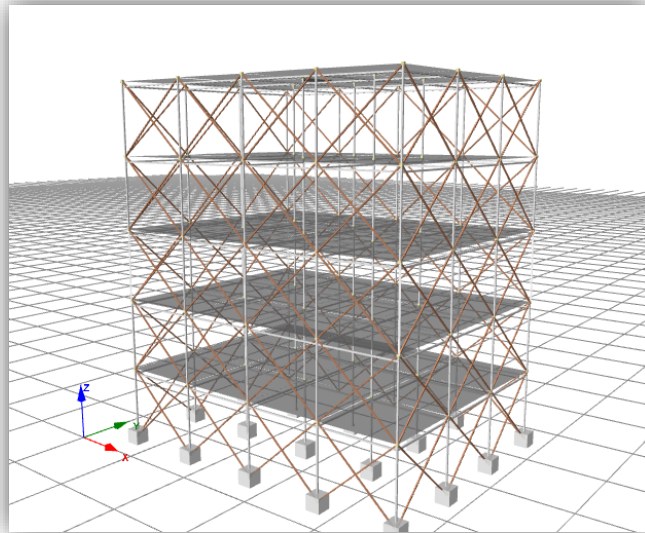


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Σεισμική αποτίμηση φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου
πολυώροφου κτιρίου Ω.Σ.



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΚΟΛΙΟΥ ΑΝΔΡΟΜΑΧΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ, 2021

Σεισμική αποτίμηση φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου πολυώροφου κτιρίου Ω.Σ.

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
(Επιβλέπων)

ΒΡΥΖΙΔΗΣ ΙΣΑΑΚ
(Εξεταστής)

ΔΡΙΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
(Εξεταστής)

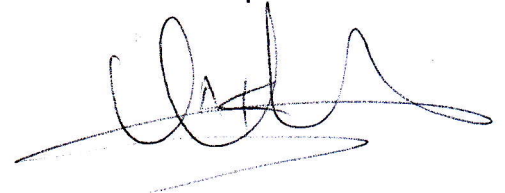
Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ανδρομάχη Κολιού, με αριθμό μητρώου 44368660226, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Κολιού Ανδρομάχη

15/11/2021

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Ανδρομάχη Κολιού

Νοέμβριος, 2021

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ρεπαπή Κωνσταντίνου. Αφορά την μελέτη ενός πενταώροφου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το κτίριο αυτό θα προσομοιωθεί με το λογισμικό Seismostruct και θα πραγματοποιηθούν στατικές ανελαστικές αναλύσεις (pushover) για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του. Η αποτίμηση θα γίνει σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς ΚΑΝΕΠΕ και EC8-3. Επιπροσθέτως, για να διερευνηθεί περαιτέρω η φέρουσα ικανότητα του κτιρίου, έγινε προσθήκη τοιχοπληρώσεων σε όλους τους ορόφους.

ABSTRACT

This thesis was prepared for the academic year 2020-2021 in the Department of Civil Engineering of the University of West Attica under the supervision of Associate Professor Constantinos Repapis. It concerns the study of a five-storey reinforced concrete building. This building will be simulated with Seismostruct software and static pushover analyses will be performed to assess its load-bearing capacity. The assessment will be done in accordance with the modern regulations Greek Code of Structural Interventions (GCSI) and EC8-3. In addition, in order to further investigate the load-bearing capacity of the building, infill walls were added to all floors.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου εργασία .

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κωνσταντίνο Ρεπαπή για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς επίσης και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναλαμβάνοντας εξ αρχής την εργασία αυτή μαζί μου.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη και την ενθάρρυνση που είχα και έχω όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	16
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	16
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	17
1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	17
Κεφάλαιο 2	18
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ	18
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
2.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ-ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ 18	
2.2.1 ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	19
2.3 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	21
2.4 ΕΝΙΑΙΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ Q.....	22
2.5 ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	22
2.6 ΤΟΙΧΟΠΟΙΕΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	25
2.6.1 ΣΥΝΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	26
2.7 ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	27
2.7.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	27

2.7.2	ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ-ΔΟΚΩΝ	28
2.8	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
Κεφάλαιο 3		30
ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ		30
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	30
3.2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ	31
3.2.1	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑ EC8.....	31
3.2.2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΚΑΝΕΠΕ.....	32
3.3	ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ PUSHOVER.....	33
3.4	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	34
Κεφάλαιο 4		35
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ		35
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	35
4.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	35
4.3	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ	36
4.3.1	ΦΟΡΤΙΑ.....	36
4.3.2	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΥΛΙΚΑ	36
4.4	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	37

4.4.1	ΔΟΚΟΙ.....	37
4.4.2	ΠΛΑΚΕΣ	40
4.4.3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	40
4.5	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
Κεφάλαιο 5		42
ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ.....		42
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	42
5.2	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	43
5.2.1	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	43
5.2.2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΕΑ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	43
5.3	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	52
Κεφάλαιο 6		53
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....		53
6.1	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	53
6.2	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	53
6.3	ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	54
6.4	ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	55
6.5	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ..	83
6.6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ Χ-Υ	89
6.7	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	95

Κεφάλαιο 7	98
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
Βιβλιογραφία	100

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4-1 Κάτοψη 1 ^{ου} ορόφου	37
Σχήμα 4-2 Πλάκα	40
Σχήμα 4-3 Υποσύλωμα	41
Σχήμα 5-1 Μετακίνηση της οροφής κατά τη μη γραμμική στατική ανελαστική ανάλυση υπό την επιρροή ομοιόμορφου ή τριγωνικού φορτίου (Καλαμάρα 2012).....	42
Σχήμα 5-2 Ιδιομορφική κατανομή (LH Λογισμική 2015)	42
Σχήμα 5-3 Κάτοψη Τυπικού Ορόφου	43
Σχήμα 5-4 Εισαγωγή επιμέρους μελών κατασκευής (δοκών, υποστυλωμάτων, πλακών)	44
Σχήμα 5-5 Εισαγωγή/επεξεργασία γεωμετρίας διατομών για υποσύλωμα (View/modify geometry)	44
Σχήμα 5-6 Εισαγωγή/επεξεργασία γεωμετρίας διατομών για δοκό (View/modify geometry)	45
Σχήμα 5-7 Εισαγωγή πάχους πλάκας.....	45
Σχήμα 5-8 Εισαγωγή οπλισμού και φορτίων πλάκας.....	46
Σχήμα 5-9 Εισαγωγή διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών υποστυλώματος (View reinforcement) .	46
Σχήμα 5-10 Εισαγωγή οπλισμού δοκού(αρχή-μέση-τέλος).....	47
Σχήμα 5-11 Φέρων οργανισμός (Line Elements)	47
Σχήμα 5-12 Φέρων οργανισμός (quad view).....	48

Σχήμα 5-13 Επιλογή Κανονισμών.....	50
Σχήμα 5-14 Οριακές καταστάσεις(DL,SD,NC)	50
Σχήμα 5-15 Code Based Spectra	50
Σχήμα 5-16 Performance Criteria	51
Σχήμα 6-1 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου	56
Σχήμα 6-2 Καμπύλη ικανότητας για το κτιριο με τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	57
Σχήμα 6-3 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου	58
Σχήμα 6-4 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου	58
Σχήμα 6-5 Καμπύλη ικανότητας για το κτιριο με τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	59
Σχήμα 6-6 Παραμορφωμένη κατάσταση στη στάθμη Οιονεί Κατάρρευση.....	60
Σχήμα 6-7 Παραμορφωμένη κατάσταση στη στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση	60
Σχήμα 6-8 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου με πιλοτή.....	61
Σχήμα 6-9 Καμπύλη ικανότητας για το κτιριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις.....	62
Σχήμα 6-10 Παραμορφώσεις κτιρίου με πιλοτή	63
Σχήμα 6-11 Προσομοίωση φορέα με πιλοτή	64
Σχήμα 6-12 Καμπύλη ικανότητας για το κτιριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις.....	64
Σχήμα 6-13 Παραμορφώσεις κτιρίου με πιλοτή	65
Σχήμα 6-14 Παραμορφώσεις κτιρίου στον 1 ^ο και 2 ^ο όροφο.....	66
Σχήμα 6-15 Προσομοίωση φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις	67
Σχήμα 6-16 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	67
Σχήμα 6-17 Παραμορφώσεις κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις στις Περιορισμένες & Σημαντικές Βλάβες.....	68

Σχήμα 6-18 Παραμορφώσεις κτιρίου στην Οιονεί Κατάρρευση	69
Σχήμα 6-19 Προσομοίωμα κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις	69
Σχήμα 6-20 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	70
Σχήμα 6-21 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις-παραμορφώσεις στις Περιορισμένες Βλάβες	71
Σχήμα 6-22 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις-παραμορφώσεις στις Σημαντικές Βλάβες	71
Σχήμα 6-23 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις-παραμορφώσεις στην Οιονεί Κατάρρευση	71
Σχήμα 6-24 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	72
Σχήμα 6-25 Φορέας με πιλοτή -τριγωνική κατανομή κατά τη διεύθυνση γ	73
Σχήμα 6-26 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	73
Σχήμα 6-27 Παραμορφώσεις κτιρίου στη στάθμη Οιονεί Κατάρρευση	74
Σχήμα 6-28 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις.....	75
Σχήμα 6-29 Παραμορφωμένη κατάσταση κτιρίου στην Οιονεί Κατάρρευση.....	76
Σχήμα 6-30 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις.....	77
Σχήμα 6-31 Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα στις στάθμες επιτελεστικότητας : Περιορισμένες & Σημαντικές Βλάβες.....	78
Σχήμα 6-32 Παραμορφωμένη κατάσταση - Οιονεί Κατάρρευση	78
Σχήμα 6-33 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	79
Σχήμα 6-34 Παραμορφώσεις φορέα στην Οιονεί Κατάρρευση	80
Σχήμα 6-35 Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις – τριγωνική κατανομή κατά γ	80
Σχήμα 6-36 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις	81
Σχήμα 6-37 Περιορισμένες Βλάβες - Παραμορφώσεις κτιρίου	82

Σχήμα 6-38 Σημαντικές Βλάβες- Παραμορφώσεις κτιρίου.....	82
Σχήμα 6-39 Οιονεί Κατάρρευση- Παραμορφώσεις κτιρίου	82
Σχήμα 6-40 Χρονοϊστορίες 4 καταγραφών σε 2 σταθμούς της Αθήνας κατά τη διάρκεια του σεισμού της Αθήνας (7/9/1999) (Μανώλης κ.α., 2015)	83
Σχήμα 6-41 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις – Δυναμική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα SGMA1	84
Σχήμα 6-42 Παραμορφώσεις κτιρίου	85
Σχήμα 6-43 Παραμορφώσεις κτιρίου.....	85
Σχήμα 6-44 Χρονοϊστορία μετακινήσεων κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή SGMA1 κατά την διεύθυνση L.....	86
Σχήμα 6-45 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης οροφής.....	86
Σχήμα 6-46 Διάγραμμα Σχετικής μετακίνησης Βάσης οροφής.....	87
Σχήμα 6-47 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης Οροφής	87
Σχήμα 6-48 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης Οροφής	88
Σχήμα 6-49 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης Οροφής	89
Σχήμα 6-50 Καμπύλες ικανότητας για το πλήρως τοιχοπληρωμένο κτίριο για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή οριζόντιας φόρτισης στις διευθύνσεις x και y	90
Σχήμα 6-51 Καμπύλες ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή οριζόντιας φόρτισης στις διευθύνσεις x και y.....	90
Σχήμα 6-52 Καμπύλες ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή οριζόντιας φόρτισης στις διευθύνσεις x και y	91
Σχήμα 6-53 Καμπύλες ικανότητας για ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση x για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή)	92
Σχήμα 6-54 Καμπύλες ικανότητας για ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση y για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή)	93
Σχήμα 6-55 Καμπύλες ικανότητας για τριγωνική κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση x για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή).....	94
Σχήμα 6-56 Καμπύλες ικανότητας για τριγωνική κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση y για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή).....	94

Σχήμα 6-57 Μέγιστες Τέμνουσες κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις κατά x & y	95
Σχήμα 6-58 Μέγιστες Τέμνουσες κτιρίου με τοιχοπληρώσεις (ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή κατά x και y)	96
Σχήμα 6-59 Μέγιστες Τέμνουσες κτιρίου με πιλοτή (ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή κατά x και y)	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Στάθμες επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού (ΚΑΝΕΠΕ, 2017)	19
Πίνακας 2.2 Ελάχιστοι Ανεκτοί στόχοι για αποτίμηση ή ανασχεδιασμό	19
Πίνακας 2.3 Κατηγορία Σπουδαιότητας.....	20
Πίνακας 2.4 Τιμή συντελεστή συμπεριφοράς q ανάλογα με την στάθμη επιτελεστικότητας	22
Πίνακας 2.5 Ερήμην Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος	23
Πίνακας 2.6 Ερήμην Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής χάλυβα οπλισμού.....	24
Πίνακας 2.7 Ερήμην Αντιπροσωπευτικές τιμές τοιχοπληρώσεων.....	24
Πίνακας 2.8 Τιμές συντελεστή εμπιστοσύνης	24
Πίνακας 2.9 Οριακές Καταστάσεις και Περίοδος Επαναφοράς Σεισμικής Δράσης	25
Πίνακας 4.1 Διατομές & Οπλισμός Δοκών 1 ^{ου} ορόφου	38
Πίνακας 6.1. Αποτελέσματα ιδιομορφικών αναλύσεων για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις.....	54
Πίνακας 6.2. Αποτελέσματα ιδιομορφικών αναλύσεων για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις.....	55
Πίνακας 6.3. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	57
Πίνακας 6.4. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	59
Πίνακας 6.5. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	62
Πίνακας 6.6. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	65
Πίνακας 6.7 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	68
Πίνακας 6.8 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	70

Πίνακας 6.9 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	72
Πίνακας 6.10 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	74
Πίνακας 6.11 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	75
Πίνακας 6.12 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	77
Πίνακας 6.13 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	79
Πίνακας 6.14 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.....	81
Πίνακας 6.15 Χαρακτηριστικά των σεισμικών καταγραφών στο Σύνταγμα και στα Σεπόλια (7/9/1999) (Μανώλης κ.α., 2015)	83

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Ελλάδα είναι μια χώρα που χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα και αυτό οφείλεται στη γεωγραφική της θέση, καθώς επίσης και στη γεωλογική της μορφολογία. Επομένως, η πρόληψη για αντισεισμική θωράκιση των κατασκευών και η ενίσχυση των υφιστάμενων κατασκευών, είναι υποχρεωτική και αναπόφευκτη. Για αυτόν το λόγο θεσπίστηκαν οι Αντισεισμικοί Κανονισμοί. Σκοπός τους είναι η αποφυγή ζημιών σε μικρούς σεισμούς και οι ελεγχόμενες πλαστικές παραμορφώσεις σε έναν μεγάλο σεισμό. Οι απαιτήσεις του Αντισεισμικού Κανονισμού εμπεριέχονται με την μορφή συντελεστών που αφορούν τη σεισμικότητα της περιοχής της τεχνικής κατασκευής, την επικινδυνότητα του εδάφους, την σπουδαιότητα της κατασκευής, τον συντελεστή συμπεριφοράς, τον συντελεστή θεμελίωσης κλπ. Έτσι, λοιπόν, η Ελλάδα έχει χωριστεί σε 4 σεισμικές ζώνες. Ο πρώτος Αντισεισμικός Κανονισμός συντάχθηκε το 1959. Ο επόμενος κανονισμός ήταν ο κανονισμός του 1984 που ουσιαστικά πρόκειται για κάποια πρόσθετα άρθρα και βελτιώσεις των κανονισμών του '59 και ο οποίος τέθηκε σε ισχύ από το 1985. Το 1992 θεσπίστηκαν ο ΝΕΚΩΣ (Νέος Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος) και ο ΝΕΑΚ (Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός) οι οποίοι ήταν σε παράλληλη χρήση με τα Πρόσθετα Άρθρα του 1985 έως το 1995, οπότε και τέθηκαν σε αποκλειστική εφαρμογή. Από το 2000 ισχύουν ο ΕΚΩΣ 2000 και ο ΕΑΚ 2000 οι οποίοι το 2003 είχαν κάποιες μικρές τροποποιήσεις ενώ από τις 30-5-14 (ΦΕΚ 1457/2014) μπορεί να γίνεται εφαρμογή είτε του ΕΑΚ 2000, είτε του Ευρωκώδικα 8. (Δουδούμης, 2018)

Το πιο μεγάλο πρόβλημα, λοιπόν, είναι τα κτίρια που έχουν κατασκευασθεί πριν το 1959, δηλαδή πριν τη σύνταξη του πρώτου Αντισεισμικού Κανονισμού του 1959, αφού ουσιαστικά τα κτίρια αυτά δεν βασίζονται σε κανέναν Αντισεισμικό Κανονισμό. Το βασικό πρόβλημα στις κατασκευές εκείνης της περιόδου που αποτελούν και το 50% περίπου των κατασκευών μέχρι σήμερα, είναι ο σχηματισμός μαλακών ορόφων, η αδυναμία στον ικανοτικό έλεγχο δοκών υποστυλωμάτων, η αδυναμία παραλαβής οριζόντιων φορτίων στις δύο διευθύνσεις κλπ.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός, λοιπόν, της εν λόγω εργασίας είναι η σεισμική αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο θα προσομοιωθεί σε κατάλληλο λογισμικό και θα πραγματοποιηθούν ελαστικές & ανελαστικές αναλύσεις, σύμφωνα με τους Κανονισμούς ΚΑΝΕΠΕ και EC8-3.

1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια. Στο πρώτο μέρος της εργασίας αναφέρονται εισαγωγικά στοιχεία που αφορούν την σεισμικότητα στην Ελλάδα, τα κτίρια που είχαν κατασκευασθεί πριν την σύνταξη των Αντισεισμικών Κανονισμών κλπ. καθώς επίσης επισημαίνεται και η σκοπιμότητα της εργασίας και το διάγραμμά της. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, δηλαδή τις μεθόδους αποτίμησης σύμφωνα με τους Κανονισμούς και ό,τι αυτές συμπεριλαμβάνουν, δηλαδή σκοπό αποτίμησης, στόχους αποτίμησης και ανασχεδιασμού, στάθμες επιτελεστικότητας, τοιχοποιίες πλήρωσης και επιρροή τους. Στο τρίτο κεφάλαιο, συνεχίζεται το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας και γίνεται λεπτομερής περιγραφή του κτιρίου, λαμβάνονται οι παραδοχές για τα φορτία και τα υλικά. Έπειτα, στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι μέθοδοι ελαστικής και ανελαστικής ανάλυσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της προσομοίωσης του μοντέλου του κτιρίου στο λογισμικό. Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί. Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί, γίνεται η περίληψη και σύνοψή τους και τέλος, αναφέρονται οι βιβλιογραφικές πηγές.

Κεφάλαιο 2

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η ανασκόπηση των διαφόρων μεθόδων αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή των διαφόρων διατιθέμενων μεθόδων για την εκτίμηση της στοχευόμενης μετακίνησης, με έμφαση σε εκείνες που εφαρμόζονται στην παρούσα εργασία.

2.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ-ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ, 2^η Αναθεώρηση 2017) (Κεφ.2 §2.1.1 & §2.1.2), η αποτίμηση των υφιστάμενων κτιρίων, όπως είναι και το κτίριο της συγκεκριμένης εργασίας, ακολουθεί τα εξής βήματα:

1. Συλλογή στοιχείων (έρευνα του ιστορικού του δομήματος)
2. Ανάλυση, και
3. Έλεγχος οριακών καταστάσεων

Ο βασικός σκοπός της αποτίμησης ενός υφιστάμενου δομήματος είναι η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητάς του που είναι και ο σκοπός της εργασίας, καθώς επίσης και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελαχίστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους ισχύοντες Κανονισμούς.

Για την εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας του δομήματος θα λαμβάνονται υπόψιν και τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα του ιστορικού του δομήματος.

Στη συνέχεια, ο μελετητής οφείλει να προγραμματίσει και να επιβλέψει μια σειρά διερευνητικών εργασιών, ώστε να τεκμηριώσει και να αιτιολογήσει τις παραδοχές στις οποίες θα βασισθεί η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης.

2.2.1 ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Σύμφωνα με την 2^η Αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ, 2017 :

1. Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικό-οικονομικών αναγκών, θεσπίζονται διάφορες «στάθμες επιτελεστικότητας» (στοχευόμενες συμπεριφορές) υπό δεδομένους αντίστοιχους σεισμούς σχεδιασμού.
2. Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (Πίνακας 2-1) αποτελούν συνδυασμούς αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου» (σεισμός σχεδιασμού)
3. Στον παρόντα Κανονισμό προβλέπονται στόχοι επανελέγχου αναφερόμενοι αποκλειστικά και μόνο στο φέροντα οργανισμό και στις τοιχοπληρώσεις.
(ΚΑΝΕΠΕ, 2017)

Πίνακας 2.1 Στάθμες επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού (ΚΑΝΕΠΕ, 2017)

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

Οι ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι για αποτίμηση ή ανασχεδιασμό ορίζονται από τον ΚΑΝΕΠΕ με βάση τον πίνακα 2-2 που παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 2.2 Ελάχιστοι Ανεκτοί στόχοι για αποτίμηση ή ανασχεδιασμό

Κατηγορία σπουδαιότητας	Στόχοι
I	Γ2
II	Γ1
III	B1
IV	B1 και A2 (Ικανοποίηση και των δύο στόχων)

Στη συνέχεια, ο Κανονισμός Επεμβάσεων ορίζει τις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τον τύπο του εκάστοτε κτιρίου, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 2-3:

Πίνακας 2.3 Κατηγορία Σπουδαιότητας

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Κτίρια
I	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, όπως αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, ορνιθοτροφεία κλπ.
II	Συνήθη κτίρια όπως κατοικίες και γραφεία, βιομηχανικά – βιοτεχνικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.
III	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς και κτίρια δημόσιων συναθροίσεων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ωρου, όπως: αίθουσες αεροδρομίων, χώροι συνεδρίων κλπ.
IV	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως: κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, κλινικές κλπ.

Η διαδικασία της αποτίμησης διαφοροποιείται ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι βλαβών στο προς αποτίμηση κτίριο. Στην περίπτωση που το κτίριο δεν έχει βλάβες, το αποτέλεσμα της αποτίμησης, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο ανασχεδιασμού, θα οδηγήσει στην απόφαση για ενίσχυση ή όχι του δομήματος. Στην αντίθετη περίπτωση που υπάρχουν βλάβες, η διαδικασία αποτίμησης αποτελείται από δύο σκέλη:

1. Αποτιμάται πρώτα το δόμημα ως έχει, με συνεκτίμηση των βλαβών. Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο ανασχεδιασμού, το αποτέλεσμα της αποτίμησης θα οδηγήσει στην απόφαση για επέμβαση (επισκευή ή και ενίσχυση) ή όχι.
2. Σε περίπτωση που απαιτείται επέμβαση, αποτιμάται το δόμημα στην προ των βλαβών κατάσταση, δηλαδή με την παραδοχή ότι απλώς θα αποκατασταθούν (επισκευασθούν) οι βλάβες. Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο ανασχεδιασμού το αποτέλεσμα της αποτίμησης αυτής θα οδηγήσει στην απόφαση για απλή μόνο επισκευή ή για επισκευή και ενίσχυση.

2.3 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι στάθμες επιτελεστικότητας, είναι ουσιαστικά τα αποδεκτά επίπεδα ζημιών, ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης του σεισμού σχεδιασμού. Σύμφωνα με την 2^η Αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ (2017), ορίζονται 3 στάθμες επιτελεστικότητας συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής:

- a. «Περιορισμένες βλάβες» (Α) : Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- b. «Σημαντικές βλάβες» (Β) : Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένονσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμούς μέτριας έντασης.
- c. «Οιονεί κατάρρευση» (Γ) : Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου 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, τον σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμούς μέτριας έντασης.

Στον Ευρωκώδικα 8 μέρος 3 (ΕΚ8-3), ορίζεται ως πρώτη στάθμη επιτελεστικότητας, η DL (Limit state of Damage Limitation), στάθμη η οποία αναφέρεται σε λίγο μεγαλύτερες βλάβες συγκριτικά με την Στάθμη Α που ορίζει ο ΚΑΝΕΠΕ.

Η 2^η στάθμη επιτελεστικότητας που ορίζεται από τον ΕΚ8-3 είναι η Οριακή Κατάσταση Σημαντικών Βλαβών SD (Limit state of Significant Damage).

Η 3^η στάθμη, όπως και στον ΚΑΝΕΠΕ, ορίζεται ως Οιονεί Κατάρρευση NC (Limit state of Near Collapse).

2.4 ΕΝΙΑΙΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ Q

Σύμφωνα με την 2^η Αναθεώρηση του Κανονισμού Επεμβάσεων (2017), κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό γίνεται χρήση του ενιαίου δείκτη συμπεριφοράς q για το σύνολο του δομήματος, η τιμή του οποίου θα εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψιν τους παράγοντες οι οποίοι συνεργούν στην κατανάλωση σεισμικής ενέργειας.

Ανάλογα με την στάθμη επιτελεστικότητας για την αποτίμηση ή τον ανασχεδιασμό του φέροντος οργανισμού του κτιρίου, λαμβάνονται υπόψιν οι διαφοροποιημένες τιμές q* που δίνονται στον παρακάτω πίνακα 2-4:

Πίνακας 2.4 Τιμή συντελεστή συμπεριφοράς q ανάλογα με την στάθμη επιτελεστικότητας

ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
Περιορισμένες Βλάβες (Α)	Σημαντικές Βλάβες (Β)	«Οιονεί Κατάρρευση» (Γ)
0,6 πάντως δε 1,0 < q* < 1,5	1,0	1,4

2.5 ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

1. Σύμφωνα με την 2^η Αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ 2017, η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορούν δράσεις ή αντιστάσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφιστάμενου κτιρίου και λαμβάνεται υπόψιν κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.
2. Η Σ.Α.Δ. δεν είναι αναγκαστικά ενιαία για ολόκληρο το κτίριο. Προσδιορίζονται επιμέρους Σ.Α.Δ. για τις επιμέρους κατηγορίες πληροφοριών.

Η έννοια της Σ.Α.Δ. εφαρμόζεται και για την πληρότητα της αποτύπωσης του φέροντος οργανισμού και των τοιχοπληρώσεων, ιδίως στις περιπτώσεις αφανών στοιχείων. Οι επιπτώσεις της αβεβαιότητας μπορεί να ληφθούν υπόψιν στις δράσεις ή στις αντιστάσεις κατά περίπτωση (π.χ. αβεβαιότητα στο πάχος της επικάλυψης της πλάκας θα ληφθεί υπόψη στις δράσεις, αβεβαιότητα στο πάχος της ίδιας της πλάκας θα ληφθεί υπόψη κυρίως στις αντιστάσεις).

Διακρίνονται τρεις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων:

1. «Υψηλή»
2. «Ικανοποιητική»
3. «Ανεκτή»

Ανάλογα με την αξιοπιστία των δεδομένων:

- Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ_f για ορισμένες δράσεις με αβέβαιες τιμές, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ_{sd}
- Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ_m για τα δεδομένα των υφιστάμενων υλικών, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ_{Rd}

Σε περίπτωση που υπάρχει αδυναμία εκτέλεσης ελέγχου για τα χαρακτηριστικά των υλικών και αν δεν βρεθούν κακοτεχνίες, φθορές ή βλάβες σε αυτά, επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν για την τεκμηρίωση της αντοχής των υλικών κάποια αξιόπιστα αποτελέσματα παλαιότερων ποιοτικών ελέγχων ή αν δεν υπάρχουν ούτε αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ερήμην αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής για κάθε υλικό, που ορίζονται από τον ΚΑΝΕΠΕ και είναι διαφορετικές για το σκυρόδεμα, για το χάλυβα οπλισμού και για τις τοιχοπληρώσεις. Οι ερήμην αντιπροσωπευτικές τιμές για το κάθε υλικό αντίστοιχα, παρουσιάζονται παρακάτω στους πίνακες 2-5, 2-6 και 2-7 αντίστοιχα στο παραπάνω κεφάλαιο με τις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων §2.5.

