Δ Ρηγματωμένες Δοκοί - Ελαφριές Καμπτικές και Διαμητικές Βλάβες

Σχήμα 5.46: Κατανομή βλαβών κτηρίου, βάση της καταγραφής του σταθμού του Συντάγματος (SGMA)

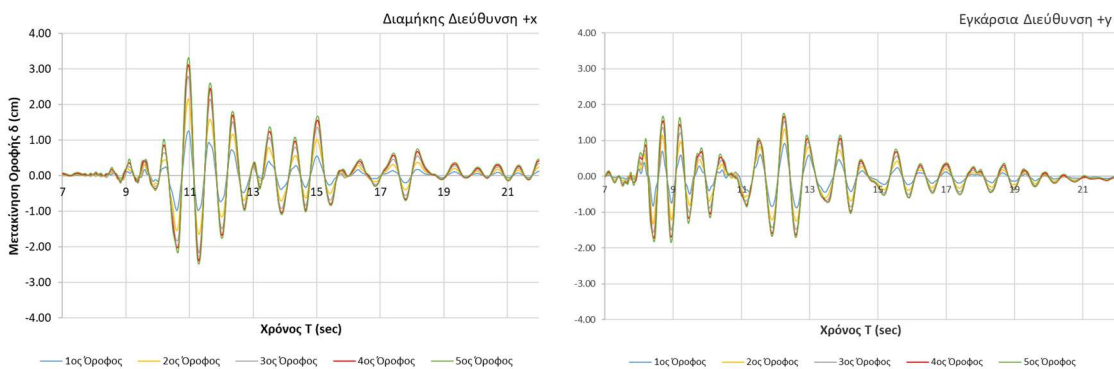
Όπως φάνηκε από τις τιμές των επιταχυνσιογραφημάτων στο Σχήμα 5.46, ο σταθμός του Συντάγματος (SGMA) έδωσε τις μικρότερες τιμές επιταχύνσεων εδάφους συγκριτικά με τις καταγραφές των άλλων δύο σταθμών. Επιλέχθηκε όμως, καθώς σε παλαιότερη εργασία που διερευνούσε την απόκριση ασύμμετρων πλαισίων υπό σεισμική διέγερση, είχε παρουσιάσει υπολογίσιμες τιμές σε όρους τέμνουσας βάσης, μετακινήσεων κορυφής και καταναλισκόμενης ενέργειας από τον φορέα (Κουνενιδάκης, 2011).

Οι βλάβες από τη συγκεκριμένη καταγραφή παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.46 όπου δεν παρατηρούνται σημαντικές διαρροές και αστοχίες.

Πίνακας 5.10: Πλήθος και σειρά μόρφωσης ικανοποίησης κριτηρίων επίδοσης στα στοιχεία του κτηρίου με ισοσταθμία κατακόρυφων στοιχείων pilotis, βάση της καταγραφής του σταθμού Συντάγματος (SGMA)

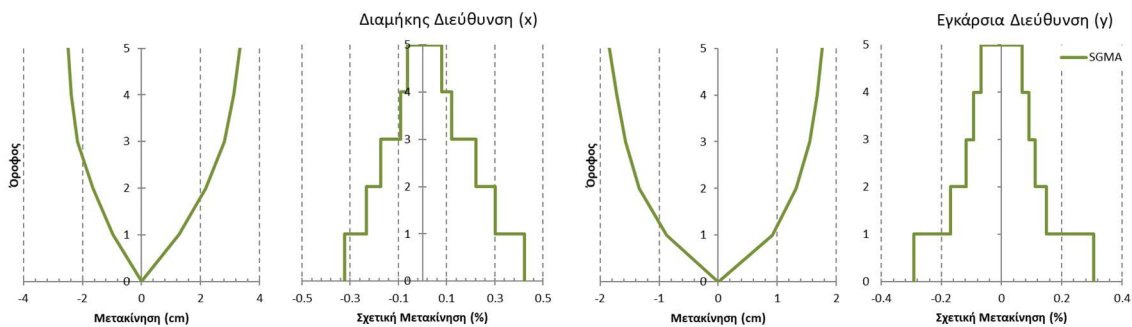


Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στα στοιχεία του Πίνακα 5.10, εμφανίζονται δύο διαρροές σε κάμψη στον πυρήνα και μία αστοχία δοκού σε τέμνουσα ενώ σε ανάλυση με την παρουσία ανισοσταθμίας κατακόρυφων στοιχείων στο επίπεδο pilotis, όπως ήταν αναμενόμενο βάση συγκρίσεων με τις προηγούμενες καταγραφές, δεν παρουσιάστηκε καμία βλάβη. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σε προσπάθεια βαθμιαίας προσαύξησης της καταγραφής με βήμα 5%, εμφανίστηκαν αρκετές διαρροές στις πλαστικές αρθρώσεις όταν ο συντελεστής προσαύξησης έφτασε τη τιμή του 1.4.

