

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Γιάννης Ζήνωνος

Λεμεσός 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Γιάννης Ζήνωνος

Σύμβουλος καθηγητής
Δρ. Κρίστης Χρυσοστόμου

Λεμεσός 2013

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Γιάννης Ζήνωνος, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κρίστη Χρυσοστόμου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας, για την καθοδήγηση, την βοήθεια που μου πρόσφερε και τον χρόνο που μου αφιέρωσε για την εκπόνηση της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία AuDeSy και την κ. Μαρία Χρυσοστόμου που μου πρόσφεραν το δικαίωμα χρήσης του προγράμματος 3DR STRAD και που με βοήθησαν με τον χειρισμό του προγράμματος και την επίλυση των προσομοιωμάτων. Τέλος ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου με στήριξε όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να εξεταστεί η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με τη βοήθεια του λογισμικού 3DR STRAD. Επίσης να εφαρμόσει τις πρόνοιες του Ευρωκώδικα 8 (EC8) για τις τοιχοπληρώσεις και να δώσει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα μιας τέτοιας εφαρμογής.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή για τις τοιχοπληρώσεις με γενικές πληροφορίες επί του θέματος. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις τοιχοπληρώσεις όπου αναφέρεται η συμπεριφορά τους και τα προσομοιώματα που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο επεξηγούνται τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την εφαρμογή των προνοιών του Ευρωκώδικα 8 (EC8), καθώς επίσης και του ελληνικού κανονισμού επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) για τις τοιχοπληρώσεις. Στο τέταρτο κεφάλαιο αφού γίνει επίλυση τεσσάρων προσομοιωμάτων (τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις χωρίς αυξητικό συντελεστή n , τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n , τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις αλλά με φαινόμενο πιλοτής στις τρεις κατευθύνσεις) με το λογισμικό 3DR STRAD, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών χαρακτηριστικών, της κανονικότητας και του σχεδιασμού των μελών όλων των προσομοιωμάτων. Τέλος καταγράφονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από την αναπαράσταση των αποτελεσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiv
1.1 Γενικά στοιχεία	xiv
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση των τοιχοπληρώσεων	1
2.1 Συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων	1
2.2 Δυσμενείς διατάξεις τοιχοπληρώσεων	4
2.2.1 Ανομοιόμορφη κατανομή των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος.....	4
2.2.2 Ασύμμετρη διάταξη των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη.....	6
2.2.3 Διακοπή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος εντός του ορόφου	7
2.3 Μηχανισμοί αστοχίας τοιχοπληρωμένων πλαισίων	9
2.4 Εκτός επιπέδου αστοχία των τοιχοπληρώσεων	13
2.5 Μαθηματικά προσομοιώματα τοιχοπληρώσεων	14
2.5.1 Μακρό-προσομοιώματα (macro-models)	14
2.5.1.1 Μοντέλα ενός διαγώνιου θλιπτήρα	15
2.5.1.2 Μοντέλα πολλαπλών διαγώνιων θλιπτήρων	17
2.5.2 Μικρό-προσομοιώματα (micro-models).....	22
2.5.2.1 Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.....	22
2.6 Επιδράσεις των ανοιγμάτων στην πλευρική δυσκαμψία των τοιχοπληρώσεων	24
3. Επίδραση τοιχοπληρώσεων στη δυναμική ανάλυση των κατασκευών.....	27

3.1 Προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2006)	27
3.1.1 Προσομοίωση με τη χρήση θλιβόμενης διαγωνίου	28
3.1.2 Προσομοίωση με χρήση διατμητικού φατνώματος	29
3.2 Προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.....	30
4. Προσομοιώματα κτιρίου προς επίλυση με τη χρήση λογισμικού	32
4.1 Περιγραφή κτιρίου.....	32
4.1.1 Γενικά στοιχεία	32
4.1.2 Κατακόρυφα φορτία.....	35
Τα κατακόρυφα φορτία που λήφθηκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό είναι:	35
4.1.3 Συνδυασμοί φόρτισης.....	36
Οι συνδυασμοί φόρτισης που λήφθηκαν υπόψη και στα τρία προσομοιώματα είναι:	36
4.1.4 Σεισμολογικά στοιχεία	37
4.1.5 Αρχείο υλικών	37
4.2 Ανάλυση προσομοιωμάτων	38
4.2.1 Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις.....	38
4.2.1.1 Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο συντελεστής n.....	39
4.2.1.1.1 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD.....	39
4.2.1.1.1.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά.....	39
4.2.1.1.1.2 Κανονικότητα	43
4.2.1.1.1.3 Φαινόμενα 2 ^{ης} τάξης (έλεγχος θ)	45
4.2.1.1.1.4 Οπλισμοί.....	46
4.2.1.2 Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοποιίες λαμβάνοντας υπόψη και τον συντελεστή n.	49
4.2.1.2.1 Έλεγχος καθ' ύψος κανονικότητας του κτιρίου	49
4.2.1.2.2 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD.....	57
4.2.1.2.2.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά.....	57
4.2.1.2.2.2 Κανονικότητα	61

4.2.1.2.2.3 Φαινόμενα 2 ^{ης} τάξης (έλεγχος θ)	63
4.2.1.2.2.4 Οπλισμοί.....	64
4.2.2 Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τα σχετικά τους ανοίγματα.....	67
4.2.2.1 Υπολογισμός ισοδύναμου πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα της τοιχοποιίας	68
4.2.2.2 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD.....	78
4.2.2.2.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά.....	78
4.2.2.2.2 Κανονικότητα	82
4.2.2.2.3 Φαινόμενα 2 ^{ης} τάξης (έλεγχος θ)	84
4.2.2.2.4 Οπλισμοί.....	85
4.2.3 Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τα σχετικά τους ανοίγματα με πιλοτή	88
4.2.3.1 Υπολογισμός ισοδύναμου πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα της τοιχοποιίας	89
4.2.3.2 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD.....	89
4.2.3.2.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά.....	89
4.2.3.2.2 Κανονικότητα	94
4.2.3.2.3 Φαινόμενα 2 ^{ης} τάξης (έλεγχος θ)	96
4.2.3.2.4 Οπλισμοί.....	97
5. Συμπεράσματα.....	100
5.1 Διαφοροποιήσεις στα δυναμικά χαρακτηριστικά	100
5.2 Δυνάμεις και μετακινήσεις	102
5.3 Οπλισμοί	104
6. Βιβλιογραφία.....	107

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Υψόμετρα σταθμών τετραώροφου κτιρίου με πάχος θεμελίωσης 0.50m.	34
Πίνακας 2: Ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αυξητικός συντελεστής n	40
Πίνακας 3: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις κάθε στάθμης στις διευθύνσεις y και x	42
Πίνακας 4: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αυξητικός συντελεστής n	44
Πίνακας 5: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις χωρίς αυξητικό συντελεστή n	45
Πίνακας 6: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n	46
Πίνακας 7: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n	47
Πίνακας 8: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n	47
Πίνακας 9: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n	48
Πίνακας 10: Συνολική μείωση διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στη διεύθυνση x στη στάθμη 2.	55
Πίνακας 11: Συνολική μείωση διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στη διεύθυνση y στη στάθμη 2.	55
Πίνακας 12: Ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις λαμβάνοντας υπόψη τους αυξητικούς συντελεστής n	58
Πίνακας 13: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις σε κάθε στάθμη στις κατευθύνσεις y και x	60
Πίνακας 14: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και λαμβάνοντας υπόψη τον αυξητικό συντελεστή n	62
Πίνακας 15: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n	63
Πίνακας 16: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n	64
Πίνακας 17: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n	65
Πίνακας 18: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n	65
Πίνακας 19: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n	66
Πίνακας 20: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 2.	74
Πίνακας 21: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 3.	75
Πίνακας 22: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 4.	76
Πίνακας 23: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 5.	77

Πίνακας 24: Ιδιοπεριόδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	79
Πίνακας 25: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις σε κάθε στάθμη στις διευθύνσεις y και x.....	81
Πίνακας 26: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	83
Πίνακας 27: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	84
Πίνακας 28: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	85
Πίνακας 29: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	86
Πίνακας 30: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	86
Πίνακας 31: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 5 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.	87
Πίνακας 32: Ιδιοπεριόδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις με φαινόμενο πιλοτής.	91
Πίνακας 33: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις σε κάθε στάθμη στις διευθύνσεις y και x.....	92
Πίνακας 34: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.	95
Πίνακας 35: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.	96
Πίνακας 36: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.	97
Πίνακας 37: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.	98
Πίνακας 38: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.	98
Πίνακας 39: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 5 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.	99
Πίνακας 40: Αντισεισμικοί συντελεστές και ιδιοπεριόδοι σε όλα τα προσομοιώματα.	101
Πίνακας 41: Τέμνουσες ορόφων και τέμνουσα βάσης όλων των προσομοιωμάτων.	102

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ανομοιόμορφη διάταξη των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος.....	4
Σχήμα 2: Τέμνουσα βάσης – μετατόπισης ισογείου από πείραμα σε τριώροφο κτίριο με πιλοτή (Fardis et al. 1999a)	6
Σχήμα 3: Διακοπή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος ενός φατνώματος.....	8
Σχήμα 4: Κυριότερες μορφές αστοχίας τοιχοπληρώσεων: (α) διατμητική αστοχία, (β) αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου, (γ) αστοχία διαγωνίου λόγω εφελκυσμού.....	10
Σχήμα 5: Μηχανισμοί αστοχίας τοιχοπληρωμένων πλαισίων (Shing 2002)	11
Σχήμα 6: Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο υπό συνάθροιση	15
Σχήμα 7: Τοιχοπληρωμένο και ισοδύναμο πλαίσιο.....	17
Σχήμα 8: (α) Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, (β) προσομοίωμα τοιχοπληρωμένου πλαισίου.....	18
Σχήμα 9: Μοντέλο με έξι θλιπτήρες για τοιχοπληρώσεις σε πλαισιακές κατασκευές (Chrysostomou (1991)) (α) Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, (β) Προσομοίωμα τοιχοπληρωμένου πλαισίου.....	19
Σχήμα 10: Μοντέλο πολλαπλών θλιπτήρων που προτάθηκε από τον Crisafulli και τον Carr (2007) για τοιχοπληρωμένα φατνώματα, (α) θλιπτικοί/εφελκυστικοί θλιπτήρες, (β) διατμητικό ελατήριο	20
Σχήμα 11: Νόμος τάσεων παραμορφώσεων για τις θλιβόμενες διαγωνίους (Carr 2007).....	21
Σχήμα 12: Νόμος τάσεων παραμορφώσεων για το οριζόντιο ελατήριο (Smyrou 2006).....	21
Σχήμα 13: Διαδοχικά βήματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων των σημείων επαφής για ένα δίστηλο μονώροφο πλαίσιο (P.G. Asteris (2003, 2008)).....	24
Σχήμα 14: Μειωτικός συντελεστής δυσκαμψίας τοιχοπληρωμένων φατνωμάτων σε σχέση με το ποσοστό ανοιγμάτων (P.G. Asteris (2003, 2008)).....	26
Σχήμα 15: Επίπεδο πλαίσιο αναλύσεων: (α) Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Φορέας πλήρως τοιχοπληρωμένος, (γ) Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (φαινόμενο πιλοτής).....	32
Σχήμα 16: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς συντελεστή n.....	42
Σχήμα 17: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς συντελεστή n.....	42
Σχήμα 18: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με συντελεστή n.....	60
Σχήμα 19: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με συντελεστή n.....	60
Σχήμα 20: Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με ισοδύναμη θλιβόμενη διαγώνια ράβδο πλάτους w.....	69
Σχήμα 21: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	81
Σχήμα 22: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	81

Σχήμα 23: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με πιλοτή.....	93
Σχήμα 24: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με πιλοτή.....	93
Σχήμα 25: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις και των τεσσάρων προσομοιωμάτων στη διεύθυνση x.....	103
Σχήμα 26: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις και των τεσσάρων προσομοιωμάτων στη διεύθυνση y.....	104
Σχήμα 27: Κιλά χάλυβα κάθε προσομοιώματος σε κάθε στάθμη.	105
Σχήμα 28: Κιλά χάλυβα κάθε προσομοιώματος για όλες τις στάθμες συνολικά.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ζημιές σε τοιχοπληρώσεις σε πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα μετά τον σεισμό Wenchuan (Bixiong, Li et al. (2008))	3
Εικόνα 2: Επίδραση συμπαγών τοιχοπληρώσεων στην συμπεριφορά της οριοθέτησης του πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα (Bixiong, Li et al. (2008))	3
Εικόνα 3: (α) Διώροφη κατοικία με πιλοτή, σεισμός Αιγίου 1995	5
Εικόνα 4: Αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων, σεισμός Αθήνας 1999	8
Εικόνα 5: Αστοχία υποστυλωμάτων λόγω ισχυρών τοιχοπληρώσεων	9
Εικόνα 6: Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.	22
Εικόνα 7: (α) Κάτοψη τετραώροφου κτιρίου (Στάθμη 3), (β) Τομή τετραώροφου κτιρίου με τα υψόμετρα και την αρίθμηση της κάθε στάθμης.....	33
Εικόνα 8: Όψη τετραώροφου κτιρίου.	34
Εικόνα 9: Κάτοψη πενταώροφου κτιρίου (Στάθμη 2) από το λογισμικό 3DR STRAD.....	35
Εικόνα 10: Συντελεστές φόρτισης για τις δοκούς όπως δόθηκαν στο λογισμικό 3DR STRAD.	36
Εικόνα 11: Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις από το λογισμικό 3DR STRAD	38
Εικόνα 12: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.....	39
Εικόνα 13: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.....	43
Εικόνα 14: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.....	43
Εικόνα 15: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.	44
Εικόνα 16: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.	45
Εικόνα 17: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο.	50
Εικόνα 18: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο.	50
Εικόνα 19: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.....	57
Εικόνα 20: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n.....	61
Εικόνα 21: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n.....	61

Εικόνα 22: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n	62
Εικόνα 23: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n	63
Εικόνα 24: Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις από το λογισμικό 3DR STRAD.....	67
Εικόνα 25: Από το λογισμικό 3DR STRAD: (α) Κάτοψη τοίχου 1 στάθμης 3, (β) Όψη τοίχου 1 στάθμης 3.....	68
Εικόνα 26: Διαμόρφωση εσωτερικών και εξωτερικών τοιχοποιιών με οπτόπλινθους διαστάσεων 100x200x300mm.....	70
Εικόνα 27: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.....	78
Εικόνα 28: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	82
Εικόνα 29: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	82
Εικόνα 30: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	83
Εικόνα 31: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	84
Εικόνα 32: Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις με φαινόμενο πιλοτής από το λογισμικό 3DR STRAD.....	88
Εικόνα 33: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.....	90
Εικόνα 34: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.....	94
Εικόνα 35: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.....	94
Εικόνα 36: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.....	95
Εικόνα 37: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.....	96
Εικόνα 38: Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις στάθμη 2.....	101

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει επικρατήσει στην Κύπρο το σκυρόδεμα ως το βασικότερο δομικό στοιχείο των κατασκευών και γι' αυτό άλλωστε το 95 περίπου τοις εκατό των κατασκευών στην Κύπρο είναι από σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα συνδυάζεται συνήθως με την χρήση άοπλης τοιχοποιίας για την μερική ή ολική κάλυψη των φανωμάτων, αποτελώντας τον κυρίαρχο τύπο κτιριακών φορέων. Ο συνηθέστερος τύπος τοιχοποιίας που χρησιμοποιείται είναι η οπτοπλινθοδομή, δηλαδή τούβλα τα οποία ψήνονται σε θαλάμους ή καμίνια και έχουν ως κύρια σύσταση τους αργιλικό πηλό και συνδετικό κονίαμα. Ως επί το πλείστον η οπτοπλινθοδομή στις κατασκευές τοποθετείται άοπλη στα φανώματα με ενδιάμεσες οριζόντιες οπλισμένες ζώνες σκυροδέματος γνωστά ως πρέκια.

Οι κτιριακοί φορείς σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται με την απουσία της τοιχοπλήρωσης και έτσι οι τοιχοπληρώσεις χτίζονται μετά τη σκυροδέτηση σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις. Με αυτό τον τρόπο στις περισσότερες περιπτώσεις οι τοιχοπληρώσεις δεν λαμβάνονται υπόψη ως φέροντα στοιχεία, μολονότι η επιρροή τους στην πλευρική δυσκαμψία, στην αντοχή και στην πλαστιμότητα των κατασκευών είναι ευρέως αναγνωρισμένη και δεν υπάρχουν στο μοντέλο και στους υπολογισμούς για τον σχεδιασμό των κατασκευών παρά μόνο λαμβάνονται υπόψη μόνο ως κατακόρυφα φορτία και μάζες. Αγνοείται δηλαδή η αλληλεπίδραση τους με τον περιβάλλοντα φορέα. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει μια κοινή αντίληψη για το πώς συμπεριφέρονται οι τοιχοπληρώσεις όταν αλληλεπιδρούν με τα πλαίσια, και έτσι υπάρχει κάποια αβεβαιότητα για το πώς μπορεί να προσεγγιστεί και να μοντελοποιηθεί η πραγματική συμπεριφορά τους με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν κοινά αποδεκτές συστάσεις για το θέμα αυτό. Για αυτό τον λόγο οι περισσότεροι κανονισμοί αγνοούν τις τοιχοπληρώσεις ως στοιχεία που μπορούν να παραλάβουν σεισμική δράση ή και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να τις αντιμετωπίζουν δυσμενώς.