Πίνακας 2.5 Ερήμην Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	«Ονομαστική» Μέση τιμή f_{cm} (MPa)	«Χαρακτηριστική» Μέση τιμή μείον μια τυπική απόκλιση f_{ck} (MPa)
...<1954	10	6
1954<...<1985	12	8
1985<...<1995	16	12
1995<...	20	16

Πίνακας 2.6 Ερήμην Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής χάλυβα οπλισμού

Κατηγορία Χάλυβα Οπλισμού	Ονομαστική «μέση» τιμή f_{ym} (MPa)	«Χαρακτηριστική» μέση τιμή μείον μια τυπική απόκλιση f_{yk} (MPa)
S220 & Stahl I	280	240
S400 & Stahl III	450	410
S500 & Stahl IV	520	500

Πίνακας 2.7 Ερήμην Αντιπροσωπευτικές τιμές τοιχοπλήρωσεων

Αντοχή	Τοιχοπλήρωση	Ποιότητα Δόμησης και σφίνωσης		
		Καλή	Μέση	Κακή
Λοξή Θλίψη $f_{wc,s}$ (MPa)	Μπατικός	2,0	1,50	1,00
	Δρομικός	1,50	1,00	0,75
Διαγώνια Ρηγμάτωση f_{wv} (MPa)	Μπατικός	0,25	0,20	0,15
	Δρομικός	0,20	0,15	0,10

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 - μέρος 3^ο και τον Πίνακα 2.8 καθορίζονται οι τιμές του συντελεστή εμπιστοσύνης (CF), ανάλογα με το επίπεδο γνώσης.

Πίνακας 2.8 Τιμές συντελεστή εμπιστοσύνης

Επίπεδο Γνώσης	Geometry	Λεπτομέρειες	Υλικά	Ανάλυση	CF
KL1	Από τα αρχικά σχέδια κατασκευής και δειγματοληπτική ή οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα	Προσομοίωση σχεδιασμού με βάση την πρακτική κατά τον χρόνο κατασκευής και από περιορισμένη επιτόπου επιθεώρηση	Προκαθορισμένες σύμφωνα με τα πρότυπα που ίσχυαν κατά το χρόνο κατασκευής και από περιορισμένες επιτόπου δοκιμές.	LF-MRS	1,35
KL2		Από μη πλήρη αρχικά λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και περιορισμένη επιτόπου επιθεώρηση ή από εκτεταμένη επιτόπου επιθεώρηση	Από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού και περιορισμένες επιτόπου δοκιμές ή από εκτεταμένες επιτόπου δοκιμές.	Όλες	1,20
KL3		Από τα αρχικά λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και περιορισμένη επιτόπου επιθεώρηση ή από διεξοδική επιτόπου επιθεώρηση	Από τις αρχικές αναφορές δοκιμών και περιορισμένες επιτόπου δοκιμές ή από διεξοδικές επιτόπου δοκιμές.	Όλες	1,00

Κρίσιμες παράμετροι είναι η επιλογή των Οριακών Καταστάσεων για τις οποίες θα γίνει η αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής, καθώς και η επιλογή των περιόδων αναφοράς της σεισμικής δράσης. Με βάση τον EC8-3 (Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3), αποφασίζεται κατά πόσο πρέπει να ελέγχονται και οι τρεις Οριακές Καταστάσεις (Ο.Κ.) που δίνονται πιο κάτω, ή δύο από αυτές, ή μόνο μία από αυτές.

1. Οριακή Κατάσταση Οιονεί Κατάρρευση (NC)
2. Οριακή Κατάσταση Σημαντικών Βλαβών (SD)
3. Οριακή Κατάσταση Περιορισμού Βλαβών (DL)

Η τιμή της περιόδου αναφοράς της σεισμικής δράσης που αντιστοιχεί στην κάθε οριακή κατάσταση εξαρτάται από το είδος του εκάστοτε κτιρίου και από τον οικονομοτεχνικό στόχο της σεισμικής προστασίας που επιδιώκεται. Σε υφιστάμενες κατασκευές, σύμφωνα με τον Πίνακα 2-9 του EC8-3, ισχύουν τα παρακάτω:

Πίνακας 2.9 Οριακές Καταστάσεις και Περίοδος Επαναφοράς Σεισμικής Δράσης

Περίοδος επαναφοράς Σεισμικής Δράσης (έτη)	Πιθανότητα Υπέρβασης σε 50 έτη	Συνδυασμός Οριακής Κατάστασης & Περιόδου Επαναφοράς Σεισμικής Δράσης		
		Οιονεί Κατάρρευση (NC)	Σημαντικών Βλαβών (SD)	Περιορισμός Βλαβών (DL)
2475	2%	2475 (NC)	2475 (SD)	2475 (DL)
475	10%	475 (NC)	475 (SD)	475 (DL)
225	20%	225 (NC)	225 (SD)	225 (DL)

2.6 ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Οι τοιχοποιίες στο σύνολο σχεδόν των συνήθων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ως στοιχεία πληρώσεως των πλαισίων. Στην Ελλάδα κατασκευάζονται από οπτόπλινθους (τούβλα) διαφόρων διαστάσεων και είναι κατά κύριο λόγο άοπλες. Οι εσωτερικές έχουν συνήθως πάχος από 12 έως 15 cm και οι εξωτερικές περίπου 25 cm (Καραγιάννης, 2019). Η επιρροή τους είναι τεράστια, όσον αφορά την σεισμική απόκριση και είναι κατά κύριο λόγο θετική. Οι τοιχοπληρώσεις αυξάνουν την αντοχή σε οριζόντια φορτία, καθώς και την απορρόφηση της σεισμικής

ενέργειας στο κτίριο. Αυξάνουν, όμως, και την δυσκαμψία του κτιρίου, γεγονός το οποίο θεωρείται αρνητικό, καθώς αυξάνονται κατά αυτόν τον τρόπο οι σεισμικές δυνάμεις, πολύ περισσότερο από την αύξηση της αντοχής που δίνουν οι ίδιες οι τοιχοπληρώσεις.

Αν η κατασκευή είναι μη κανονική ή ασύμμετρη, τότε μπορεί να προκληθεί στροφή ή δημιουργία μαλακού ορόφου. Ένα συχνό παράδειγμα αστοχίας μαλακού ορόφου είναι η πυλωτή (pilotis), όπου στους πάνω ορόφους έχουμε πολύ μεγάλη δυσκαμψία, ενώ στα υποστυλώματα της pilotis έχουμε μικρότερη δυσκαμψία και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατάρρευση των υποστυλωμάτων του ισογείου.

Επισημαίνεται όμως, πως κατά τον σχεδιασμό των νέων κατασκευών δεν λαμβάνεται υπόψιν η επιρροή των τοιχοπληρώσεων, ούτε στο μοντέλο της ανάλυσης, ούτε στο σχεδιασμό ή τη διαστασιολόγηση, ούτε στους υπολογισμούς. (Καραγιάννης, 2019)

Αντίθετα, στις παλαιές κατασκευές, ο ρόλος τους θεωρείται σημαντικός, καθώς η παράλειψή τους κυρίως στον τομέα της ανάλυσης και των υπολογισμών, θα αποφέρει την ανάγκη για σοβαρές ενισχύσεις του εκάστοτε κτιρίου.

2.6.1 ΣΥΝΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.1.4.2 του Κανονισμού Επεμβάσεων:

- a. Οι τοιχοποιίες πλήρωσης δεν επιτρέπεται να συνεκτιμώνται στην ανάληψη μη σεισμικών δράσεων.
- b. Οι τοιχοποιίες πλήρωσης συνίσταται να συνεκτιμώνται στην ανάληψη σεισμικών δράσεων.
- c. Οι τοιχοποιίες πλήρωσης συνεκτιμώνται υποχρεωτικά στην ανάληψη σεισμικών δράσεων, όταν αυτό συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό σε γενικό ή τοπικό επίπεδο.
- d. Ο παρών Κανονισμός δεν αναφέρεται σε φέρουσες τοιχοποιίες που έχουν κατασκευαστεί ταυτόχρονα με τον σκελετό

2.7 ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Στα κτίρια της δεκαετίας του 1960 δεν γινόταν χρήση του Ικανοτικού Σχεδιασμού. Όμως, αξίζει να γίνει μια αναφορά στις βασικές αρχές του και πως αυτός συμβάλλει, σήμερα, στην καλύτερη αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας ενός υφιστάμενου κτιρίου. Η βασική αρχή, λοιπόν, του Ικανοτικού σχεδιασμού είναι η εξασφάλιση της μεγαλύτερης δυνατής απορρόφησης ενέργειας, χωρίς μερική ή ολική αστοχία, δηλαδή κατάρρευση. (ΕΑΚ (2000), ΦΕΚ 2184 Β/20-12-1999, Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός)

Βασίζεται :

1. Στη χρήση όλων των αποθεμάτων αντοχής της κατασκευής
2. Στην ιεράρχηση των βλαβών και την εξασφάλιση εκδήλωσής τους με την επιθυμητή σειρά, πρώτα στις δοκούς, μετά στα υποστυλώματα κλπ.
3. Στην κατανομή των βλαβών σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό δομικών στοιχείων.

2.7.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Πρέπει πρώτα από όλα να εξασφαλίζεται ο καλύτερος δυνατός μηχανισμός απόκρισης και αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανάπτυξης του «μηχανισμού δοκών» και την αποφυγή του «μηχανισμού μαλακού ορόφου».

Ο μηχανισμός δοκών, λοιπόν, επιτυγχάνεται μέσω της εξασφάλισης μετελαστικής συμπεριφοράς τοιχωμάτων (§B.1.4 ΕΑΚ). Έπειτα, μέσω της εξασφάλισης ικανής πλαστιμότητας στις κρίσιμες περιοχές και τέλος, μέσω της αποφυγής της διατμητικής αστοχίας δοκών-υποστυλωμάτων. (Σπυράκος, 2008)

2.7.2 ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ-ΔΟΚΩΝ

Στον Ικανοτικό Έλεγχο Τέμνουσας ο βασικός στόχος είναι Ισχυρά υποστυλώματα - Ασθενείς Δοκοί. Είναι θεμιτό, τα μέλη της κατασκευής να αστοχήσουν από κάμψη (πλάστιμη αστοχία) και όχι από διάτμηση (ψαθυρή αστοχία).

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (EC8), η τέμνουσα σχεδιασμού ή ικανοτική τέμνουσα V_{Ed} υπολογίζεται από την ισορροπία των ροπών στα άκρα του υποστυλώματος $M_{1,d}$ και $M_{2,d}$. Υπολογίζεται, δηλαδή, από την σχέση :

$$V_{Ed} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_c} \quad (2-1)$$

Όπου $M_{1,d}$ και $M_{2,d}$: οι μέγιστες ροπές κατά τη θετική ή αντίστοιχα την αρνητική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 της δοκού

και

l_c : καθαρό μήκος υποστυλώματος

Αντίστοιχα , η ικανοτική τέμνουσα των δοκών ορίζεται ως εξής :

$$V_{Ed} = V_{0,b} + \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_c} \quad (2-2)$$

Όπου $M_{1,d}$ και $M_{2,d}$: οι μέγιστες ροπές κατά τη θετική ή αντίστοιχα την αρνητική διεύθυνση του σεισμού στα άκρα 1 και 2 του υποστυλώματος

$V_{0,b}$: η τέμνουσα που αναπτύσσεται στη δοκό από το εγκάρσιο σεισμικό φορτίο κατά τον σχεδιασμό

και

l_c : καθαρό μήκος υποστυλώματος

2.8 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφονται απλές μέθοδοι για την αποτίμηση ενός υφιστάμενου κτιρίου σύμφωνα με την 2η Αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ και τον Ευρωκώδικα 8 μέρος 3 και αναλύονται οι στόχοι της αποτίμησης και του ανασχεδιασμού.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι ανάλυσης του κτιρίου σύμφωνα με τους σύγχρονους Αντισεισμικούς Κανονισμούς.

Κεφάλαιο 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ανάλυσης για την εκτίμηση των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού που αναπτύσσονται στα μέλη μιας κατασκευής. Οι δύο βασικές κατηγορίες που διακρίνονται οι μέθοδοι ανάλυσης είναι (EN 1998-§4.3.3.1) :

1. Οι γραμμικές ελαστικές αναλύσεις :
 - Μέθοδος Ανάλυσης Οριζόντιας Φόρτισης
 - Ιδιομορφική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης (Μέθοδος Αναφοράς)
2. Οι μη γραμμικές αναλύσεις ή αλλιώς ανελαστικές αναλύσεις :
 - Μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover)
 - Μη γραμμική ανάλυση με εν χρόνω ολοκλήρωση (δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας)

«Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης υιοθετούν τη γραμμική σχέση έντασης παραμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής, με κατάλληλες τροποποιήσεις των μετακινήσεων και των κριτηρίων επιτελεστικότητας, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα εκδήλωσης μη γραμμικής συμπεριφοράς για το σεισμό σχεδιασμού. Οι ελαστικές μέθοδοι μπορούν μεν να δώσουν μια καλή εικόνα της ελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής μέχρι το σημείο της πρώτης διαρροής, αλλά αδυνατούν να προβλέψουν την ανακατανομή των εντάσεων που θα συμβεί κατά τη διάρκεια της προοδευτικής διαρροής των δομικών στοιχείων του φορέα μέχρι την κατάρρευση.

Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης σκοπεύουν στο ρεαλιστικότερο προσδιορισμό της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών, λαμβάνοντας υπόψη τις ανακατανομές των εσωτερικών εντάσεων λόγω των προκαλούμενων βλαβών (πλαστικοποιήσεων), δηλαδή λόγω της εισόδου της κατασκευής στην ανελαστική περιοχή. Έτσι, επιτρέπουν

καλύτερη εποπτεία και βοηθούν στην κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών, καταδεικνύοντας τόσο τους μηχανισμούς αστοχίας όσο και το ενδεχόμενο προοδευτικής κατάρρευσης. Με τον τρόπο αυτό, αντιμετωπίζονται πολλές από τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις ελαστικές μεθόδους ανάλυσης οι οποίες υιοθετούνται από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς». (Αντωνοδημητράκη, 2016)

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑ EC8

Όπως προαναφέρθηκε οι δύο γραμμικές αναλύσεις είναι η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης και η ιδιομορφική ανάλυση με φάσμα απόκρισης, η οποία λέγεται και δυναμική φασματική μέθοδος (ΕΑΚ 2000). Στην ιδιομορφική ανάλυση, ουσιαστικά, γίνεται επαλληλία των ιδιομορφών και χρήση ομαλοποιημένου φάσματος σχεδιασμού.

Η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης ή αλλιώς απλοποιημένη φασματική μέθοδος (ΕΑΚ 2000), πρόκειται για μια στατική ανάλυση με ισοδύναμη οριζόντια φόρτιση, η οποία προσδιορίζεται με χρήση ομαλοποιημένου φάσματος σχεδιασμού (ονομάζεται και ισοδύναμη στατική μέθοδος). (Καραγιάννης, 2019)

Όσον αφορά την ανελαστική στατική ανάλυση Pushover ή υπερωθητική ανάλυση, πρόκειται για μια ανάλυση κατά την οποία ο φορέας καταπονείται πλευρικά από οριζόντιο φορτίο και υπολογίζεται το διάγραμμα συνολικού οριζόντιου φορτίου (ή τέμνουσας στη βάση του κτιρίου) με τη μετακίνηση στην κορυφή. Το διάγραμμα που προκύπτει λέγεται καμπύλη αντίστασης ή καμπύλη ικανότητας. (Πνευματικός, 2018)

Τέλος, η δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας είναι μια μέθοδος, η οποία προϋποθέτει αξιόπιστη γνώση αντοχών των υλικών, καθώς επίσης και επαρκή εμπειρία. Για τη μέθοδο αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον τρία επιταχυνσιογραφήματα καθώς επίσης και ο μέσος όρος ή η μέγιστη τιμή S . (Κάππος, 2009)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα γίνουν συγκρίσεις των αποτελεσμάτων μεταξύ της υπερωθητικής ανάλυσης και της δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας καθώς επίσης και της ιδιομορφικής ανάλυσης.

3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΚΑΝΕΠΕ

Σύμφωνα με την 2^η Αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ στην παράγραφο 2.4.3.3, για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ενός κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια από τις παρακάτω μεθόδους ανάλυσης. Το πεδίο εφαρμογής κάθε μεθόδου ανάλυσης συναρτάται με την εκπλήρωση μιας σειράς προϋποθέσεων, κανονικότητας κυρίως. Οι μέθοδοι ανάλυσης λοιπόν που προβλέπονται από τον Κανονισμό είναι οι εξής :

- Ελαστική (Ισοδύναμη) στατική ανάλυση με καθολικούς (q) ή τοπικούς (m) δείκτες, ανεξαρτήτως αξιοπιστίας δεδομένων.
- Ελαστική δυναμική ανάλυση με καθολικούς (q) ή τοπικούς (m) δείκτες, ανεξαρτήτως στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.
- Ανελαστική στατική ανάλυση. Στην περίπτωση αυτή συνίσταται η διασφάλιση τουλάχιστον «ικανοποιητικής» στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας). Και στην περίπτωση αυτή συνίσταται η διασφάλιση τουλάχιστον «ικανοποιητικής» στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.
- Σε ειδικές περιπτώσεις μόνο για την αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων, επιτρέπεται να γίνεται προσεγγιστική αναλυτική εκτίμηση της έντασης χωρίς λεπτομερή ανάλυση προσομοιώματος του συνόλου του κτιρίου.
- Εκτός από τις παραπάνω αναλυτικές μεθόδους μόνο για την αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων και για συγκεκριμένους σκοπούς, είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι.

3.3 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ PUSHOVER

Η μέθοδος αυτή έχει ως κύριο στόχο, όπως προαναφέρθηκε τη δημιουργία της καμπύλης αντίστασης ή καμπύλης ικανότητας, η οποία εκφράζει τη σχέση μεταξύ του οριζόντιου φορτίου ή τέμνουσας βάσης, σε συνάρτηση με τη μετατόπιση της κορυφής. Κάθε σημείο πάνω στην καμπύλη αυτή ,αντιστοιχεί και σε μια κατάσταση παραμόρφωσης της κατασκευής. Η κατασκευή, αρχικά, βρίσκεται στην ελαστική περιοχή και δεν έχει υποστεί βλάβες ή μπορεί να έχει ελάχιστες βλάβες. Στο δεύτερο στάδιο/σημείο της καμπύλης η κατασκευή έχει πάθει σοβαρές βλάβες, οι οποίες, όμως, επιδέχονται επισκευή, η κατασκευή στο σημείο αυτό δεν έχει υποστεί κατάρρευση. Στο επόμενο σημείο της καμπύλης η κατασκευή είναι ακριβώς λίγο πριν την ολική κατάρρευση, ενώ ένα τμήμα της μπορεί να έχει ήδη καταρρεύσει. Άρα, μέσω της καμπύλης αυτής, μπορούν να ορισθούν ορισμένες επιθυμητές καταστάσεις που μπορεί να βρίσκεται η κατασκευή μετά από έναν δεδομένο σεισμό σχεδιασμού, οι οποίες ονομάζονται στάθμες επιτελεστικότητας. Υπάρχουν τρεις στάθμες επιτελεστικότητας που έχουν ήδη προαναφερθεί στο κεφάλαιο Στάθμες Επιτελεστικότητας.

Ο δεύτερος στόχος της ανάλυσης αυτής είναι η ύπαρξη επαρκούς υπεραντοχής στο κτίριο που προκύπτει από τον λόγο $\frac{a_u}{a_1}$ όπου a_u : μηχανισμός κατάρρευσης και a_1 : 1^η διαρροή. Ο λόγος αυτός γενικά είναι μικρότερος ή ίσος του 1.5, ή εξαρτάται από τον τύπο των πλαισίων ή των τοιχωμάτων της εκάστοτε κατασκευής.

Ο τρίτος στόχος είναι η παρακολούθηση της συμπεριφοράς των μελών ως προς τη δημιουργία των πλαστικών αρθρώσεων. Μέσω αυτής της παρακολούθησης, επιτυγχάνεται η σωστή αποτύπωση των ζημιών της κατασκευής και κατ' επέκταση ο έλεγχος σχεδιασμού π.χ. ο ικανοτικός σχεδιασμός τέμνουσας υποστλωμάτων-δοκών.

Οι τρεις βασικές παράμετροι στις οποίες βασίζεται η Pushover είναι η ικανότητα, η απαίτηση και η συμπεριφορά. Η ικανότητα της κατασκευής αναφέρεται στην καμπύλη αντίστασης ή ικανότητας που έχει προαναφερθεί, η απαίτηση αφορά στη στοχευόμενη μετακίνηση ή στάθμη επιτελεστικότητας και τέλος, η συμπεριφορά που απορρέει από τα δύο προηγούμενα και είναι ο έλεγχος της συμπεριφοράς της κατασκευής, ο οποίος εξασφαλίζει ότι τα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής δεν έχουν

υποστεί βλάβες πέραν των επιτρεπτών ορίων συναρτήσει των σταθμών επιτελεστικότητας. (LH Λογισμική 2013; ΤΟΛ ,2018)

Η μέθοδος της ανελαστικής ανάλυσης pushover χρησιμοποιείται και σε καινούργια και σε υφιστάμενα κτίρια. Το κτίριο υπό μελέτη, είναι υφιστάμενο κτίριο. Επομένως, στόχος είναι ο σχεδιασμός της καμπύλης αντίστασης που με βάση αυτήν, θα προκύψει και το σημείο επιτελεστικότητας. Σύμφωνα με το σημείο επιτελεστικότητας θα πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι σε όρους παραμορφώσεων ή δυνάμεων. (LH Λογισμική 2013)

3.4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο, έγινε μια αναλυτική περιγραφή των μεθόδων ανάλυσης σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει περιγραφή του φέροντος οργανισμού, παραδοχές υλικών και φορτίων, καθώς επίσης και αναφορά στα γεωμετρικά δεδομένα της κατασκευής.

Κεφάλαιο 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι απαραίτητες πληροφορίες για το κτίριο που θα μελετηθεί, καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με θέματα που αφορούν τον Αντισεισμικό Σχεδιασμό εν γένει, για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα κατά τη δεκαετία του 1960 έως και σήμερα, παρουσιάζοντας παράλληλα και την εφαρμογή των εκάστοτε κανονισμών μέχρι την εφαρμογή των σύγχρονων Αντισεισμικών Κανονισμών. Θα γίνει περιγραφή του κτιρίου κατά τη γεωμετρία του και οι παραδοχές που έγιναν κατά το σχεδιασμό του.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο που θα μελετηθεί είναι ένα υφιστάμενο, κανονικό κτίριο της δεκαετίας του 1960. Αποτελείται από πέντε (5) ορόφους με σταθερό ύψος ορόφων 3,0 m. Είναι κατασκευασμένο σύμφωνα με τους Αντισεισμικούς Κανονισμούς του 1959 (Β.Δ 1959 & Β.Δ 1954). Τα κτίρια της περιόδου αυτής δεν διαφέρουν μόνο όσον αφορά τους Αντισεισμικούς Κανονισμούς, αλλά και ως προς τον τρόπο σύλληψης του φέροντα οργανισμού, η οποία επηρεάζει σημαντικά την σεισμική συμπεριφορά. Τα κτίρια αυτά, λοιπόν, χαρακτηρίζονται από σχετικά πυκνή διάταξη υποστυλωμάτων, απουσία τοιχωμάτων, πυκνή διάταξη τοιχοποιιών σχετικά καλής ποιότητας, μικρές ακανονικότητες καθ' ύψος. Τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής είναι σχετικά μικρών διαστάσεων, ενώ τα υλικά παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά στις ιδιότητές τους. Επίσης, δεν διατάσσεται επαρκής οπλισμός περίσφιγξης, ούτε γίνεται ικανοτικός έλεγχος κατά τον σχεδιασμό. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι η δυσχέρεια εκτίμησης ενός συνολικού διαθέσιμου δείκτη συμπεριφοράς.

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι διαμορφωμένος με πλαίσια δοκών-υποστυλωμάτων.

Το υπό μελέτη κτίριο θα μελετηθεί σύμφωνα με τους Αντισεισμικούς Κανονισμούς Ευρωκώδικα 8 και ΚΑΝΕΠΕ, που είναι οι πλέον ισχύοντες Κανονισμοί και θα υποβληθεί σε μη γραμμικές στατικές και δυναμικές αναλύσεις, προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά τους.

4.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ

4.3.1 ΦΟΡΤΙΑ

Το εξεταζόμενο κτίριο θεωρείται ότι είναι σύνηθες κτίριο κατοικιών ή γραφείων. Ο σχεδιασμός του κτιρίου έγινε με τις παραδοχές που χρησιμοποιούνται την αντίστοιχη περίοδο κατασκευής του κτιρίου δηλαδή τη δεκαετία του 1960. Τα φορτία είναι ίσα με $1,5 \text{ KN/m}^2$ επικάλυψη και $2,0 \text{ KN/m}^2$ κινητό. Η εσωτερική τοιχοποιία λαμβάνεται ως φορτίο ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλες τις πλάκες ίσο με $1,0 \text{ KN/m}^2$, ενώ το φορτίο της εξωτερικής τοιχοποιίας (ανά m^2 όψεως) είναι ίσο με $3,6 \text{ KN/m}^2$. Τα περισσότερα κτίρια της δεκαετίας αυτής μελετήθηκαν για κατηγορία σεισμικής ζώνης I σε έδαφος τύπου A, με αντίστοιχο σεισμικό συντελεστή ε ίσο με 0,04.

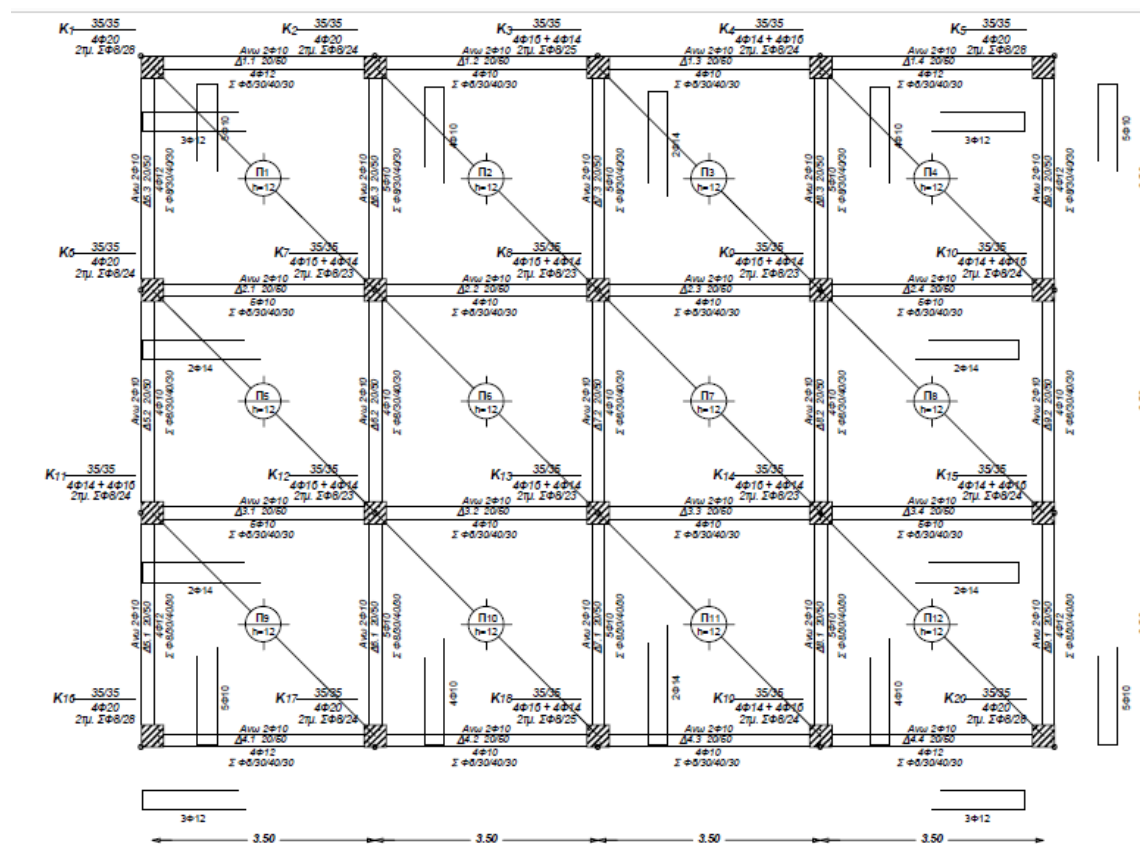
4.3.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΥΛΙΚΑ

Επειδή ο σκοπός της εν λόγω εργασίας είναι η σεισμική αποτίμηση και όχι ο σχεδιασμός του κτηρίου, χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των υλικών. Επομένως, τα υλικά που θεωρήθηκαν κατά τον σχεδιασμό σύμφωνα με τους παλιούς κανονισμούς Β.Δ. 1954, ήταν B160 με μέση αντοχή κύβου $16,0 \text{ MPa}$ για το σκυρόδεμα και St I με μέση τιμή τάσεως διαρροής 310 MPa και τάσεως αστοχίας 420 MPa για τον χάλυβα. Σύμφωνα με τους Σύγχρονους Κανονισμούς, η αντιστοιχία του σκυροδέματος B160 είναι το C12/15, για χάλυβα St I -χάλυβας S220 για τους συνδετήρες και χάλυβας S400 για το διαμήκη οπλισμό κατ' αντιστοιχία με τον παλιό χάλυβα St III .