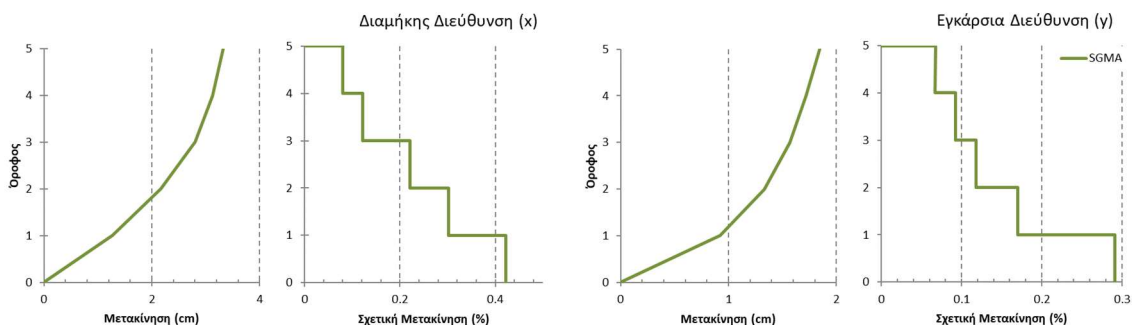


Σχήμα 5.47: Χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφής κτηρίου, στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού Συντάγματος (SGMA)

Στο Σχήμα 5.47 αποτυπώνονται οι χρονοϊστορίες μετακινήσεων οροφών του κάθε επιπέδου του κτηρίου για κάθε διεύθυνση. Η μέγιστη μετακίνηση στη διαμήκη διεύθυνση (x) είναι 3.32cm, ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση (y) 1.84cm.

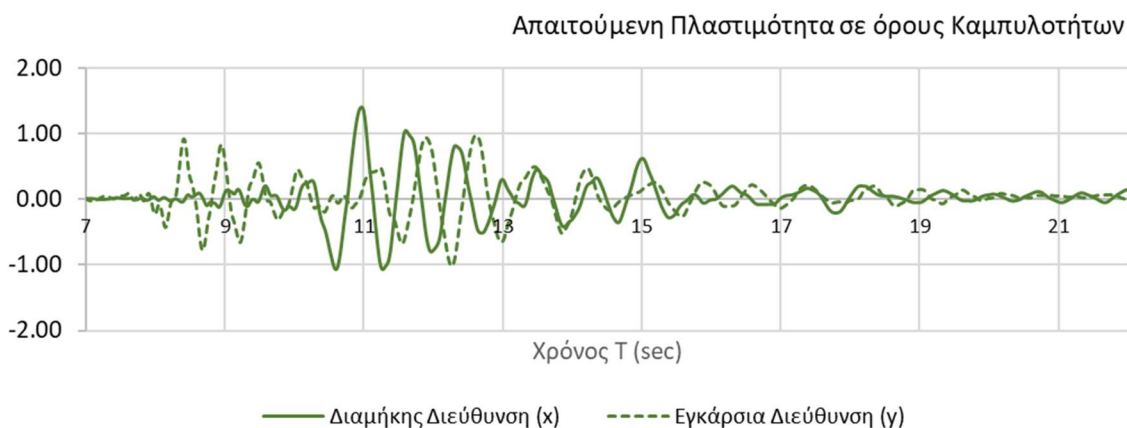


Σχήμα 5.48: Καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση για την καταγραφή του σταθμού Συντάγματος (SGMA)



Σχήμα 5.49: Καθ' ύψος κατανομή των μέγιστων μετακινήσεων και σχετικών μετακινήσεων στις δύο διευθύνσεις, για την καταγραφή του σταθμού Συντάγματος (SGMA)

Οι καταγραφές καθ' ύψος των μετακινήσεων και των σχετικών μετακινήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.48, ενώ οι μέγιστες μετακινήσεις και σχετικές μετακινήσεις καθ' απόλυτη τιμή φαίνονται στο Σχήμα 5.49. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση εντοπίζεται στο ισόγειο σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.42% και 0.29% στην διεύθυνση x και y του κτηρίου αντίστοιχα. Τέλος παρουσιάζεται το Σχήμα 5.50, όπου χαρακτηρίζεται απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων για το υποστυλώμα K9 του επιπέδου pilotis.