Βασική αιτία είναι ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν και να διαφοροποιήσουν τη μορφή απόκρισης-αστοχίας των πλαισίων με τοιχοπλήρωση. Κάποιοι από τους παράγοντες αυτούς είναι η διαφοροποίηση που ως συνήθως υπάρχει στα πραγματικά μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης εξαιτίας των διαφορετικών

ιδιοτήτων των υλικών της αλλά και στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπως την αντοχή και την δυσκαμψία των δομικών στοιχείων του πλαισίου, τη γεωμετρία των πλαισίων που περιβάλλει την τοιχοποιία, την πιθανή εντός ή και εκτός επιπέδου αστοχία της τοιχοπλήρωσης, την ύπαρξη ανοιγμάτων κλπ. Επίσης η μη γραμμική απόκριση των τοιχοπληρώσεων σε ορισμένες περιπτώσεις καθιστά ακατάλληλη την χρήση γραμμικών ελαστικών στοιχείων προσομοίωσης.

Παρ' όλα αυτά, η αντοχή των τοιχοπληρώσεων δεν είναι αμελητέα και είναι σίγουρο ότι όταν ο υπόλοιπος φορέας υποβάλλεται σε πλευρικές, σεισμικές φορτίσεις αυτές ενεργοποιούνται και δουλεύουν μαζί με αυτόν. Έτσι αγνοώντας την παρουσία τους κατά τον σεισμό αναπτύσσονται τάσεις στον υπόλοιπο φορέα οι οποίες έχουν αρκετή διαφορά από αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε. Γενικά η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική συμπεριφορά ενός φορέα μπορεί να είναι ευμενής ή δυσμενής. Αυτό καθορίζεται από κάποιους παράγοντες οι οποίοι θα αναπτυχθούν παρακάτω.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση των τοιχοπληρώσεων

2.1 Συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων

Ο ρόλος των τοίχων πλήρωσης στη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών, λόγω του ότι οι τοιχοπληρώσεις παραλαμβάνουν κάποιο μέρος της σεισμικής έντασης αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζουν βλάβες με μεγάλο κόστος τόσο σε ανθρώπινο όσο και σε οικονομικό επίπεδο.

Από τα αποτελέσματα των ερευνών που έχουν γίνει, έχει προσδιοριστεί σε κάποιο βαθμό η ευμενής και η δυσμενής επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη συμπεριφορά-απόκρισης μιας κατασκευής κάτι που αναγνωρίζεται και από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Οι θετικές επιδράσεις των τοιχοπληρώσεων που έχουν διαπιστωθεί είναι η αύξηση της υπεραντοχής, η αύξηση της πλευρικής δυσκαμψίας των κτιρίων καθώς επίσης και η αύξηση της απορροφώμενης ενέργειας. Αντιθέτως οι αρνητικές επιδράσεις των τοίχων πλήρωσης είναι η εμφάνιση ‘μαλακού ορόφου’ είτε στο ισόγειο (πιλοτή) είτε σε ενδιάμεσο μη τοιχοπληρωμένο όροφο, καθώς επίσης και η δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων.

Η ευμενής επιρροή των τοιχοπληρώσεων καθιστά σαφές ότι η αλληλεπίδραση τους με τα πλαίσια σε περιπτώσεις σεισμικών εδαφικών κινήσεων επηρεάζουν την αντισεισμική συμπεριφορά των πλαισιωτών κατασκευών.

Από την άλλη πλευρά όμως, η δυσμενής επιρροή των τοιχοπληρώσεων, η αβεβαιότητα των χαρακτηριστικών τους και η αβεβαιότητα των χαρακτηριστικών της σύνδεσης τους με τα πλαίσια λόγω των αλληλεπιδράσεων στις επιφάνειες τοιχοπλήρωσης-πλαισίου δεν επιτρέπουν μια αξιόπιστη και ακριβής πρόβλεψη της συμπεριφοράς της κατασκευής και καθιστούν την προσομοίωση δύσκολη έως ανέφικτη.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει το αν οι τοιχοπληρώσεις έχουν ευμενή ή δυσμενή επιρροή στην συμπεριφορά-απόκρισης μιας κατασκευής είναι η διάταξη τους σε κάτοψη, σε τομή αλλά και μέσα στα φαντώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Οι τοιχοπληρώσεις που είναι ομοιόμορφα κατανομημένες κατά μήκος της περιμέτρου του κτιρίου και δεν έχουν ασυνέχειες καθ’ ύψος, έχουν ευνοϊκή επιρροή στη συμπεριφορά του κτιρίου σε σχέση με την αντίσταση του σε σεισμικά φορτία. Αυτή η ευμενής επιρροή είναι

σημαντική ειδικά για πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος αφού αυξάνουν την αντοχή τους σε οριζόντια φορτία όπως είναι οι σεισμοί. Επίσης αυξάνεται η συνολική πλευρική δυσκαμψία των φορέων και έτσι μειώνονται οι μετακινήσεις λόγω σεισμού και κατά συνέπεια τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως, τα οποία προκαλούν την τελική κατάρρευση της κατασκευής με την επίδραση σεισμικών φορτίων.

Στην πραγματικότητα όμως, σπάνια μπορεί να υπάρξουν φορείς με γεωμετρία που να καθορίζεται από συμμετρίες και η διάταξη των τοιχοπληρώσεων να είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε κάτοψη και τομή. Ως συνήθως στις περισσότερες περιπτώσεις η διάταξη των τοιχοπληρώσεων καθώς και η γεωμετρία του φορέα για διάφορους λόγους (αρχιτεκτονικούς, γωνιακές οικοδομές κ.α.) χαρακτηρίζεται από σημαντική ασυμμετρία και μη κανονικότητα, με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε πιθανή δυσμενή επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση του φορέα κατά τη σεισμική διέγερση.



Εικόνα 1: Ζημιές σε τοιχοπληρώσεις σε πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα μετά τον σεισμό Wenchuan (Bixiong, Li et al. (2008))

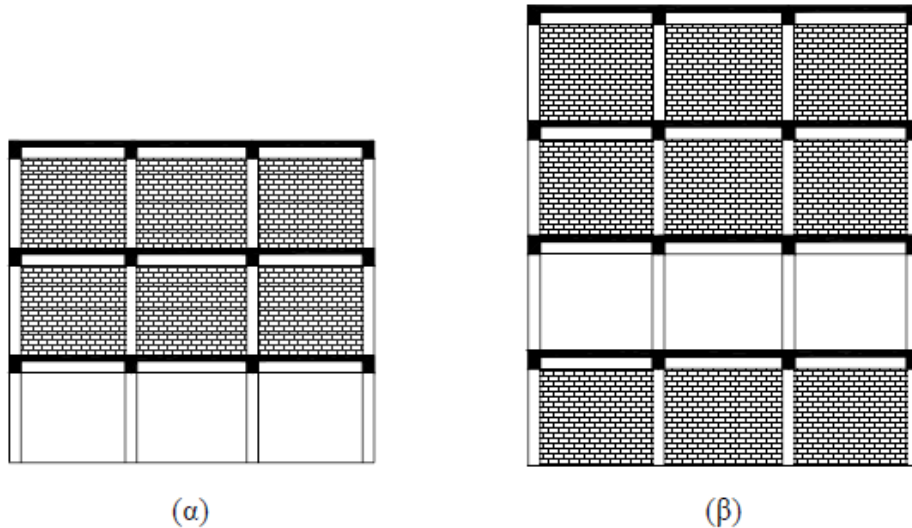


Εικόνα 2: Επίδραση συμπαγών τοιχοπληρώσεων στην συμπεριφορά της οριοθέτησης του πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα (Bixiong, Li et al. (2008))

2.2 Δυσμενείς διατάξεις τοιχοπληρώσεων

2.2.1 Ανομοιόμορφη κατανομή των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος

Μια από τις δυσμενείς διατάξεις των τοιχοπληρώσεων είναι όταν είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες καθ' ύψος όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 παρακάτω.



Σχήμα 1: Ανομοιόμορφη διάταξη των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος

Οι πιο πάνω διατάξεις (Σχήμα 1 (α) πιλοτή και Σχήμα 1 (β) ενδιάμεσος μη τοιχοπληρωμένος όροφος) σε περίπτωση σεισμικής διέγερσης ως συνήθως οδηγούν στην ανάπτυξη μηχανισμού μαλακού ορόφου. Αυτό γίνεται για τον λόγο ότι οι τοιχοπληρώσεις σε ένα όροφο συνεισφέρουν σημαντικά στην διατμητική αντοχή και εμποδίζουν την ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων στο περιμετρικό πλαίσιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις της κατασκευής να συγκεντρώνονται στον μη τοιχοπληρωμένο όροφο ο οποίος είναι και ο πιο εύκαμπτος από όλους.

Κατ' ακρίβεια έχουμε την δημιουργία ενός μηχανισμού με πλαστικές αρθρώσεις τόσο στην κορυφή όσο και στην βάση του 'γυμνού' ορόφου στις οποίες συγκεντρώνονται όλες οι μετακινήσεις της κατασκευής. Αποτέλεσμα αυτών των μετακινήσεων είναι να εμφανιστούν φαινόμενα δευτέρας τάξεως ενώ τα υποστυλώματα του 'γυμνού' ορόφου πλέον δεν μπορούν να φέρουν κατακόρυφα φορτία. Τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως που δημιουργούνται στον μαλακό όροφο οδηγούν σε μερική ή ολική κατάρρευση ενώ υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν και κάποιες ζημιές στον αμέσως επόμενο τοιχοπληρωμένο όροφο.

Εμπειρικά αποτελέσματα από καταρρεύσεις παλαιότερων αλλά και πρόσφατων σεισμών δείχνουν με σαφήνεια ότι οι κατασκευές αλλά προπάντων οι πολυκατοικίες οπλισμένου σκυροδέματος με πιλοτή, είναι τα πιο ευάλωτα και τρωτά δομικά συστήματα.

Αξίζει επίσης να τονισθεί ότι η εμφάνιση μηχανισμού μαλακού ορόφου δεν προϋποθέτει υποχρεωτικά απουσία τοιχοπληρώσεων από τον εν λόγω όροφο. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου ένα κτίριο οδηγείται σε κατάρρευση όταν μερικώς ή πλήρως τοιχοπληρωμένα ισόγεια μετατρέπονται σε πιλοτή λόγω πρόωρης πλήρους αστοχίας των τοιχοπληρώσεων. Ένα παράδειγμα της εμφάνισης του μηχανισμού μαλακού ορόφου σε μεγάλο βαθμό είναι του σεισμού του Kocaeli Τουρκίας 1999 στην οποία η πλειοψηφία των καταρρεύσεων ήταν πολυκατοικίες με πιλοτή ή και πλήρως τοιχοπληρωμένες που γρήγορα εμφάνισαν μαλακό όροφο στο ισόγειο.



(α)



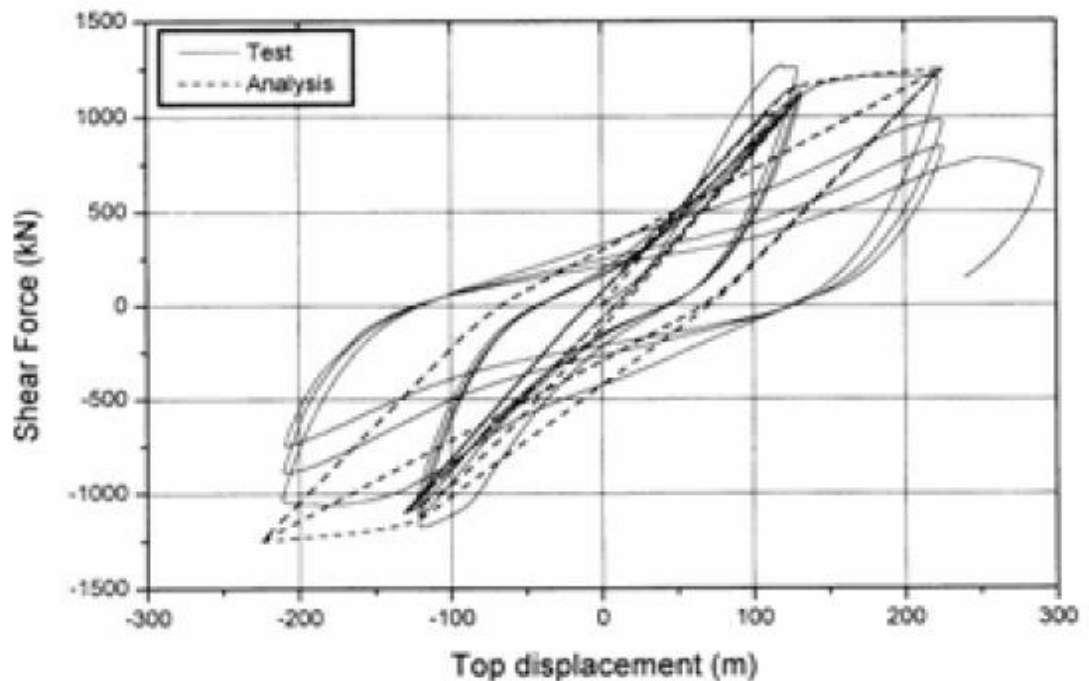
(β)

Εικόνα 3: (α) Διώροφη κατοικία με πιλοτή, σεισμός Αγίου 1995

(β) Olive View Hospital, σεισμός San Fernando, Καλιφόρνια 1971

Στην Σχήμα 2 που ακολουθεί φαίνεται ένας τυπικός βρόχος υστέρησης κτιρίου με πιλοτή. Το διάγραμμα του σχήματος δίνεται σε όρους τέμνουσας βάσης – μετατόπισης της οροφής του ισογείου, το οποίο προέκυψε από ψευδοδυναμικό πείραμα τριώροφου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα (Fardis et al. 1999). Από το διάγραμμα φαίνεται καθαρά ότι μετά τους τρεις πρώτους κύκλους φόρτισης αποφόρτισης επέρχεται σημαντική μείωση της πλευρικής δυσκαμψίας του κτιρίου καθώς επίσης και μείωση τη μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Στο ψευδοδυναμικό πείραμα το κτίριο που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε είναι με σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30 και χάλυβα S500 για μέση κατηγορία πλαστιμότητας (DCM) κατά τον Ευρωκώδικα 8. Οι αστοχίες των υποστυλωμάτων του ισογείου ήταν καθαρά καμπτικές.



Σχήμα 2: Τέμνουσα βάσης – μετατόπισης ισογείου από πείραμα σε τριώροφο κτίριο με πιλοτή (Fardis et al. 1999a)

2.2.2 Ασύμμετρη διάταξη των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη

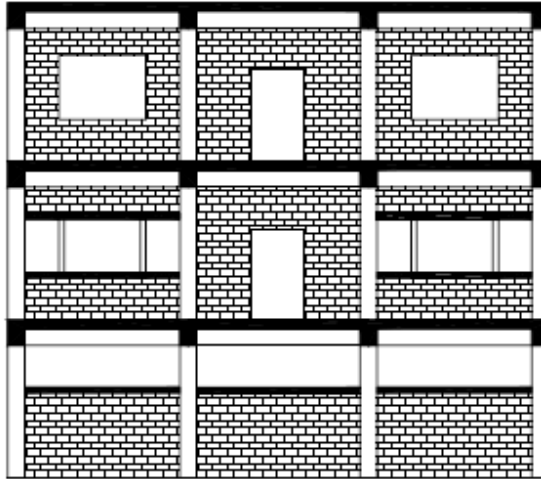
Όταν υπάρχει έντονη ανομοιομορφία στην κατανομή των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη, δημιουργούνται ασυμμετρίες οι οποίες οδηγούν σε εκκεντρότητα μεταξύ του κέντρου μάζας και του ενεργού κέντρου δυσκαμψίας του κτιρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στρέψη περί τον κατακόρυφο άξονα, όταν στην κατασκευή υποβάλλονται σεισμικές φορτίσεις. Μεγάλο πρόβλημα δημιουργείται στα κτίρια που έχουν τοιχοπληρώσεις σε δύο συνεχόμενες πλευρές (όπως για παράδειγμα τα γωνιακά κτίρια), ενώ στην απέναντι πλευρά δεν υπάρχουν καθόλου τοιχοπληρώσεις ή υπάρχουν αλλά με

μεγάλα ανοίγματα. Η εκκεντρότητα σε τέτοια κτίρια δημιουργεί στρεπτική απόκριση που επιβαρύνει τα στοιχεία του δομικού συστήματος στην πλευρά της κάτοψης με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις.

Έχει όμως διαπιστωθεί ότι, λόγω του ότι οι έκκεντρες τοιχοπληρώσεις συμβάλλουν στην συνολική δυσκαμψία και αντοχή και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, η ένταση και οι σεισμικές μετακινήσεις και παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων στο τμήμα της κάτοψης με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις, δεν ξεπερνούν κατά κανόνα αυτές που θα αναπτύσσονταν στο γυμνό δομικό σύστημα από την ίδια σεισμική δράση (Fardis et al. 1999b). Για αυτό τον λόγο ο αντισεισμικός σχεδιασμός του δομικού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις, αρκεί γενικά για την ασφάλεια του στην περίπτωση έκκεντρων τοιχοπληρώσεων.

2.2.3 Διακοπή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος εντός του ορόφου

Ακόμη μια δυσμενής διάταξη των τοιχοπληρώσεων δημιουργείται όταν οι τοιχοπληρώσεις διακόπτονται καθ' ύψος εντός του ορόφου όπως για παράδειγμα στη στάθμη της ποδιάς των παραθύρων σε όλο το μήκος του φαντώματος, ή σε ψηλότερη στάθμη για λόγους φωτισμού που πολλές φορές συναντάται σε σχολεία. Αυτή η διάταξη είναι δυσμενής ακόμη και αν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες οι τοιχοπληρώσεις στην περίμετρο της κατασκευής.