4.4 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.4.1 ΔΟΚΟΙ

Το κτίριο αποτελείται από ίδιες δοκούς διαστάσεων 20/50 όπου $b=20$ και $h=50$. Οι ελάχιστοι οπλισμοί κατά τη διαστασιολόγηση ήταν 2Φ10 άνω & κάτω και η μέγιστη απόσταση συνδετήρων ήταν ίση με 40 cm. Κατά κύριο λόγο στα κτίρια της δεκαετίας αυτής χρησιμοποιούνταν σπαστά σίδερα (μυσά+1). Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ο οπλισμός των δοκών στον 1^ο όροφο :



Σχήμα 4-1 Κάτοψη 1^ο ορόφου

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά οι διατομές & οι οπλισμοί του 1^ο ορόφου στον παρακάτω πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1 Διατομές & Οπλισμός Δοκών 1^{ου} ορόφου

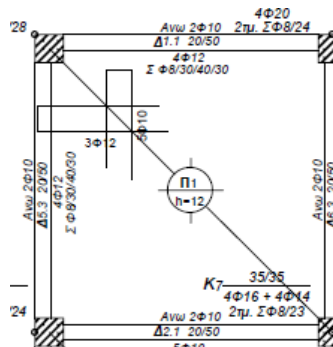
			ΑΡΙΣΤΕΡΑ		ΜΕΣΗ		ΔΕΞΙΑ
Δ1.1	άνω		2Φ12+3Φ12+2Φ10		2Φ10		2Φ12+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ12+3Φ12		4Φ12		2Φ12
Δ1.2	άνω		2Φ12+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ1.3	άνω		6Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ12+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ1.4	άνω		2Φ10+2Φ12+2Φ10		2Φ10		3Φ12+2Φ10+2Φ12
	κάτω		2Φ12		4Φ12		2Φ12+3Φ12
Δ2.1	άνω		2Φ14+3Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10+2Φ14		5Φ10		2Φ10
Δ2.2	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ2.3	άνω		2Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ2.4	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ14
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10+2Φ14
Δ3.1	άνω		2Φ14+3Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10+2Φ14		5Φ10		2Φ10
Δ3.2	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ3.3	άνω		2Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ3.4	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ14
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10+2Φ14
Δ4.1	άνω		3Φ12+2Φ12+2Φ10		2Φ10		2Φ12+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ12+3Φ12		4Φ12		2Φ12
Δ4.2	άνω		2Φ12+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ10

	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ4.3	άνω		6Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ12+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ4.4	άνω		2Φ10+2Φ12+2Φ10		2Φ10		3Φ12+2Φ10+2Φ12
	κάτω		2Φ12		4Φ12		2Φ12+3Φ12
Δ5.1	άνω		2Φ10+2Φ12+5Φ10		2Φ12		2Φ10+2Φ10+2Φ12
	κάτω		2Φ12+5Φ10		4Φ12		2Φ12
Δ5.2	άνω		2Φ12+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ12
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ5.3	άνω		2Φ10+2Φ12+2Φ10		2Φ12		2Φ10+2Φ12+5Φ10
	κάτω		2Φ12		4Φ12		2Φ12+5Φ10
Δ6.1	άνω		4Φ10+3Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10
Δ6.2	άνω		2Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ6.3	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		4Φ10+3Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10
Δ7.1	άνω		2Φ14+3Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10
Δ7.2	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ7.3	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ14
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10
Δ8.1	άνω		4Φ10+3Φ10+2Φ10		2Φ10		3Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10
Δ8.2	άνω		2Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		2Φ10+2Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		4Φ10		2Φ10
Δ8.3	άνω		3Φ10+2Φ10+2Φ10		2Φ10		4Φ10+3Φ10+2Φ10
	κάτω		2Φ10		5Φ10		2Φ10

Δ9.1	άνω	2Φ10+2Φ12+5Φ10	2Φ12	2Φ10+2Φ10+2Φ12
	κάτω	2Φ12+5Φ10	4Φ12	2Φ12
Δ9.2	άνω	2Φ12+2Φ10+2Φ10	2Φ10	2Φ10+2Φ10+2Φ12
	κάτω	2Φ10	4Φ10	2Φ10
Δ9.3	άνω	2Φ10+2Φ12+2Φ10	2Φ12	2Φ10+2Φ12+5Φ10
	κάτω	2Φ12	4Φ12	2Φ12+5Φ10

4.4.2 ΠΛΑΚΕΣ

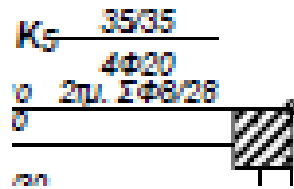
Οι πλάκες σε όλους τους ορόφους έχουν ενιαίο πάχος που είναι ίσο με 12 cm (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4-2 Πλάκα

4.4.3 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Τα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου είναι διαστάσεων 35x35. Στον 2^ο όροφο τα 4 εξωτερικά γωνιακά υποστυλώματα είναι διαστάσεων 35x35 και όλα τα ενδιάμεσα 30x30. Στον 3^ο όροφο τα 4 εξωτερικά γωνιακά υποστυλώματα είναι διαστάσεων 30x30, ενώ όλα τα υπόλοιπα εσωτερικά 25x25. Τα υποστυλώματα του 4^{ου} ορόφου είναι ίδια με του 3^{ου}, ενώ του 5^{ου} ορόφου είναι ίδια με των δύο προηγούμενων ορόφων (3^{ου} και 4^{ου}). Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται ενδεικτικά ο σπλισμός ενός υποστυλώματος του 1^{ου} ορόφου, ο οποίος αποτελείται από σίδερα διαμέτρου Φ20 (mm) στις 4 γωνίες του υποστυλώματος και δίμητος συνδετήρας διαμέτρου Φ8 (mm) ανά 28 mm.



Σχήμα 4-3 Υποστόλωμα

4.5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε αναλυτική περιγραφή του κτιρίου και των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση του φέροντος οργανισμού στο λογισμικό Seismostruct.

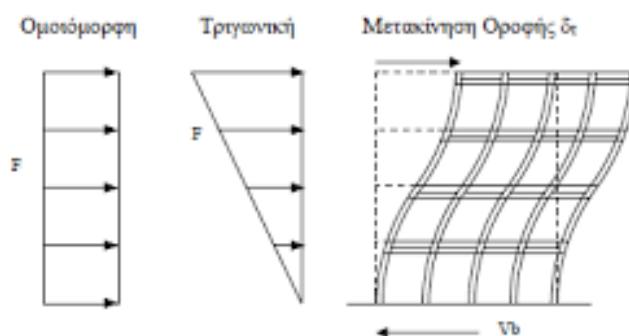
Στη συνέχεια, θα γίνει περιγραφή του λογισμικού και βήμα προς βήμα ανάλυση της εισαγωγής του κτιρίου σε αυτό.

Κεφάλαιο 5

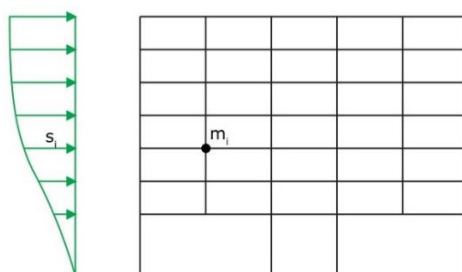
ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κτίριο θα προσομοιωθεί με την βοήθεια του προγράμματος SeismoStruct. Προκειμένου να γίνει σωστά η προσομοίωση, πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλα τα φορτία, οριζόντια και κατακόρυφα. Τα οριζόντια φορτία είναι τα φορτία της σεισμικής δράσης. Η κατανομή των φορτίων μπορεί να γίνει είτε τριγωνικά, είτε ομοιόμορφα, είτε ιδιομορφικά.



Σχήμα 5-1 Μετακίνηση της οροφής κατά τη μη γραμμική στατική ανελαστική ανάλυση υπό την επιρροή ομοιόμορφου ή τριγωνικού φορτίου (Καλαμάρα 2012)



Σχήμα 5-2 Ιδιομορφική κατανομή (LH Λογισμική 2015)

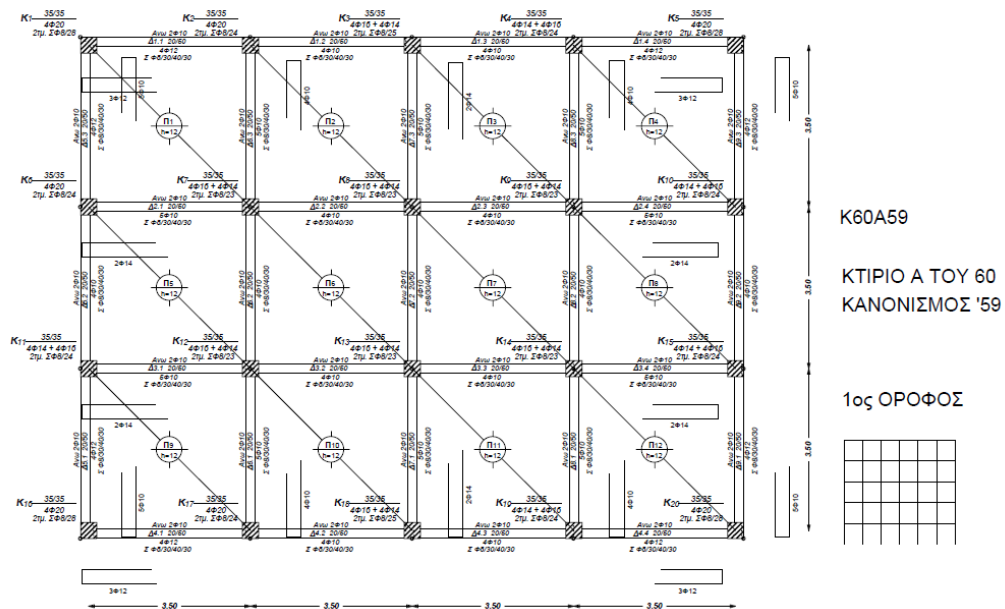
5.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

5.2.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

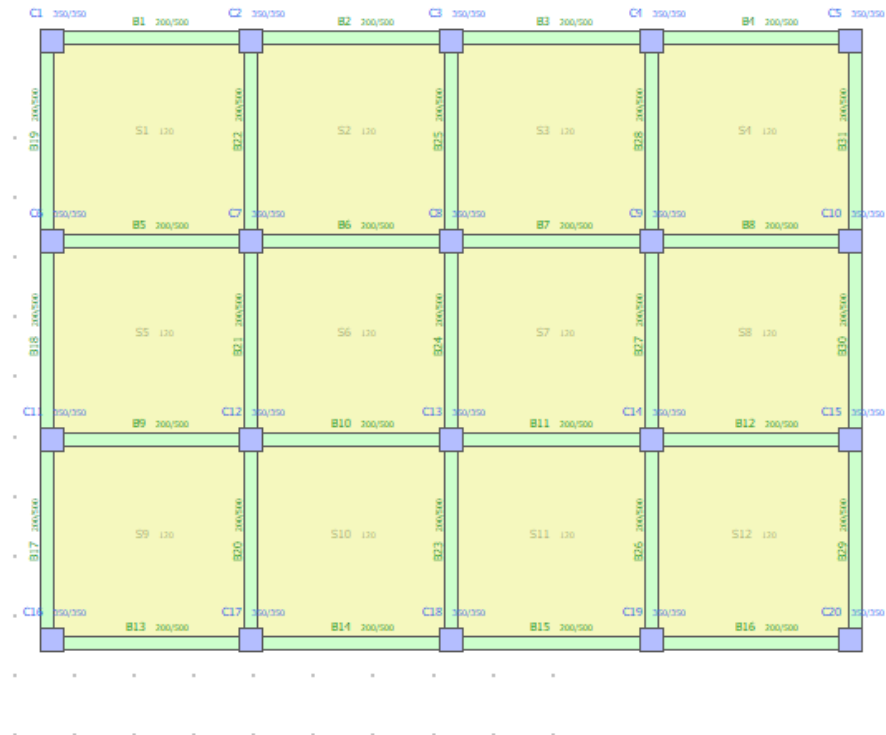
Το SeismoStruct είναι ένα πρόγραμμα που μπορεί μέσω στατικών ή δυναμικών αναλύσεων να προβλέψει της μετακινήσεις μιας κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψιν της γεωμετρικές μη γραμμικότητες όσο και την αστάθεια του υλικού, καθώς βασίζεται στους Σύγχρονους Αντισεισμικούς Κανονισμούς.

5.2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΕΑ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Πρώτο βήμα είναι να περαστεί ο φορέας στο λογισμικό. Στο πρώτο στάδιο γίνεται εισαγωγή της γεωμετρίας του φέροντος οργανισμού, δηλαδή αριθμός ορόφων, ύψος κάθε ορόφου κλπ. , τα οποία συνήθως είναι δεδομένα από την κάτοψη. Έχοντας την κάτοψη του κάθε ορόφου (που παρατίθεται παρακάτω- Σχήμα 5.3), περνιούνται οι δοκοί, τα υποστυλώματα και οι πλάκες του κτιρίου. (Σχήμα 5.4). Επιλέγονται, οι διαστάσεις των διατομών καθώς της και οι διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί.

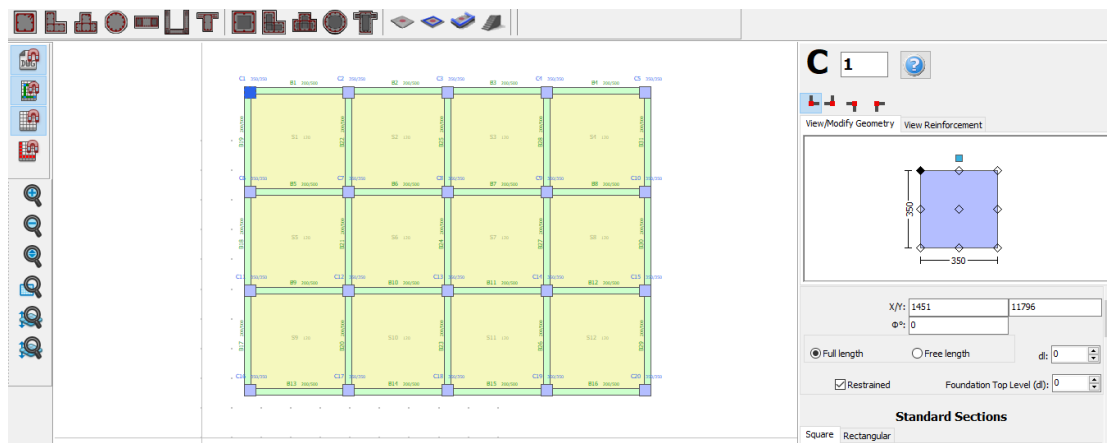


Σχήμα 5-3 Κάτοψη Τυπικού Ορόφου

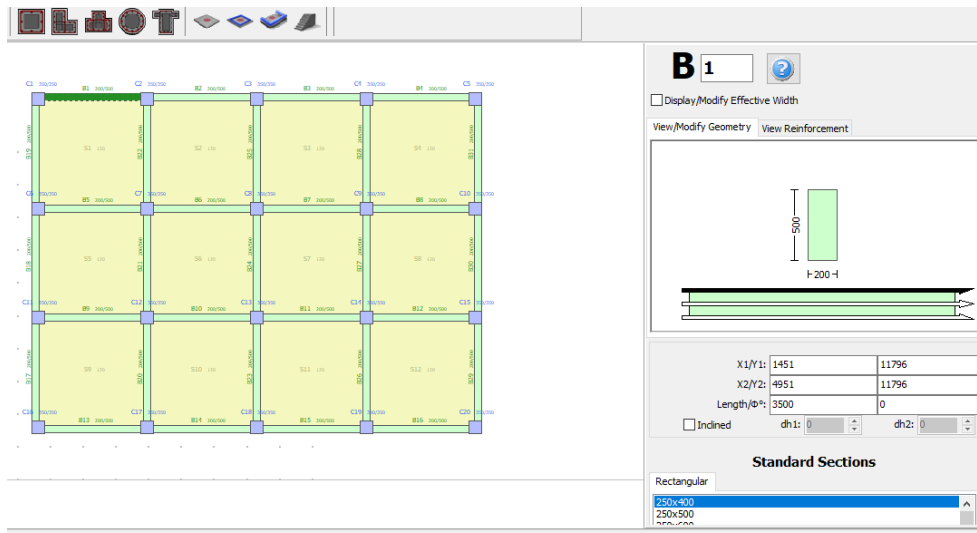


Σχήμα 5-4 Εισαγωγή επιμέρους μελών κατασκευής (δοκών, υποστυλωμάτων, πλακών)

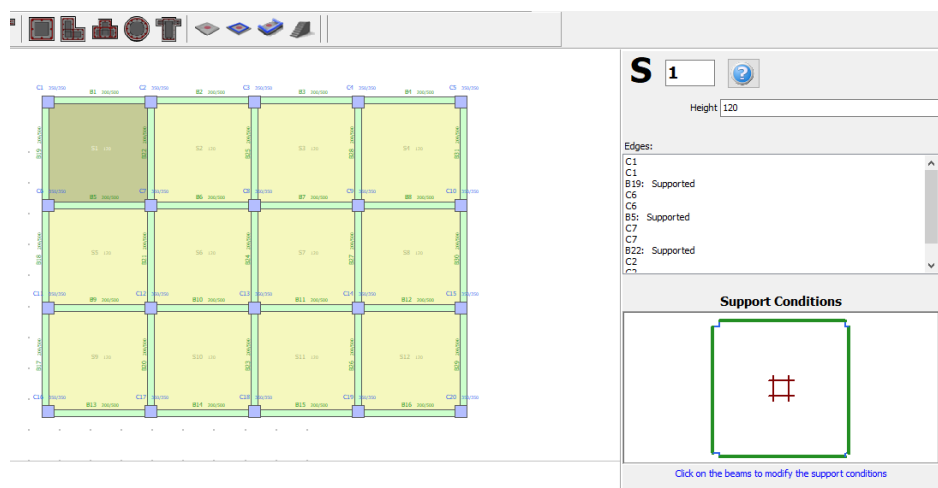
Στο Σχήμα 5.5 γίνεται η εισαγωγή και επεξεργασία της γεωμετρίας των διατομών των υποστυλωμάτων και αντίστοιχα στα Σχήματα 5.6 και 5.7, η εισαγωγή των δοκών και πλακών.



Σχήμα 5-5 Εισαγωγή/επεξεργασία γεωμετρίας διατομών για υποστήλωμα (View/modify geometry)

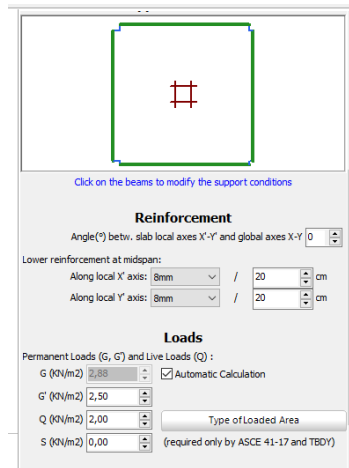


Σχήμα 5-6 Εισαγωγή/επεξεργασία γεωμετρίας διατομών για δοκό (View/modify geometry)

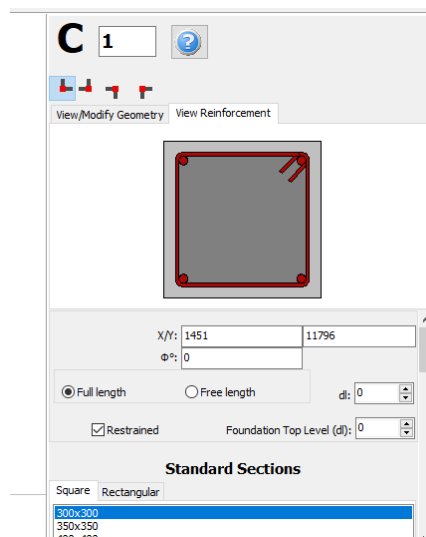


Σχήμα 5-7 Εισαγωγή πάχους πλάκας

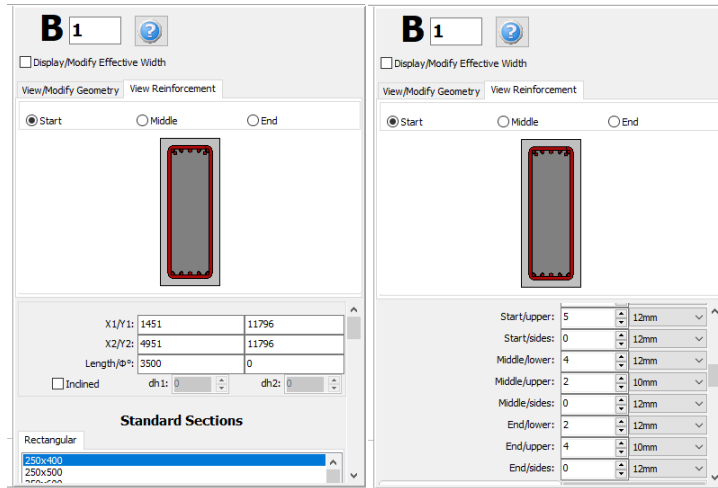
Αφού περαστούν όλα τα επιμέρους μέλη της κατασκευής, περνούν και οι οπλισμοί στις δοκούς, στα υποστυλώματα και τις πλάκες, όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.8-5.10 παρακάτω.



Σχήμα 5-8 Εισαγωγή οπλισμού και φορτίων πλάκας

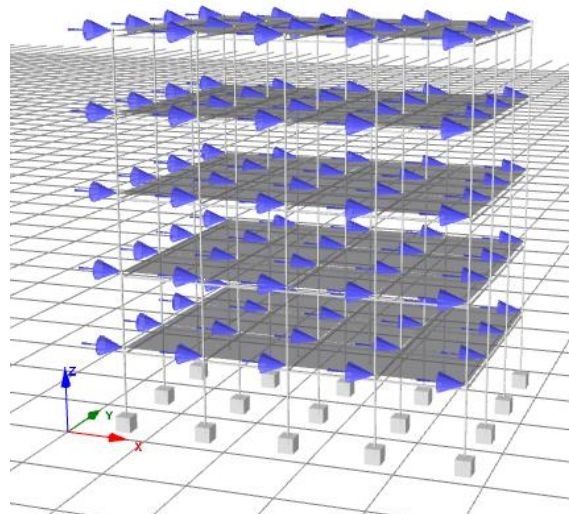


Σχήμα 5-9 Εισαγωγή διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών υποστυλώματος (View reinforcement)



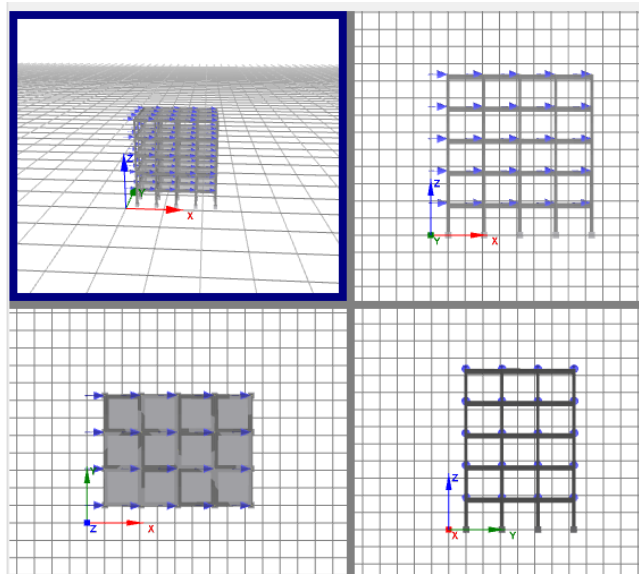
Σχήμα 5-10 Εισαγωγή οπλισμού δοκού(αρχή-μέση-τέλος)

Ο φορέας αφού πλέον εξαχθεί έχει την παρακάτω μορφή (Σχήμα 5.11):



Σχήμα 5-11 Φέρων οργανισμός (Line Elements)

Στο Σχήμα 5.12, ο φορέας του κτιρίου φαίνεται σε κάτοψη, όψεις και



Σχήμα 5-12 Φέρων οργανισμός (quad view)

Στο περιβάλλον αυτό μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις του μοντέλου/φέροντα οργανισμού. Δηλαδή μέσω του *Materials* μπορούν να επιλεχθούν υλικά και οι ιδιότητές της π.χ. αντοχή σκυροδέματος, τάση διαρροής χάλυβα κλπ.

Στην καρτέλα *Sections* προσδιορίζονται τα υλικά και οι διαστάσεις της, ο σπλισμός της διατομής και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής.

Τα στοιχεία που θα είναι διαθέσιμα σε ένα έργο Seismostruct ορίζονται στην ενότητα *Element Classes*. Οι τύποι στοιχείων χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό κατηγοριών στοιχείων ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιήθηκαν τύποι υλικών για τον καθορισμό υλικών ή χρησιμοποιήθηκαν τύποι ενοτήτων για τον καθορισμό ενοτήτων (sections). Ως εκ τούτου, της στην περίπτωση υλικών και τμημάτων, σε ένα έργο Seismostruct μπορεί να υπάρχει οποιοσδήποτε αριθμός διαφορετικών κατηγοριών στοιχείων που ανήκουν στον ίδιο τύπο στοιχείου. Παραδείγματος χάριν, για να μοντελοποιήσει δύο διαφορετικά υποστυλώματα, ο χρήστης πρέπει να ορίσει δύο διαφορετικές κλάσεις στοιχείων, και οι δύο να έχουν τα ίδια στοιχεία τύπου (element type) -στοιχεία πλαισίου (frame elements) .

Οι κλάσεις στοιχείων (element classes) που ορίζονται σε αυτήν την ενότητα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια στη μονάδα συνδεσιμότητας στοιχείων (*Element Connectivity*) για τη δημιουργία των πραγματικών στοιχείων που σχηματίζουν το

δομικό μοντέλο που κατασκευάζεται. Μέσω του element connectivity, μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο και οι τοιχοπληρώσεις (infills), όπως έγινε και στο συγκεκριμένο μοντέλο.

Στο SeismoStruct, υπάρχουν 17 τύποι element types που είναι χωρισμένοι σε 3 κατηγορίες *Beam column element types*, *Link element types* και *Mass & Damping Element types*. Στη στατική ανάλυση (static analysis) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μερικά element types όπως για παράδειγμα τα Mass & Damping Element types.

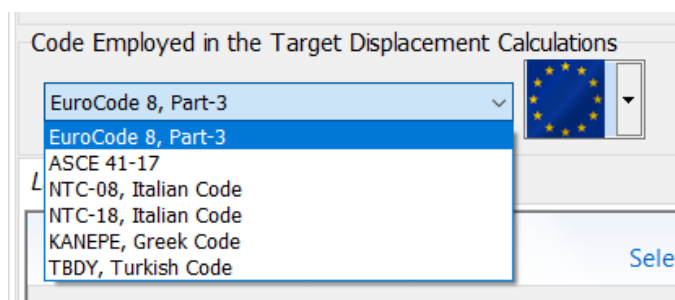
Ο καθορισμός της δομικής γεωμετρίας της δομής είναι μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων. Πρώτον, καθορίζονται όλοι οι δομικοί και μη δομικοί κόμβοι (*Structural & Non-Structural Nodes*), μετά από τον καθορισμό των οποίων μπορεί να καθοριστεί η συνδεσιμότητα στοιχείων. Στη συνέχεια, η διαδικασία ολοκληρώνεται με την εκχώρηση δομικών περιορισμών (*Restraints*), που χαρακτηρίζουν πλήρως τις οριακές συνθήκες της δομής. Εκτός από τους περιορισμούς, μπορούν να οριστούν επιπλέον και τα *Constraints*.

Μετά τον γεωμετρικό προσδιορισμό της κατασκευής, μπορούν να προσδιοριστούν τα φορτία μέσω της καρτέλας *Applied Loads*. Ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης που έχει επιλεγεί, πρέπει να γίνουν και κάποιες περαιτέρω ρυθμίσεις που αφορούν τα στάδια φόρτισης (Loading Phases), τις καμπύλες χρονοϊστορίας (Time-history Curves) και τις παραμέτρους.

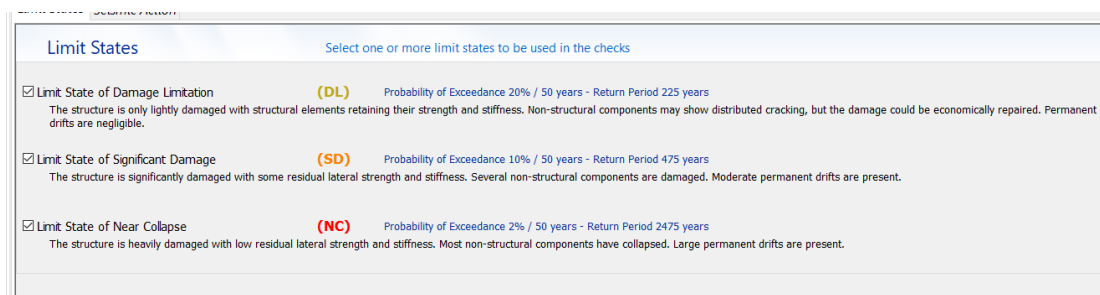
Η επόμενη καρτέλα είναι το *Loading Phases*. Στην καρτέλα αυτή ορίζεται συγκεκριμένος αριθμός βημάτων με τον οποίο θα τρέξει η ανάλυση. Στην συγκεκριμένη ανάλυση έχουν επιλεγεί 100 βήματα.