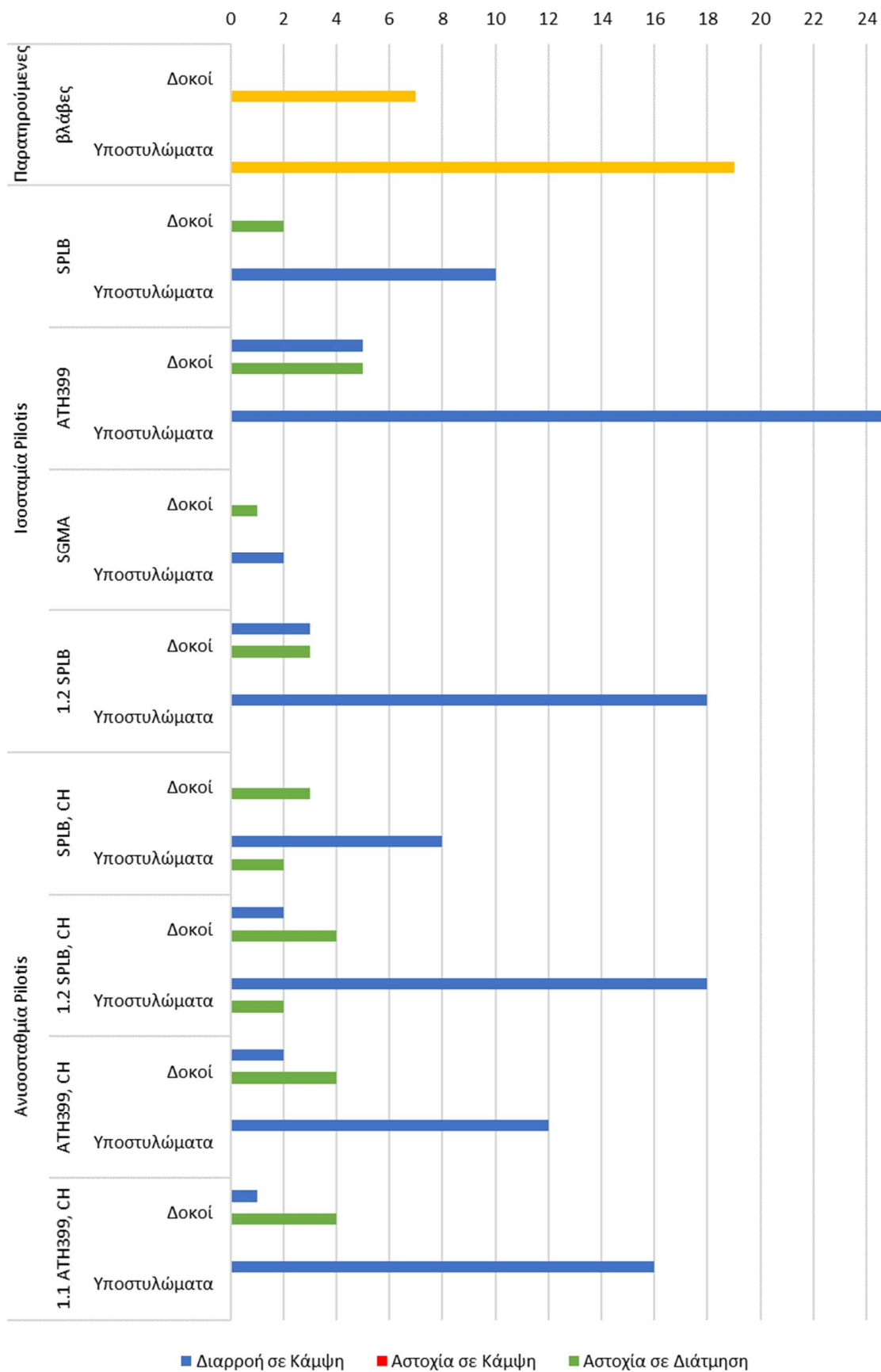
Σχήμα 5.50: Απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων του υποστυλώματος K9 (C9) στις δύο διευθύνσεις του, βάση της καταγραφής του σταθμού του Συντάγματος (SGMA)