Σχήμα 3: Διακοπή τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος ενός φατνώματος

Το δυσμενές αποτέλεσμα της διακοπής των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος ενός φατνώματος είναι ότι δημιουργούνται κοντά υποστυλώματα δηλαδή κάποιο τμήμα του υποστυλώματος δεν έρχεται σε επαφή με τον τοίχο όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 πιο πάνω. Τα κοντά υποστυλώματα έχουν μικρή λυγηρότητα και έτσι κατά την διάρκεια της σεισμικής διέγερσης της κατασκευής αστοχούν διατμητικά, αναπτύσσοντας διαγώνιες ρωγμές. Αυτό συμβαίνει ειδικά όταν τα κοντά υποστυλώματα βρίσκονται στον κατώτατο όροφο που αναπτύσσεται η μέγιστη σεισμική τέμνουσα.



Εικόνα 4: Αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων, σεισμός Αθήνας 1999

Επίσης, όταν οι τοιχοπληρώσεις έχουν μεγάλη δυσκαμψία, υψηλή αντοχή και περιβάλλονται από αδύνατα πλαίσια, μπορούν να προκαλέσουν τοπικές αστοχίες στα γειτονικά στοιχεία. Οι αστοχίες αυτές, δημιουργούνται από τη διαγώνια δύναμη που ασκεί ο τοίχος στο πλαίσιο προκαλώντας διατμητική αστοχία στο υποστύλωμα η οποία συνεχίζεται και στον υπερκείμενο κόμβο. Επιπρόσθετα, αν ένα υποστύλωμα είναι αρκετά

πιο ασθενές από την τοιχοπλήρωση τότε η ρηγμάτωση που αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση μπορεί με ευκολία να διαπεράσει το υποστύλωμα.



Εικόνα 5: Αστοχία υποστυλωμάτων λόγω ισχυρών τοιχοπληρώσεων

2.3 Μηχανισμοί αστοχίας τοιχοπληρωμένων πλαισίων

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την συμπεριφορά τοιχοπληρωμένων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και μεταλλικών τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Τέλη της δεκαετίας του '60 και αρχές της δεκαετίας του '70 οι Fiorato et al. (1970) έκαναν μελέτες για την συμπεριφορά μη πλάστιμων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος (κάνοντας πειράματα σε κλίμακα 1/8) τοιχοπληρωμένες με κοινό τούβλο υπό μονοτονική αλλά και ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Παρόμοια πειράματα συνεχίστηκαν και από αρκετούς άλλους ερευνητές, μερικοί από αυτούς είναι οι Klinger and Bertero (1976), Bertero and Brokken (1983), Zarnic and Tomacevic (1985), Schmid (1989), Angel et al (1994), Mehrabi et al (1996), Zarnic and Gostic (2001) και Colangelo (2005). Οι Angel et al και οι Mehrabi et al μελέτησαν την συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων για φορτία εκτός αλλά και για φορτία εντός του επιπέδου της τοιχοπλήρωσης.

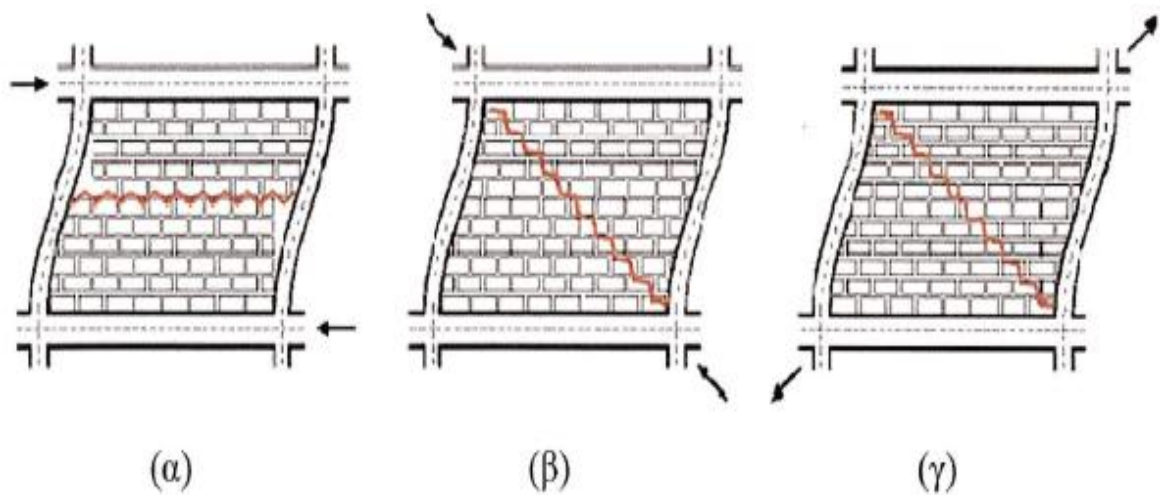
Όλα τα πειράματα και οι εργασίες των πιο πάνω ερευνητών έδειξαν ότι, η συνολική συμπεριφορά ενός τοιχοπληρωμένου πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την αλληλεπίδραση της τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο. Ως επί το πλείστον η συνολική πλευρική αντίσταση του συστήματος δεν αναλύεται ως άθροισμα των δύο επιμέρους (πλαισίου και τοιχοπλήρωσης) για τον λόγο ότι ο τρόπος που αλληλεπιδρούν τα δύο μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά το μηχανισμό αντίστασης που αναπτύσσει το καθ' ένα ξεχωριστά.

Για χαμηλά επίπεδα πλευρικής φόρτισης το πλαίσιο και η τοιχοπλήρωση καταπονούνται με ενιαίο τρόπο (αντιστέκονται ταυτόχρονα), δηλαδή όλο το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο συμπεριφέρεται μονολιθικά, σαν σύνολο. Όσο αυξάνεται το δυναμικό, πλευρικό φορτίο η τοιχοπλήρωση αρχίζει να αποκολλάται από το περιμετρικό πλαίσιο στις δύο απέναντι γωνιές (κάτω αριστερά και πάνω δεξιά αν πρόκειται για φόρτιση με κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά), ενώ ανάμεσα στις άλλες δύο γωνιές που παραμένουν σε επαφή με το πλαίσιο (πάνω αριστερά και κάτω δεξιά) αναπτύσσεται μηχανισμός θλιβόμενης διαγωνίου.

Ωστόσο, ο μηχανισμός της θλιβόμενης διαγωνίου που αναφέρθηκε παραπάνω, αν και ο επικρατέστερος στα περισσότερα πειράματα, δεν είναι ο μοναδικός που έχει παρατηρηθεί. Πολλές παράμετροι παίζουν ρόλο για το ποιος κύριος μηχανισμός αντίστασης και αστοχίας θα αναπτυχθεί. Οι σημαντικότερες παράμετροι είναι η σχετική δυσκαμψία και αντοχή πλαισίου – τοιχοπλήρωσης, καθώς επίσης και ο τρόπος όπλισης του περιμετρικού πλαισίου.

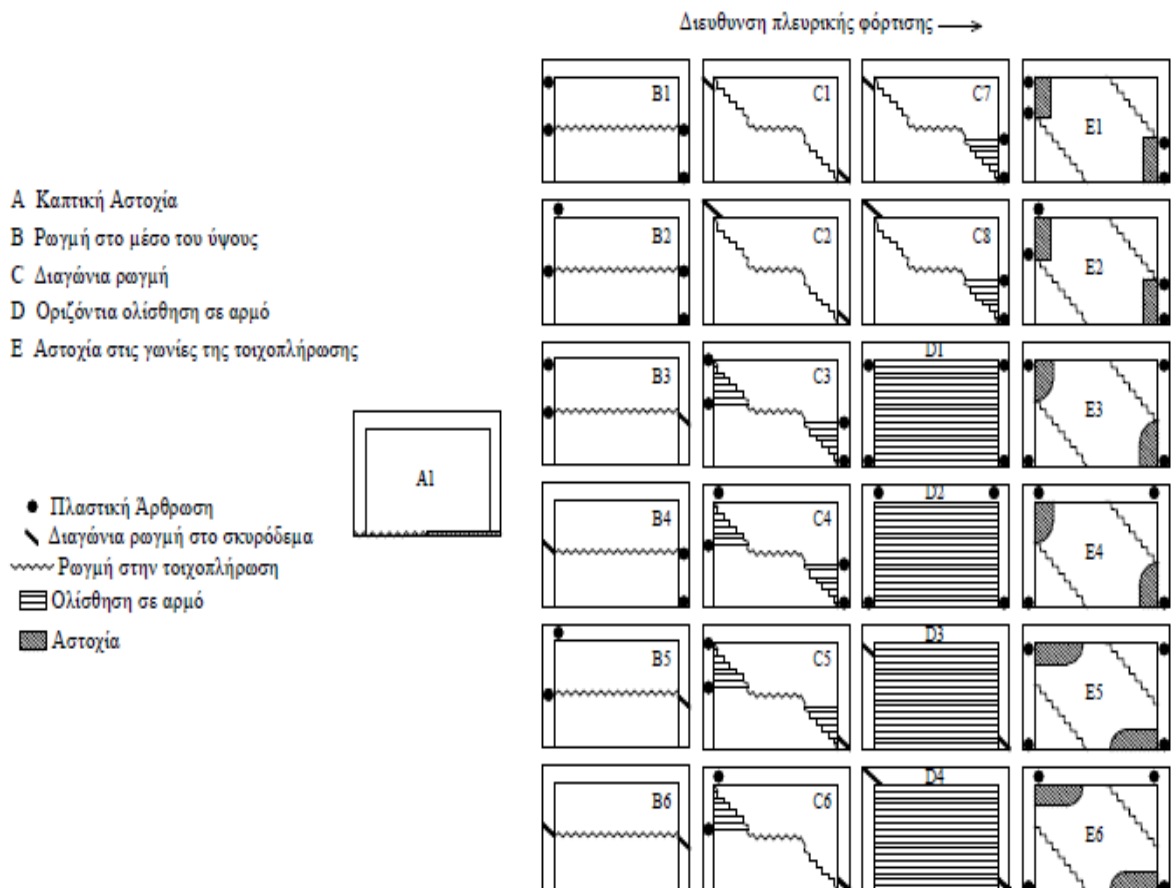
Οι κυριότεροι μηχανισμοί αστοχίας (πειραματικοί και αριθμητικοί) είναι οι εξής:

- Η διατμητική αστοχία (ολίσθησης).
- Η αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου.
- Η αστοχία διαγωνίου λόγω εφελκυσμού.
- Η εφελκυστική αστοχία λόγω καμπτικών δυνάμεων.



Σχήμα 4: Κυριότερες μορφές αστοχίας τοιχοπληρώσεων: (α) διατμητική αστοχία, (β) αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου, (γ) αστοχία διαγωνίου λόγω εφελκυσμού.

Στην συνέχεια στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται και περιγράφονται πιο αναλυτικά οι κυριότεροι μηχανισμοί αστοχίας που έχουν παρατηρηθεί στις διάφορες πειραματικές εργασίες πάνω σε τοιχοπληρωμένα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος.



Σχήμα 5: Μηχανισμοί αστοχίας τοιχοπληρωμένων πλαισίων (Shing 2002)

Μηχανισμός αστοχίας (A): Στον μηχανισμό αστοχίας (A) ο τρόπος αστοχίας στη βάση της τοιχοπλήρωσης είναι καθαρά καμπτικός, στην οποία αναπτύσσεται εφελκυσμός στο ένα άκρο και θλίψη στο άλλο άκρο. Ο μηχανισμός αυτός σπάνια εμφανίζεται. Βασικά αναπτύσσεται σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης όπου δεν υπάρχει διαχωρισμός πλαισίου και τοιχοπλήρωσης. Ως συνήθως εμφανίζεται σε λυγηρά πλαίσια που έχουν μεγάλο ύψος με λίγο διαμήκη οπλισμό στα υποστυλώματα. Το χαμηλό ποσοστό οπλισμού που υπάρχει στα υποστυλώματα οδηγεί στην πρόωρη διαρροή του διαμήκους οπλισμού των υποστυλωμάτων που βρίσκονται στην πλευρά της φόρτισης. Σε συνήθη επίπεδα φόρτισης όμως, ως επί το πλείστον παρουσιάζεται αποκόλληση της τοιχοπλήρωσης από το πλαίσιο.

Μηχανισμός αστοχίας (B): Ο δεύτερος μηχανισμός είναι αυτός της διατμητικής αστοχίας ο οποίος χαρακτηρίζεται από μια οριζόντια ρωγμή στην τοιχοπλήρωση, η οποία συνήθως εμφανίζεται στην θέση του αρμού και οδηγεί στη εμφάνιση κοντών υποστυλωμάτων. Στα υποστυλώματα δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις ενώ ως συνήθως τα υποστυλώματα αστοχούν διατμητικά αναπτύσσοντας διαγώνιες ρωγμές.

Μηχανισμός αστοχίας (C): Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μηχανισμό θλιβόμενης διαγωνίου όπου αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση μια διαγώνια ρωγμή η οποία ξεκινά από την γωνιά που ασκείται το φορτίο και καταλήγει στην απέναντι γωνιά ενώ ταυτόχρονα μπορεί να συνοδεύεται και από ολίσθηση σε ενδιάμεσο αρμό. Σε αυτή την περίπτωση η τοιχοπλήρωση λειτουργεί σαν θλιβόμενη διαγώνιος η οποία συνήθως οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία των γωνιών του τοίχου και αναπτύσσει πλαστικές αρθρώσεις ή διατμητικές ρωγμές στα μέλη του οπλισμένου σκυροδέματος.

Μηχανισμός αστοχίας (D): Σε αυτό το μηχανισμό έχουμε την περίπτωση όπου αναπτύσσονται οριζόντιες ρωγμές σχεδόν σε όλους τους αρμούς της τοιχοπλήρωσης. Αυτό συμβαίνει όταν η διατμητική αντοχή του κονιάματος που έχει χρησιμοποιηθεί είναι πάρα πολύ μικρή. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να οδηγήσει σε μια πλάστιμη συμπεριφορά του πλαισίου συνολικά με υψηλά ποσοστά απόσβεσης σε δυναμική απόκριση υπό την προϋπόθεση όμως ότι τα υποστυλώματα δεν θα αστοχήσουν διατμητικά.

Μηχανισμός αστοχίας (E): Και σε αυτό τον μηχανισμό έχουμε περίπτωση μηχανισμού θλιβόμενης διαγωνίου όπως στην περίπτωση (C), στην οποία όμως αναπτύσσονται δύο παράλληλες ρωγμές στον τοίχο. Ως συνήθως ο μηχανισμός αυτός συνοδεύεται από αστοχία στις γωνίες στα άκρα της θλιβόμενης διαγωνίου ενώ σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν ταυτόχρονα αστοχίες και στο κέντρο του φατνώματος.

2.4 Εκτός επιπέδου αστοχία των τοιχοπληρώσεων

Εκτός από τους μηχανισμούς αστοχίας των τοιχοπληρώσεων οι οποίοι αναφέρθηκαν πιο πάνω, υπάρχει και η περίπτωση όπου μια τοιχοπλήρωση μπορεί να αστοχήσει εκτός επιπέδου. Αυτή η αστοχία προκαλεί σοβαρές ζημιές σε αντικείμενα και θέτει σε σημαντικό κίνδυνο την ασφάλεια των ανθρώπων. Στην περίπτωση που όλη η τοιχοπλήρωση αποκολληθεί εντελώς από το πλαίσιο και πέσει πλευρικά είτε προς το εσωτερικό είτε προς το εξωτερικό του κτιρίου τότε θα προκληθούν μεγάλες ζημιές λόγω του βάρους της.

Ο μηχανισμός που αναπτύσσεται σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται μηχανισμός τόξου. Ουσιαστικά όσο καλύτερα είναι η τοιχοπλήρωση ενωμένη με το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, τόσο πιο αποτελεσματικότερος είναι και ο μηχανισμός αντίστασης.

Η κυριότερη παράμετρος που καθορίζει την αστοχία εκτός η όχι επιπέδου, είναι η λυγηρότητα της τοιχοπλήρωσης η οποία ορίζεται ως ο λόγος του μήκους ή του ύψους του φατώματος (το μεγαλύτερο από τα δύο) προς το πάχος της τοιχοπλήρωσης.

Όσο αυξάνονται οι διαστάσεις του φατώματος αυξάνεται και η λυγηρότητα και έτσι η τοιχοπλήρωση γίνεται πιο εύκαμπτη και πιο ευάλωτη σε φορτία εκτός επιπέδου της. Ένα πείραμα που έγινε σε τοιχοπληρωμένη κατασκευή με σεισμική διέγερση (Fardis et al. 1999b), έδειξε ότι, οι τοιχοπληρώσεις που έχουν μεγάλη λυγηρότητα αποκρίθηκαν χωρίς βλάβες σε επιταχύνσεις που έφταναν τα 1.3g με 1.7g.