Το *Target Displacement* είναι μια καρτέλα στην οποία υπάρχει η επιλογή του υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης (*Calculate Target Displacement*). Στην περίπτωση που επιλεγεί αυτό, το πρόγραμμα εκτελεί πρώτα μια ιδιομορφική ανάλυση και έπειτα, την υπερωθητική ανάλυση (pushover analysis). Προκειμένου, να υπολογισθεί η στοχευόμενη μετακίνηση πρέπει πρώτα να επιλεγθούν κάποιες παράμετροι, δηλαδή ποιος κώδικας θα ληφθεί υπόψιν (EK8-3 στην τρέχουσα ανάλυση), ποιο control node και ποιο control direction (επιλέγονται αυτόματα), οι οριακές καταστάσεις (Limit states) ανάλογα με τον Κανονισμό που έχει επιλεγεί για να τρέξει η ανάλυση και τέλος, το ελαστικό φάσμα απόκρισης (elastic response

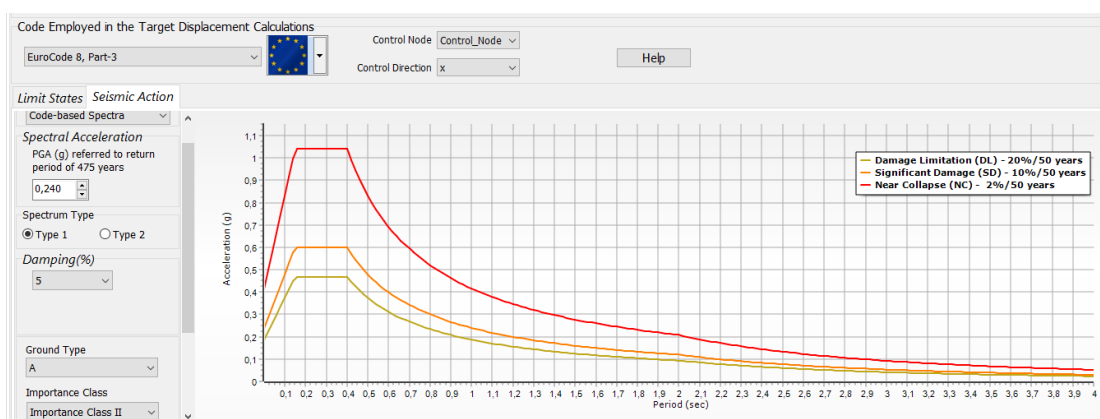
spectrum) το οποίο είτε μπορεί να προέλθει από τον Κώδικα/Κανονισμό (Code-Based Spectrum option), είτε μπορεί να το επιλέξει ο χρήστης (User defined spectrum option). Στην συγκεκριμένη εργασία έχει επιλεχθεί η δεύτερη περίπτωση στην οποία ο χρήστης επιλέγει τις παραμέτρους με βάση το φάσμα του Κανονισμού – Κώδικα. Έχει επιλεχθεί δηλαδή, για τον Ευρωκώδικα 8 Μέρος-3, η φασματική επιτάχυνση $PGA=0,24g$, τύπος φάσματος 1, απόσβεση 5%, κατηγορία εδάφους A και κατηγορία σπουδαιότητας II, όπως φαίνεται στα παρακάτω Σχήματα 5.13-5.15.



Σχήμα 5-13 Επιλογή Κανονισμών

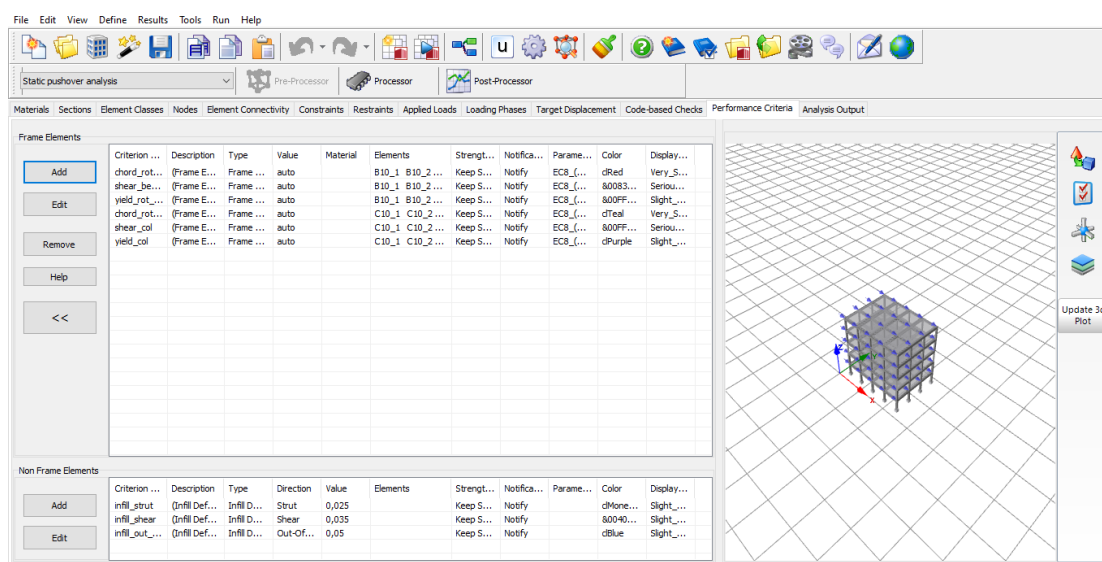


Σχήμα 5-14 Οριακές καταστάσεις(DL,SD,NC)



Σχήμα 5-15 Code Based Spectra

Η επόμενη καρτέλα είναι το **Performance Criteria**, στο οποίο ο μελετητής/χρήστης είναι σε θέση να εντοπίσει τις στιγμές τις οποίες τα μέλη έχουν «φτάσει» στις οριακές τους καταστάσεις. Δηλαδή, η επίτευξη μιας δεδομένης τιμής οριακής κατάστασης της καταπόνησης του υλικού, της καμπυλότητας διατομής, της κάμψης στοιχείων και / ή της διάτμησης στοιχείων, της δύναμης / ροπής στοιχείων, της παραμόρφωσης στοιχείων, της μετατόπισης στοιχείων κ.λπ. κατά την ανάλυση μιας δομής παρακολουθείται αυτόματα από το πρόγραμμα μέσω των κριτηρίων αυτών. Στην συγκεκριμένη εργασία έχουν ορισθεί στα γραμμικά στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων (**Frame Elements**) τα παρακάτω κριτήρια, όπως μπορεί κανείς να δει και στο Σχήμα 5.16 παρακάτω:



Σχήμα 5-16 Performance Criteria

Όπου:

- chord rotation beam: παραμόρφωση στροφής χορδής δοκού (κριτήριο καμπτικής αστοχίας δοκού)
- shear beam: κριτήριο διατμητικής αστοχίας δοκού (ψαθυρή αστοχία)
- yield rotation beam: κριτήριο διαρροής δοκού
- chord rotation column: παραμόρφωση στροφής χορδής υποστυλώματος (κριτήριο καμπτικής αστοχίας υποστυλώματος)
- shear column: κριτήριο διατμητικής αστοχίας υποστυλώματος
- yield column: κριτήριο διαρροής υποστυλώματος

Κάνοντας όλα τα παραπάνω βήματα, πλέον ο φορέας είναι έτοιμος και μέσω του processor, μπορεί να τρέξει η ανάλυση.

5.3 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο, έγινε λεπτομερής περιγραφή του λογισμικού και της διαδικασίας εισαγωγής του φορέα και κατ' επέκταση των μελών του σε αυτό.

Ακολούθως, στο 6^ο κεφάλαιο της εργασίας, θα γίνει εξαγωγή των αποτελεσμάτων των αναλύσεων του Λογισμικού και θα γίνει παρουσίαση και περαιτέρω διευκρίνηση επ' αυτών.

Κεφάλαιο 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

6.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προκειμένου να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του υφιστάμενου κτιρίου και να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητά του, είναι αναγκαίο το υπό εξέταση κτίριο να υποβληθεί σε αναλύσεις για τον υπολογισμό των εντατικών και παραμορφωσιακών του μεγεθών. Το κτίριο, λοιπόν, υποβλήθηκε σε 18 συνολικά αναλύσεις, εκ των οποίων οι 12 είναι δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας (dynamic time history analysis) με τη χρήση επιταχυνσιογραφημάτων από της καταγραφές στο Σύνταγμα (SGMA1) και στα Σεπόλια (SPLB1), χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και τις δύο οριζόντιες συνιστώσες της χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης εδάφους (SGMA1L & SGMA1T και SPLB1L & SPLB1T και σε 6 υπερωθητικές (pushover) αναλύσεις, με δύο διαφορετικές κατανομές της οριζόντιας, ομοιόμορφη και τριγωνική. Όλα τα μοντέλα υποβλήθηκαν, αρχικά, σε ιδιομορφικές αναλύσεις (eigenvalue analysis), τα αποτελέσματα των οποίων εμφανίζονται σε όλων των ειδών τις αναλύσεις.

6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αρχικά, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το εξεταζόμενο κτίριο υποβλήθηκε σε πλήθος αναλύσεων προκειμένου να αναλυθεί η συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια του σεισμού. Προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη συνολική ικανότητα του κτιρίου, προστίθενται κατά την προσομοίωσή του, τοιχοπληρώσεις.

Έτσι, λοιπόν, μπορεί να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις μεθόδους αναλύσεων που έγιναν, μεταξύ του φέροντος οργανισμού χωρίς τοιχοπληρώσεις και του φέροντος οργανισμού με την επιρροή των τοιχοπληρώσεων.

6.3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι πρώτες αναλύσεις που έγιναν είναι οι ιδιομορφικές αναλύσεις (eigenvalue analysis). Με τις ιδιομορφικές αναλύσεις προσδιορίζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιομορφές του κτιρίου, καθώς και το ποσοστό της συνολικής μάζας που ενεργοποιεί κάθε ιδιομορφή.

Ο φορέας αναλύθηκε με τοιχοπληρώσεις και χωρίς τοιχοπληρώσεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 6.1 & Πίνακας 6.2):

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

Πίνακας 6.1. Αποτελέσματα ιδιομορφικών αναλύσεων για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις

Mode	Period (sec)	Frequency (Hertz)	Angular Frequency (rad/sec)
1	0,58706203	1,70339750	10,70276217
2	0,54012781	1,85141366	11,63277511
3	0,44521899	2,24608567	14,11257248
4	0,20919212	4,78029475	30,03547776
5	0,19235233	5,19879318	32,66498091
6	0,15799052	6,32949372	39,76938192
7	0,13535230	7,38812690	46,42097041
8	0,12457291	8,02742777	50,43781621
9	0,10650556	9,38918108	58,99396461
10	0,09798547	10,20559498	64,12364445

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

Πίνακας 6.2. Αποτελέσματα ιδιομορφικών αναλύσεων για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Mode	Period (sec)	Frequency (Hertz)	Angular Frequency (rad/sec)
1	0, 84763050	1,17975933	7,41264651
2	0,84269428	1,18666997	7,45606733
3	0,77681768	1,28730334	8,08836546
4	0,30158386	3,31582735	20,83395770
5	0,29994486	3,33394610	20,94780113
6	0,27571816	3,62689201	22,78843456
7	0,19614705	5,09821575	32,03303430
8	0,19610068	5,09942148	32,04061011
9	0,17820866	5,61139950	35,25746290
10	0,15486017	6,45743824	40,57328106

6.4 ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

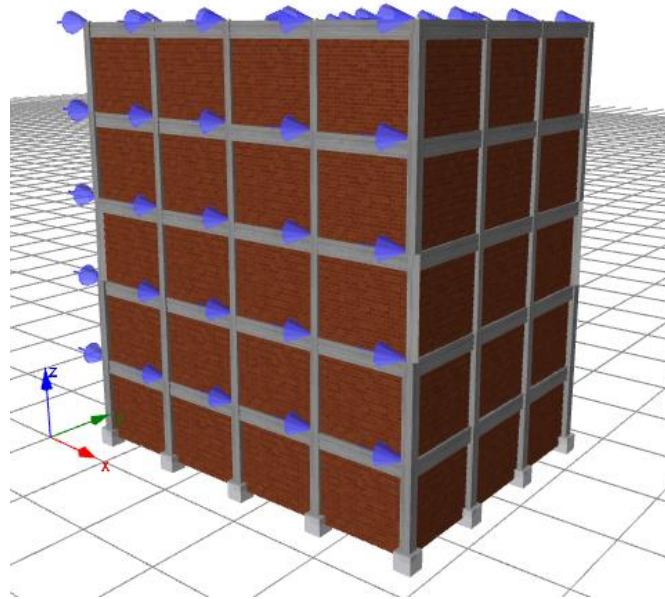
Το κτίριο, έπειτα, αναλύεται με την υπερωθητική μέθοδο pushover, η οποία εκτός από την καμπύλη ικανότητας, η οποία εκφράζει τη σχέση μεταξύ του οριζόντιου φορτίου ή τέμνουσας βάσης, σε συνάρτηση με τη μετατόπιση της κορυφής, δίνει αρχικά και τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης. Με τη μέθοδο αυτή, ο εξεταζόμενος φορέας υποβάλλεται σε πλευρική καταπόνηση από οριζόντιο φορτίο, το οποίο μπορεί να κατανεμηθεί είτε ομοιόμορφα, είτε τριγωνικά, είτε ιδιομορφικά.

Στην παρούσα εργασία γίνεται ανάλυση του κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις και του κτιρίου με πιλοτή (σε όλους τους ορόφους δηλαδή να υπάρχουν τοιχοπληρώσεις εκτός του 1^{ου} ορόφου.) Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ

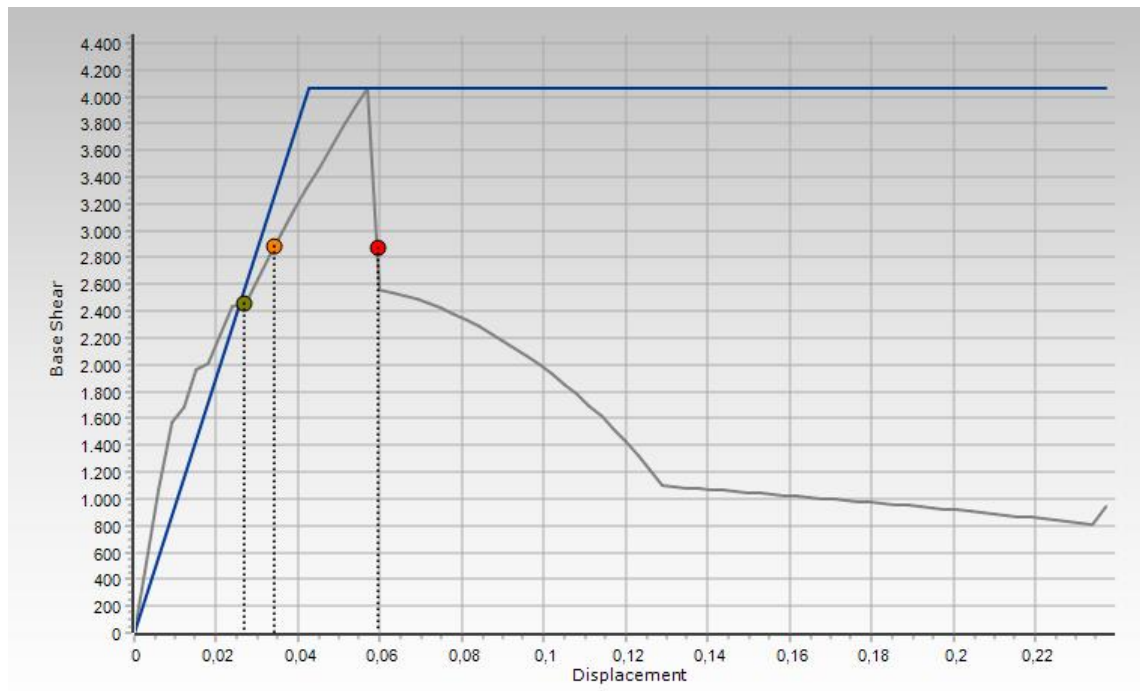
X

Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την υπερωθητική ανάλυση του κτιρίου με την επιρροή των τοιχοπληρώσεων σε όλους τους ορόφους:



Σχήμα 6-1 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου

Παρακάτω, παρουσιάζεται το διάγραμμα τέμνουσας βάσης – μετακίνησης κορυφής το οποίο εξήχθη από τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Στο σχήμα παρουσιάζεται και η διγραμμική προσέγγιση της καμπύλης ικανότητας καθώς και οι στοχευόμενες μετακινήσεις για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.



Σχήμα 6-2 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

Πίνακας 6.3. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,02670183
Σημαντικές Βλάβες	0,03425401
Οιονεί Κατάρρευση	0,05938434

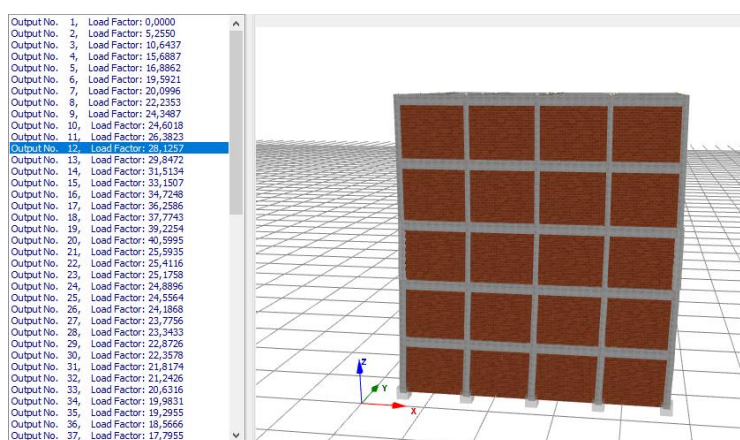
Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει η μετακίνηση του κτιρίου σε σχέση με τις 3 στάθμες επιτελεστικότητας. Στη συγκεκριμένη ανάλυση προκύπτει ότι:

Στο 10^ο βήμα της ανάλυσης, θα επιτευχθεί στοχευόμενη μετακίνηση $0,0267 \cong 0,027\text{m}$, για στάθμη επιτελεστικότητας Περιορισμένες Βλάβες (DL), στο 12^ο βήμα $0,0342 \cong 0,033\text{ m}$ για στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικές Βλάβες (SD) και τέλος,

στο 21^ο βήμα της ανάλυσης, στοχευόμενη μετακίνηση ίση με $0,059 \approx 0,06$ m για στάθμη επιτελεσματικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).

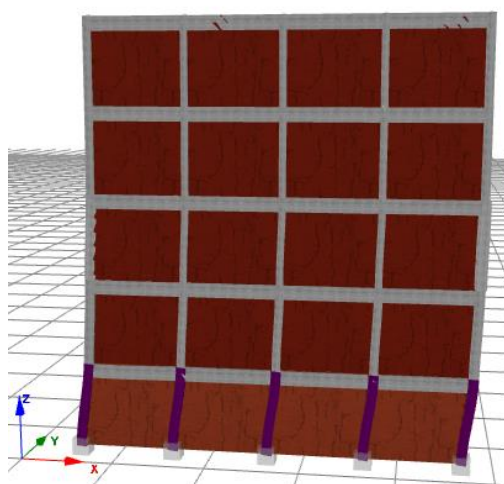
Πηγαίνοντας στην καρτέλα που δείχνει τις παραμορφώσεις του κτιρίου ανάλογα με τις μετακινήσεις που έχει δεχτεί (deformed shape viewer), μπορεί κανείς να δει στο κάθε βήμα που προαναφέρθηκε σχετικά με την στάθμη επιτελεσματικότητας, τις παραμορφώσεις που έχει δεχτεί το κάθε μέλος του κτιρίου.

Στις δύο πρώτες στάθμες επιτελεσματικότητας, το κτίριο δεν έχει δεχτεί σοβαρές παραμορφώσεις σε κανένα μέλος του. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 6.3 παρακάτω:



Σχήμα 6-3 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου

Στο 21^ο βήμα, στην 3^η στάθμη επιτελεσματικότητας, έχουν διαρρεύσει κάποια υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.4.

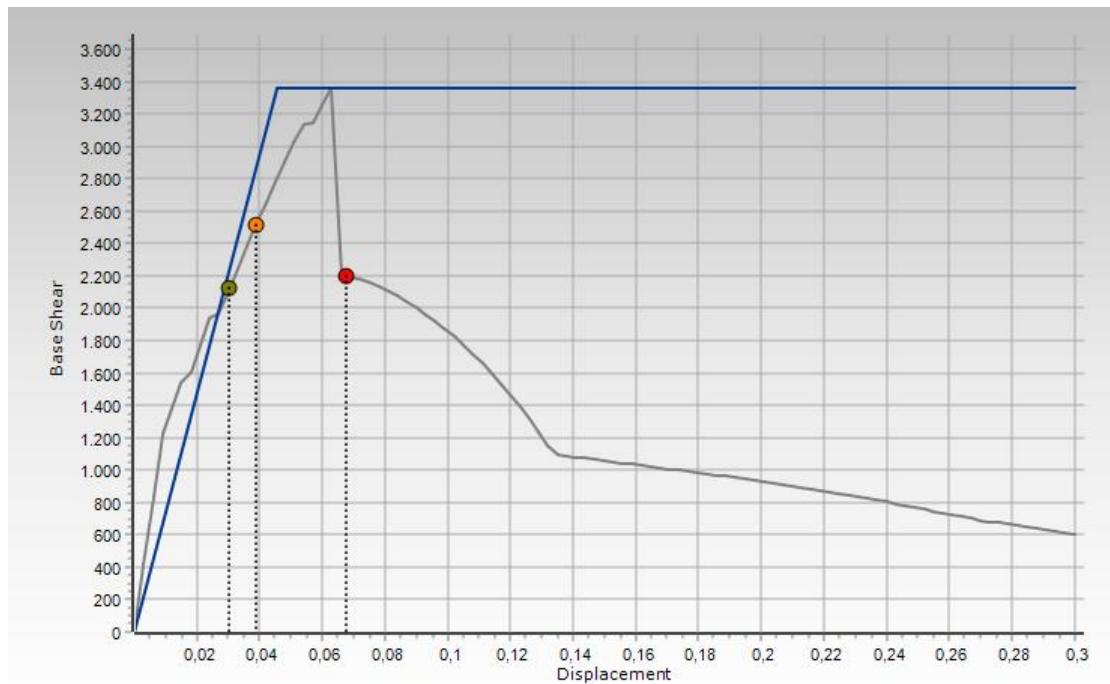


Σχήμα 6-4 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου

Τα υποστυλώματα που διαρρέουν είναι κυρίως του 1^{ου} ορόφου, όπως προαναφέρθηκε Έχουν διαρρεύσει, επίσης, δύο δοκοί του 1^{ου} ορόφου. Μερικές αστοχίες εμφανίζονται επίσης και στους τοίχους πλήρωσης του 1^{ου} ορόφου.

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ

Υ

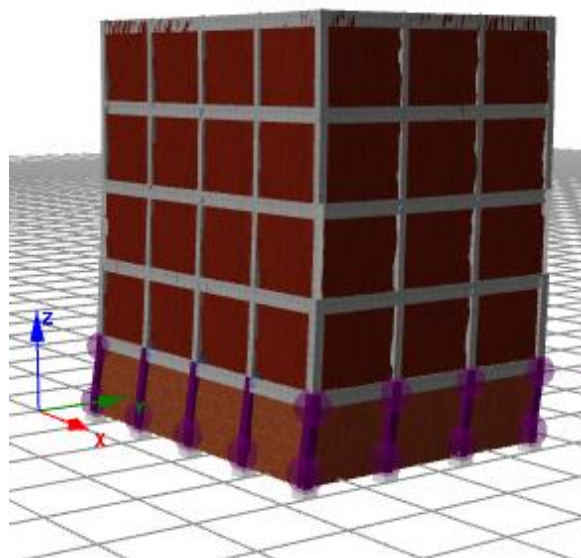


Σχήμα 6-5 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

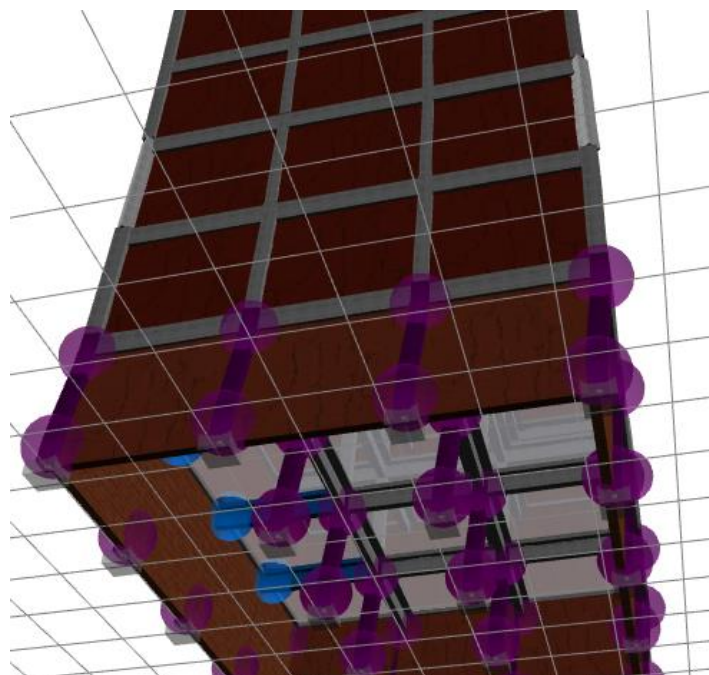
Πίνακας 6.4. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03033842
Σημαντικές Βλάβες	0,03891914
Οιονεί Κατάρρευση	0,06747203

Στις 2 πρώτες στάθμες επιτελεστικότητας δεν εμφανίζονται παραμορφώσεις σε κανένα μέλος του κτιρίου. Οι παραμορφώσεις φαίνονται στην στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (στοχευόμενη μετακίνηση ίση περίπου με 0,068 m) στα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου και σε κάποιες δοκούς του 1^{ου} ορόφου. Παρατηρούνται κάποιες μικρές παραμορφώσεις και στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Στην τοιχοπλήρωση του 1^{ου} ορόφου εμφανίζεται διατμητική αστοχία.