Στον Πίνακα 5.11 και στο Σχήμα 5.51 που ακολουθούν παρουσιάζονται το πλήθος και η θέση των βλαβών που εμφανίστηκαν σε όλες τις ανωτέρω αναλύσεις εν συγκρίσει με της

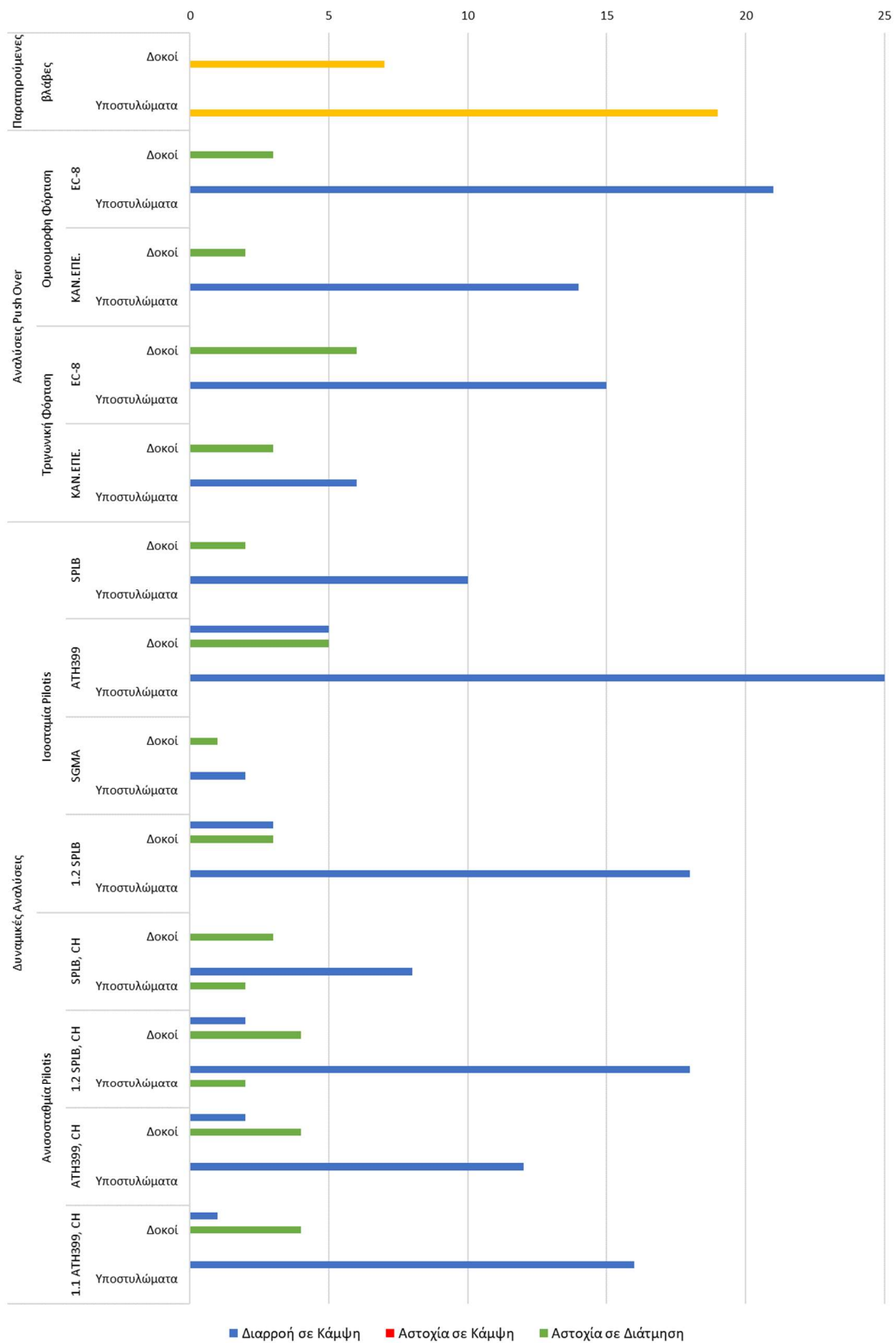
παρατηρούμενες βλάβες που έγιναν κατά το σεισμό της Αθήνας του 1999. Τέλος, ομοίως με το Σχήμα 5.51 στο Σχήμα 5.52 καταγράφεται το πλήθος βλαβών που έγιναν, για όλες τις αναλύσεις της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 5.11: Συγκεντρωτικός πίνακας θέσης βλαβών μελών του φορέα για όλες τις δυναμικές αναλύσεις