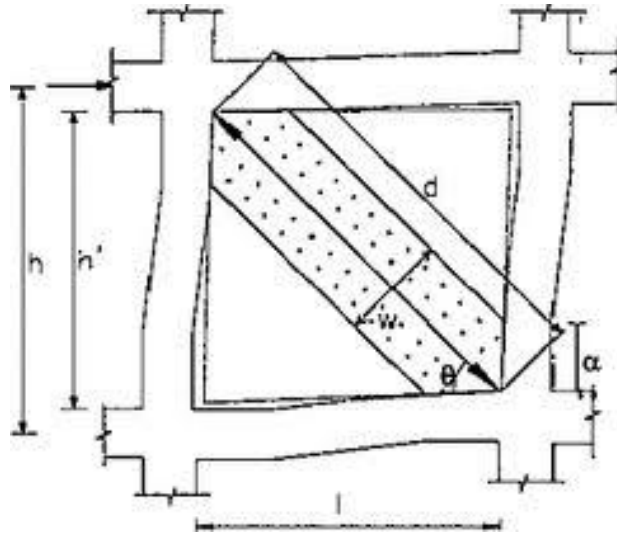
2.5 Μαθηματικά προσομοιώματα τοιχοπληρώσεων

Είναι γνωστό ότι οι τοιχοπληρώσεις επηρεάζουν την αντοχή και την δυσκαμψία των τοιχοπληρωμένων πλαισιακών κατασκευών. Το να αγνοούνται οι τοιχοπληρώσεις στα πλαίσια που αλληλεπιδρούν με τα φαινόμενα ειδικά σε σεισμικές περιοχές, δεν είναι ασφαλές εφόσον κάτω από πλευρικές δυνάμεις οι τοίχοι αυτοί αυξάνουν την δυσκαμψία μιας κατασκευής και συμπεριφέρονται σαν θλιβόμενη διαγώνια ‘περιοχή’. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάξει το σεισμικό φορτίο λόγω σημαντικής μείωσης της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου του σύνθετου δομικού συστήματος. Έχει καταδειχθεί ότι, η αλληλεπίδραση μεταξύ των τοιχοπληρώσεων και των πλαισίων σε περίπτωση σεισμικών διεγέρσεων είναι ένας σοβαρός παράγοντας που επηρεάζει την αντισεισμική συμπεριφορά των πλαισιακών κατασκευών. Η συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισίων έχει μελετηθεί αρκετά τις τελευταίες δεκαετίες έτσι ώστε να διατυπωθεί μια ρεαλιστική διαδικασία / μεθοδολογία για τον σχεδιασμό τους. Ποιο κάτω θα παρουσιαστούν τα αντιπροσωπευτικά προσομοιώματα για την ανάλυση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας τους και της λεπτομέρειας με την οποία προσομοιάζουν την τοιχοπλήρωση. Οι δύο κατηγορίες αυτές είναι:

- Μακρό-προσομοιώματα (macro-models).
- Μικρό-προσομοιώματα (micro-models).

2.5.1 Μακρό-προσομοιώματα (macro-models)

Από τις πρώτες προσπάθειες που έγιναν για να εξεταστεί η σύνθετη δομή των τοιχοπληρωμένων πλαισιακών κατασκευών ανακαλύφθηκε ότι η λειτουργία ενός θλιβόμενου διαγώνιου θλιπτήρα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά θα έδιναν μια λύση στο πρόβλημα.



Σχήμα 6: Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο υπό συνάθροιση

Έρευνα στην εντός επιπέδου συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισιακών κατασκευών που πραγματοποιήθηκε στο Building Research Station στο Watford στα τέλη του 1950 επιβεβαίωσε την ακαθόριστη τους φύση σε σχέση με τις κανονικές παραμέτρους σχεδιασμού. Βασισμένος σε αυτό ο Wood (1959) πρότεινε μια εμπειρική φόρμουλα, για χρήση στον σχεδιασμό ψηλών πλαισιακών κτιρίων. Εκφράζοντας αυτή τη σύνθετη δύναμη του τοιχοπληρωμένου πλαισίου σε σχέση με τις ξεχωριστές δυνάμεις του πλαισίου και της πλήρωσης αντιλήφθηκε την πολυπλοκότητα του θέματος και αναγνώρισε την αναγκαιότητα ενός υψηλότερου συντελεστή φορτίου, όπου οι δυνάμεις του στηρίζονται περισσότερο στις τοιχοπληρώσεις.

2.5.1.1 Μοντέλα ενός διαγώνιου θλιπτήρα

Από τις πρώτες προσπάθειες για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των τοιχοπληρωμένων πλαισίων, πειραματικές δοκιμές κατέδειξαν την λειτουργία μιας θλιβόμενης ζώνης περί την διαγώνιο της τοιχοπλήρωσης. Ο Holmes (1961) πρότεινε την προσομοίωση της τοιχοπλήρωσης με αντικατάσταση αυτής μέσω ενός ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα από το ίδιο υλικό και ίδιο πάχος με την τοιχοπλήρωση, και πλάτος ίσο με το ένα τρίτο του μήκους της διαγωνίου:

$$\frac{w}{d} = \frac{1}{3} \quad (2.1)$$

όπου d είναι το διαγώνιο μήκος της τοιχοπλήρωσης του φατνώματος. Ο 'one-third' κανόνας του «ενός τρίτου» προτάθηκε ως εφαρμόσιμος ασχέτως της σχετικής δυσκαμψίας του πλαισίου με την πλήρωση. Ένα χρόνο αργότερα ο Stafford Smith (1962) βασισμένος σε μια τεράστια σειρά από δοκιμές χρησιμοποιώντας τοιχοπληρώσεις σε μεταλλικά πλαίσια, βρήκε ότι ο λόγος w/d κυμαίνεται από το 0.10 μέχρι το 0.25.

Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 60 ο Stafford Smith και οι συνεργάτες του (1966, 1967, 1969), χρησιμοποιώντας επιπλέον πειραματικά δεδομένα που σχετίζονται με το πλάτος του ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα στο μήκος επαφής πλήρωσης / πλαισίου, πρότειναν την εκτίμηση του ισοδύναμου πλάτους λ_h ως συνάρτηση της σχετικής δυσκαμψίας του τοιχοπληρωμένου πλαισίου-φατνώματος:

$$\lambda_h = h \cdot \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot EI \cdot h'}} \quad (2.2)$$

όπου E_w είναι το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοπλήρωσης του φατνώματος, EI είναι η καμπτική ακαμψία του υποστυλώματος, t_w το πάχος της τοιχοπλήρωσης και του ισοδύναμου θλιπτήρα, h το ύψος του υποστυλώματος μεταξύ των κέντρων των δοκών, h_w το ύψος της τοιχοπλήρωσης του φατνώματος και θ η γωνιά, της οποίας η εφαπτομένη είναι ο λόγος του ύψους προς το μήκος της τοιχοπλήρωσης, που είναι ίση:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h'}{l} \right) \quad (2.3)$$

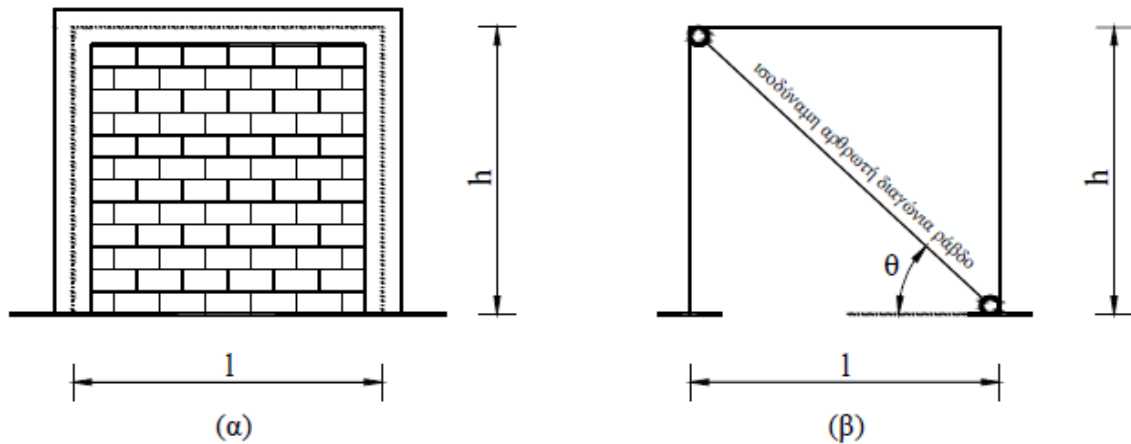
στην οποία το l είναι το μήκος του τοιχοπληρωμένου φατνώματος (όλες οι πιο πάνω παράμετροι επεξηγούνται στο Σχήμα 6). Βασισμένος σε πειραματικά και αναλυτικά δεδομένα ο Mainstone (1971) πρότεινε μια εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό του ισοδύναμου πλάτους του θλιπτήρα λ_h , το οποίο δίδεται από:

$$\frac{w}{d} = 0.16 \cdot \lambda h^{-0.3} \quad (2.4)$$

Ο Mainstone και ο Weeks (1970, 1974), επίσης βασιζόμενοι σε εμπειρικά και αναλυτικά δεδομένα πρότειναν μια εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό του ισοδύναμου πλάτους του θλιπτήρα λ_h .

$$\frac{w}{d} = 0.175 \cdot \lambda h^{-0.4} \quad (2.5)$$

Αυτή η εξίσωση συμπεριλαμβάνεται στο FEMA-274 για την ανάλυση και αποκατάσταση των κτιρίων όπως και στο FEMA-306, το οποίο αποδείχτηκε το πιο δημοφιλές μέσα από τα χρόνια. Αυτή η εξίσωση έγινε αποδεκτή από την πλειοψηφία των ερευνητών οι οποίοι ασχολούνταν με την ανάλυση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων.

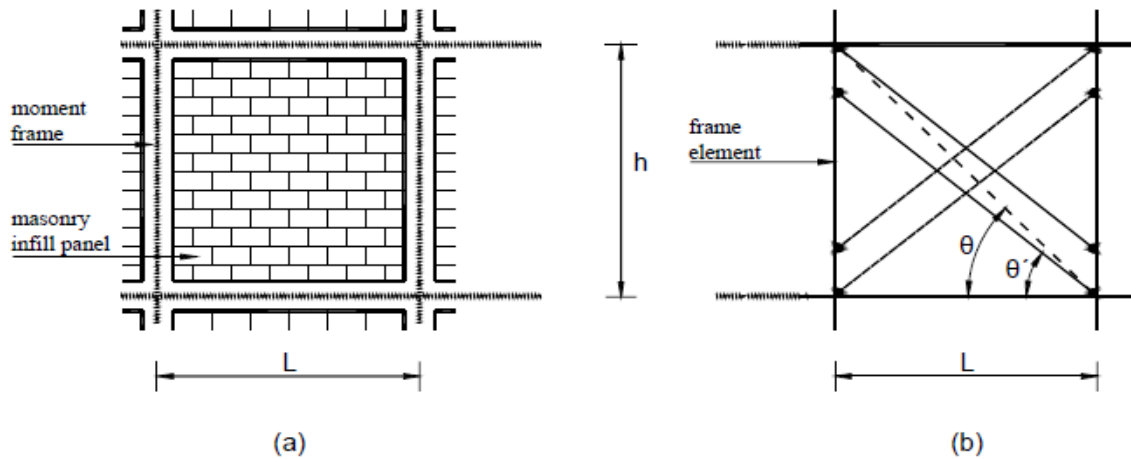


Σχήμα 7: Τοιχοπληρωμένο και ισοδύναμο πλαίσιο.

2.5.1.2 Μοντέλα πολλαπλών διαγώνιων θλιπτήρων

Τις τελευταίες δεκαετίες έγινε σαφές ότι η μεθοδολογία της υποκατάστασης της τοιχοπλήρωσης από ένα ισοδύναμο θλιβόμενο θλιπτήρα δεν είναι αρκετά αξιόπιστη για την προσομοίωση της περίπλοκης συμπεριφοράς των τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Ο Thiruvengadam (1985) πρότεινε την χρήση πολλαπλών θλιπτήρων για να προσομοιώσει την επίδραση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Όπως αναφέρθηκε από πολλούς ερευνητές, οι καμπτικές ροπές και οι διατμητικές δυνάμεις των μελών του πλαισίου, δεν μπορούν να προσομοιωθούν επαρκώς χρησιμοποιώντας μοντέλα ενός μόνο διαγώνιου θλιπτήρα ο οποίος ενώνει τις δύο γωνιές. Πολλά μακρό-προσομοιώματα προτάθηκαν τα οποία βασίζονται σε κάποιο αριθμό διαγώνιων θλιπτήρων.

Το κύριο πλεονέκτημα των μοντέλων πολλαπλών θλιπτήρων, παρά την αύξηση της περιπλοκότητας, είναι ότι μπορούν να αντιπροσωπεύσουν την συμπεριφορά μέσα στο πλαίσιο πιο ακριβές. Ο Syrmakizis και ο Vrastanou (1986) χρησιμοποίησαν πέντε διαγώνιους, παράλληλους θλιπτήρες σε κάθε διαγώνια κατεύθυνση και τονίστηκε πόσο τα διαφορετικά θλιπτόμενα μήκη έχουν σημαντική επίδραση στη διανομή της καμπτικής ροπής στα μέλη του πλαισίου.



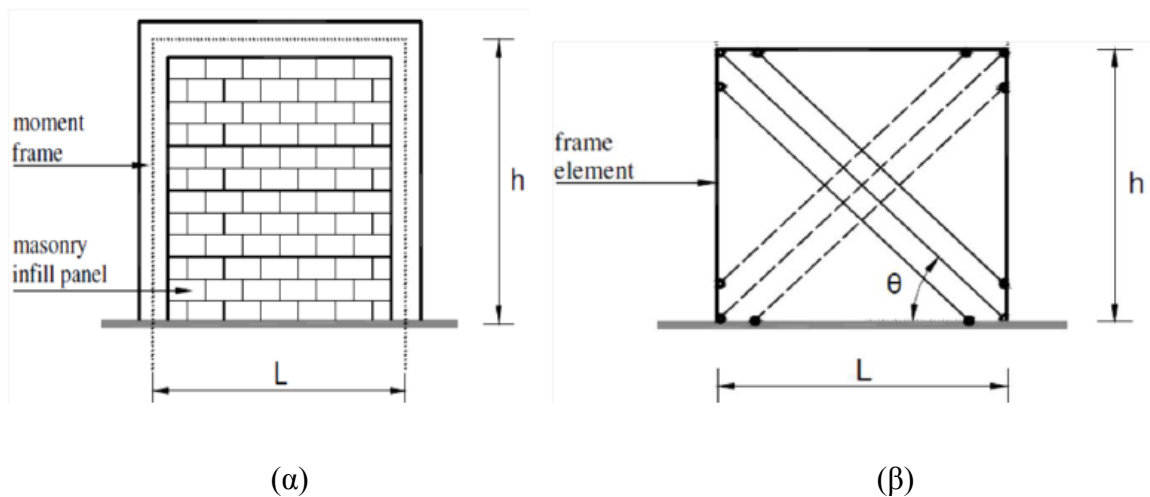
Σχήμα 8: (α) Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, (β) προσομοίωμα τοιχοπληρωμένου πλαισίου.

Ο Χρυσοστόμου (1991, 2002) είχε ως στόχο να ανακαλύψει την αντίδραση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων σε περίπτωση σεισμικών φορτίων λαμβάνοντας υπόψη και την δυσκαμψία και την αντοχή των τοιχοπληρώσεων. Έτσι προσομοίωσε κάθε τοιχοπληρωμένο φάτνωμα με έξι θλιβόμενους κεκλιμένους θλιπτήρες. Τρεις παράλληλοι θλιπτήρες χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε διαγώνια κατεύθυνση και οι θλιπτήρες που εκτός διαγωνίου τοποθετήθηκαν σε κρίσιμα σημεία κατά μήκος των μελών του πλαισίου. Αυτές οι θέσεις καθορίζονται από μια παράμετρο α , η οποία αντιπροσωπεύει ένα κλάσμα του μήκους ή του ύψους του φαντώματος και είναι συνδεδεμένο με τη θέση του σχηματισμού μιας πλαστικής άρθρωσης σε μια δοκό ή σε ένα υποστύλωμα. Θεωρητικές τιμές αυτής της παραμέτρου δίνονται από τον Liauw και τον Kwan (1983a, 1983b, 1984). Σε οποιοδήποτε σημείο κατά την διάρκεια της ανάλυσης της μη γραμμικής απόκρισης, μόνο οι τρεις από τους έξι θλιπτήρες είναι ενεργοί, και οι θλιπτήρες άλλαξαν κατεύθυνση όποτε η θλιπτική τους δύναμη μηδενιζόταν.

Για να γίνει μια μη-γραμμική ανάλυση, η σχέση δύναμης-μετατόπισης που αντιστοιχεί στο ανάλογο μοντέλο θλιπτήρα πρέπει να προσδιορίζεται επαρκώς. Η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς υστέρησης αυξάνει όχι μόνο τον περίπλοκο υπολογισμό αλλά και τις αβεβαιότητες του προβλήματος.

Στην μοντελοποίηση του Χρυσοστόμου (1991) η συμπεριφορά υστέρησης των έξι θλιπτήρων προσδιορίζεται από ένα μοντέλο υστέρησης το οποίο αποτελείται από δύο εξισώσεις. Η πρώτη εξίσωση προσδιορίζει την περιβάλλουσα αντοχής της τοιχοπλήρωσης

και η δεύτερη προσδιορίζει την συμπεριφορά υστέρησης. Το σχήμα της περιβάλλουσας αντοχής και των βρόχων υστέρησης ελέγχεται από έξι παραμέτρους οι οποίες έχουν φυσική σημασία και μπορούν να καθοριστούν από πειραματικά δεδομένα. Το προτέρημα αυτής της προσομοίωσης συγκριτικά με αυτής του μονού διαγώνιου θλιπτήρα είναι ότι επιτρέπει την μοντελοποίηση της επίδρασης μεταξύ τοιχοπλήρωσης και περιβάλλον πλαισίου λαμβάνοντας υπόψη και την δυσκαμψία και την αντοχή της τοιχοπλήρωσης, τα οποία είναι σημαντικά για να αποφασιστεί η απόκριση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων που υπόκεινται σε σεισμικά φορτία.