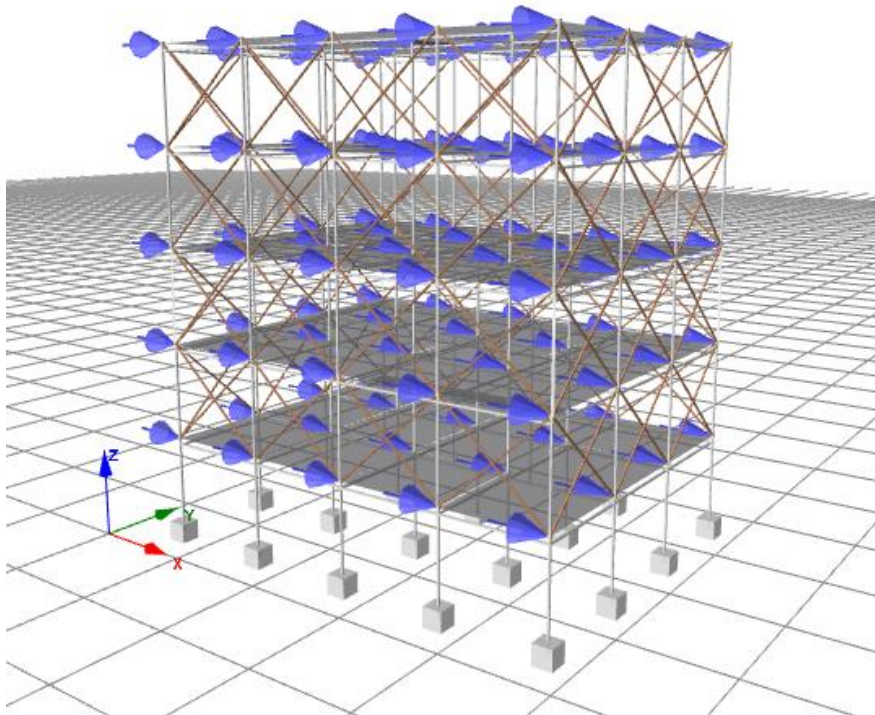
Σχήμα 6-6 Παραμορφωμένη κατάσταση στη στάθμη Οιονεί Κατάρρευση



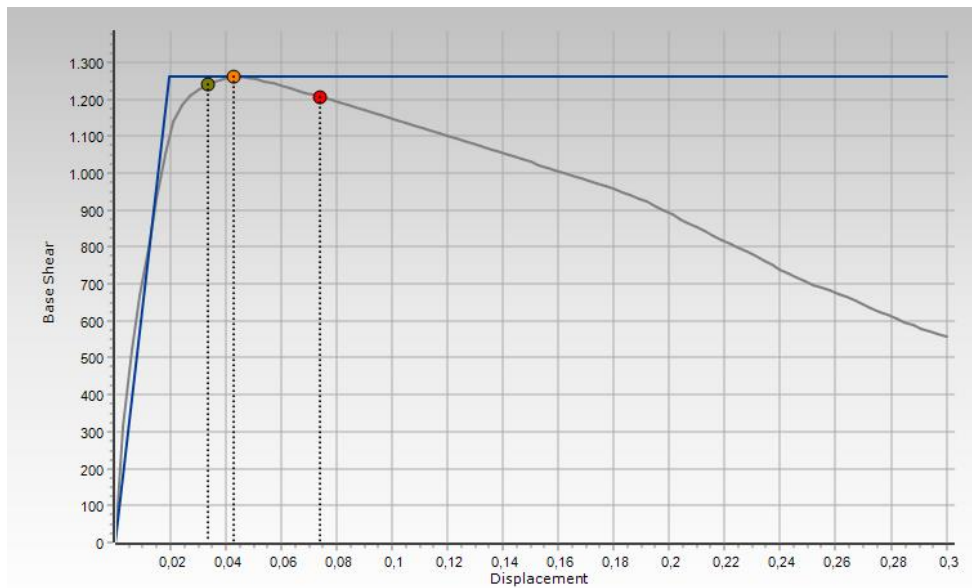
Σχήμα 6-7 Παραμορφωμένη κατάσταση στη στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ PILOTIS-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

Έπειτα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την υπερωθητική ανάλυση του κτιρίου με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους πλην του πρώτου ορόφου, δηλαδή κτίριο με πιλοτή (pilotis):



Σχήμα 6-8 Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου κτιρίου με πιλοτή

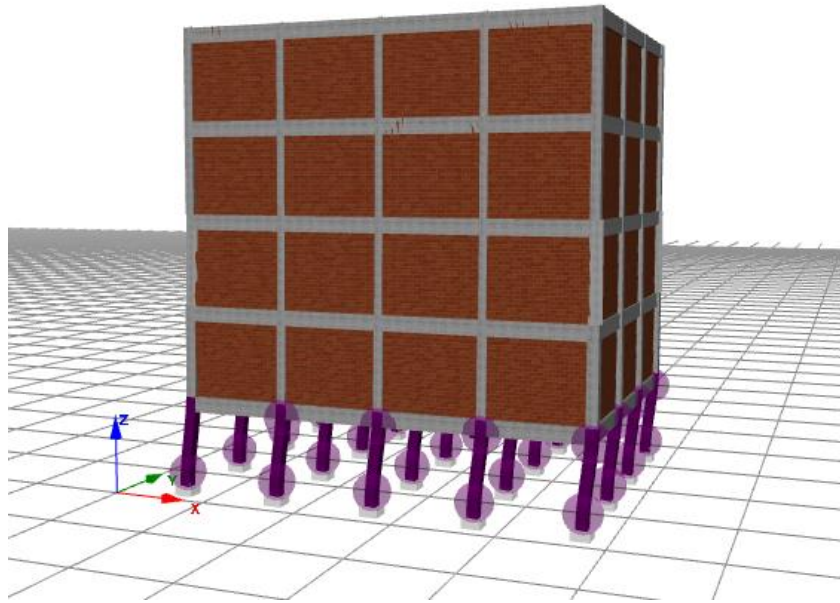


Σχήμα 6-9 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

Πίνακας 6.5. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03325616
Σημαντικές Βλάβες	0,04266213
Οιονεί Κατάρρευση	0,07396105

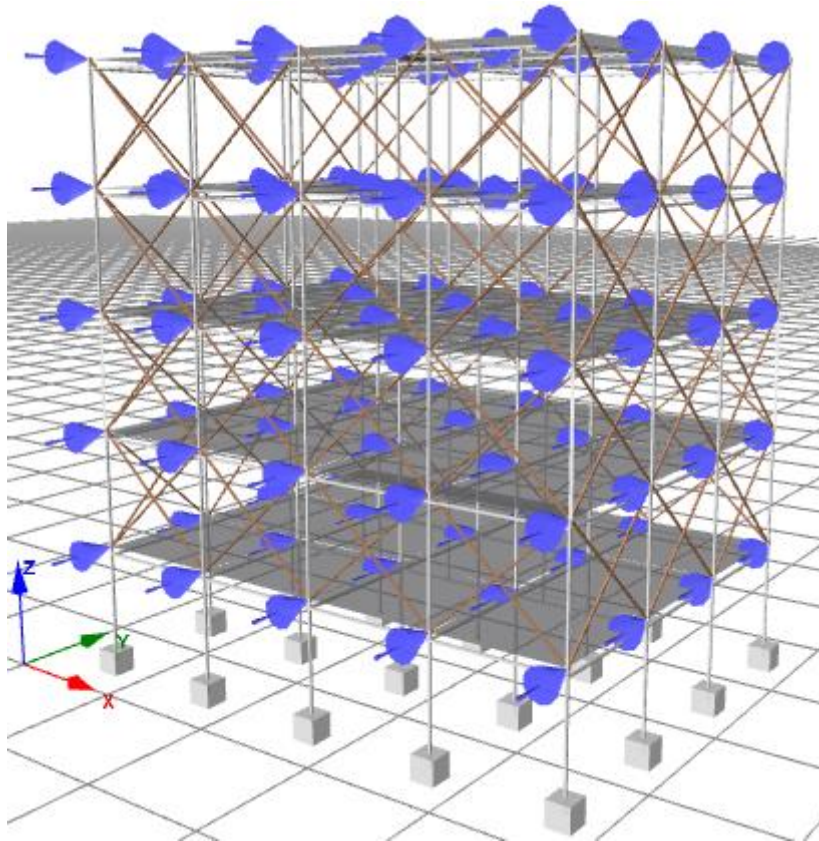
Στην στάθμη Περιορισμένες Βλάβες, θα προκύψει στοχευόμενη μετακίνηση ίση με $0,0332 \cong 0,033$ στις Σημαντικές Βλάβες $0,0426 \cong 0,043$ m και τέλος, στην Οιονεί Κατάρρευση θα προκύψει μετακίνηση ίση με $0,0739 \cong 0,074$ m.



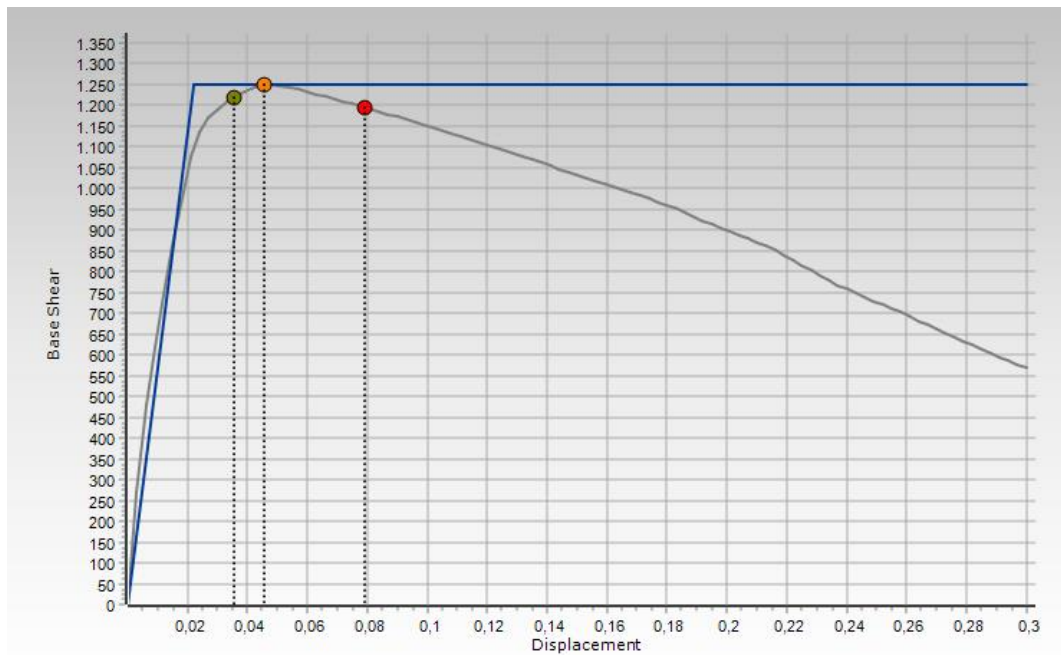
Σχήμα 6-10 Παραμορφώσεις κτιρίου με πιλοτή

Στις δύο πρώτες στάθμες επιτελεστικότητας, παρατηρείται ότι όλα τα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου (pilotis), παρουσιάζουν διαρροή και εμφανίζουν πλαστικές αρθρώσεις, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο, διότι η περίπτωση του μαλακού ορόφου σε κτίρια με πιλοτή είναι σύνηθες φαινόμενο. Επίσης παρατηρούνται υποστυλώματα που διέρρευσαν κατά την ανάλυση και στη συνέχεια κάποια υποστυλώματα που έχουν υποστεί παραμόρφωση στροφής χορδής δοκού.

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΙΛΟΤIS-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ



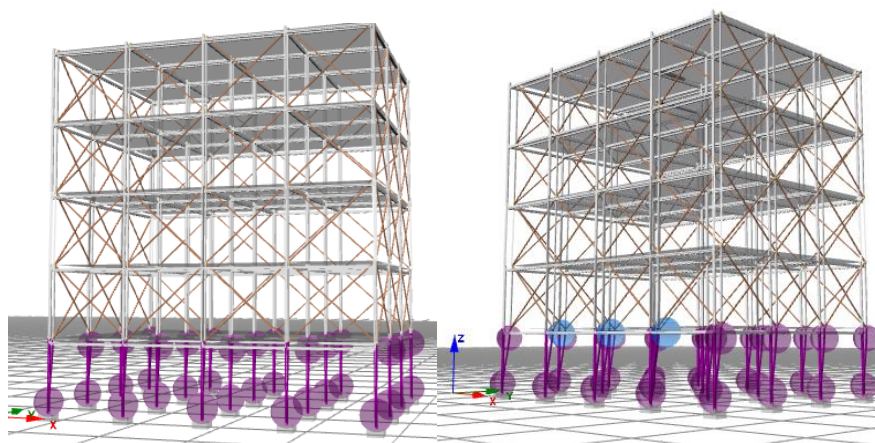
Σχήμα 6-11 Προσομοίωση φορέα με πιλοτή



Σχήμα 6-12 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

Πίνακας 6.6. Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

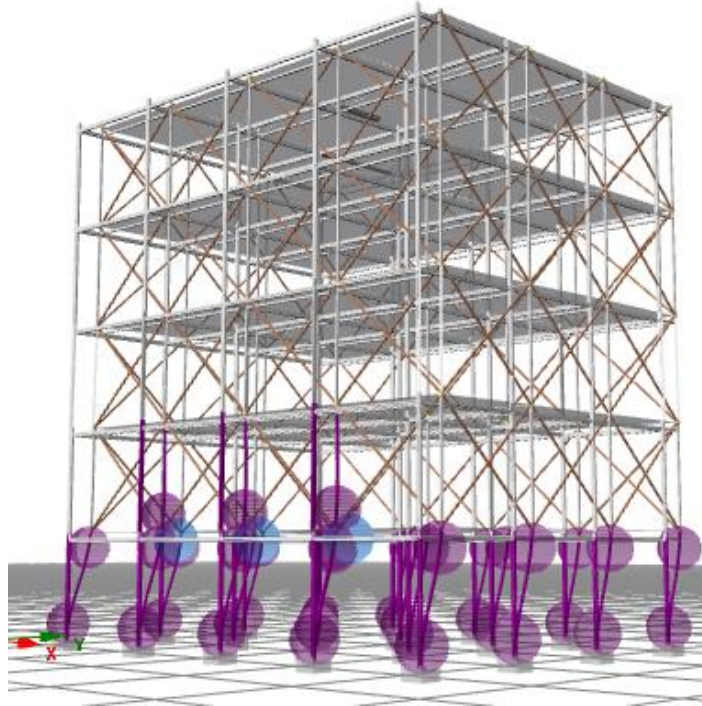
Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03550515
Σημαντικές Βλάβες	0,04554721
Οιονεί Κατάρρευση	0,07896275



Σχήμα 6-13 Παραμορφώσεις κτιρίου με πιλοτή

Στο παραπάνω Σχήμα (6.13) φαίνεται η παραμόρφωση του κτιρίου στη στάθμη επιτελεστικότητας Περιορισμένες Βλάβες, στις Σημαντικές Βλάβες προκύπτει στοχευόμενη μετακίνηση ίση περίπου με 0,036 m. Οι παραμορφώσεις του κτιρίου, όπως αναμένεται λόγω της πιλοτής, συναντώνται στα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου, τα οποία διαρρέουν και δημιουργούν πλαστική άρθρωση στο άκρο τους.

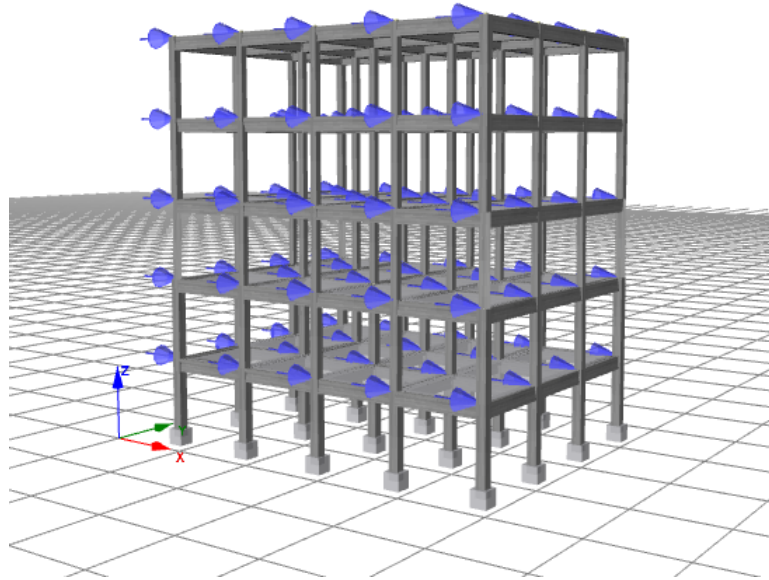
Στη συνέχεια, στο Σχήμα 6.14 φαίνονται οι παραμορφώσεις του κτιρίου στη στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικές Βλάβες με στοχευόμενη μετακίνηση ίση με 0,046 m. Οι παραμορφώσεις είναι σχεδόν ίδιες με τις Περιορισμένες Βλάβες, αλλά εμφανίζονται και διαρροές σε 3 δοκούς του 1^{ου} ορόφου.



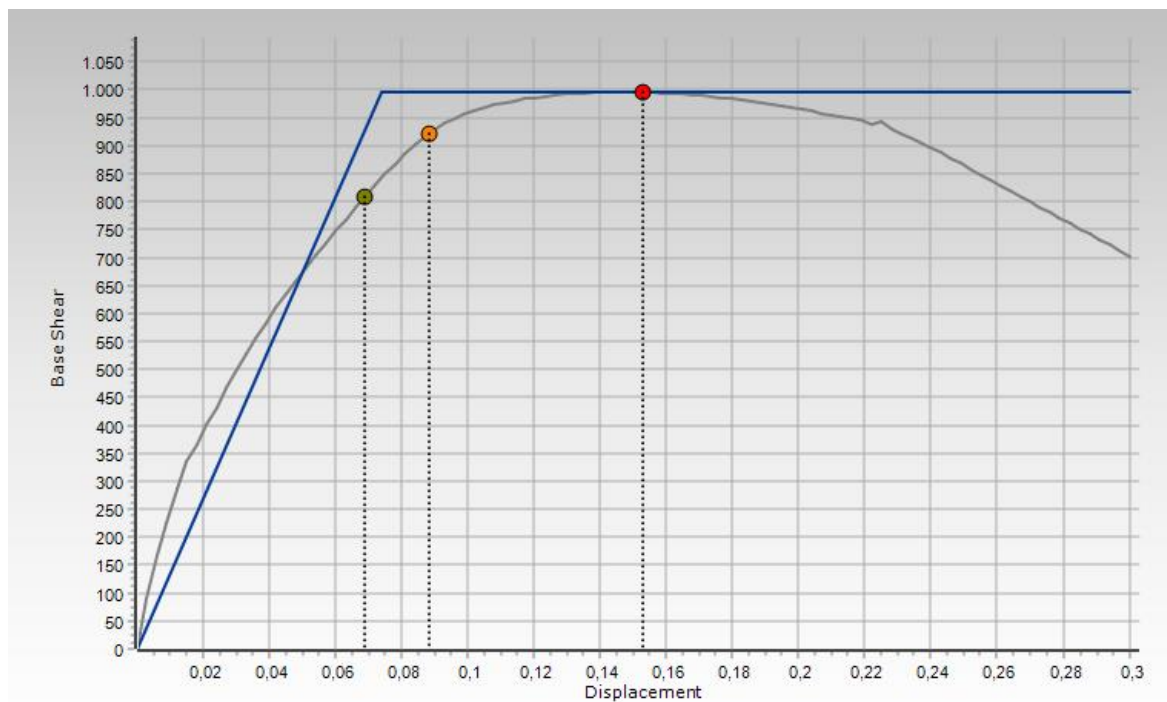
Σχήμα 6-14 Παραμορφώσεις κτιρίου στον 1^ο και 2^ο όροφο

Τέλος, κατά την στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση με στοχευόμενη μετακίνηση ίση με 0,078 m, παρατηρούνται εκτός από τις παραμορφώσεις που προαναφέρθηκαν, κάποιες επιπλέον παραμορφώσεις σε 3 υποστυλώματα του 2^{ου} ορόφου. (Σχήμα 6.14)

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ



Σχήμα 6-15 Προσομοίωση φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις

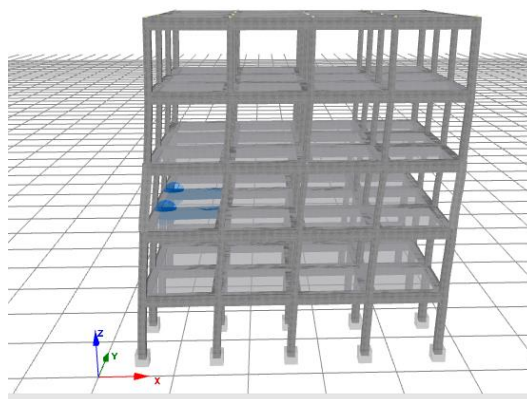


Σχήμα 6-16 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

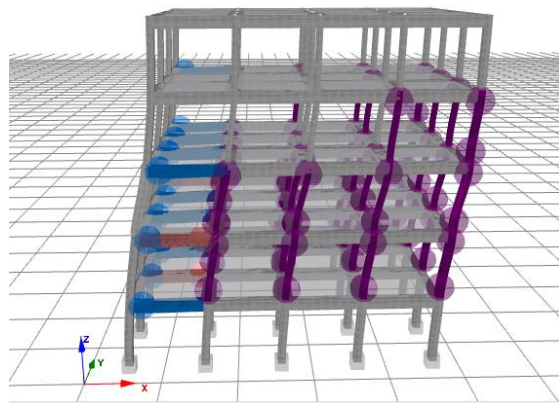
Πίνακας 6.7 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,06874024
Σημαντικές Βλάβες	0,0881823
Οιονεί Κατάρρευση	0,15287693

Στις 2 πρώτες στάθμες επιτελεστικότητας, Περιορισμένες και Σημαντικές Βλάβες αντίστοιχα, το κτίριο εμφανίζει δύο μικρές παραμορφώσεις στις δοκούς του 2^{ου} ορόφου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.17, ενώ στη στάθμη Οιονεί Κατάρρευση, εμφανίζει διατμητική αστοχία σε μια δοκό του 1^{ου} ορόφου και σε δύο δοκούς του 2^{ου} ορόφου. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εμφανίζεται στα υποστυλώματα του 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου, τα οποία εμφανίζουν διαρροή και πλαστικές αρθρώσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.18 παρακάτω.

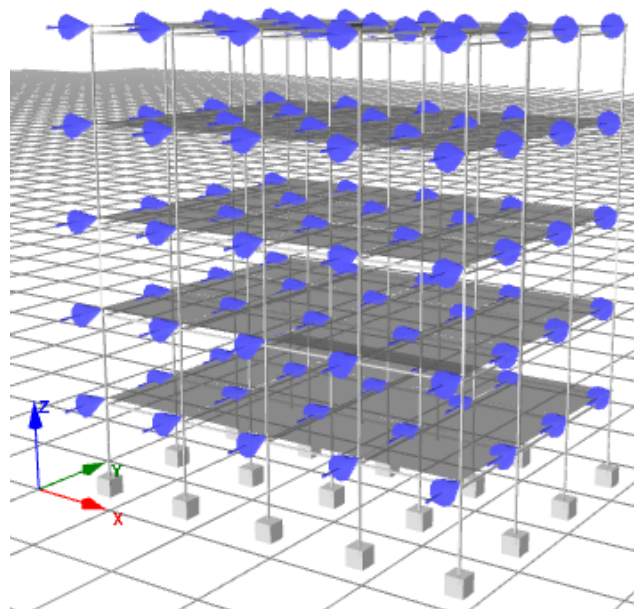


Σχήμα 6-17 Παραμορφώσεις κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις στις Περιορισμένες & Σημαντικές Βλάβες

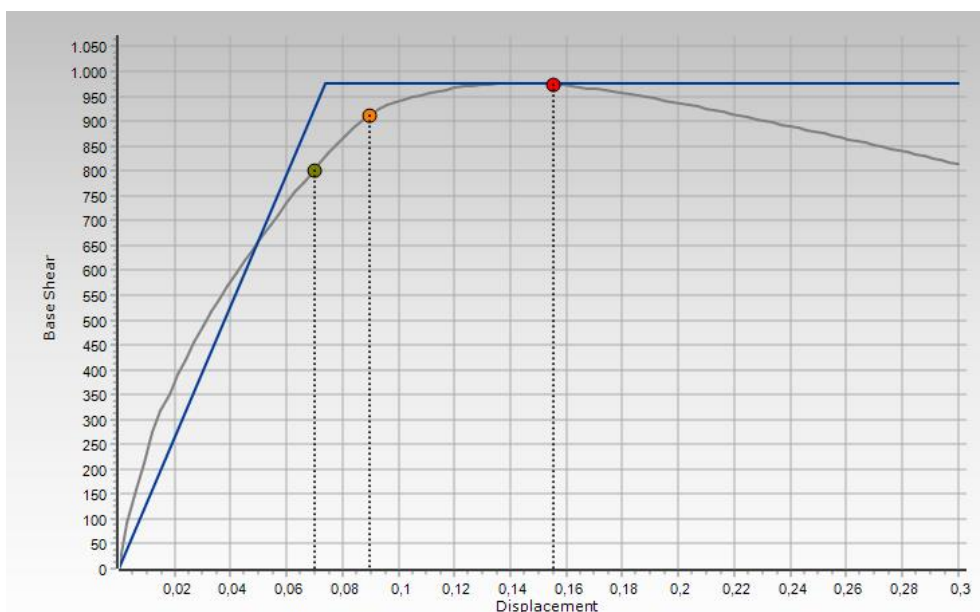


Σχήμα 6-18 Παραμορφώσεις κτιρίου στην Οιονεί Κατάρρευση

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ



Σχήμα 6-19 Προσομοίωμα κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις

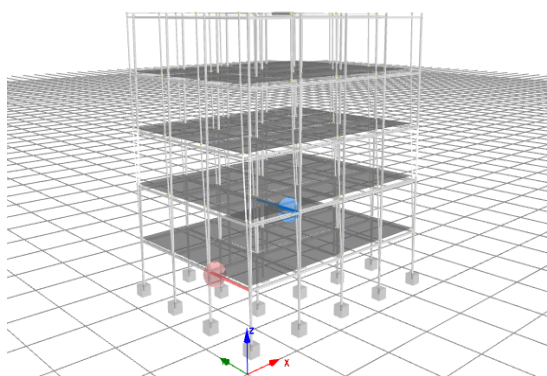


Σχήμα 6-20 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοιχευόμενες μετακινήσεις

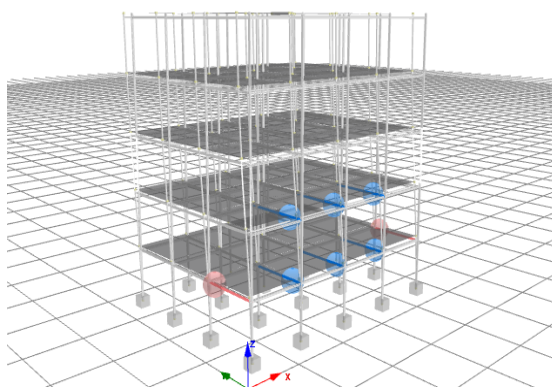
Πίνακας 6.8 Τιμές στοιχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοιχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,06984258
Σημαντικές Βλάβες	0,08959641
Οιονεί Κατάρρευση	0,1553285

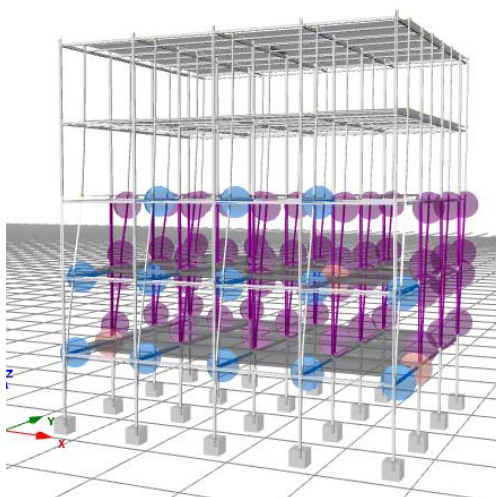
Στις Περιορισμένες Βλάβες το κτίριο παρουσιάζει στοιχευόμενη μετακίνηση ίση με 0,069 m. Το κτίριο και στις 2 πρώτες στάθμες δεν παρουσιάζει παραμορφώσεις σε υποστυλώματα, μόνο σε δοκούς του 1^{ου} και 2^{ου} ορόφου, στις οποίες έχουν δημιουργηθεί πλαστικές αρθρώσεις στο ένα άκρο της δοκού και στις οποίες παρατηρείται διαρροή. Σε δύο δοκούς του 1^{ου} ορόφου παρατηρείται επίσης και διατμητική αστοχία.



Σχήμα 6-21 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις-παραμορφώσεις στις Περιορισμένες Βλάβες



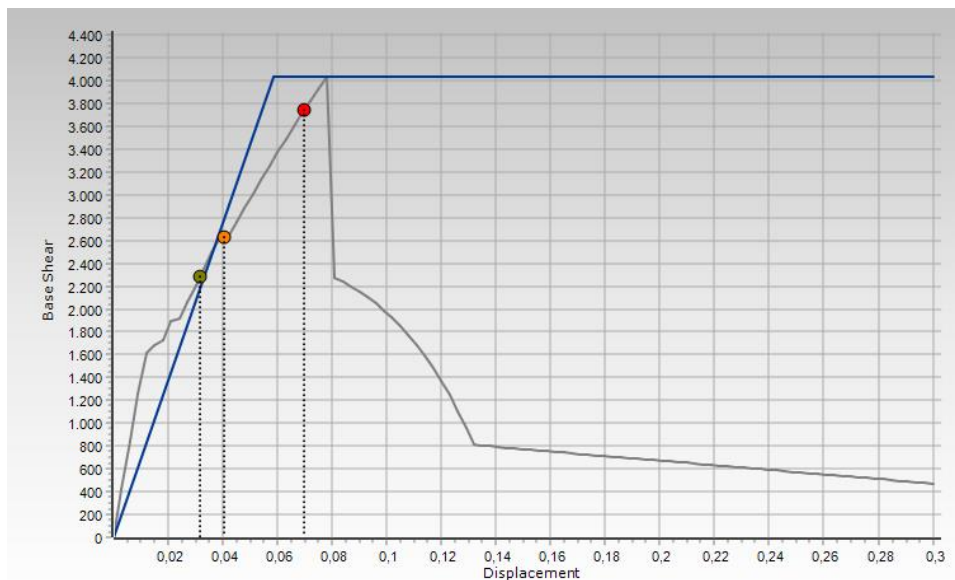
Σχήμα 6-22 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις-παραμορφώσεις στις Σημαντικές Βλάβες



Σχήμα 6-23 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις-παραμορφώσεις στην Οιονεί Κατάρρευση

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

Στο Σχήμα 6.24 παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου με τοιχοπληρώσεις, όταν αυτό καταπονείται τριγωνικά με την υπερωθητική ανάλυση.