	Παρατηρούμενες	SPLB	ATH399	SGMA	1.2SPLB	SPLB, CH	1.2SPLB, CH	ATH399, CH	1.1ATH399, CH
K1									
K2									
K3									
K4									
K5									
K6									
K7									
K8									
K9									
K10									
K11									
K12									
K13									
K14									
K15									
K16									
K17									
K18									
K19									
K20									
K21									
K22									
K23									
K24									
K25									
K26									
K27									
K28									
K29									
K30									
T1									
T2									
T3									
Σ'	19	10	25	2	18	10	20	11	16
Δ1.1									
Δ1.2									
Δ1.3									
Δ2.1									
Δ2.2									
Δ2.3									
Δ3.1									
Δ3.2									
Δ3.3									
Δ3.4									
Δ3.5									
Δ3.6									
Δ5.1									
Δ6.1									
Δ6.2									
Δ7.1									
Δ7.2									
Δ8.1									
Δ9.1									
Δ9.2									
Δ10.1									
Δ11.1									
Δ12.1									
Δ13.1									
Δ14.1									
Δ14.2									
Δ14.3									
Δ15.1									
Δ15.2									
Δ16.1									
Δ17.1									
Δ17.2									
Δ18.1									
Δ18.2									
Δ18.3									
Δ18.4									
Δ19.1									
Δ19.2									
Δ20.1									
Δ21.1									
Δ22.1									
Δ22.2									
Δ22.3									
Δ23.1									
Δ24.1									
Σ	7	1	9	1	5	2	5	4	4



Σχήμα 5.51: Συγκεντρωτικό σχήμα πλήθους βλαβών μελών του φορέα για όλες τις δυναμικές αναλύσεις



Σχήμα 5.52: Συγκεντρωτικό σχήμα πλήθους βλαβών μελών του φορέα για όλες τις αναλύσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία

6

Συμπεράσματα

Μετά το πέρας των μη γραμμικών ανελαστικών στατικών αναλύσεων και δυναμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, σε συνδυασμό με τις παρατηρούμενες βλάβες που συνέβησαν στο σεισμό της Αθήνας το 1999, προκύπτουν συμπεράσματα τόσο για το υπό μελέτη κτήριο όσο και για τη θέση του η οποία επηρεάστηκε από τις σεισμικές επιταχύνσεις, δεδομένου ότι δεν υπήρχαν επιταχυνσιογράφοι στην περιοχή.

Στο παρόν σύγγραμμά παρουσιάστηκε η απόκριση ενός τετραώροφου κτηρίου με pilotis, που βρίσκεται στο Δήμο Χαϊδαρίου της Αττικής όπου δεν υπήρχε εγκατεστημένος επιταχυνσιογράφος, το οποίο υπέστη βλάβες κατά τον σεισμό της Αθήνας του 1999.

Για τη διερεύνηση της απόκρισης του φορέα και καθώς στην εγγύτερη περιοχή δεν υπήρχε εγκατεστημένος επιταχυνσιογράφος ώστε να είναι γνωστό το μέγεθος της σεισμικής επιτάχυνσης πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από τριάντα έξι μη γραμμικές στατικές και δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Ως επακόλουθο των παραπάνω αναλύσεων και της σύγκρισής των με τα αποτελέσματα προηγούμενης διερεύνησης της συμπεριφοράς του εν λόγω κτηρίου μέσω ελαστικών δυναμικών φασματικών αναλύσεων με καθολικό δείκτη σεισμικής συμπεριφοράς (q) (Μαγουλάς, 2017) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Σε κάθε περίπτωση ο συνυπολογισμός της τοιχοποιίας είναι δυσμενής (pilotis), και συνεπώς συνίσταται να λαμβάνεται υπόψη για την ορθή προσέγγιση της συμπεριφοράς του κτηρίου.