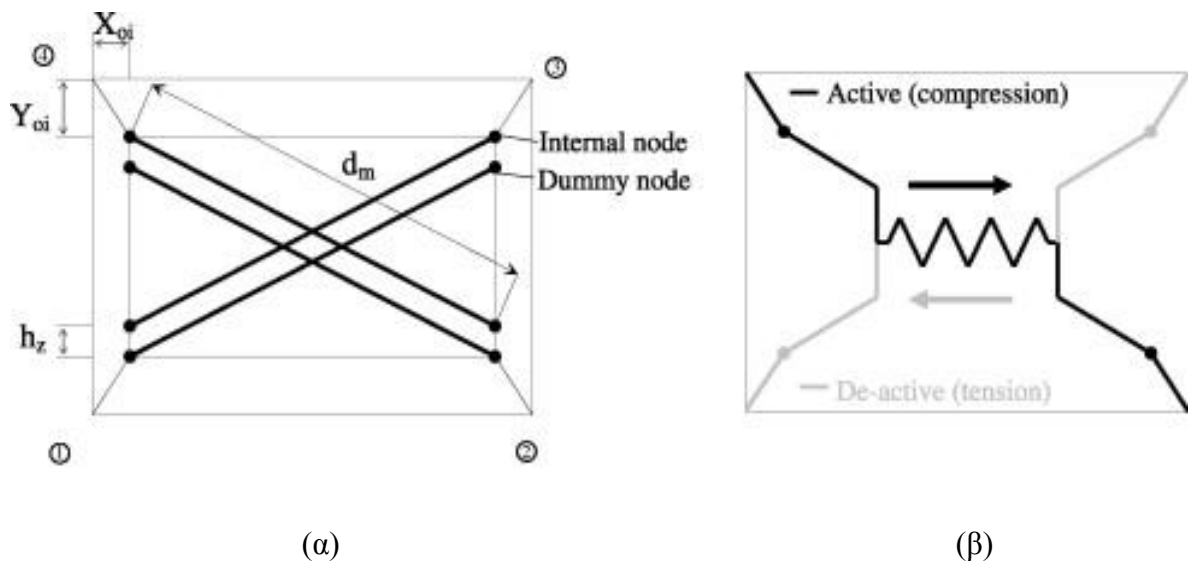


Σχήμα 9: Μοντέλο με έξι θλιπτήρες για τοιχοπληρώσεις σε πλαίσιακές κατασκευές (Chrysostomou (1991)) (α) Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, (β) Προσομοίωμα τοιχοπληρωμένου πλαισίου.

Ο Crisafulli (1997) στην έρευνα της διδακτορικής του μελέτης διερεύνησε την επίδραση διαφορετικών μοντέλων πολλαπλών θλιπτήρων στην απόκριση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος τοιχοπληρωμένων πλαισίων, εστιάζοντας στην δυσκαμψία των κατασκευών και στις δράσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον πλαίσιο. Αριθμητικά αποτελέσματα που βρέθηκαν από μοντέλα μονού, διπλού και τριπλού θλιπτήρα συγκρίθηκαν με αυτά που αντιστοιχούν με μοντέλα με πεπερασμένα στοιχεία. Η πλευρική δυσκαμψία των κατασκευών ήταν παρόμοια σε όλες τις περιπτώσεις με μικρότερες τιμές στα μοντέλα διπλού και τριπλού θλιπτήρα. Πρέπει να αναφερθεί πως για τα μοντέλα πολλαπλών θλιπτήρων, η δυσκαμψία μπορεί να αλλάξει σημαντικά ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των θλιπτήρων. Το μοντέλο μονού θλιπτήρα υποτιμά την καμπτική ροπή λόγω του ότι οι πλευρικές δυνάμεις παραλαμβάνονται μέσω ενός μηχανισμού δικτύωματος. Από την άλλη πλευρά το μοντέλο διπλού θλιπτήρα οδηγεί σε τιμές

μεγαλύτερες από εκείνες του μοντέλου με πεπερασμένα στοιχεία. Μια καλύτερη προσέγγιση λαμβάνεται από τα μοντέλα τριπλού θλιπτήρα αλλά κάποιες διαφορές παρουσιάζονται στα άκρα των δυο υποστυλωμάτων. Παρόλο που το μοντέλο μονού θλιπτήρα αποτελεί ένα επαρκές εργαλείο για την πρόβλεψη της ολικής απόκρισης και το μοντέλο τριπλού θλιπτήρα είναι ανώτερο σε ακρίβεια, ο Crisafulli υιοθέτησε την προσέγγιση του μοντέλου διπλού θλιπτήρα το οποίο είναι αρκετά ακριβές και λιγότερο περίπλοκο σε σύγκριση με τα άλλα μοντέλα.

Πιο πρόσφατα, ο Crisafulli και ο Carr (2007) πρότειναν ένα νέο μακρό-προσομοίωμα για να αντιπροσωπεύσει με ένα απλό τρόπο την επίδραση των τοιχοπληρωμένων φανωμάτων. Το μοντέλο εφαρμόζεται ως στοιχείο τεσσάρων κόμβων στο φάτνωμα το οποίο είναι συνδεδεμένο στο πλαίσιο στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος. Εσωτερικά το στοιχείο του πλαισίου προσομοιώνει ξεχωριστά την θλίψη και την διατμητική συμπεριφορά του τοιχοπληρωμένου φανώματος χρησιμοποιώντας δύο παράλληλους θλιπτήρες και ένα διατμητικό ελατήριο σε κάθε κατεύθυνση όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 πιο κάτω.

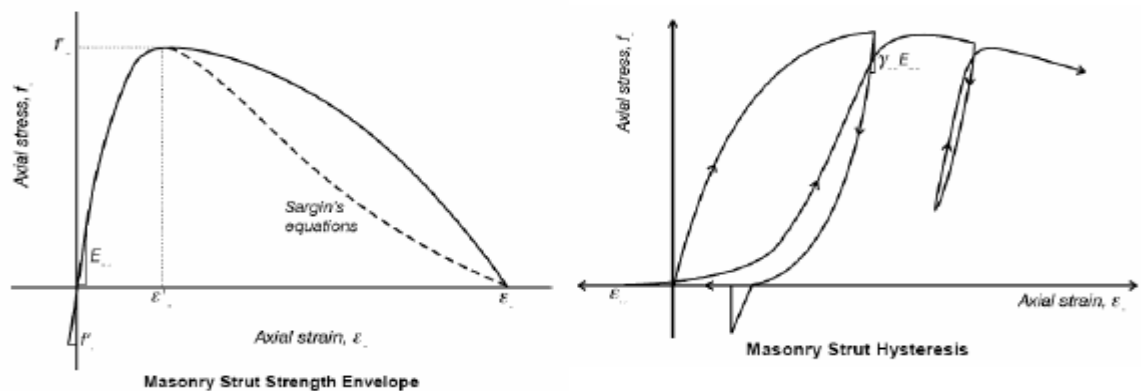


Σχήμα 10: Μοντέλο πολλαπλών θλιπτήρων που προτάθηκε από τον Crisafulli και τον Carr (2007) για τοιχοπληρωμένα φανώματα, (α) θλιπτικοί/εφελκυστικοί θλιπτήρες, (β) διατμητικό ελατήριο

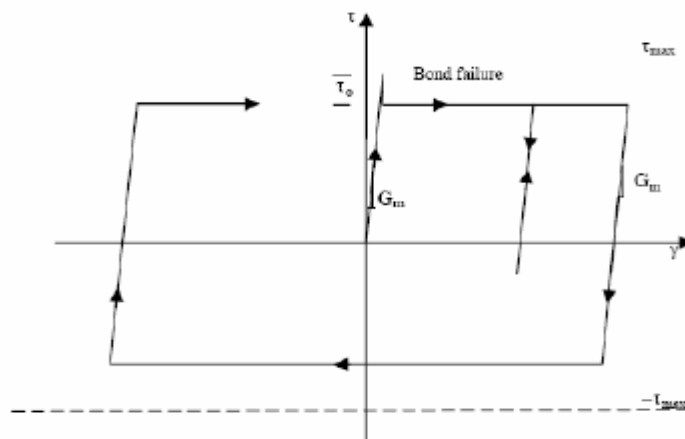
Στο Σχήμα 10 το (α) βασίζεται στην λειτουργία θλιβόμενων διαγωνίων, ενώ στο Σχήμα 10 το (β) αποτελείται από ένα οριζόντιο ελατήριο σχεδιασμένο για να μεταφέρει οριζόντια τέμνουσα δύναμη. Κατά την οριζόντια μετακίνηση του πλαισίου οι δύο πιο πάνω

μηχανισμοί δρουν παράλληλα. Για να λαμβάνονται υπόψη οι πρόσθετες δυνάμεις που μεταφέρονται από την τοιχοπλήρωση στα περιμετρικά στοιχεία του οπλισμένου σκυροδέματος, τοποθετούνται δύο θλιβόμενες ράβδοι ανά φάτνωμα.

Για να λαμβάνεται υπόψη η μείωση του πλάτους επαφής τοιχοπλήρωσης-περιβάλλοντος πλαισίου άρα και του ενεργού πλάτους των θλιβόμενων διαγωνίων κατά την αύξηση των οριζόντιων μετακινήσεων προτείνεται κατάλληλος πολυγραμμικός νόμος μείωσης της επιφάνειας των τελευταίων (Σχήμα 11).



Σχήμα 11: Νόμος τάσεων παραμορφώσεων για τις θλιβόμενες διαγώνιους (Carr 2007).



Σχήμα 12: Νόμος τάσεων παραμορφώσεων για το οριζόντιο ελατήριο (Smyrou 2006).

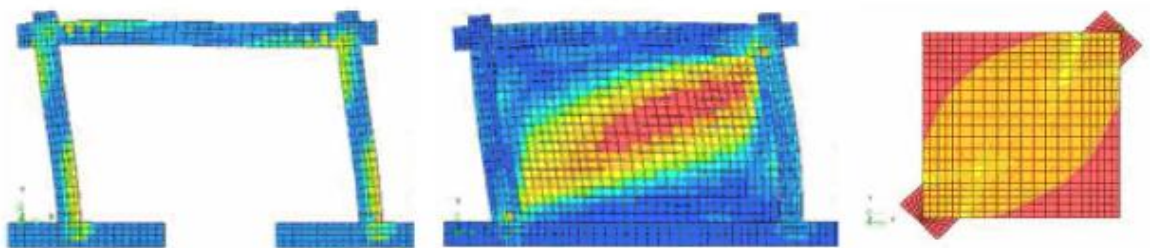
Ο κύριος περιορισμός του μοντέλου προέρχεται από την απλότητα του, αφού το φάτνωμα είναι ενωμένο με τον κόμβο δοκού-υποστυλώματος του πλαισίου και έτσι δεν είναι ικανό να προβλέψει την καμπτική ροπή και τις διατμητικές δυνάμεις του περιβάλλοντος

πλαisiού. Το προτεινόμενο μοντέλο έχει εισαχθεί στο πρόγραμμα SeismoStruct (2009) και τα αριθμητικά του αποτελέσματα συγκρίθηκαν με εμπειρικά δεδομένα από τον Smyrou (2006) και Smyrou et al. (2006) δείχνοντας την ακρίβεια του μοντέλου στο να εκτιμήσει με ακρίβεια την μη γραμμική απόκριση της κατασκευής. Επιπλέον, πραγματοποίησαν μια ενδιαφέρουσα παραμετρική ανάλυση για να αναλυθεί και να αξιολογηθεί η σχετική σημασία των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για να αντιπροσωπεύσουν την υστερική απόκριση της τοιχοποιίας.

2.5.2 Μικρό-προσομοιώματα (micro-models)

2.5.2.1 Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

Η προσομοίωση με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων είναι αδιαμφισβήτητα μια πιο ακριβή και αξιόπιστη μέθοδος, συγκριτικά με τις άλλες, για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των τοιχοπληρώσεων και της επιρροής τους, στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος. Ιδιαίτερα, η χρήση τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων σε τρισδιάστατους φορείς θα αποτελούσε εξαιρετική προσέγγιση στην πραγματική συμπεριφορά τοιχοπληρωμένων πλαisiών, ωστόσο θα καθιστούσε δυσχερή και χρονοβόρα την προσομοίωση και τις αναλύσεις. Στην περίπτωση προσομοίωσης με πεπερασμένα στοιχεία πραγματοποιείται λεπτομερής προσομοίωση του συστήματος πλαisiού-τοιχοπλήρωσης με χωρικά πεπερασμένα στοιχεία λαμβάνοντας υπόψη φαινόμενα όπως ολίσθηση σε ένα αρμό, μετακίνηση ή στροφή σωμάτων της τοιχοπλήρωσης, άνοιγμα και κλείσιμο ρωγμών, δημιουργία κενού ή απόστασης στα σημεία διεπιφάνειας πλαisiού-τοιχοπλήρωσης.



Εικόνα 6: Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Το 1985 εξετάστηκε η ελαστική συμπεριφορά ενός μονώροφου τοιχοπληρωμένου πλαισίου το οποίο είχε ανοίγματα. Οι οριακές συνθήκες όπως η ολίσθηση, ο διαχωρισμός και η τριβή στα σημεία διεπιφάνειας πλαισίου-τοιχοπλήρωσης υπολογίστηκαν για να χρησιμοποιηθεί στοιχείο διεπιφάνειας. Αυτό έγινε με την προσαρμογή της αξονικής, της διατμητικής και της εφελκυστικής δύναμης του στοιχείου διεπιφάνειας. Τα ανοίγματα προσομοιώθηκαν με το καθορισμό πολύ μικρών τιμών πάχους της πλήρωσης και μέτρου ελαστικότητας της τοιχοπλήρωσης αλλά ψηλών τιμών του λόγου Poisson. Αναφέρθηκε ότι η πλευρική δυσκαμψία της κατασκευής μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος. Οι κύριες τάσεις ήταν στο μέγιστο στις γωνιές των ανοιγμάτων και στο άκρο της θλιπτικής περιοχής όταν η κατάσταση χαρακτηριζόταν ως πλήρης επαφή, η οποία ενισχυόταν περαιτέρω από τον διαχωρισμό στα σημεία διεπιφάνειας.

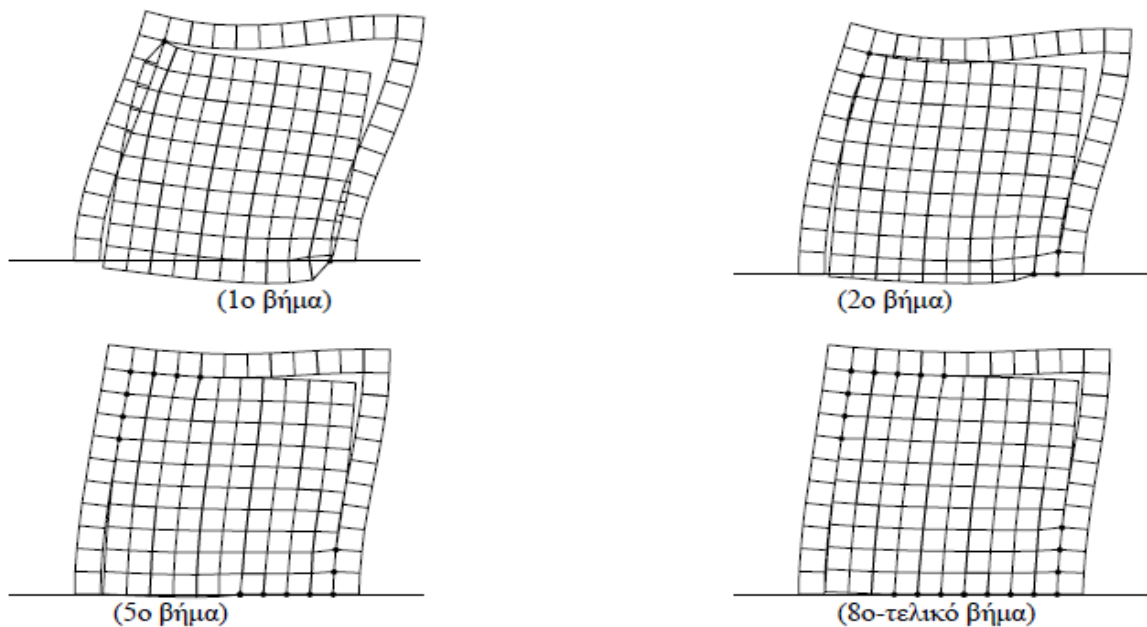
Η συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισίων κάτω από εντός επιπέδου φορτία εξετάστηκε από τους Dhanasekar και Page (1986). Τα αποτελέσματα ήταν ότι το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοπλήρωσης επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Παρ' όλα αυτά η επίδραση του λόγου του Poisson θεωρήθηκε ασήμαντη για την συμπεριφορά της κατασκευής. Αναφέρθηκε επίσης ότι οι τοιχοπληρώσεις αστόχησαν λόγω διάτμησης κατά μήκος του διαγώνιου μήκους της τοιχοπλήρωσης. Η αντοχή του συνδετικού υλικού και η εφελκυστική αντοχή της τοιχοπλήρωσης βρέθηκαν να επηρεάζουν την συμπεριφορά του τοιχοπληρωμένου πλαισίου. Η επίδραση της θλιπτικής αντοχής του υλικού της πλήρωσης δεν εξετάστηκε.

Η μοντελοποίηση με πεπερασμένα στοιχεία με ή χωρίς τέλεια επαφή μεταξύ της τοιχοπλήρωσης και του πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος μελετήθηκε από τους Combesure και Pegon et al (1995) σε μία μονώροφη κατασκευή. Αναφέρθηκε πως κάτω από ανισοβαρής συνθήκες επαφής (χωρίς τριβή), οι δυνάμεις μεταξύ του πλαισίου και του φαντώματος μεταφέρονται μέσω θλιπτικών δυνάμεων στα άκρα του διαγώνιου θλιπτήρα. Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχει μεταφορά διατμητικής δύναμης από το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο. Όταν στην διεπιφάνεια θεωρήθηκε τέλεια κατάσταση επαφής, η διατμητική δύναμη μεταφερόταν μεταξύ των δύο.