Σχήμα 6-24 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

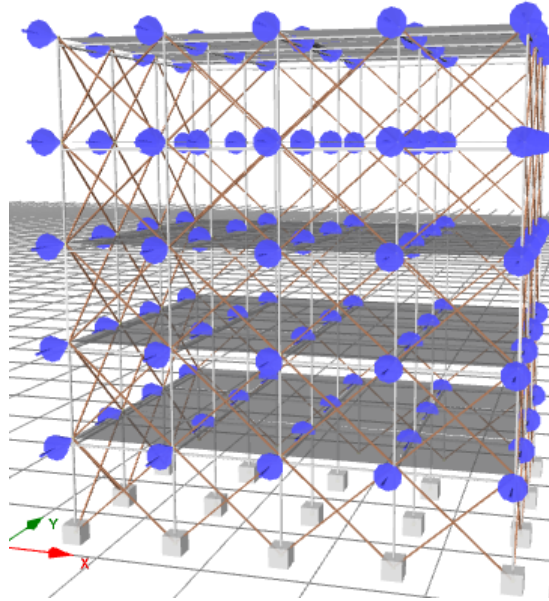
Έπειτα, στον πίνακα 6.9, παρουσιάζονται οι 3 στάθμες επιτελεστικότητας κατ' αντιστοιχία με τις στοχευόμενες μετακινήσεις.

Πίνακας 6.9 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03144555
Σημαντικές Βλάβες	0,04033941
Οιονεί Κατάρρευση	0,06993427

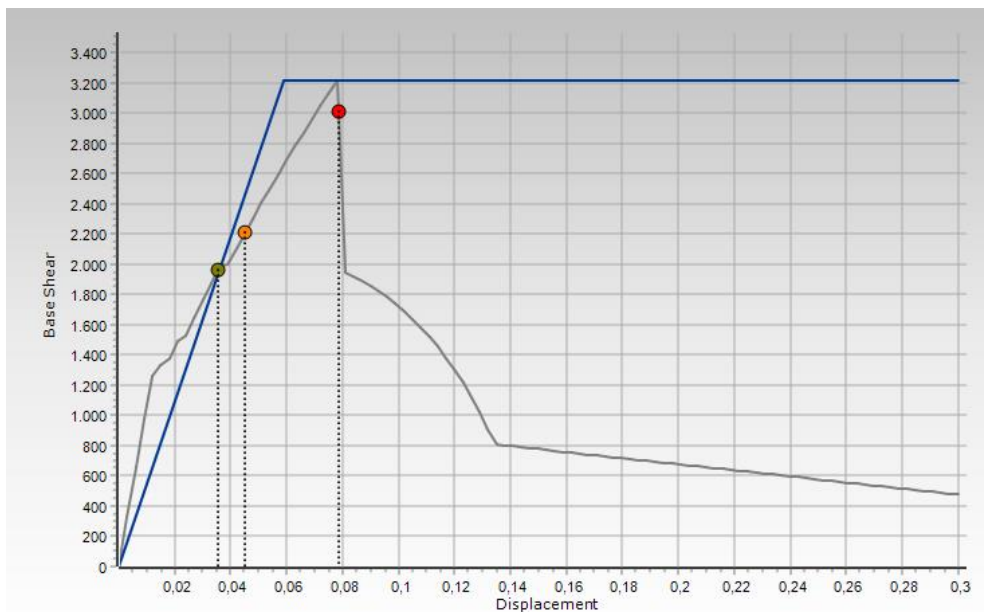
Το κτίριο στην στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση δεν εμφανίζει καμία παραμόρφωση.

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y



Σχήμα 6-25 Φορέας με πιλοτή -τριγωνική κατανομή κατά τη διεύθυνση y

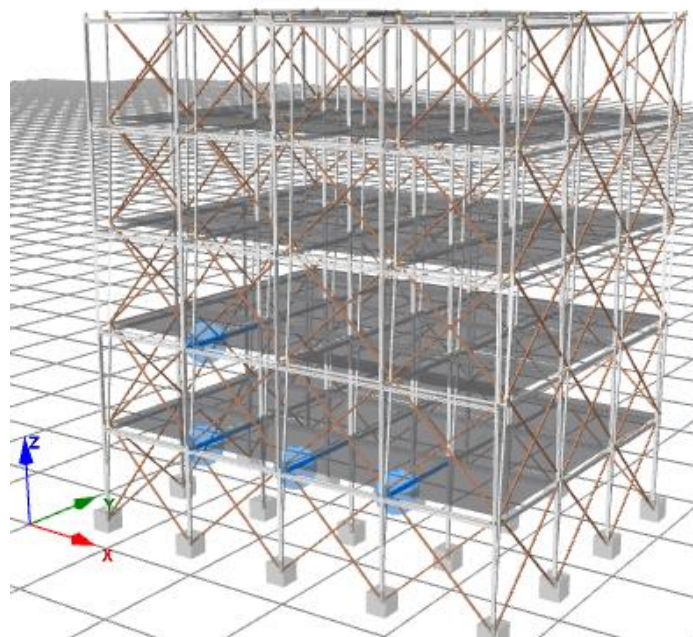
Παρακάτω (Σχήμα 6.26), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την υπερωθητική ανάλυση του κτιρίου που έχει υποβληθεί σε τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.



Σχήμα 6-26 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

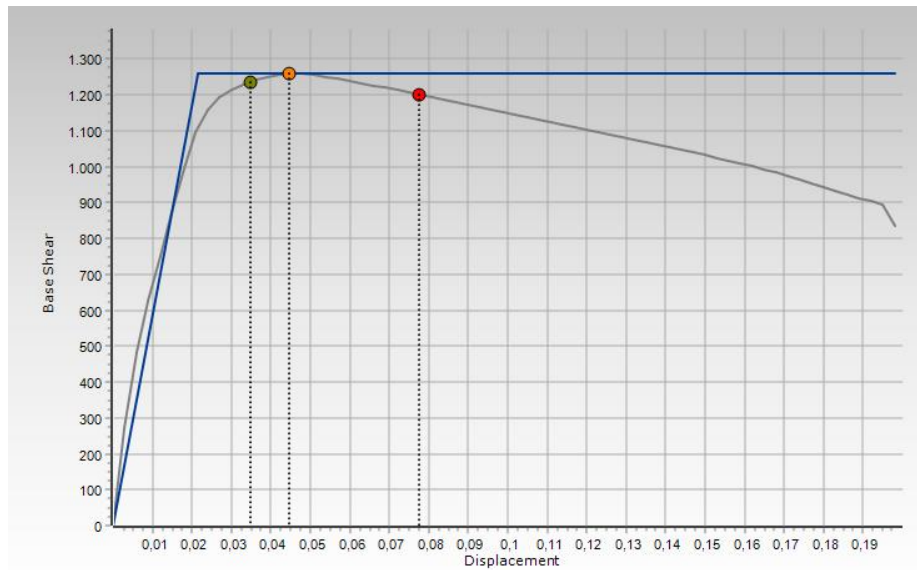
Πίνακας 6.10 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03528939
Σημαντικές Βλάβες	0,04527041
Οιονεί Κατάρρευση	0,07848289



Σχήμα 6-27 Παραμορφώσεις κτιρίου στη στάθμη Οιονεί Κατάρρευση

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΙΛΟΤΙΣ-ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X

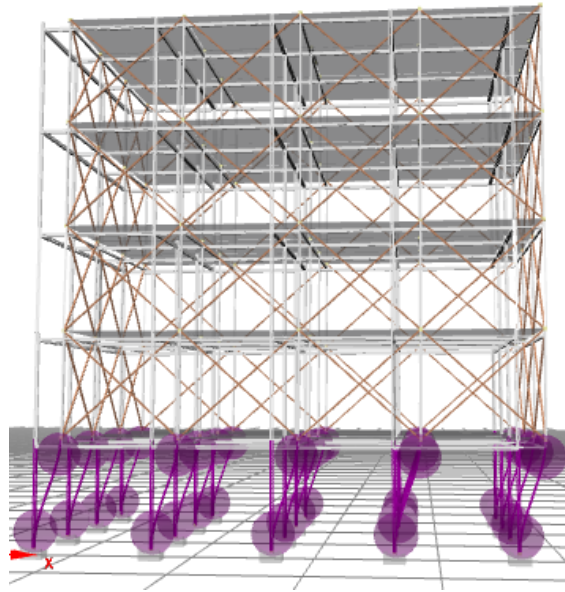


Σχήμα 6-28 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

Πίνακας 6.11 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

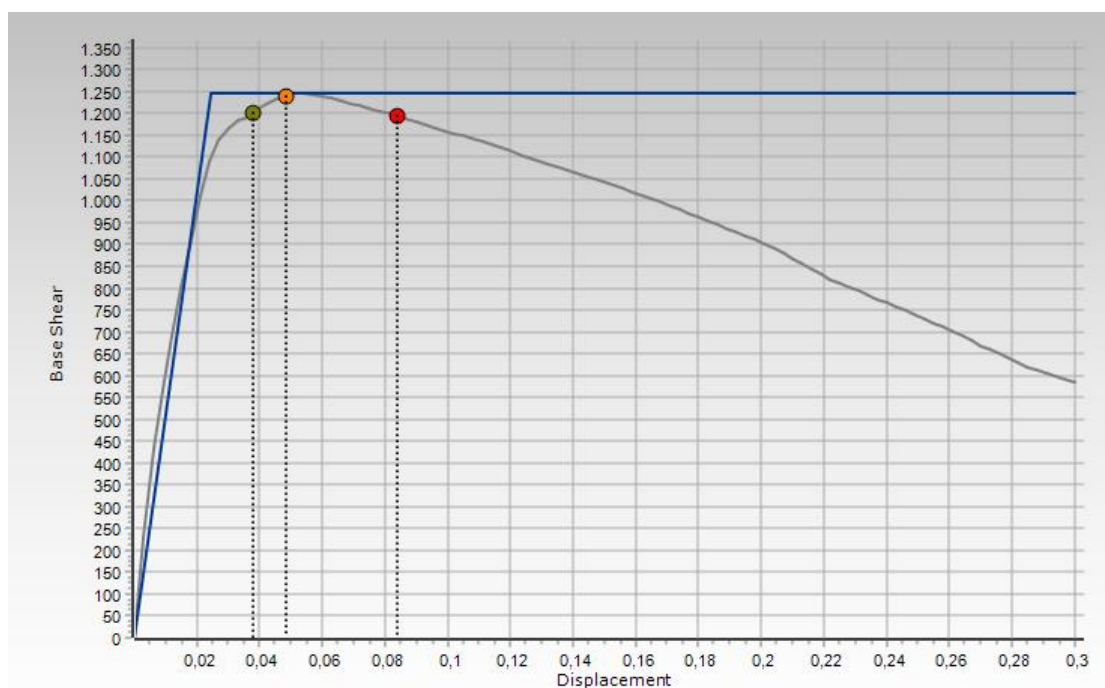
Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03144555
Σημαντικές Βλάβες	0,04033941
Οιονεί Κατάρρευση	0,06993427

Οι Περιορισμένες βλάβες αντιστοιχούν σε μετακίνηση 0,031 m. Το κτίριο στην στάθμη αυτή, δεν εμφανίζει σημαντικές βλάβες στα μέλη του. Έπειτα, στις Σημαντικές Βλάβες και στην Οιονεί Κατάρρευση που αντιστοιχούν σε μετακίνηση 0,040 & 0,069 m αντίστοιχα, το κτίριο δεν εμφανίζει σημαντικές βλάβες λόγω της επιρροής των τοιχοπληρώσεων. Οι βλάβες που εμφανίζονται στα μέλη του αρχίζουν να γίνονται ορατές στην Οιονεί Κατάρρευση της όπου εμφανίζουν διαρροή κάποια υποστυλώματα και κάποιες δοκοί του φορέα. Διατμητική αστοχία παρουσιάζουν, όμως, και κάποιες τοιχοπληρώσεις στον 2^ο όροφο. Στο Σχήμα 6.29, μπορεί κανείς να δει την παραμορφωμένη κατάσταση του κτιρίου κατά την Οιονεί Κατάρρευση.



Σχήμα 6-29 Παραμορφωμένη κατάσταση κτιρίου στην Οιονεί Κατάρρευση

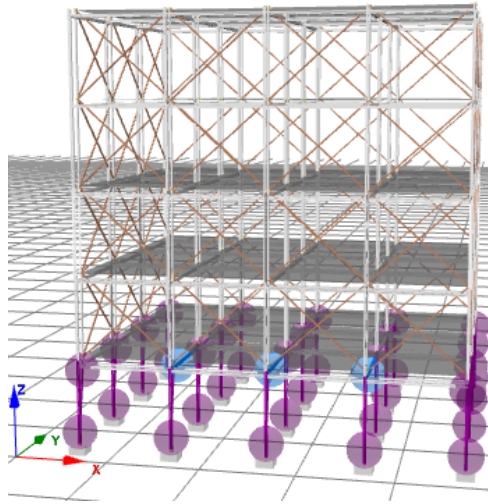
ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΙΛΟΤΙΣ-ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ



Σχήμα 6-30 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

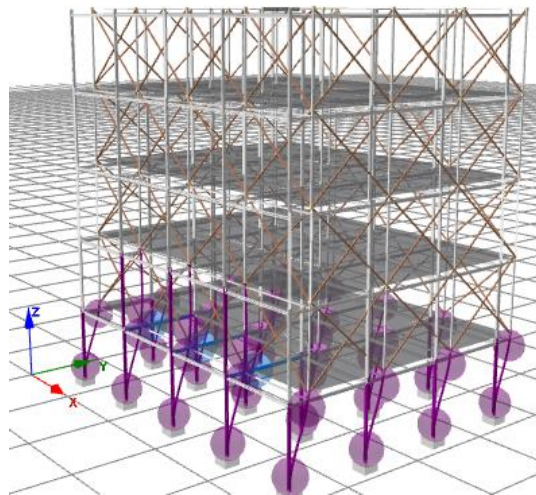
Πίνακας 6.12 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,03776516
Σημαντικές Βλάβες	0,04844643
Οιονεί Κατάρρευση	0,08398897



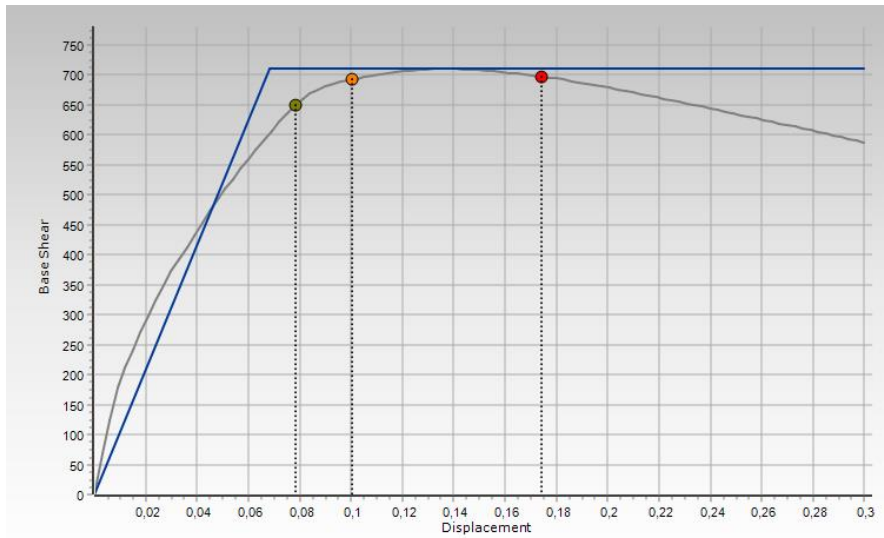
Σχήμα 6-31 Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα στις στάθμες επιτελεστικότητας : Περιορισμένες & Σημαντικές Βλάβες

Η παραμορφωμένη κατάσταση του κτιρίου στην στάθμη επιτελεστικότητας Περιορισμένες Βλάβες και Σημαντικές Βλάβες, φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 6.31 (με στοχευόμενη μετακίνηση ίση με $\approx 0,038$ m και στοχευόμενη μετακίνηση 0,048 m αντίστοιχα). Το κτίριο εμφανίζει αστοχίες σε όλα τα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου, όπως αναμένεται λόγω της πιλοτής που ευνοεί στην δημιουργία μαλακού ορόφου. Ακολούθως, στο Σχήμα 6.32 φαίνεται η παραμόρφωση του κτιρίου στην στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση, με στοχευόμενη μετακίνηση ίση με 0,084 m. Το κτίριο εκτός από τις παραμορφώσεις που προαναφέρθηκαν, εμφανίζει επίσης διαρροή σε 3 υποστυλώματα του 2^{ου} ορόφου.



Σχήμα 6-32 Παραμορφωμένη κατάσταση - Οιονεί Κατάρρευση

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

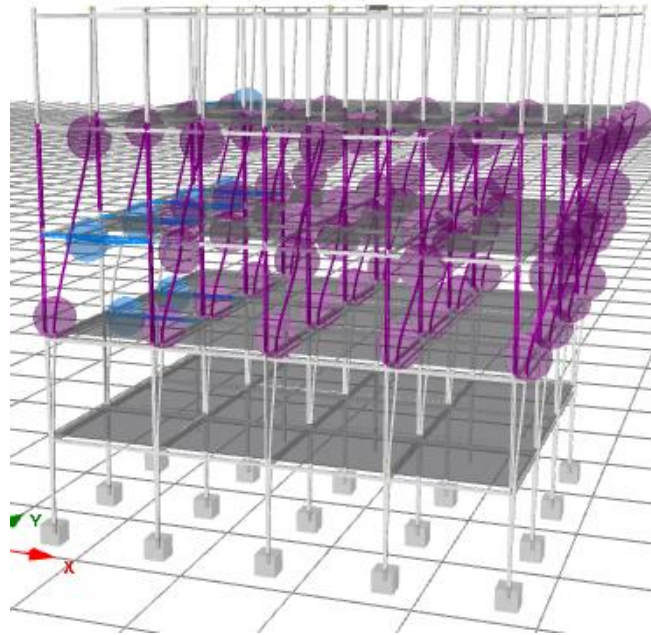


Σχήμα 6-33 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

Πίνακας 6.13 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

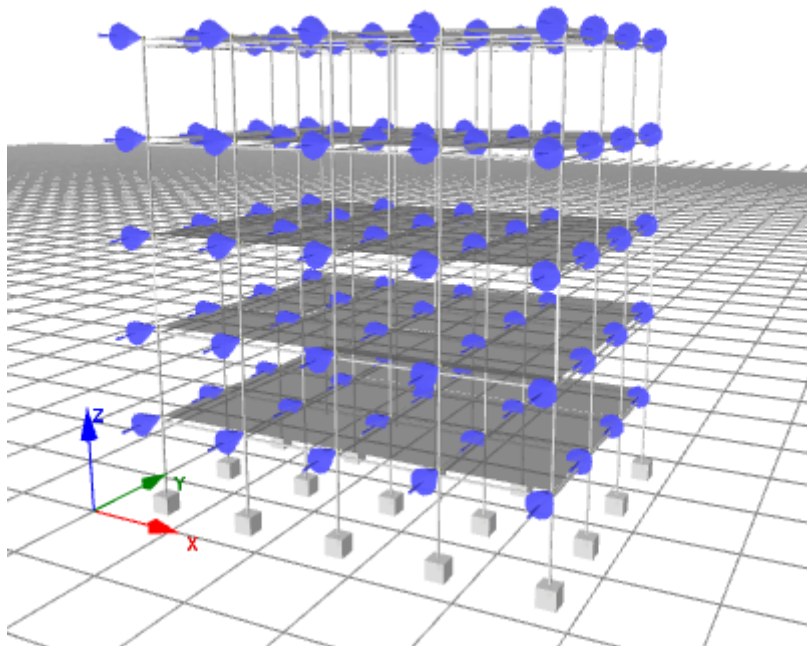
Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,07832691
Σημαντικές Βλάβες	0,1004804
Οιονεί Κατάρρευση	0,17419748

Στις Περιορισμένες Βλάβες, το κτίριο δεν έχει υποστεί σοβαρές βλάβες, καθώς εμφανίζει διαρροή σε μία δοκό του 2^{ου} ορόφου και σε μια δοκό του 4^{ου} ορόφου. Στην Σημαντικές Βλάβες το κτίριο παρουσιάζει στοχευόμενη μετακίνηση 0,10 m, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαρροή σε 2 υποστυλώματα του 4^{ου} ορόφου. Στην Οιονεί Κατάρρευση, ο φορέας εμφανίζει πλαστικές αρθρώσεις και διαρροές σε υποστυλώματα του 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.34.

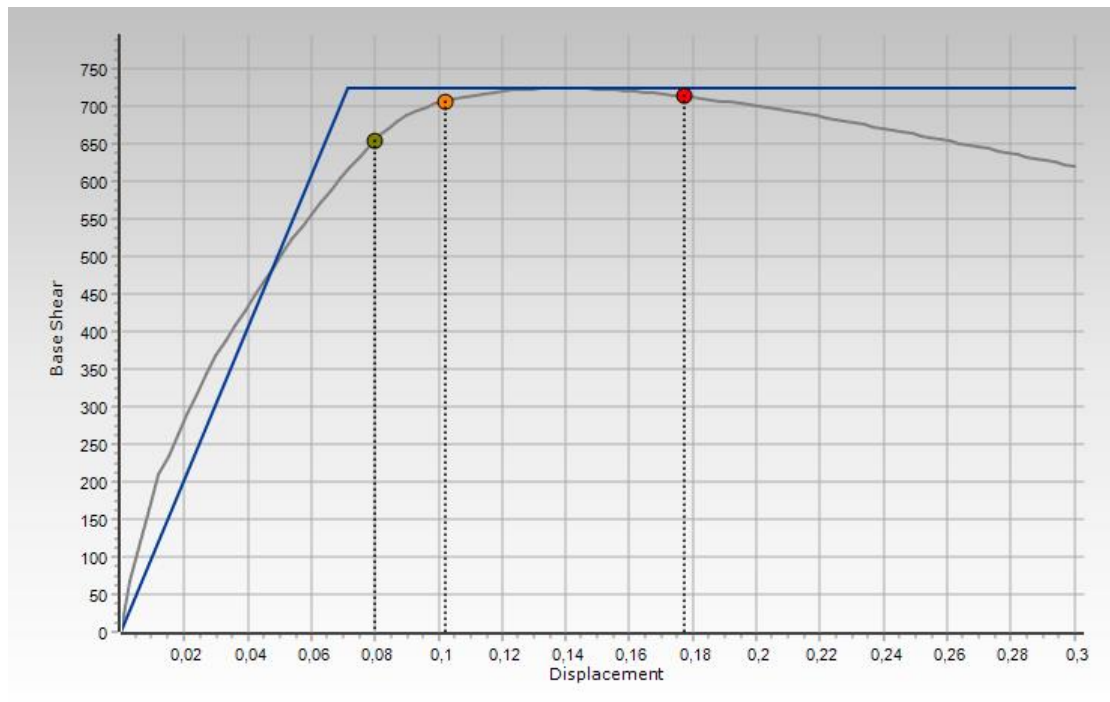


Σχήμα 6-34 Παραμορφώσεις φορέα στην Ομοιεί Κατάρρευση

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y



Σχήμα 6-35 Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις – τριγωνική κατανομή κατά y

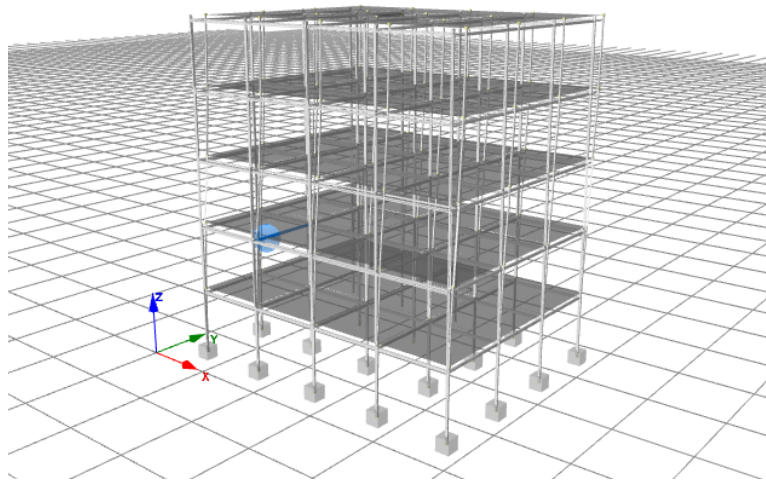


Σχήμα 6-36 Καμπύλη ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και διγραμμική καμπύλη. Στοχευόμενες μετακινήσεις

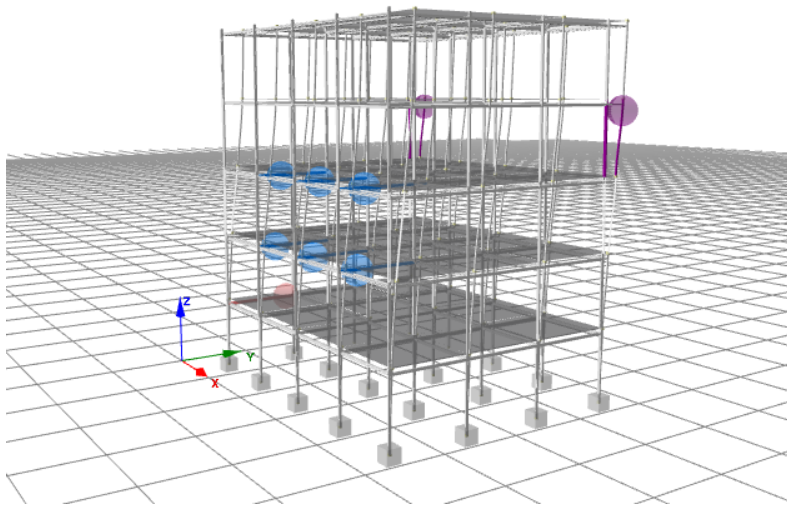
Πίνακας 6.14 Τιμές στοχευόμενης μετακίνησης για τρεις στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση (m)
Περιορισμένες Βλάβες	0,07973419
Σημαντικές Βλάβες	0,10228571
Οιονεί Κατάρρευση	0,17732726

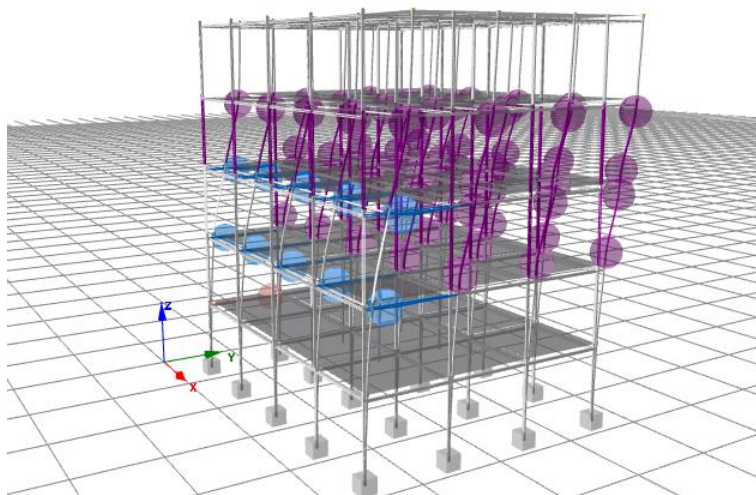
Οι παραμορφώσεις του κτιρίου για τις 3 στάθμες επιτελεστικότητας εμφανίζονται στα Σχήματα 6.37-6.39 αντίστοιχα. Στην 1^η στάθμη -Περιορισμένες Βλάβες, το κτίριο εμφανίζει διαρροή και πλαστική άρθρωση σε μία μόνο δοκό του 2^{ου} ορόφου. Στην 2^η στάθμη- Σημαντικές Βλάβες, εμφανίζει διαρροή και πλαστικές αρθρώσεις σε 3 δοκούς του 2^{ου} και 3 δοκούς του 3^{ου} ορόφου και σε 2 γωνιακά υποστυλώματα του 3^{ου} ορόφου.