Επιπροσθέτως, για να υπάρχει όσο δυνατόν καλύτερη ταύτιση των αναλύσεων με τις παρατηρούμενες βλάβες θα πρέπει να συνυπολογίζονται οι τοιχοπληρώσεις, όπως προκύπτει από τις ελαστικές αναλύσεις σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς κατά το έτος κατασκευής, από τις ελαστικές φασματικές δυναμικές αναλύσεις, από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις και από τις μη γραμμικές ανελαστικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας.

Στις ελαστικές αναλύσεις καταγράφονται ανεπάρκειες σε υποστυλώματα και δοκούς στο ισόγειο αλλά και σε αρκετά στοιχεία του φορέα στους ανωτέρω ορόφους (Μαγουλάς, 2017). Αντίθετα, οι αστοχίες και οι πλαστικές αρθρώσεις που προκύπτουν από τις ανελαστικές στατικές και δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας μορφώνονται στο ισόγειο και περιγράφουν ικανοποιητικότερα τις παρατηρούμενες βλάβες. Είναι προφανές λοιπόν, ότι οι ελαστικές αναλύσεις δεν μπορούν να περιγράψουν την ανακατανομή δυνάμεων στον φορέα και τη μεταβολή των δυναμικών χαρακτηριστικών του κτηρίου μετά τις πρώτες βλάβες.

Στις περιπτώσεις των αναλύσεων με την ύπαρξη ανισοσταθμίας ή μη των κατακόρυφων στοιχείων στο ισόγειο παρατηρήθηκε ότι η επιλογή της γεωμετρίας του μοντέλου όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα, είτε δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης είτε βελτιώνει τη θέση μόρφωσης πλαστικών αρθρώσεων σε σχέση με τις παρατηρούμενες βλάβες.

Τέλος, οι βλάβες που προκύπτουν από τις δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας της καταγραφής των Σεπολίων (SPLB) και της καταγραφής του σταθμού στο Κ.Ε.Δ.Ε. (ΑΤΗ399), με αύξηση των εδαφικών επιταχύνσεων κατά 20% και 10% αντίστοιχα προσεγγίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια την πραγματικότητα, γεγονός που συμβάλει στην υποψία ότι η εδαφική κίνηση στην περιοχή ήταν της τάξης του 0.40g και εναρμονίζεται με την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Βιβλιογραφία

- Applied Technology Council (ATC). (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. (I. Ψυχάρης, Μεταφρ.) ATC-40.
- Atzori, S., Manunta, M., Fornaro, G., Formaro, G., Ganas, A., & Salvi, S. (2008). Postseismic displacement of the 1999 Athens earthquake retrieved by the Differential Interferometry by Synthetic Aperture Radar time series. *Journal of Geophysical Research*.
- Crisafulli, F. (1997). Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills. *Ph.D. Dissertation*. New Zealand: University of Canterbury.
- CSi. (χ.χ.). Ανάκτηση 7 Μαΐου, 2020, από [csiamerica.com: https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Link](https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Link)
- CSi. (χ.χ.). Ανάκτηση 7 Μαΐου, 2020, από [csiamerica.com: https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Hinge](https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Hinge)
- EC8-3. (2005). *European Committee for Standardization, EN-1998-3, Eurocode No. 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 3: Assessment and retrofitting of buildings and National Annex*. Brussels: CEN.
- Eftaxias, K., Kaporis, P., Polygiannakis, J., Borgis, N., Kopanas, J., Antinopoulos, G., . . . Hadjicontis, V. (2001). Signature of pending earthquake from electromagnetic anomalies. *Geophysical Research Letters*, p. 3.
- Elenas, A. (2003). Athens Earthquake of 7 September 1999: Intensity Measures and Observed Damages. *SET Journal of Earthquake Technology*.
- Interbeton. (2000). Εγχειρίδιο Σκυροδέματος. Ανάκτηση 23 Μαΐου, 2020, από http://www.interbeton.gr/userfiles/file/media_kit/185807_askiste_beton.pdf
- Kontoes, C., Elias, P., Sykiot, O., Briole, P., Rem, D., Sachpazi, M., . . . Kotsis, I. (2000). *Geophysical Research Letters*.
- Repapis, C., & Zeris, C. (2018). Seismic assessment of non-conforming infilled RC buildings using IDA procedures *Frontiers in Build Environment Journal, Computational Methods in Structural Engineering. Innovative Approaches in Computational Structural Engineering, 4.88*.
- Repapis, C., Zeris, C., & Vintzileou, E. (2006). Evaluation of the Seismic Behaviour of Existing RC Buildings: I. Suggested Methodology. *Imperial College*.
- Seismostruct. (2018). User Manual. *Seismosoft*. Pavia, Italy.