Ο Haddad (1991) μελέτησε την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για να αξιολογήσει τις επιδράσεις των ρωγμών και του διαχωρισμού μεταξύ της πλήρωσης και του τοιχοπληρωμένου πλαισίου. Εξέτασε το μέγεθος της ρωγμής και την θέση της, την σχετική δυσκαμψία και το μήκος επαφής. Βρέθηκε ότι η κάμψη και η παραμόρφωση

μειώνεται με την αύξηση της σχετικής δυσκαμψίας στο τοιχοπληρωμένο πλαίσιο. Η καμπτική ροπή αυξήθηκε περαιτέρω με το εύρος της ρωγμής. Η ροπή στο μη ρηγματωμένο μέρος αυξήθηκε όταν το εύρος της ρωγμής στο άλλο άκρο αυξήθηκε. Το μέγεθος και η θέση των κυρίων θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων επηρεάστηκαν από το μέγεθος της ρωγμής, το μήκος επαφής και από την σχετική δυσκαμψία του τοιχοπληρωμένου πλαισίου.

Τα κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι ότι απαιτείται μεγάλος αριθμός στοιχείων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να είναι λεπτομερής η προσομοίωση, απαιτείται μεγάλος όγκος δεδομένων που πρέπει να αποθηκευτούν κατά την διάρκεια μιας μη γραμμικής ανάλυσης, πράγμα πολύ χρονοβόρο, περιορίζοντας σημαντικά την έκταση του προσομοιώματος, που στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνά ένα απλό πλαίσιο ενός ανοίγματος. Ως αποτέλεσμα, τέτοιου είδους αναλύσεις είναι ιδανικές μόνο για ερευνητικές μελέτες ή για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων ενός στοιχείου τύπου θλιβόμενης διαγωνίου.



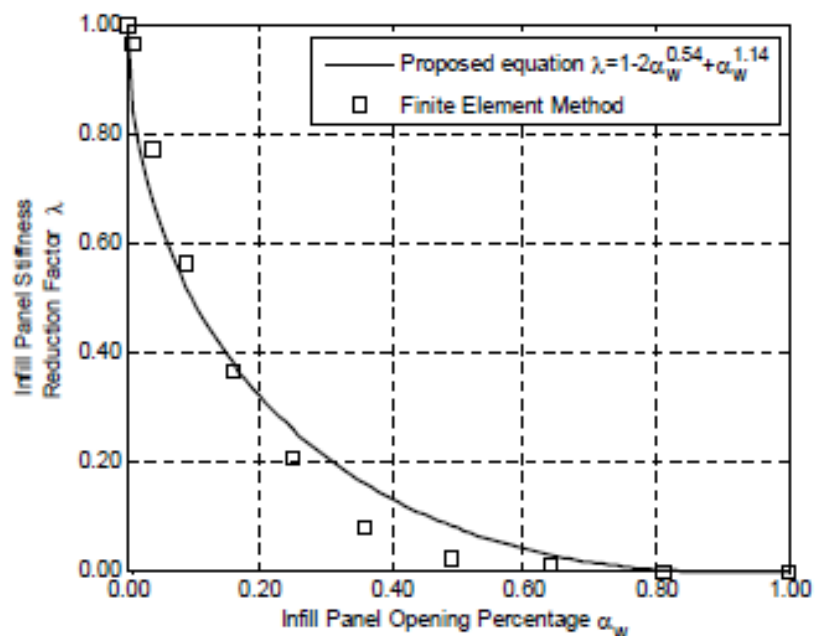
Σχήμα 13: Διαδοχικά βήματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων των σημείων επαφής για ένα δίστηλο μονώροφο πλαίσιο (P.G. Asteris (2003, 2008)).

2.6 Επιδράσεις των ανοιγμάτων στην πλευρική δυσκαμψία των τοιχοπληρώσεων

Παρ' όλο που συνήθως οι τοιχοπληρώσεις έχουν μεγάλα ανοίγματα, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας εστιάστηκε κυρίως στην απλή περίπτωση τοιχοπληρώσεων χωρίς ανοίγματα. Η έρευνα σε τοιχοπληρώσεις με ανοίγματα είναι υπολογιστικά πιο απαιτητική και περιορίζεται σε ειδικές περιπτώσεις, έτσι δεν μπορεί να γίνει αυστηρή σύγκριση μεταξύ διαφόρων μελετών λόγω της εστίασης σε συγκεκριμένα υλικά που χρησιμοποιούνται και σε συγκεκριμένα είδη ανοιγμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συνεισφορά των τοιχοπληρώσεων στην πλευρική δυσκαμψία των πλαισίων είναι πολύ μειωμένη όταν η κατασκευή υποβάλλεται σε ανακυκλιζόμενη ένταση, όπως σε πραγματική κατασκευή υπό συνθήκες σεισμού.

Για να ερευνηθούν οι επιδράσεις των ανοιγμάτων στην πλευρική δυσκαμψία των τοιχοπληρώσεων προτάθηκε από τον Asteris (2003, 2008) μια ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία. Το κύριο χαρακτηριστικό της ανάλυσης είναι ότι το μήκος επαφής πλήρωσης-πλαισίου και οι τάσεις υπολογίζονται σαν αναπόσπαστο κομμάτι της λύσης. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική τα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων της πλήρωσης θεωρούνται ότι είναι συνδεδεμένα με τα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου σε δύο γωνιές, στο τέλος της διαγώνιου της πλήρωσης πάνω αριστερά και κάτω δεξιά (τα δύο σημεία που είναι ενωμένα στο Σχήμα 13 στο 1^ο βήμα). Στη συνέχεια ελέγχονται οι μετακινήσεις στους κόμβους κατά πόσο τα σημεία του μοντέλου της πλήρωσης επικαλύπτουν τα πεπερασμένα στοιχεία του περιβάλλοντος πλαισίου. Αν συμβαίνει αυτό σημαίνει ότι και τα γειτονικά σημεία είναι συνδεδεμένα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία, αν όμως δεν συμβαίνει αυτό η διαδικασία σταματά και το πλέγμα που προκύπτει είναι το καθοριστικό (Σχήμα 13 στο 8^ο-τελικό βήμα).

Χρησιμοποιώντας την τεχνική αυτή, παρουσιάζονται αναλυτικά αποτελέσματα για την επιρροή του μεγέθους των ανοιγμάτων στη σεισμική απόκριση ενός τοιχοπληρωμένου πλαισίου. Στο Σχήμα 14 πιο κάτω φαίνονται οι διάφορες παραλλαγές του συντελεστή λ ως συνάρτηση του ποσοστού των ανοιγμάτων, για την περίπτωση όπου υπάρχει άνοιγμα στη θλιπτική διαγώνιο του τοιχοπληρωμένου πλαισίου. Όπως αναμενόταν η αύξηση του ποσοστού του ανοίγματος οδηγεί στην μείωση της δυσκαμψίας του πλαισίου. Συγκεκριμένα για ένα ποσοστό του ανοίγματος μεγαλύτερο από 50% ο μειωτικός συντελεστής της δυσκαμψίας τείνει στο μηδέν.



Σχήμα 14: Μειωτικός συντελεστής δυσκαμψίας τοιχοπληρωμένων φατνωμάτων σε σχέση με το ποσοστό ανοιγμάτων (P.G. Asteris (2003, 2008)).

Η έρευνα αυτή χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων οδήγησε στην πιο κάτω σχέση του συντελεστή λ για τη μείωση της δυσκαμψίας του πλαισίου:

$$\lambda = 1 - 2 \cdot a_w^{0.54} + a_w^{1.14} \quad (2.6)$$

όπου το a_w είναι το ποσοστό ανοίγματος στην τοιχοπλήρωση.

Ο συντελεστής λ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για να βρεθεί το ανάλογο πλάτος του θλιπτήρα σε περίπτωση ανάλυσης μιας πλήρωσης με άνοιγμα, τοποθετώντας τον συντελεστή στις εξισώσεις που περιγράφηκαν πιο πάνω στην μέθοδο του μονού διαγώνιου θλιπτήρα.

3. Επίδραση τοιχοπληρώσεων στη δυναμική ανάλυση των κατασκευών

3.1 Προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ 2006)

Όπως είναι φανερό από τα πιο πάνω, η συνεισφορά των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση των κατασκευών είτε θετική είτε αρνητική είναι αδιαμφισβήτητη. Σύμφωνα με τον κανονισμό επεμβάσεων, οι τοιχοπληρώσεις για να λαμβάνονται υπόψη στο προσομοίωμα ανάλυσης κατά την ανάλυση του φορέα για σεισμικές δράσεις πρέπει το καθαρό πάχος τους να υπερβαίνει τα 10 εκατοστά. Επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν η διάταξη τους είναι τέτοια που να δημιουργεί δυσμενή αποτελέσματα στην απόκριση του φορέα. Τέτοιες δυσμενείς διατάξεις είναι όταν υπάρχει ανομοιομορφία σε κάτοψη, σε όψη, δημιουργία ανοικτού ισογείου, κοντών υποστυλωμάτων και άλλα τα οποία αναφέρθηκαν πιο πάνω. Σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό αν το κτίριο διαθέτει επαρκή τοιχώματα, οι δυσμενείς συνέπειες των τοιχοπληρώσεων στα υποστυλώματα μπορούν να αμελούνται.

Είτε διαπιστώνεται κατ' αρχή δυσμενής επιρροή, οπότε η συνεκτίμηση των τοιχοπληρώσεων είναι υποχρεωτική, είτε ευμενής επιρροή, οπότε η συνεκτίμηση είναι δυναμική. Η τελική ανάλυση περιλαμβάνει δύο αναλύσεις με διαφορετικές δυστένειες ή δυστημσίες της τοιχοπλήρωσης και λαμβάνεται το δυσμενέστερο αποτέλεσμα.

Οι δύο περιπτώσεις που προτείνονται και υιοθετούνται από τον κανονισμό επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ.) για την πρακτική προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων είναι:

- Προσομοίωση με τη χρήση θλιβόμενης διαγωνίου.
- Προσομοίωση με χρήση διατμητικού φατνώματος.

Αυτό που προκύπτει από την χρήση και εφαρμογή των δύο αυτών μοντέλων είναι ότι τα αποτελέσματα τους δεν είναι ταυτόσημα. Και τα δύο μοντέλα δίνουν ίδια αποτελέσματα για τις οριζόντιες μετακινήσεις αλλά υπάρχουν κάποιες διαφορές όσο αφορά στα αποτελέσματα που προκύπτουν στα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων. Οι διαφορές στα αξονικά φορτία των υποστυλωμάτων μειώνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου. Στη δοκιμή που έγινε σε μερικώς τοιχοπληρωμένο κτίριο (Fardis et al.

(1999b)) οι αξονικές επιμηκύνσεις που μετρήθηκαν δεν διέφεραν σημαντικά από τις αντίστοιχες που μετρήθηκαν στο γυμνό φορέα. Επομένως δεν φαίνεται να υπήρξε σημαντική διαφοροποίηση στα αξονικά φορτία λόγω της ύπαρξης των τοιχοπληρώσεων.

3.1.1 Προσομοίωση με τη χρήση θλιβόμενης διαγωνίου

Στη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου η τοιχοπλήρωση προσομοιώνεται με ένα γραμμικό στοιχείο που δουλεύει μόνο σε θλίψη. Το πάχος αυτού του στοιχείου εξαρτάται από το πάχος της τοιχοπλήρωσης ενώ το πλάτος του στοιχείου εξαρτάται από το μήκος επαφής τοιχοπλήρωσης-περιβάλλοντος πλαισίου. Όσο αυξάνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις τόσο προχωράνε οι βλάβες στις τοιχοπληρώσεις και μειώνεται το πλάτος επαφής.

Οι τιμές για το πλάτος της διαγωνίου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση, ανάλογα με την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας σύμφωνα με το τι προτείνει ο κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) είναι:

- ‘Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά το σεισμό’: $w = 0.20 L$
- ‘Άμεση χρήση μετά το σεισμό’: $w = 0.15 L$
- ‘Προστασία ζωής’: $w = 0.10 L$
- ‘Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης’: $w = 0.00 L$

Για την τελευταία στάθμη θεωρείται ότι οι επιβαλλόμενες μετακινήσεις στο δομικό σύστημα είναι πολύ μεγάλες και γι’ αυτό το λόγο οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται πλήρως αποδιοργανωμένες και η συμβολή τους αγνοείται.

Όταν οι τοιχοπληρώσεις έχουν ανοίγματα, ελέγχεται κατά πόσο η διάταξη των ανοιγμάτων επιτρέπει την διάταξη λοξών θλιβόμενων διαγωνίων και η προσομοίωση προσαρμόζεται κατάλληλα. Εναλλακτικά και ελλείψει λεπτομερέστερης διερευνήσεως, προτείνεται όταν υπάρχουν ανοίγματα κοντά στα άκρα του φανώματος η τοιχοπλήρωση να αμελείται, ενώ όταν υπάρχει άνοιγμα του οποίου οι διαστάσεις είναι μικρότερες από το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φανώματος και είναι τοποθετημένο κοντά στο κέντρο, η επιρροή του στα χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης μπορεί να αμελείται. Όταν το άνοιγμα αυτό έχει διαστάσεις μεγαλύτερες από 50% του φανώματος, είναι δυνατό να αγνοείται ολόκληρη η τοιχοπλήρωση. Για διαστάσεις ανοίγματος μεταξύ του 20% και του 50% μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του

φατνώματος ή χρήση δύο λοξών θλιβόμενων διαγωνίων ανά φάτνωμα. Οι θλιπτήρες αυτοί θα ξεκινούν από τα άκρα της θλιβόμενης διαγωνίου και θα καταλήγουν στο μέσο της υποκείμενης και της υπερκείμενης δοκού αντιστοίχως. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των θλιπτήρων στην έναντι τέμνουσας ασφάλεια των δοκών.

3.1.2 Προσομοίωση με χρήση διατμητικού φατνώματος

Όταν η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση διατμητικού φατνώματος, η αντιστοίχιση δυστένειας (EA) – δυστμησίας (GA) θλιβόμενης διαγωνίου – διατμητικού φατνώματος δίδεται από την σχέση:

$$E_s \cdot A_s = \frac{G_w \cdot A_w}{(\cos a)^2 \cdot \sin a} \quad (3.1)$$

όπου a η γωνιά της θλιβόμενης διαγωνίου.

Σύμφωνα με τον κανονισμό επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ.), όταν γίνεται συνεκτίμηση των τοιχοπληρώσεων, πρέπει να γίνονται δύο αναλύσεις ώστε να γίνεται συνεκτίμηση τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών συνεπειών των τοιχοπληρώσεων. Η μία ανάλυση γίνεται θεωρώντας για τα στοιχεία τοιχοπλήρωσης τη δυστένεια ή δυστμησία που αντιστοιχεί στο σημείο του διαγράμματος δύναμης – μετακίνησης της τοιχοπλήρωσης που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή της. Η δεύτερη ανάλυση γίνεται θεωρώντας δυστένεια ή δυστμησία που αντιστοιχεί σε σχετικό βέλος ορόφου συμβατό με τις μετακινήσεις του φορέα. Διαδικασία η οποία απαιτεί επαναλήψεις – διαδοχικές προσεγγίσεις. Απλοποιητικά μπορεί να λαμβάνεται δυστμησία που αντιστοιχεί σε γωνιακή παραμόρφωση 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από την $\gamma(\tau_{\max})$.

3.2 Προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8

Ο Ευρωκώδικας 8 για το σχεδιασμό νέων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος (EC8) περιλαμβάνει διατάξεις για τη συνεκτίμηση της αλληλεπίδρασης των τοιχοπληρώσεων με τους πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος.

Συγκεκριμένα αν σε κτίριο με πλαισιακό δομικό σύστημα οι τοιχοπληρώσεις προκαλούν έντονη εκκεντρότητα, ο κανονισμός απαιτεί για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (H) – και συνιστά για Μέση (M) ή Χαμηλή (L) – να συμπεριλαμβάνονται οι τοιχοπληρώσεις στο προσομοίωμα για την ανάλυση της κατασκευής στο χώρο.

Στο προσομοίωμα οι τοιχοπληρώσεις μπορούν να περιληφθούν ως θλιβόμενες διαγώνιοι των οποίων οι διαστάσεις θα λαμβάνονται κατάλληλα. Ο κανονισμός επιπρόσθετα προτείνει να γίνεται επιλεκτική αφαίρεση των τοιχοπληρώσεων από ένα ποσοστό (π.χ. 25%) των τοιχοπληρωμένων φανωμάτων, ειδικά στην πλευρά του κτιρίου που υπάρχουν λιγότερες τοιχοπληρώσεις και να εξετάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών.

Αν η προκύπτουσα ανομοιομορφία της κατανομής των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη δεν είναι έντονη ο Ευρωκώδικας 8 δέχεται την υποκατάσταση της προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων στην ανάλυση του δομήματος στο χώρο, με διπλασιασμό της τυχηματικής εκκεντρότητας (από 5% της κάθετης διάστασης του ορόφου σε κάτοψη, σε 10%).