Σχήμα 6-37 Περιορισμένες Βλάβες - Παραμορφώσεις κτιρίου



Σχήμα 6-38 Σημαντικές Βλάβες- Παραμορφώσεις κτιρίου



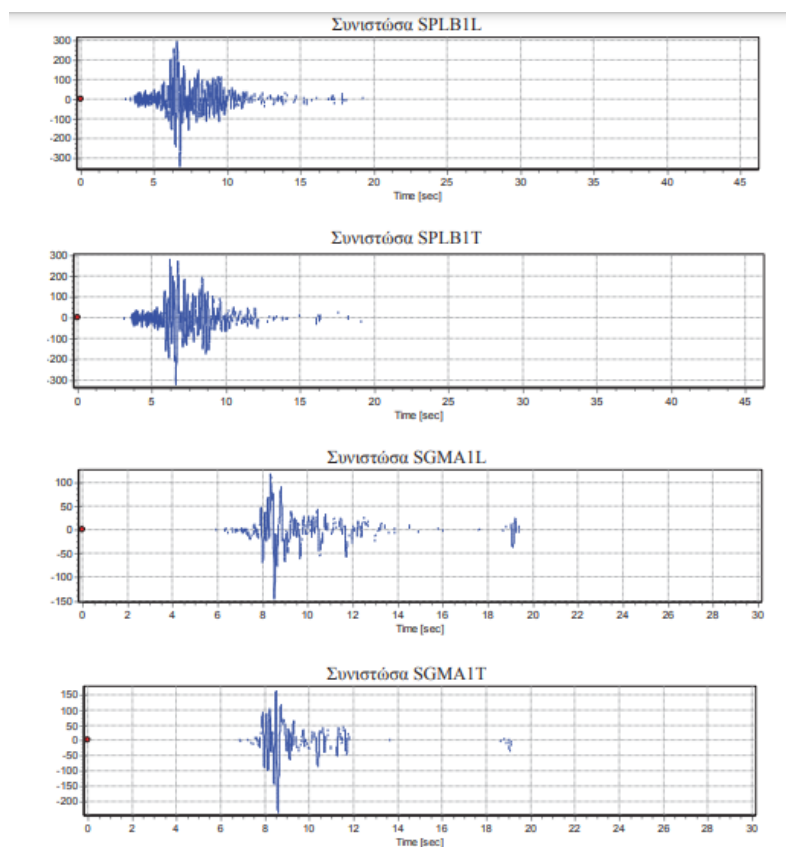
Σχήμα 6-39 Οιονεί Κατάρρευση- Παραμορφώσεις κτιρίου

6.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τη δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας (dynamic time history analysis), έγινε χρήση των δύο καταγραφών του σεισμού της Αθήνας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα επιταχυνσιογραφήματα από τους σταθμούς καταγραφής στο Σύνταγμα (SGMA1) και στα Σεπόλια (SPLB1), χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και τις δύο οριζόντιες συνιστώσες της χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης εδάφους (SGMA1L & SGMA1T και SPLB1L & SPLB1T), οι χρονοϊστορίες των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω, στο Σχήμα 6.40.

Πίνακας 6.15 Χαρακτηριστικά των σεισμικών καταγραφών στο Σύνταγμα και στα Σεπόλια (7/9/1999) (Μανώλης κ.α., 2015)

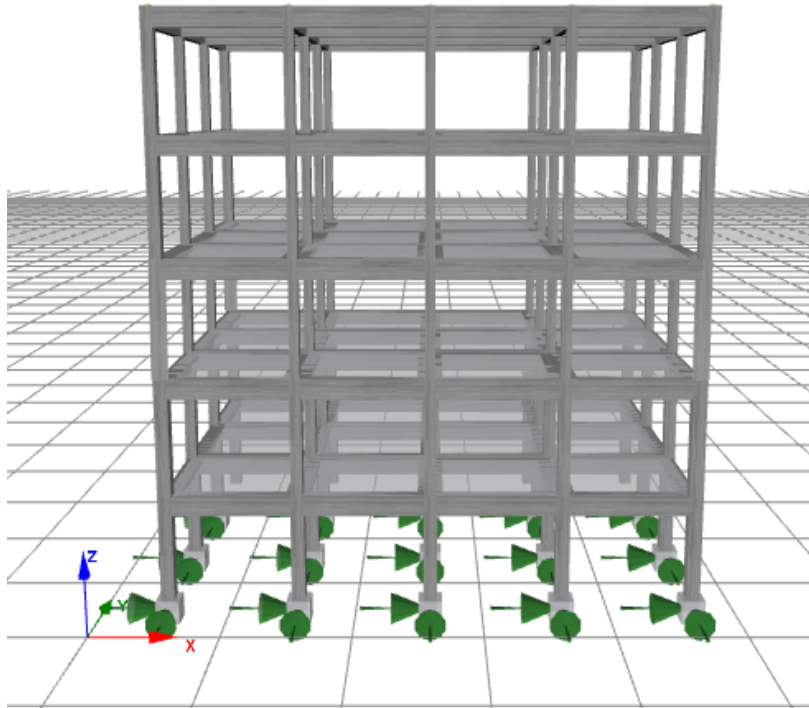
ΣΕΙΣΜΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΣΗΜΕΙΑ	ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (sec)	PGA (cm/sec ²)
KERT99L	Κερατσίν(99)	9820	0,005	49,10	214,40
KERT99T	Κερατσίν(99)	9820	0,005	49,10	179,50
SPLB1L	Σεπόλια(99)	9200	0,005	46,00	342,00
SPLB1T	Σεπόλια(99)	9201	0,005	46,01	318,90
SGMA1L	Σύνταγμα(99)	6000	0,005	30,00	144,70
SGMA1T	Σύνταγμα(99)	6001	0,005	30,01	233,60
A399T	Κ.Ε.Δ.Ε.(99)	7815	0,005	39,08	297,20
A399L	Κ.Ε.Δ.Ε.(99)	7815	0,005	39,08	258,60



Σχήμα 6-40 Χρονοϊστορίες 4 καταγραφών σε 2 σταθμούς της Αθήνας κατά τη διάρκεια του σεισμού της Αθήνας (7/9/1999) (Μανώλης κ.α., 2015)

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑ SGMA1 (L&T)

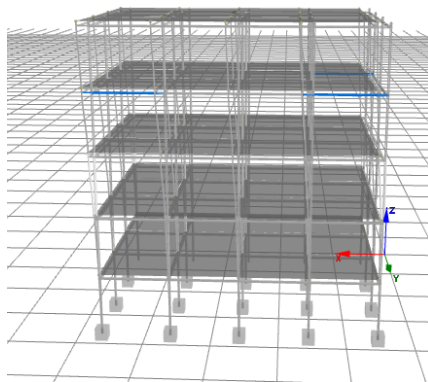
Στο Σχήμα 6.41 φαίνεται το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις για το οποίο πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας με το επιταχυνσιογράφημα SGMA1 από τον σεισμό της Αθήνας 1999.



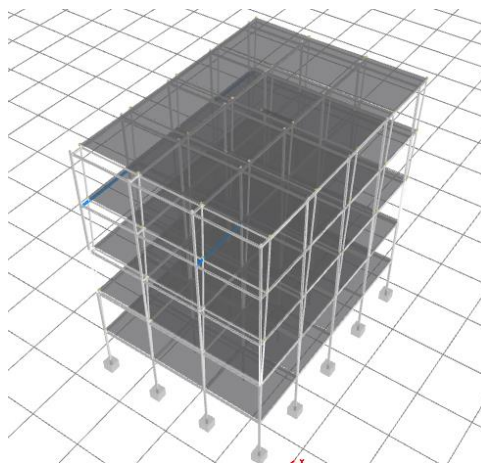
Σχήμα 6-41 Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις – Δυναμική ανάλυση με το επιταχυνσιογράφημα SGMA1

Με τη χρήση του επιταχυνσιογραφήματος, ο φορέας παρουσιάζει καμπτική αστοχία σε τρεις δοκούς του 4^{ου} ορόφου. Επίσης, παρουσιάζονται διαρροές σε υποστύλωματα του 4^{ου} ορόφου. Οι συνέπειες αυτές, φαίνονται στα παρακάτω Σχήματα 6.42 & 6.43.

Κατά την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας επιβάλλοντας την καταγραφή SGMA1, ο φορέας παρουσιάζει καμπτικές αστοχίες σε τρεις δοκούς και στα υποστύλωματα του 4^{ου} ορόφου. Στα παρακάτω Σχήματα 6.42 και 6.43 παρουσιάζεται ο παραμορφωμένος φορέας κατά την δυναμική ανάλυση και με μπλε φαίνονται οι δοκοί του 4^{ου} ορόφου οι οποίες έχουν αστοχήσει.



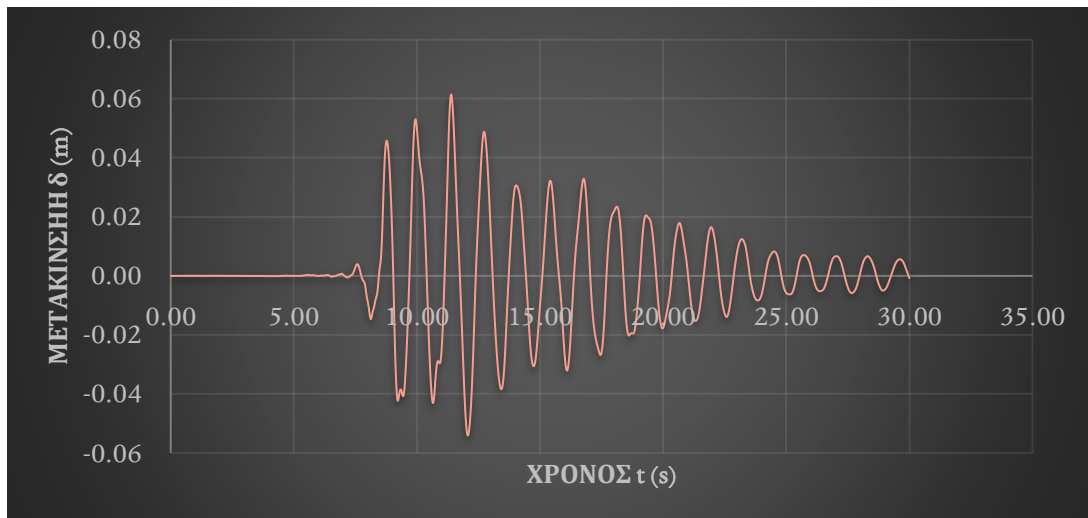
Σχήμα 6-42 Παραμορφώσεις κτιρίου



Σχήμα 6-43 Παραμορφώσεις κτιρίου

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ SGMA1-BARE BLD

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 6.44), παρουσιάζεται η χρονοϊστορία μετακινήσεων της κορυφής του κτιρίου. Η μέγιστη μετακίνηση που παρατηρείται είναι περίπου 6 cm σε χρόνο 12 sec.



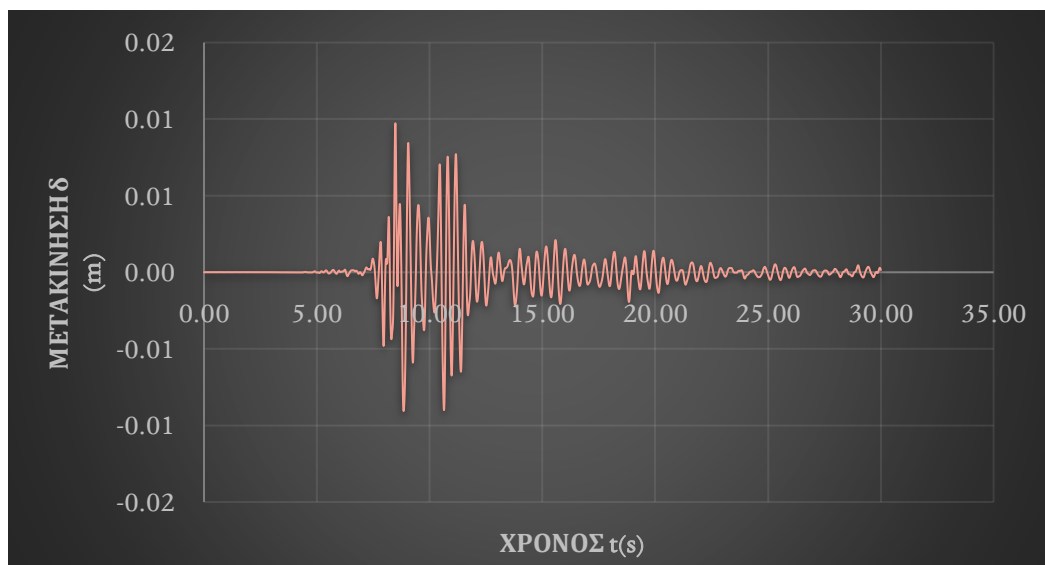
Σχήμα 6-44 Χρονοϊστορία μετακινήσεων κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή SGMA1 κατά την διεύθυνση L

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ

ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑ SGMA1(L&T)

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ SGMA1-INFILL BLD

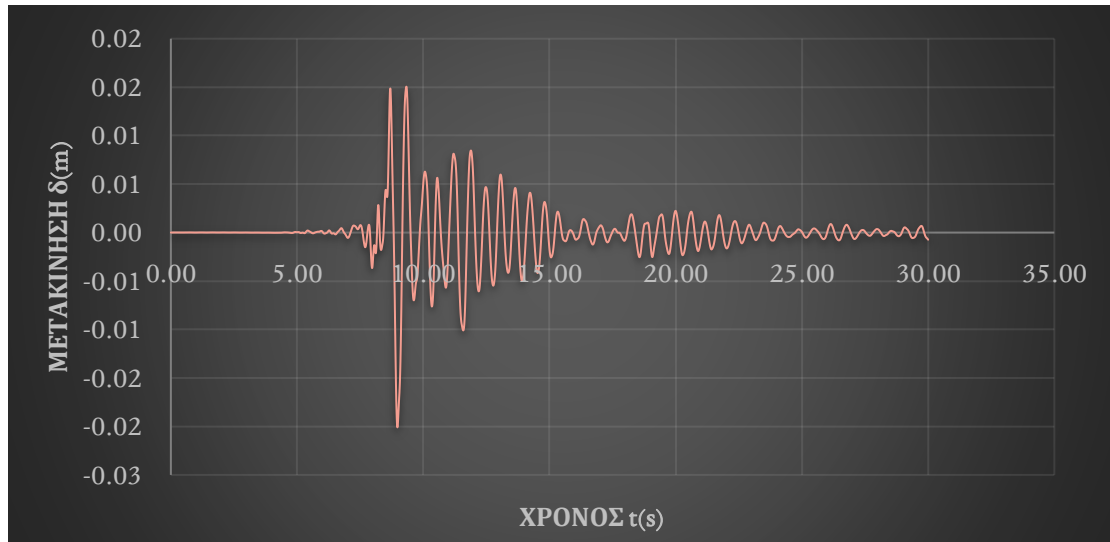
Αντίστοιχα, με το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις, έχει ακολουθηθεί ίδια διαδικασία και για το κτίριο με τοιχοπληρώσεις. (Σχήμα 6.45) Παρατηρείται σημαντική μείωση στις μετακινήσεις του πλήρως τοιχοπληρωμένου κτιρίου, σε σχέση με το γυμνό κτίριο, όπως είναι αναμενόμενο.



Σχήμα 6-45 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης οροφής

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΙΛΟΤΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΟ
ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΦΗΜΑ SGMA1(L&T)

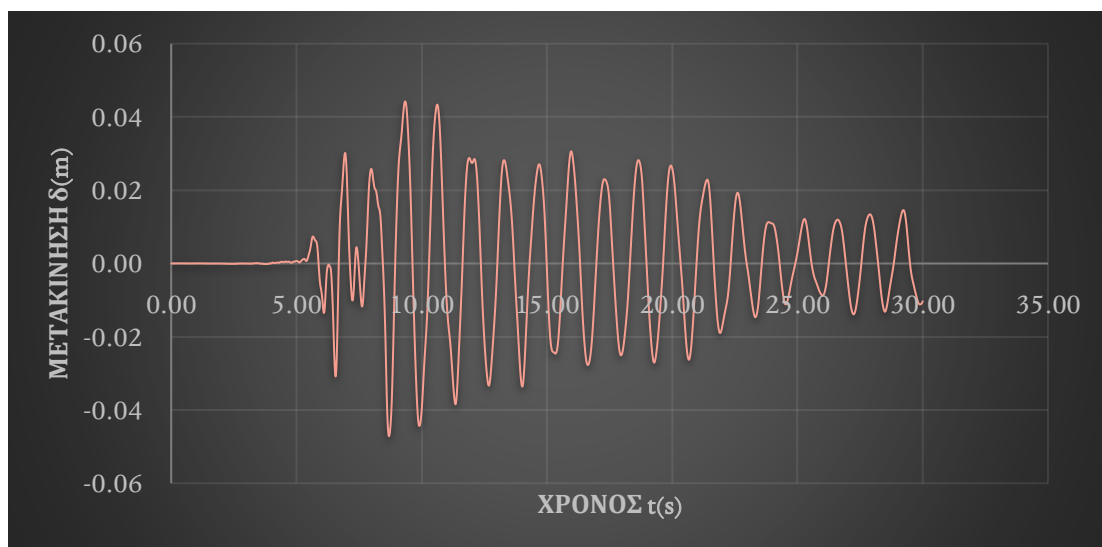
Όπως και παραπάνω, στο Σχήμα 6.46 παρουσιάζεται το διάγραμμα σχετικής μετακίνησης της βάσης οροφής του κτιρίου λόγω της καταγραφής SGMA1.



Σχήμα 6-46 Διάγραμμα Σχετικής μετακίνησης Βάσης οροφής

ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ- ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΦΗΜΑ SPLB1 (L&T)

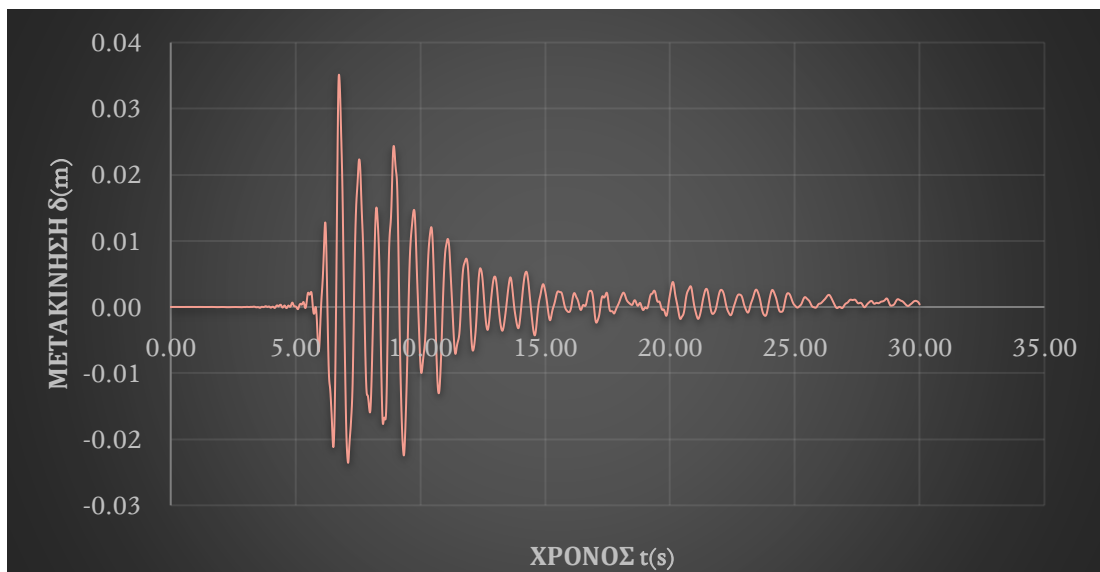
Με τη χρήση του επιταχυνσιογραφήματος SPLB1 κατά τις δύο διευθύνσεις L&T, παρατηρούνται διαρροές σε μερικά υποστύλωματα του 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου. Επίσης, παρατηρούνται κάποιες διαρροές δοκών του 4^{ου} και 5^{ου} ορόφου.



Σχήμα 6-47 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης Οροφής

ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ- ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΟ
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑ SPLB1 (L&T)

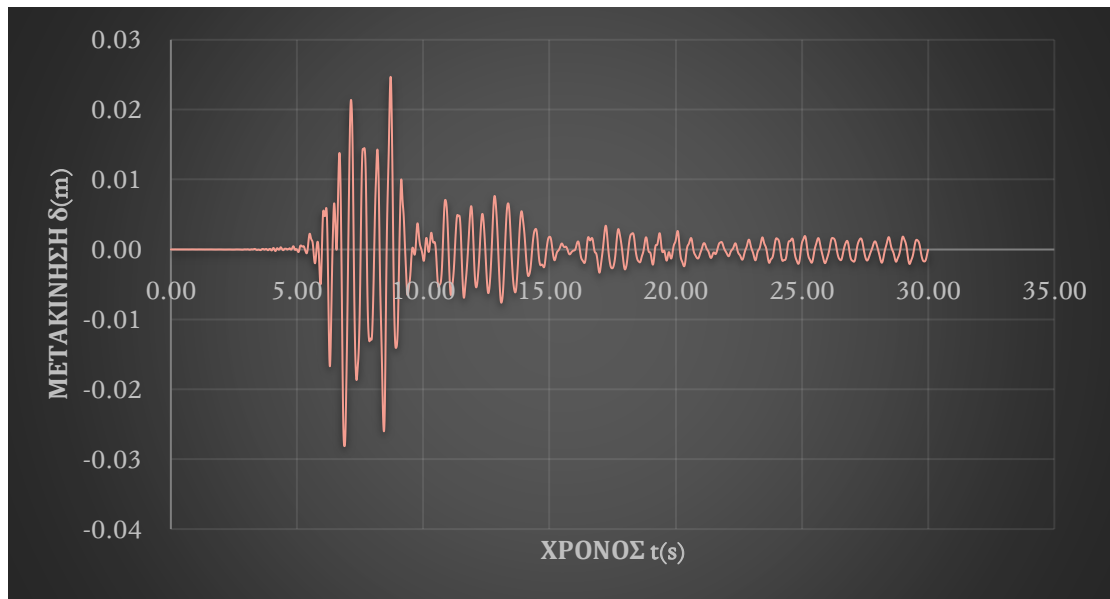
Μετά τη χρήση του επιταχυνσιογραφήματος του σεισμού στα Σεπόλια (SPLB1), παρατηρούνται στο κτίριο, όπως είναι αναμενόμενο, ο σχηματισμός μαλακού ορόφου, λόγω της διαρροής των υποστλωμάτων της πιλοτής. Τα περισσότερα από τα υποστλώματα του 1^{ου} ορόφου διαρρέουν. Παρακάτω, επίσης, φαίνεται το διάγραμμα σχετικής μετακίνησης της βάσης οροφής (Σχήμα 6.48) ενός κεντρικού κόμβου του κτιρίου κατά τη διάρκεια του σεισμού.



Σχήμα 6-48 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης Οροφής

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ SPLB1-ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

Ομοίως, παρακάτω, φαίνεται το διάγραμμα μετακίνησης (Σχήμα 6.49) ενός κεντρικού κόμβου του ισογείου σε συνάρτηση με τον ίδιο κόμβο του 5^{ου} ορόφου κατά τη διάρκεια του σεισμού.

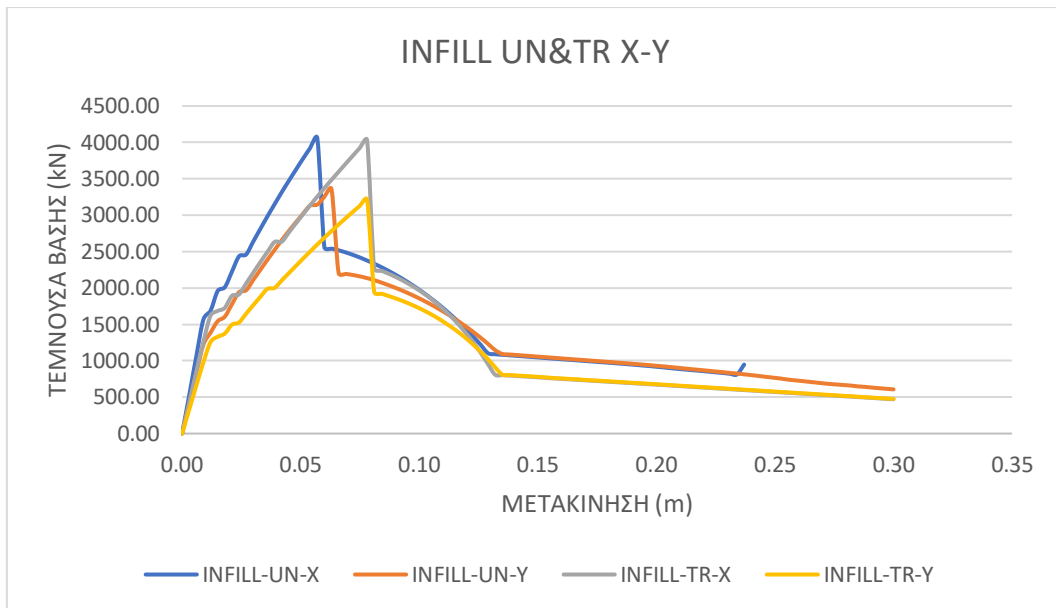


Σχήμα 6-49 Διάγραμμα Σχετικής Μετακίνησης Βάσης Οροφής

6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ Χ-Υ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ Χ ΚΑΙ Υ – ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ & ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

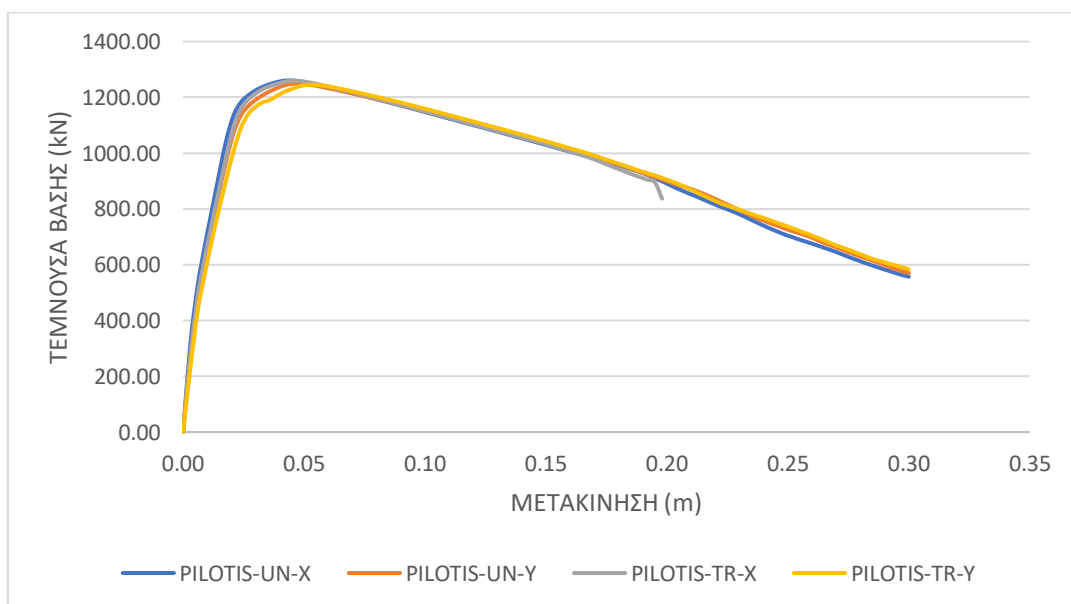
Στο Σχήμα 6.50 παρακάτω έχει γίνει μια σύγκριση των καμπυλών ικανότητας των κτιρίων με τοιχοπληρώσεις, όταν αυτά έχουν καταπονηθεί με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίων κατά τις δύο διευθύνσεις Χ και Υ. Το διάγραμμα αυτό στον κατακόρυφο άξονα έχει την τέμνουσα βάσης του κτιρίου, ενώ στον οριζόντιο άξονα την μετακίνηση.



Σχήμα 6-50 Καμπύλες ικανότητας για το πλήρως τοιχοπληρωμένο κτίριο για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή οριζόντιας φόρτισης στις διευθύνσεις x και y

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ X ΚΑΙ Y – ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ & ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

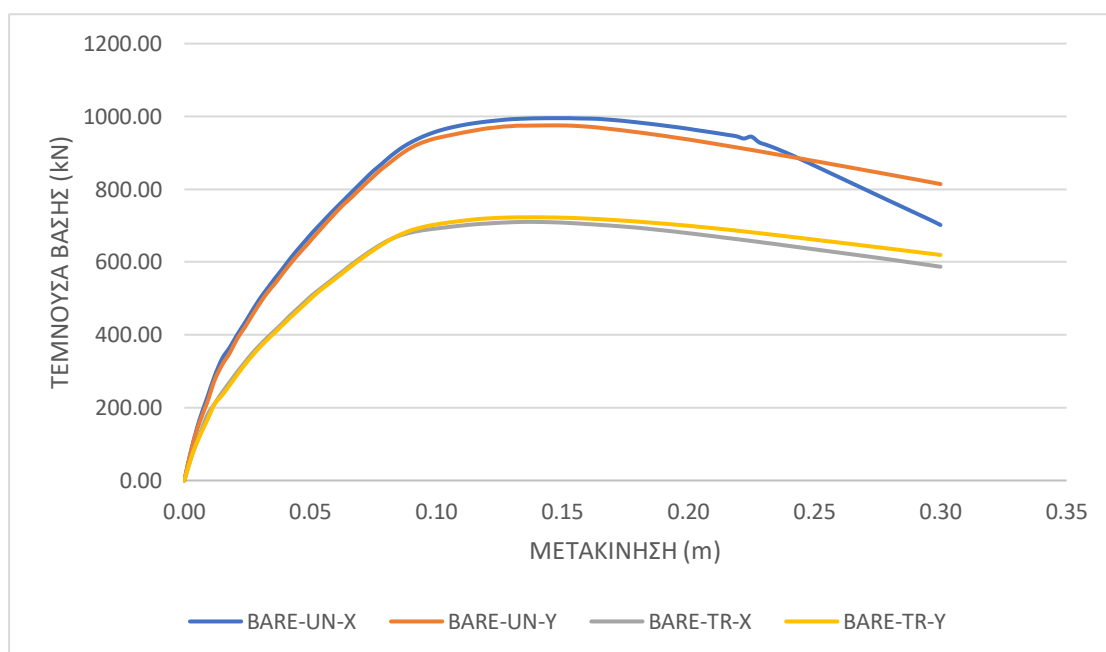
Αντίστοιχα, στο Σχήμα 6.51 παρακάτω έχει γίνει μια σύγκριση των καμπυλών ικανότητας των κτιρίων με πιλοτή, όταν αυτά έχουν καταπονηθεί με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίων κατά τις δύο διευθύνσεις X και Y. Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι καμπύλες ικανότητας σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους.