- USGS National Earthquake Information Center. (χ.χ.). Interactive map. Ανάκτηση 30 Ιουλίου, 2019, από <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0009e46/map>
- Β. Δ. (1959). ΦΕΚ 36 Α/26-2-1959, Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων.
- Β.Δ. (1945). ΦΕΚ 171 Α/16-05-1946, Κανονισμός Φορτίσεων Δομικών Έργων.
- Β.Δ. (1954). ΦΕΚ 160 Α/26-7-1954, Περί Κανονισμού δια την Μελέτην και Εκτέλεσιν Οικοδομικών Έργων εξ Ωπλισμένου Σκυροδέματος.
- Βιδάλης, Γ., & Γαϊτάνης, Θ. (2000). Ο σεισμός της 7/9/99 και οι επιπτώσεις του στα κτίρια της περιοχής των Άνω Λιοσίων. «*Επισκευές Κατασκευών 2000*». Πάτρα: 6ο Φοιτητικό Συνέδριο.
- Γκαζέτας, Γ., Μπουκοβάλας, Γ., Πρωτονοτάριος, Ι., Παπαδημητρίου, Α., Ψαρρόπουλος, Π., Γερόλυμος, Ν., . . . Κάλλου, Π. (2002). *Μελέτη του σεισμού της 7-9-99: Υπολογιστική εκτίμηση των επιταχύνσεων στις πλειόσειστες περιοχές*. Αθήνα: Τ.Ε.Ε.
- Ζεντέλης, Π. (2006). Συστήματα πληροφοριών και σεισμοί. Παραδείγματα από τους σεισμούς στις Αλκυονίδες νήσους 1981 και στην Πάρνηθα 1999. *Πόλεις της Μεσογείου μετά από σεισμούς - Βόλος Μάιος 2006. 50 χρόνια από τους σεισμούς της Θεσσαλίας*.
- ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2017). Κανονισμός Επεμβάσεων. *2η Αναθεώρηση*. Αθήνα: ΟΑΣΠ.
- Κιούσης, Γ., & Νοδάρος, Μ. (2009). Τα Ρίχτερ που μας άλλαξαν. *Ελευθεροτυπία*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 17, 2019, από <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=79107>
- Κουνενιδάκης, Θ. (2011). *Ανελαστική δυναμική ανάλυση ασύμμετρων πλαισίων ΩΣ υπό σεισμική δράση*. (Κ. Παναγιώτης, Επιμ.) Σέρρες: Πτυχιακή Εργασία, Α.Τ.Ε.Ι. Σερρών.
- Μαγουλάς, Σ. (2017). *Διερεύνηση Βέλτιστων Μεθόδων Ανάλυσης και Επίλυσης με Βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8 για την Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτηρίου* (ΠΜΣ: Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη εκδ.). (Κ. Ρεπαπής, Επιμ.) Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ.
- Νέζης, Χ., & Δρίτσος, Σ. (2008). Κατηγοροποίηση παλαιών χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα. Αθήνα: 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, Τ.Ε.Ε.
- Ρεπαπής, Κ., Ζέρης, Χ., & Βιντζηλαίου, Ε. (2003). Εκτίμηση Υπεραντοχής Υφισταμένων Κτιρίων από Ω.Σ. *14ο Συνέδριο Σκυροδέματος*.
- Ρουμελιώτη, Ζ. (2003). *Συμβολή στην προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης, με έμφαση στο κοντινό πεδίο, στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου*. Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή Α.Π.Θ.
- Ψυχάρης, Γ. (2015). *Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας* (Τόμ. 2). Αθήνα: Ε.Μ.Π.