Όταν υπάρχει ανομοιομορφία στο κτίριο καθ' ύψος (δημιουργία μαλακού ορόφου, πιλοτή) ο Ευρωκώδικας 8 αυξάνει τη σεισμική ένταση του σχεδιασμού των στοιχείων των μη τοιχοπληρωμένων ορόφων ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα στη συνολική αντοχή του ορόφου από την παρουσία περισσότερων τοιχοπληρώσεων στον αμέσως επόμενο όροφο. Για να επιτευχθεί η αύξηση αυτή οι αξονικές δυνάμεις, οι τέμνουσες και οι ροπές που προκύπτουν από τη ανάλυση για τον σεισμό σχεδιασμού πολλαπλασιάζονται επί ένα συντελεστή ο οποίος ισούται με μονάδα συν το λόγο του ελλείμματος συνολικής διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων του ορόφου ως προς τον ακριβώς από πάνω, δια τη τέμνουσα του ορόφου που προκύπτει από την ανάλυση, όπως φαίνεται στην πιο κάτω σχέση:

$$n = 1 + \frac{\Delta V_{rd}}{\Sigma V_{ed}} \leq q \quad (3.2)$$

Η αύξηση αυτή της έντασης σχεδιασμού απαιτείται να γίνεται μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του λιγότερου τοιχοπληρωμένου ορόφου. Επίσης απαιτείται στα πλαισιακά δομικά συστήματα Κατηγορίας Πλαστιμότητας Υψηλής, και προτείνεται να εφαρμόζεται και στα πλαισιακά δομικά συστήματα Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης και Χαμηλής. Οι διατάξεις αυτές δεν ισχύουν όταν το κτίριο έχει τοιχώματα δυσκαμψίας τα οποία παραλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% της σεισμικής τέμνουσας βάσης στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση.

Όταν υπάρχουν στην κατασκευή κοντά υποστυλώματα και στις περιπτώσεις όπου ο φορέας δεν διαθέτει τοιχώματα, ο Ευρωκώδικας 8 επιβάλλει υπολογιστικά και κατασκευαστικά μέτρα για την αποφυγή της διατμητικής αστοχίας τους. Τα μέτρα αυτά είναι ο υπολογισμός ικανοτικής τέμνουσας σχεδιασμού, ανάληψη της σεισμικής τέμνουσας με δισδιαγώνιο οπλισμό όταν το ύψος του κοντού υποστυλώματος είναι μικρότερο από $1.5 h_c$ (h_c το πλάτος του υποστυλώματος στο επίπεδο του τοίχου). Επίσης ο κανονισμός απαιτεί την τοποθέτηση του οπλισμού κρίσιμων περιοχών σε όλο το ύψος του υποστυλώματος καθώς επίσης επιβάλλει για τα υποστυλώματα ισογείου τοιχοπληρωμένου πλαισίου να θεωρούνται κρίσιμα σε όλο τους το ύψος, ώστε να υπάρχει προστασία έναντι πρόωρης αστοχίας των τοιχοπληρώσεων και μετατροπής του ισογείου σε πιλοτή.

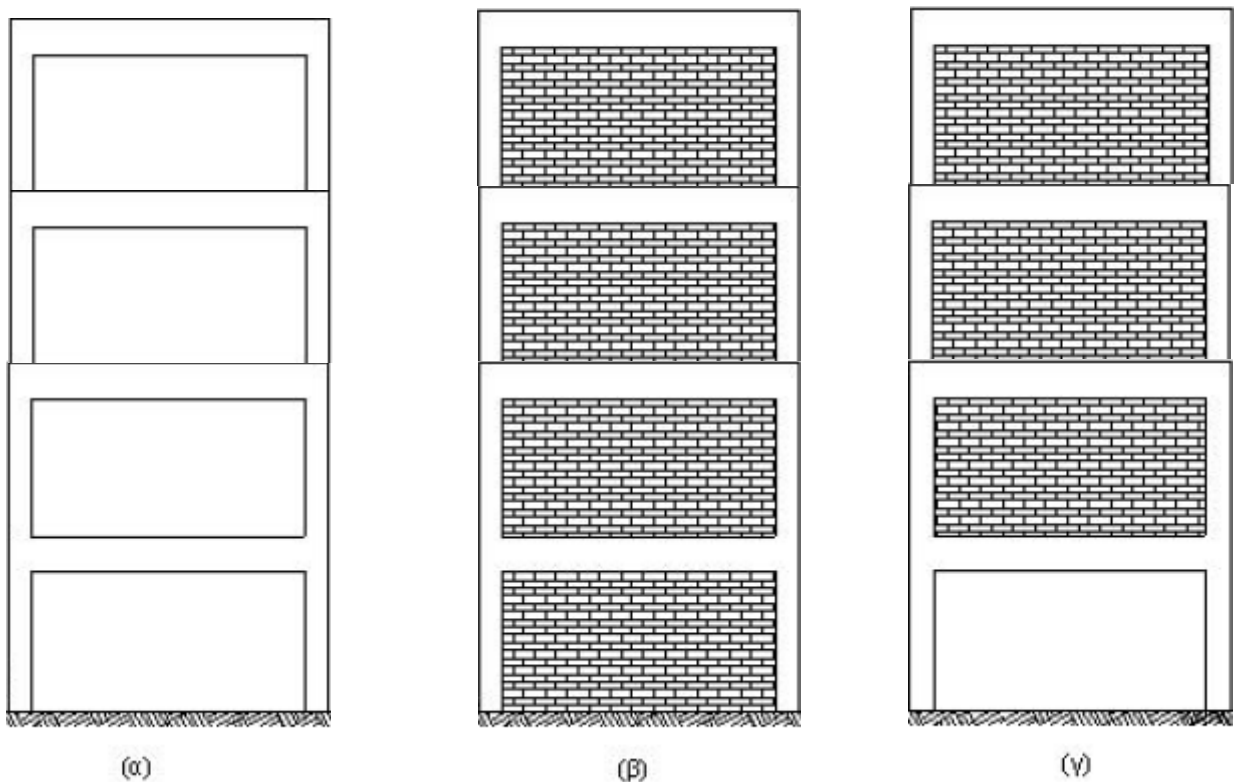
4. Προσομοιώματα κτιρίου προς επίλυση με τη χρήση λογισμικού

4.1 Περιγραφή κτιρίου

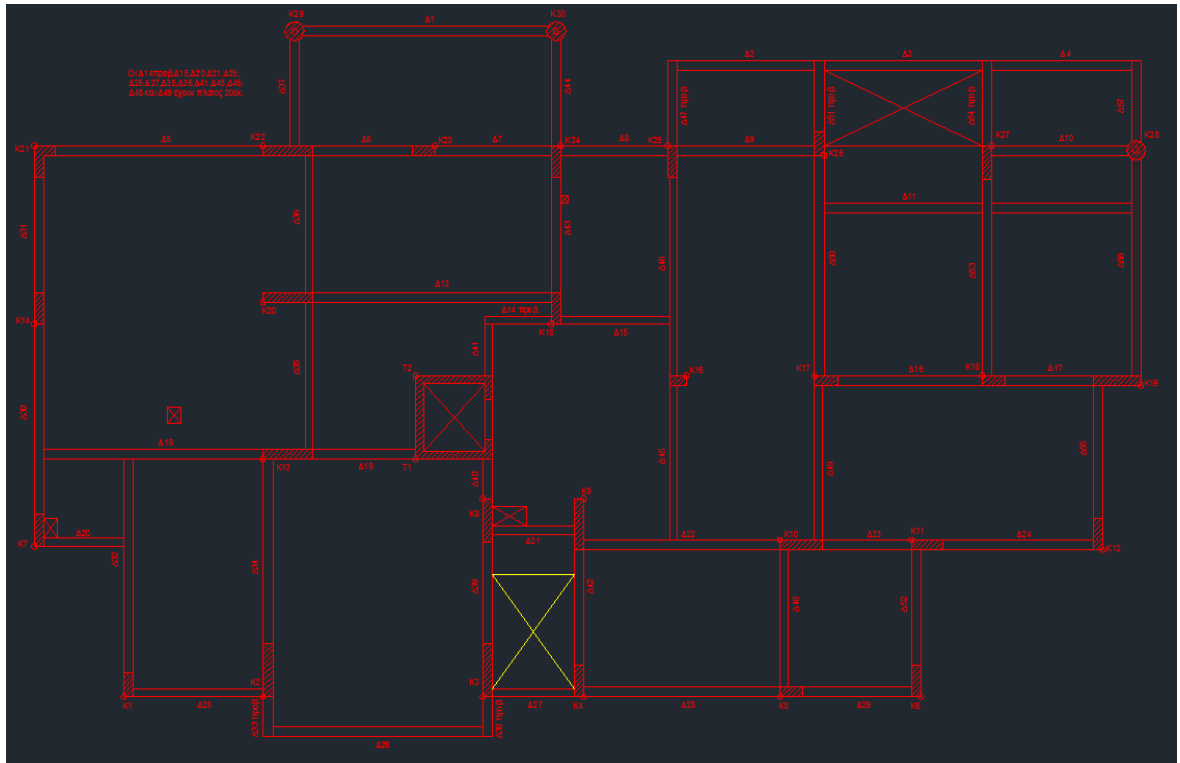
4.1.1 Γενικά στοιχεία

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις καθώς και ο τρόπος σχεδιασμού τους. Τα προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ένα τετραώροφο κτίριο το οποίο αναλύθηκε με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

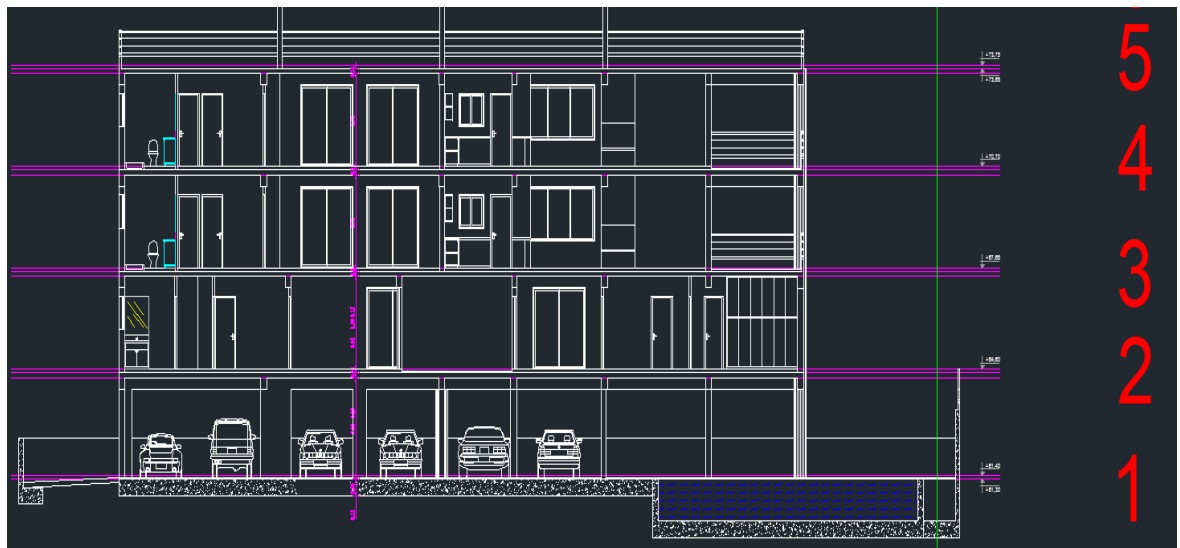
- Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις
- Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τα σχετικά τους ανοίγματα
- Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τα σχετικά τους ανοίγματα με πιλοτή



Σχήμα 15: Επίπεδο πλαίσιο αναλύσεων: (α) Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Φορέας πλήρως τοιχοπληρωμένος, (γ) Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (φαινόμενο πιλοτής).

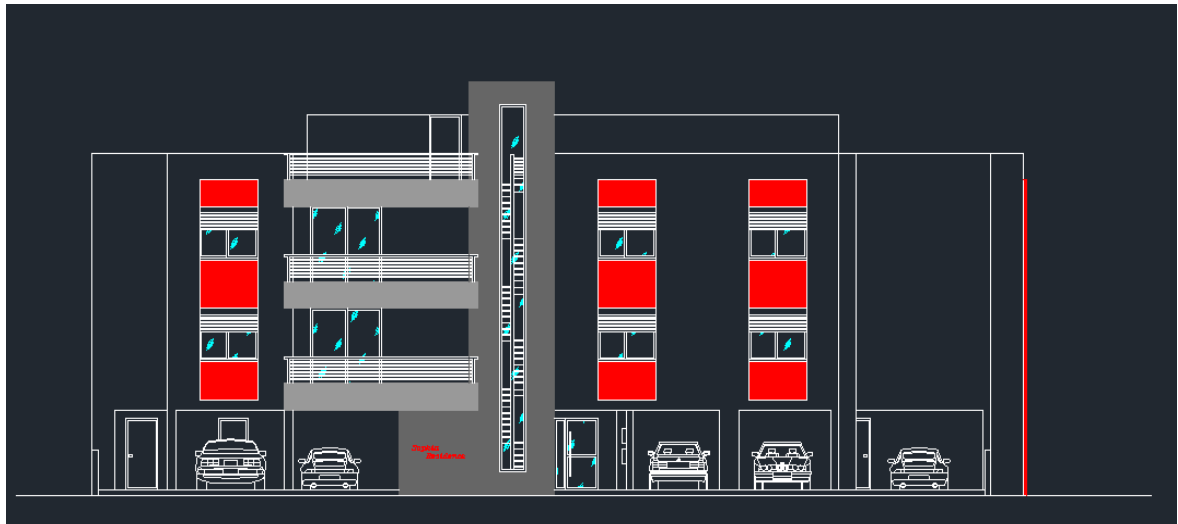


(α)



(β)

Εικόνα 7: (α) Κάτοψη τετραώροφου κτιρίου (Στάθμη 3), (β) Τομή τετραώροφου κτιρίου με τα υψόμετρα και την αρίθμηση της κάθε στάθμης.



Εικόνα 8: Όψη τετραώροφου κτιρίου.

Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται η κάτοψη της στάθμης 3 του τετραώροφου κτιρίου και η όψη του με την αρίθμηση των σταθμών καθώς και των υψομέτρων. Το έργο αποτελείται από 5 στάθμες και μορφώνεται από πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος επί δοκών και υποστυλωμάτων ενώ η θεμελίωση γίνεται με πέδιλα οπλισμένου σκυροδέματος. Το κτίριο αποτελεί ένα πλαισιακό φορέα ο οποίος αποτελείται από την θεμελίωση, το υπόγειο και τρεις ορόφους. Το ύψος των ορόφων είναι 3.05m και το πάχος της θεμελίωσης 0.50m. Υπάρχουν διαφόρων διαστάσεων υποστυλώματα μερικά των οποίων καθώς ανεβαίνουμε σε πιο πάνω στάθμη ελαττώνονται λόγω του ότι τα φορτία μειώνονται. Οι δοκοί έχουν διαστάσεις 20/50 και 25/50 σε όλους τους ορόφους ενώ το πάχος των πλακών θεωρήθηκε ίσο με 15cm.

Πίνακας 1: Υψόμετρα σταθμών τετραώροφου κτιρίου με πάχος θεμελίωσης 0.50m.

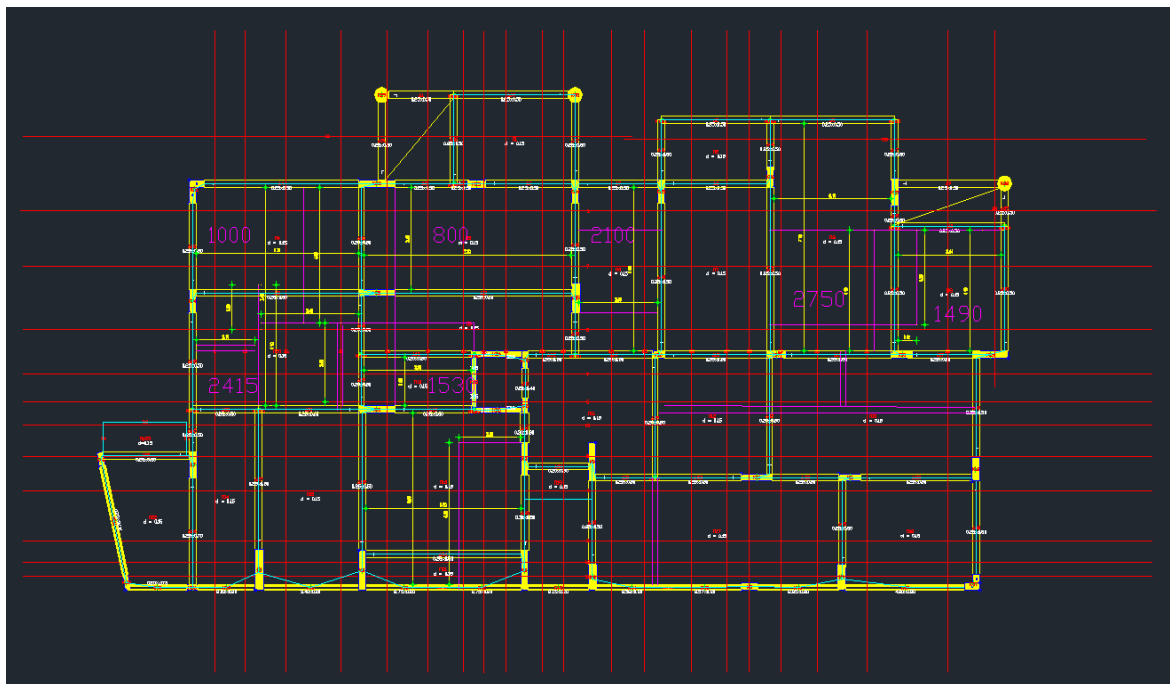
Στάθμη	Περιγραφή	Υψόμετρο Στάθμης (m)
5	Όροφος	13.70
4	Όροφος	10.65
3	Όροφος	7.60
2	Υπόγειο	4.55
1	Θεμελίωση	1.00

4.1.2 Κατακόρυφα φορτία

Τα κατακόρυφα φορτία που λήφθηκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό είναι:

- Κινητό φορτίο πλακών ίσο με 2000 N/m^2
- Επικάλυψη πλακών ίση με 1500 N/m^2
- Κινητό φορτίο εξωστών ίσο με 5000 N/m^2
- Επικάλυψη εξωστών ίση με 1500 N/m^2
- Στηθαία εξωστών ίσο με 1000 N/m^2
- Κινητό φορτίο κλιμάκων ίσο με 3500 N/m^2
- Επικάλυψη κλιμάκων ίση με 1500 N/m^2
- Φορτίο δρομική τοιχοποιίας ίσο με 5000 N/m^2
- Φορτίο μπατικής τοιχοποιίας ίσο με 9000 N/m^2

Και τα τρία προσομοιώματα σχεδιάστηκαν με βάση τον Ευρωκώδικα 2 και 8 με φασματική επίλυση. Η ανάλυση και στα τρία προσομοιώματα έχει γίνει με το λογισμικό 3DR STRAD.