Σχήμα 6-51 Καμπύλες ικανότητας για το κτίριο με πιλοτή για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή οριζόντιας φόρτισης στις διευθύνσεις x και y

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ
ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ Χ ΚΑΙ Υ – ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ & ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Τέλος, στο Σχήμα 6.52 παρακάτω έχει γίνει μια σύγκριση των καμπυλών ικανότητας των κτιρίων χωρίς τοιχοπληρώσεις, όταν αυτά έχουν καταπονηθεί με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίων κατά τις δύο διευθύνσεις Χ και Υ. Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι καμπύλες ικανότητας των ομοιόμορφων κατανομών σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους. Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και στις τριγωνικές φορτίσεις κατά τις διευθύνσεις Χ και Υ. Η φέρουσα ικανότητα που προκύπτει από την ομοιόμορφη κατανομή είναι μεγαλύτερη εκείνης που προκύπτει με τριγωνική κατανομή.

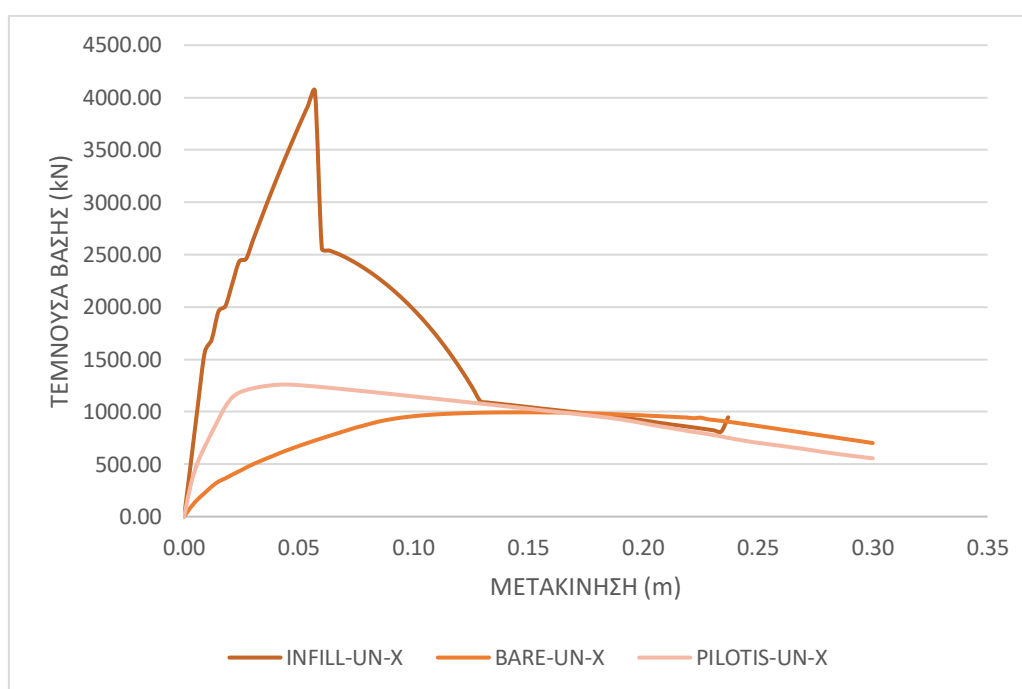


Σχήμα 6-52 Καμπύλες ικανότητας για το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή οριζόντιας φόρτισης στις διευθύνσεις x και y

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-
ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ-ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ – ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ Χ

Εν συνεχεία, στο Σχήμα 6.53, έχουν εισαχθεί τα αποτελέσματα των υπερωθητικών αναλύσεων (τέμνουσα βάσης συναρτήσει μετακίνησης) στο ίδιο διάγραμμα για τα 3 διαφορετικά κτίρια. Δηλαδή, έχει γίνει εισαγωγή στο ίδιο διάγραμμα των αποτελεσμάτων του γυμνού κτιρίου, με το τοιχοπληρωμένο και του κτίριο με πιλοτή

κατά την διεύθυνση X και με ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων. Η φέρουσα ικανότητα του πλήρως τοιχοπληρωμένου κτιρίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη του κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις ή εκείνου με πιλοτή. Μετά την αστοχία των τοιχοπληρώσεων, η φέρουσα ικανότητα του κτιρίου πλησιάζει εκείνη του μη τοιχοπληρωμένου. Η μέγιστη τιμή της τέμνουσας βάσης του κτιρίου με πιλοτή είναι σημαντικά μικρότερη από εκείνη του πλήρως τοιχοπληρωμένου και πλησιάζει εκείνη του κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις. Η αρχική δυσκαμψία του πλήρως τοιχοπληρωμένου κτιρίου είναι μεγαλύτερη από τα άλλα δυο κτίρια και ακολουθεί το κτίριο με πιλοτή.

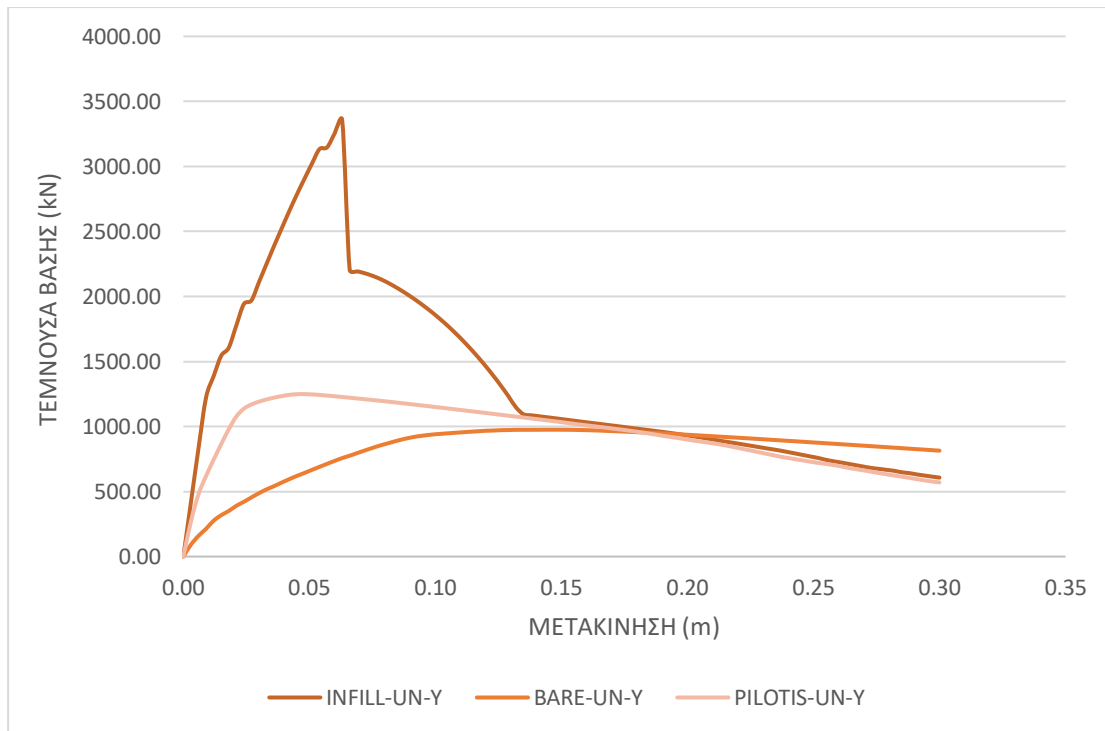


Σχήμα 6-53 Καμπύλες ικανότητας για ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση x για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ - ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ – ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ

Υ

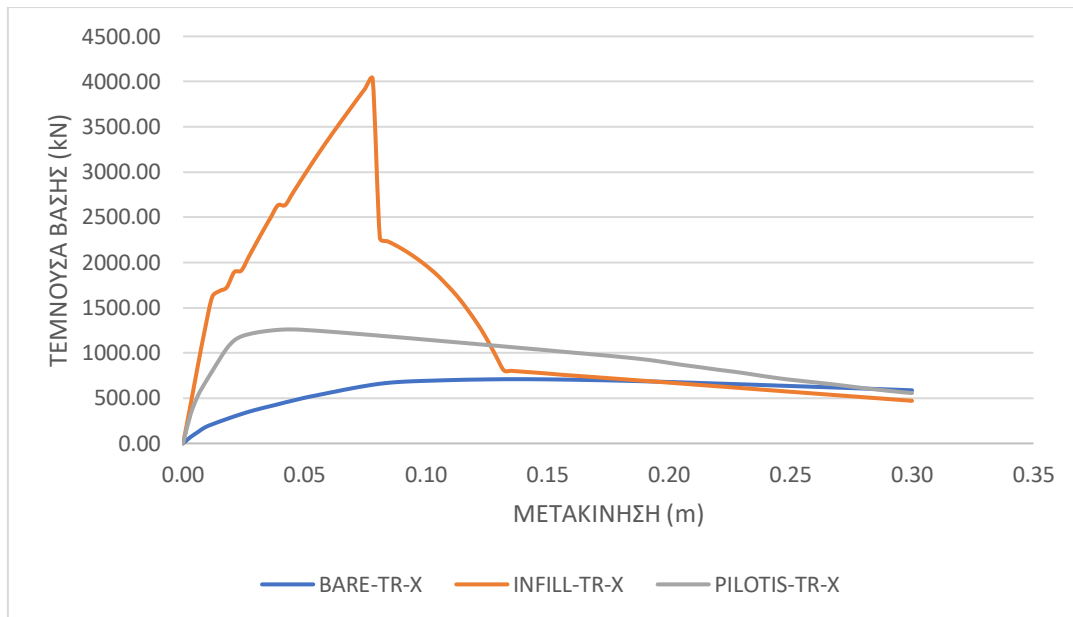
Αντίστοιχη διαδικασία, έχει ακολουθηθεί και για την διεύθυνση Y (Σχήμα 6.54).



Σχήμα 6-54 Καμπύλες ικανότητας για ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση y για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ-ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ – ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ Χ

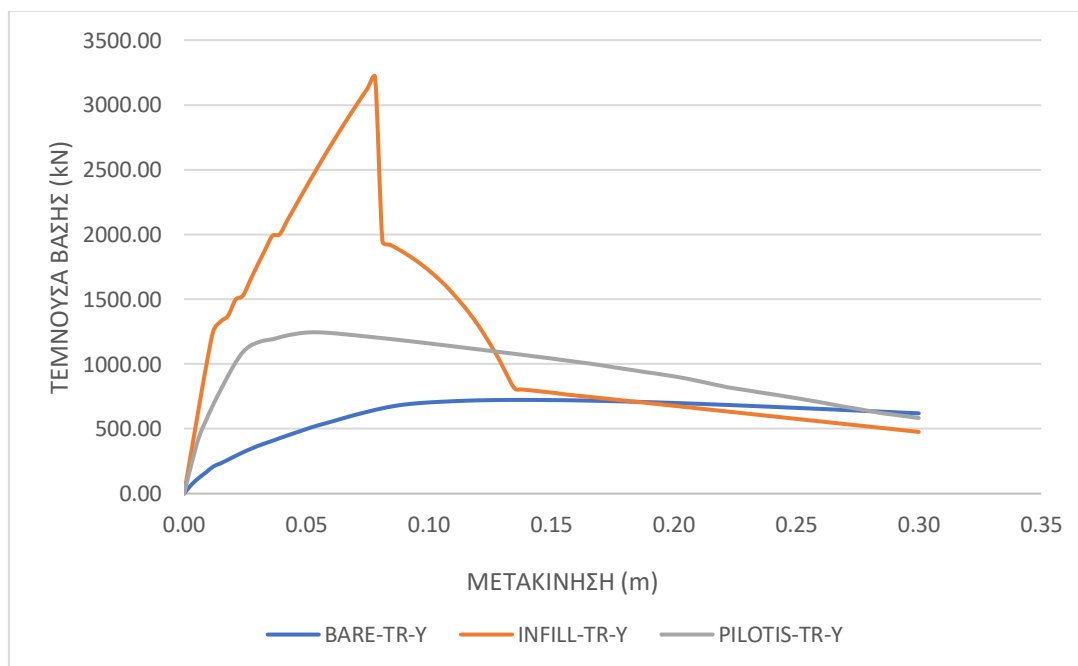
Στο Σχήμα 6.55, έχουν εισαχθεί τα αποτελέσματα των υπερωθητικών αναλύσεων (τέμνουσα βάση συναρτήσει μετακίνησης) στο ίδιο διάγραμμα για τα 3 διαφορετικά κτίρια. Δηλαδή, έχει γίνει εισαγωγή στο ίδιο διάγραμμα των αποτελεσμάτων του γυμνού κτιρίου, με το τοιχοπληρωμένο και το κτίριο με πιλοτή κατά την διεύθυνση X με τριγωνική κατανομή των φορτίων. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι παρόμοια με εκείνα της ομοιόμορφης κατανομής. Η φέρουσα ικανότητα του πλήρως τοιχοπληρωμένου κτιρίου είναι μεγαλύτερη από εκείνη του κτιρίου με πιλοτή και του μη τοιχοπληρωμένου κτιρίου, μόνο που οι τιμές της φέρουσας ικανότητας είναι μικρότερες από εκείνες που προέκυψαν με την ομοιόμορφη κατανομή πλευρικών φορτίων.



Σχήμα 6-55 Καμπύλες ικανότητας για τριγωνική κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση x για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή)

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ-ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ-ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ – ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ Υ

Ίδια διαδικασία, έχει ακολουθηθεί και στην διεύθυνση Y, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.56.

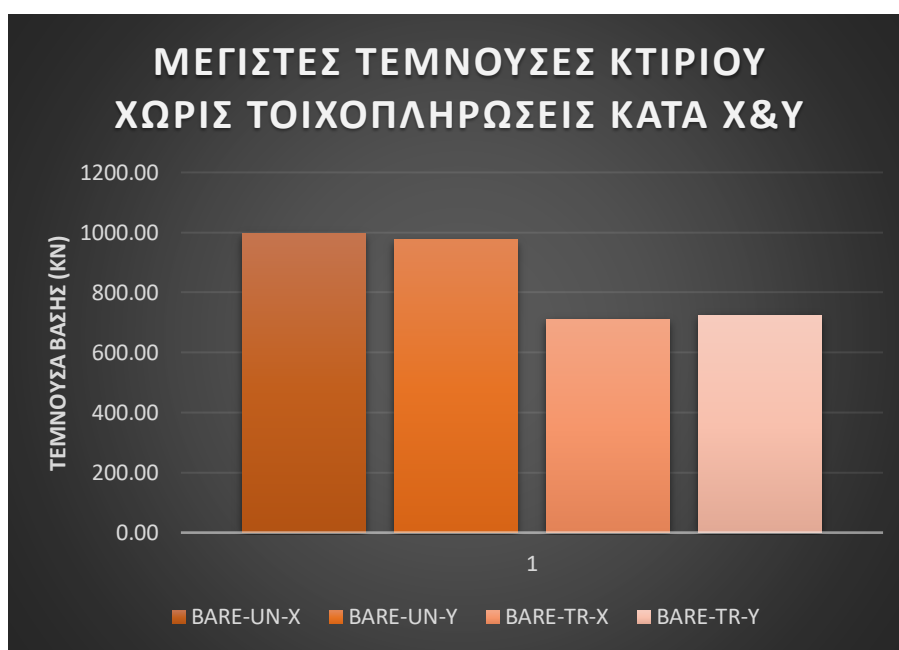


Σχήμα 6-56 Καμπύλες ικανότητας για τριγωνική κατανομή φόρτισης κατά τη διεύθυνση y για τα 3 διαφορετικά κτίρια (τοιχοπληρωμένο – μη τοιχοπληρωμένο – με πιλοτή)

6.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

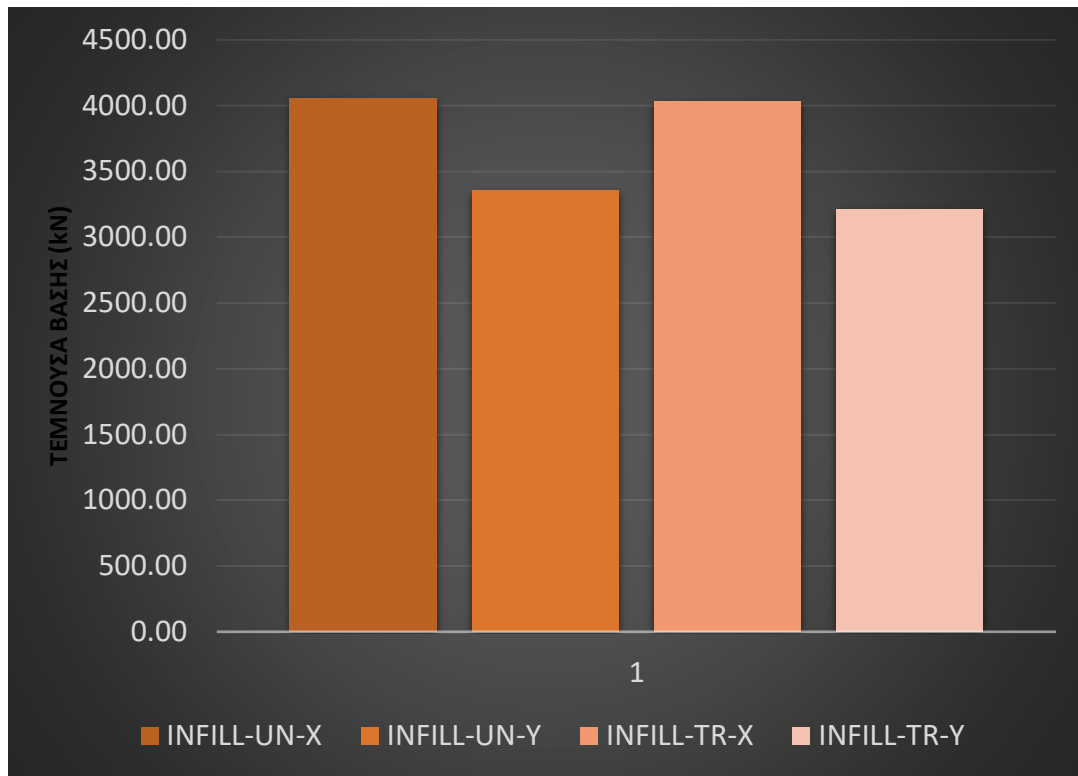
Τέλος, έχει γίνει εισαγωγή των αποτελεσμάτων των μέγιστων τεμνουσών κάθε κτιρίου σε ένα διάγραμμα κατά τις δύο διευθύνσεις X και Y. (Σχήμα 6.57 – 6.59). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, οι τέμνουσες των κτιρίων στις δύο διευθύνσεις είναι παρόμοιες μεταξύ τους για την ομοιόμορφη και αντίστοιχα για την τριγωνική φόρτιση.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

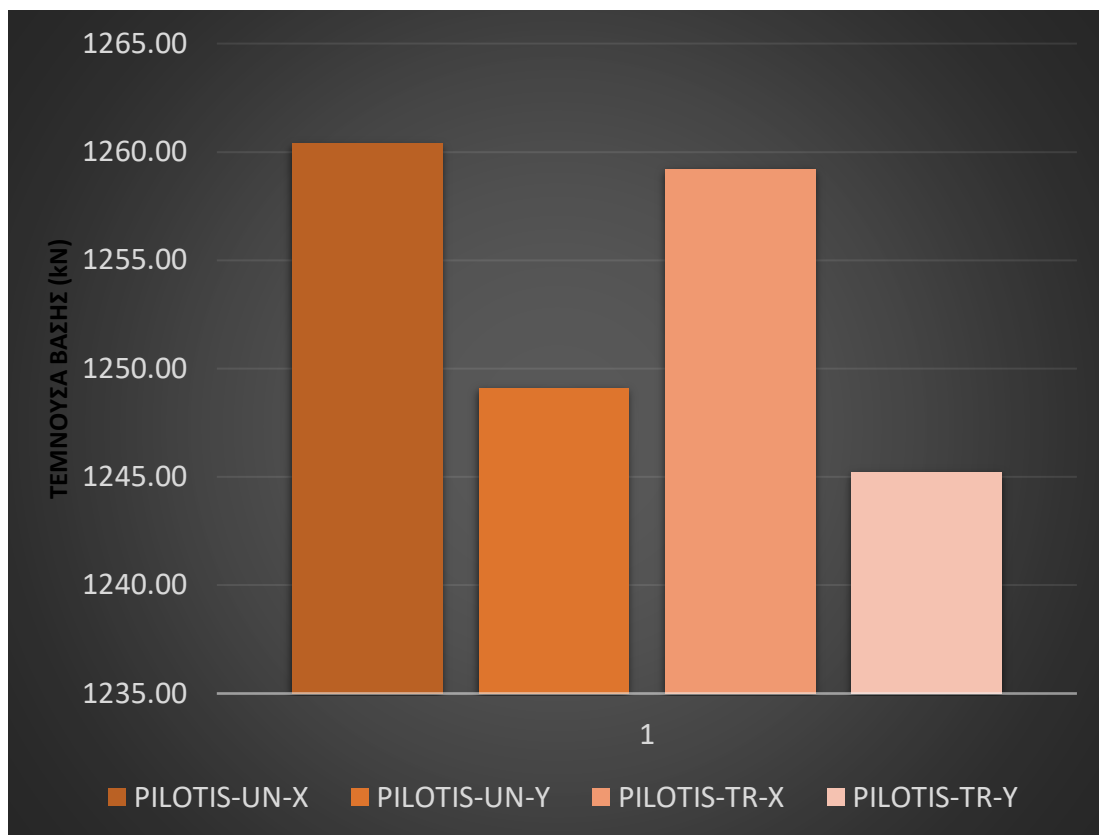


Σχήμα 6-57 Μέγιστες Τέμνουσες κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις κατά x & y

Στο Σχήμα 6.57, έχει γίνει σύγκριση των μέγιστων τεμνουσών των κτιρίων χωρίς τοιχοπληρώσεις και όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα το μη τοιχοπληρωμένο κτίριο με ομοιόμορφη κατανομή κατά Y έχει παρόμοια αποτελέσματα με το μη τοιχοπληρωμένο με τριγωνική κατανομή κατά Y. Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα στην ομοιόμορφη κατά X – τριγωνική κατά X.



Σχήμα 6-58 Μέγιστες Τέμνουσες κτιρίου με τοιχοπληρώσεις (ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή κατά x και y)



Σχήμα 6-59 Μέγιστες Τέμνουσες κτιρίου με πιλοτή (ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή κατά x και y)

Στο Σχήμα 6.58, έχει γίνει σύγκριση των μέγιστων τεμνουσών των κτιρίων με τοιχοπληρώσεις και όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα το τοιχοπληρωμένο κτίριο με ομοιόμορφη κατανομή κατά Y έχει παρόμοια αποτελέσματα με το τοιχοπληρωμένο με τριγωνική κατανομή κατά Y . Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα στην ομοιόμορφη κατά X – τριγωνική κατά X .

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 6.59 έχει γίνει σύγκριση των μέγιστων τεμνουσών των κτιρίων με πιλοτή και όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα, το κτίριο με πιλοτή, με ομοιόμορφη κατανομή κατά Y έχει παρόμοια αποτελέσματα με την τριγωνική κατανομή κατά Y . Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα στην ομοιόμορφη κατά X – τριγωνική κατά X .

Κεφάλαιο 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας του κτιρίου σύμφωνα με τους Σύγχρονους Αντισεισμικούς Κανονισμούς (Ευρωκώδικα 8 – μέρος 3^ο και Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ). Το υπό μελέτη κτίριο, είναι ένα υφιστάμενο πενταώροφο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος, μελετημένο με τους παλαιούς κανονισμούς. Η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του πραγματοποιήθηκε με ανελαστικές στατικές και δυναμικές αναλύσεις. Κατά την αποτίμηση διερευνήθηκε η συμβολή των τοιχοπληρώσεων εξετάζοντας το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις, το πλήρως τοιχοπληρωμένο κτίριο και το κτίριο με πιλοτή. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Από τα αποτελέσματα των στατικών ανελαστικών αναλύσεων προκύπτει ότι το κτίριο με πιλοτή παρουσιάζει ανεπάρκειες, κυρίως στα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου στα οποία και δημιουργείται ο μηχανισμός μαλακού ορόφου.
- Σε σύγκριση με το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και το κτίριο με πιλοτή, το τοιχοπληρωμένο κτίριο παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά. Παρουσιάζονται ωστόσο αστοχίες κάποιων τοιχοπληρώσεων σε μεγάλες παραμορφώσεις και η συμπεριφορά του κτιρίου πλησιάζει εκείνη του μη τοιχοπληρωμένου.
- Το κτίριο με πιλοτή παρουσιάζει την δυσμενέστερη συμπεριφορά καθώς δημιουργείται μηχανισμός ορόφου και παρουσιάζονται ανεπάρκειες στα υποστυλώματα του κατώτερου ορόφου.
- Τα αποτελέσματα των ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων, με τις καταγραφές από τον σεισμό της Αθήνας 1999 δείχνουν ότι το κτίριο δεν παθαίνει σημαντικές βλάβες. Στην περίπτωση του τοιχοπληρωμένου κτιρίου οι βλάβες είναι λιγότερες σε σχέση με την περίπτωση του κτιρίου με πιλοτή όπου παρουσιάζονται ανεπάρκειες στα υποστυλώματα στον κατώτερο όροφο.
- Τέλος, τα αποτελέσματα των στατικών ανελαστικών αναλύσεων βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των δυναμικών ανελαστικών αναλύσεων. Οι

μετακινήσεις από τις δυναμικές αναλύσεις είναι εντός των τιμών της στοχευόμενης μετακίνησης που προκύπτουν από τις στατικές ανελαστικές αναλύσεις.

Βιβλιογραφία

Δουδούμης Ν.Ι. (2018), Η Εξέλιξη των Αντισεισμικών Κανονισμών και ο Ρόλος του Σεισμού της Θεσσαλονίκης το 1978

Σπυράκος Κ., (2008), Ικανοτικός Σχεδιασμός, Σημειώσεις του μαθήματος «Αντισεισμική Τεχνολογία Ι», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

ΕΑΚ (2000), ΦΕΚ 2184 Β/20-12-1999, Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός.

Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), 2η Αναθεώρηση 2017, ΦΕΚ 2984/Β/30-08-2017

Αντωνοδημητράκη Σ., (2016), Αποτίμηση Σεισμικής Επάρκειας Κτιρίου Κατοικίας, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Τεχνικός Οίκος Λογισμικού (ΤΟΛ) (2018), Μη Γραμμική Στατική Υπερωθητική Ανάλυση με βάση τους ΕΚ8.1, Ε.Κ 8.3 & ΚΑΝΕΠΕ

Seismosoft (2021), SeismoStruct 2021 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, available from <https://seismosoft.com/>.

Καραγιάννης Χ. (2019), Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα και Σεισμικές Δράσεις, Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη.

Πνευματικός Ν. (2017), Εισαγωγή στη Μελέτη Αντισεισμικών Κατασκευών Εκδόσεις Λύχνος, Αθήνα.

Κάππος Α.Ι., 2009, Ανάλυση Κτιρίου πριν και μετά την Επέμβαση, Δεκέμβριος 2009

ΛΗ Λογισμική (2013), Pushover Θεωρητικά Στοιχεία, Αθήνα.

<https://www.lhlogismiki.gr/wp-content/uploads/2014/02/Fespapushover.pdf>

ΛΗ Λογισμική (2013), Έλεγχος επάρκειας με ανελαστική υπερωθητική ανάλυση (Pushover) – ΚΑΝ.ΕΠΕ. & EC8-3, Κατανομές οριζόντιας φόρτισης

<https://www.lhlogismiki.gr/proionta/statika/fespa/episkeues-enisxiseis-pushover/>

Καλαμάρα Π. (2012) Επιρροή της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής στη σεισμική συμπεριφορά κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, Διπλωματική εργασία, ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ

Μανώλης, Γ., Κολιόπουλος, Π, Παναγιωτόπουλος, Χ. (2015), Δυναμική των Κατασκευών, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, www.kallipos.gr.