Εικόνα 9: Κάτοψη πενταόροφου κτιρίου (Στάθμη 2) από το λογισμικό 3DR STRAD.

4.1.3 Συνδυασμοί φόρτισης

Οι συνδυασμοί φόρτισης που λήφθηκαν υπόψη και στα τρία προσομοιώματα είναι:

Για τα υποστυλώματα:

- Συνδυασμός 1: Για τα μόνιμα φορτία 1.35 και για τα κινητά φορτία 1.5.
- Συνδυασμός 2: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση x 0.3 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 3: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 0.3, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση x 1.0 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 4: Για τα μόνιμα φορτία 1.00 και για τα κινητά φορτία 1.00.

Για τις δοκούς:

- Συνδυασμός 1: Για τα μόνιμα φορτία 1.35 και για τα κινητά φορτία 1.5.
- Συνδυασμός 2: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση x 0.3 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 3: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 0.3, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση x 1.0 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 4: Για τα μόνιμα φορτία 1.00 και για τα κινητά φορτία 1.00.

α/α	ΠΦ1	ΠΦ2	ΠΦ3	ΠΦ4	ΠΦ5	ΠΦ6	ΠΦ7	ΠΦ8	ΠΦ9	ΠΦ10	ΠΦ11	ΠΦ12	Σ.Δ.	Ο.Τ.
1	1.35							1.50					1	1
2	1.00	1.00	0.30					0.30					1	1
3	1.00	0.30	1.00					0.30					1	1
4	1.00							1.00					1	2
5													1	0
6													1	0
7													1	0
8													1	0
9													1	0
10													1	0
11													1	0

Εικόνα 10: Συντελεστές φόρτισης για τις δοκούς όπως δόθηκαν στο λογισμικό 3DR STRAD.

Για τις πλάκες:

- Συνδυασμός 1: Για τα μόνιμα φορτία 1.35.
- Συνδυασμός 2: Για τα μόνιμα φορτία 1.35 και για τα κινητά φορτία 1.5.
- Συνδυασμός 3: Για τα μόνιμα φορτία 1.00 και για τα κινητά φορτία 1.00.

Για τα πέδιλα:

- Συνδυασμός 1: Για τα μόνιμα φορτία 1.35 και για τα κινητά φορτία 1.5.
- Συνδυασμός 2: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση x 0.3 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 3: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 0.3, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση x 1.0 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 4: Για τα μόνιμα φορτία 1.00, για τα φορτία σεισμού στην διεύθυνση y 1.00 και για τα κινητά φορτία 0.3.
- Συνδυασμός 5: Για τα μόνιμα φορτία 1.00 και για τα κινητά φορτία 1.00

4.1.4 Σεισμολογικά στοιχεία

- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: III
- Συντελεστής εδαφικής επιτάχυνσης: $\alpha = 0.25$
- Σπουδαιότητα κτιρίου: II
- Επίπεδο πλαστιμότητας: Μέση
- Κατηγορία εδάφους: C

4.1.5 Αρχείο υλικών

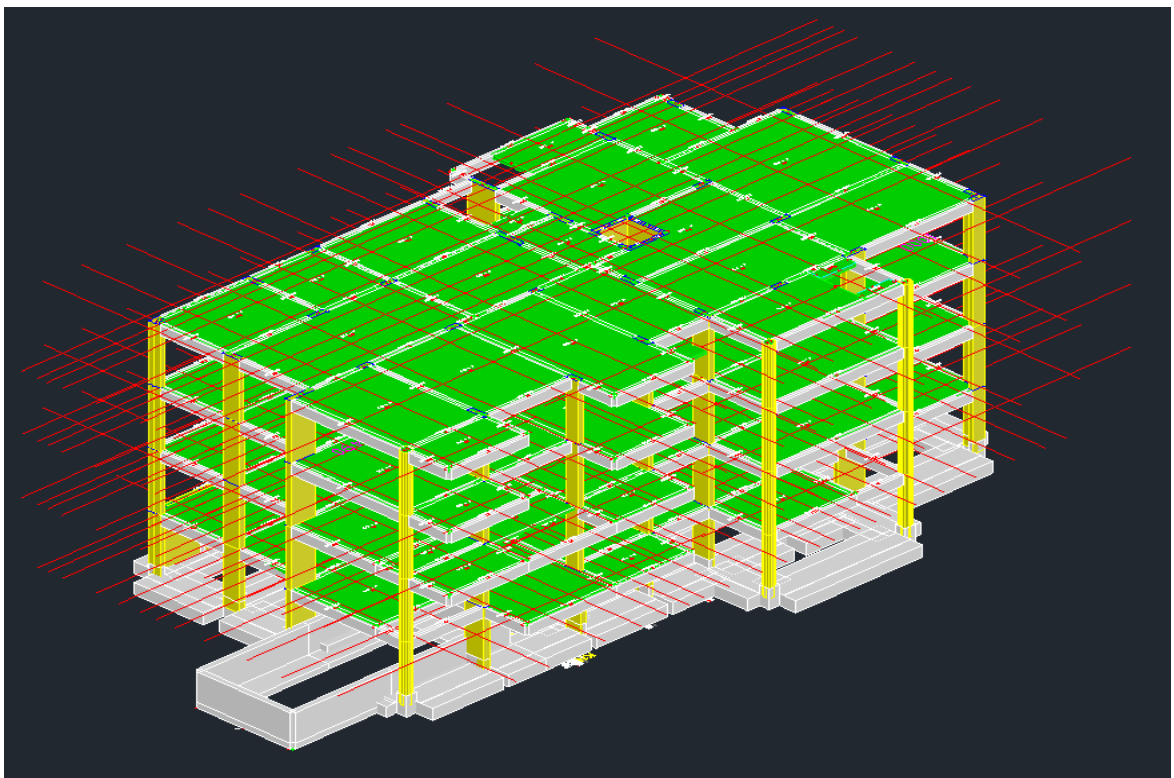
- Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος = 30 MPa.
- Χαρακτηριστική αντοχή σε διάτμηση χάλυβα = 500 MPa.

4.2 Ανάλυση προσομοιωμάτων

4.2.1 Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις

Σε αυτό το προσομοίωμα το κτίριο σχεδιάστηκε, επιλύθηκε και διαστασιολογήθηκε χωρίς να ληφθούν υπόψη οι τοιχοπληρώσεις του. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 όταν στο κτίριο υπάρχει το φαινόμενο της πιλοτής ή το φαινόμενο του μαλακού ορόφου και οι τοιχοπληρώσεις του δεν ληφθούν υπόψη στην ανάλυση του πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής η και να τοποθετηθεί στη στάθμη που παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό. Σε αυτό το παράδειγμα υπάρχει το φαινόμενο της πιλοτής στη στάθμη 2 και έτσι ο συντελεστής η πρέπει να υπολογιστεί. Για σκοπούς σύγκρισης των αποτελεσμάτων αυτό το προσομοίωμα θα αναλυθεί δύο φορές με μία διαφοροποίηση. Τα δύο παραδείγματα είναι:

- Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοποιίες και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο συντελεστής η .
- Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοποιίες λαμβάνοντας υπόψη και τον συντελεστή η .



Εικόνα 11: Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις από το λογισμικό 3DR STRAD

4.2.1.1 Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο συντελεστής n.

4.2.1.1.1 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD

4.2.1.1.1.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά

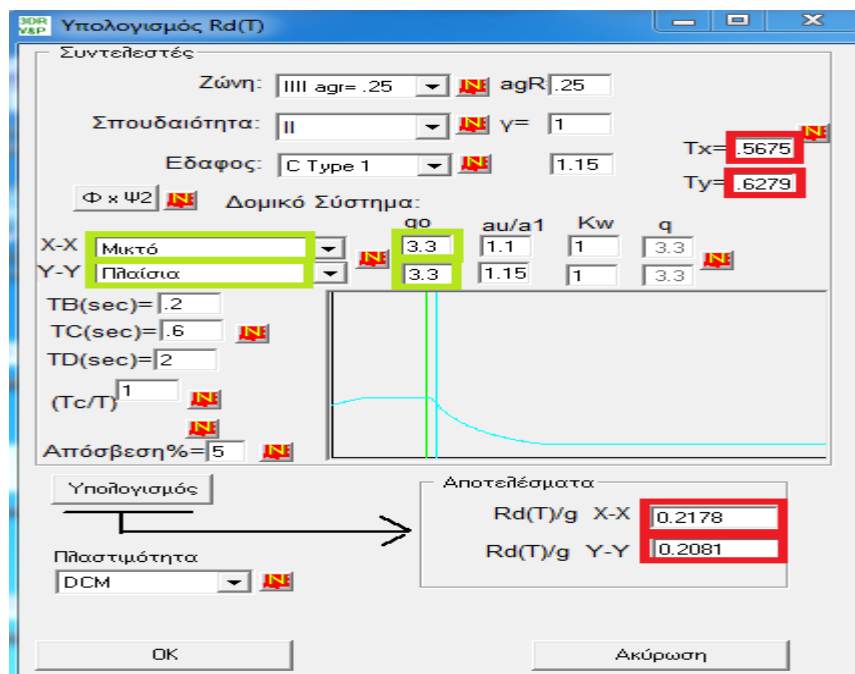
Σε αυτό το προσομοίωμα το οποίο είναι το τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί ο αυξητικός συντελεστής n, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του που προκύπτουν είναι:

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση x: 0.2178.

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση y: 0.2081.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση x: $T_x = 0.5675s$.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση y: $T_y = 0.6279s$.



Εικόνα 12: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.

Όπως φαίνεται και στην πιο πάνω εικόνα μέσα σε κόκκινο πλαίσιο είναι τα αποτελέσματα του προσομοιώματος του αντισεισμικού συντελεστή και της ιδιοπεριόδου στην κάθε

διεύθυνση. Στην εικόνα 12 επίσης φαίνεται το φάσμα σχεδιασμού του προσομοιώματος και σε ποιο σημείο του βρίσκονται οι 2 ιδιοπερίοδοι. Η ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση x βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο του φάσματος σχεδιασμού στο οποίο είναι μεταξύ της T_B και της T_C που είναι η περιοχή που αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική επιτάχυνση ενώ η ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση y βρίσκεται πιο δεξιά στην περιοχή μεταξύ T_C και T_D που είναι η περιοχή που αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική ταχύτητα.

όπου

T_B η περίοδος του κάτω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

T_C η περίοδος του άνω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

T_D η τιμή της περιόδου που αντιστοιχεί στην αρχή της περιοχής σταθερών φασματικών μετακινήσεων του φάσματος.

Πίνακας 2: Ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αυξητικός συντελεστής n.

Ti	Bd(t)	Rd(t)	TiTi-3	TiTi-2	TiTi-1	TiTi	TiTi+1	TiTi+2	TiTi+3	X	Y
[sec]										[%%]	[%%]
0.695	2.482	1.845				1.0000	0.2863	0.1128	0.0054	9.20	38.90
0.594	2.500	1.858			0.2863	1.0000	0.4060	0.0076	0.0049	33.50	35.50
0.526	2.500	1.858		0.1128	0.4060	1.0000	0.0102	0.0064	0.0053	32.70	7.70
0.213	2.500	1.858	0.0054	0.0076	0.0102	1.0000	0.1994	0.1110	0.0600	0.60	3.40
0.174	2.504	1.861	0.0049	0.0064	0.1994	1.0000	0.6024	0.2153	0.1877	6.60	6.30
0.161	2.506	1.862	0.0053	0.1110	0.6024	1.0000	0.4563	0.3860	0.2941	7.00	3.00
0.144	2.508	1.864	0.0600	0.2153	0.4563	1.0000	0.9722	0.8282	0.6749	0.00	0.00
0.142	2.509	1.864	0.1877	0.3860	0.9722	1.0000	0.9242	0.7840	0.6702	0.00	0.00
0.138	2.509	1.865	0.2941	0.8282	0.9242	1.0000	0.9462	0.8532	0.7435	0.10	0.00
0.135	2.510	1.865	0.6749	0.7840	0.9462	1.0000	0.9698	0.8915	0.7219	0.30	0.10
0.132	2.510	1.866	0.6702	0.8532	0.9698	1.0000	0.9711	0.8352	0.7628	0.00	0.00
0.130	2.511	1.866	0.7435	0.8915	0.9711	1.0000	0.9313	0.8709	0.8309	0.10	0.10

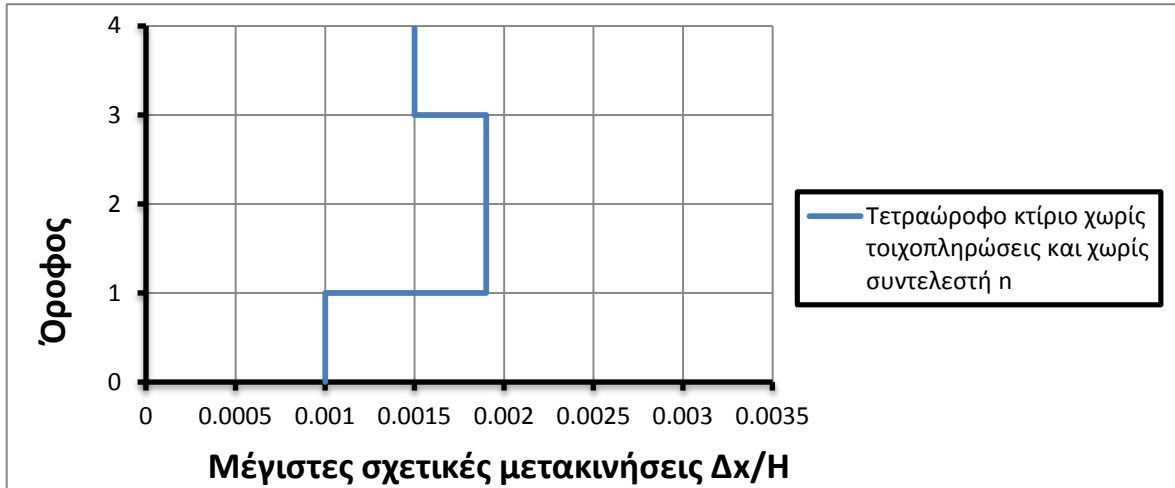
0.127	2.511	1.866	0.7219	0.8352	0.9313	1.0000	0.9873	0.9688	0.6780	0.00	0.00
0.125	2.511	1.866	0.7628	0.8709	0.9873	1.0000	0.9957	0.7511	0.6986	0.00	0.00
0.124	2.511	1.866	0.8309	0.9688	0.9957	1.0000	0.7939	0.7414	0.5887	0.00	0.00
0.118	2.512	1.867	0.6780	0.7511	0.7939	1.0000	0.9935	0.9040	0.8894	0.00	0.30
0.117	2.512	1.867	0.6986	0.7414	0.9935	1.0000	0.9434	0.9313	0.8263	0.00	0.10
0.114	2.513	1.868	0.5887	0.9040	0.9434	1.0000	0.9993	0.9564	0.8597	0.00	0.00
0.114	2.513	1.868	0.8894	0.9313	0.9993	1.0000	0.9663	0.8754	0.8446	0.00	0.10
0.112	2.513	1.868	0.8263	0.9564	0.9663	1.0000	0.9650	0.9447	0.7844	0.00	0.00
0.110	2.514	1.868	0.8597	0.8754	0.9650	1.0000	0.9973	0.8998	0.8514	0.00	0.20
0.109	2.514	1.868	0.8446	0.9447	0.9973	1.0000	0.9263	0.8818	0.8132	0.00	0.00
0.106	2.514	1.868	0.7844	0.8998	0.9263	1.0000	0.9930	0.9626	0.9405	0.00	0.00
0.105	2.514	1.869	0.8514	0.8818	0.9930	1.0000	0.9874	0.9727	0.8843	0.00	0.00
0.104	2.514	1.869	0.8132	0.9626	0.9874	1.0000	0.9970	0.9418	0.9261	0.00	0.10
0.104	2.514	1.869	0.9405	0.9727	0.9970	1.0000	0.9638	0.9506	0.9046	0.00	0.00
0.102	2.515	1.869	0.8843	0.9418	0.9638	1.0000	0.9988	0.9832	0.9708	0.10	0.00
0.101	2.515	1.869	0.9261	0.9506	0.9988	1.0000	0.9907	0.9809		0.00	0.00
0.100	2.515	1.869	0.9046	0.9832	0.9907	1.0000	0.9982			0.10	0.00
0.100	2.515	1.869	0.9708	0.9809	0.9982	1.0000				0.00	0.00
										91	96

Με τις 30 ιδιομορφές που χρησιμοποιήθηκαν ενεργοποιείται 91% της μάζας στη διεύθυνση x και 96% της μάζας στη διεύθυνση y. Στις πρώτες 3 ιδιομορφές που είναι και οι πιο σημαντικές έχουμε:

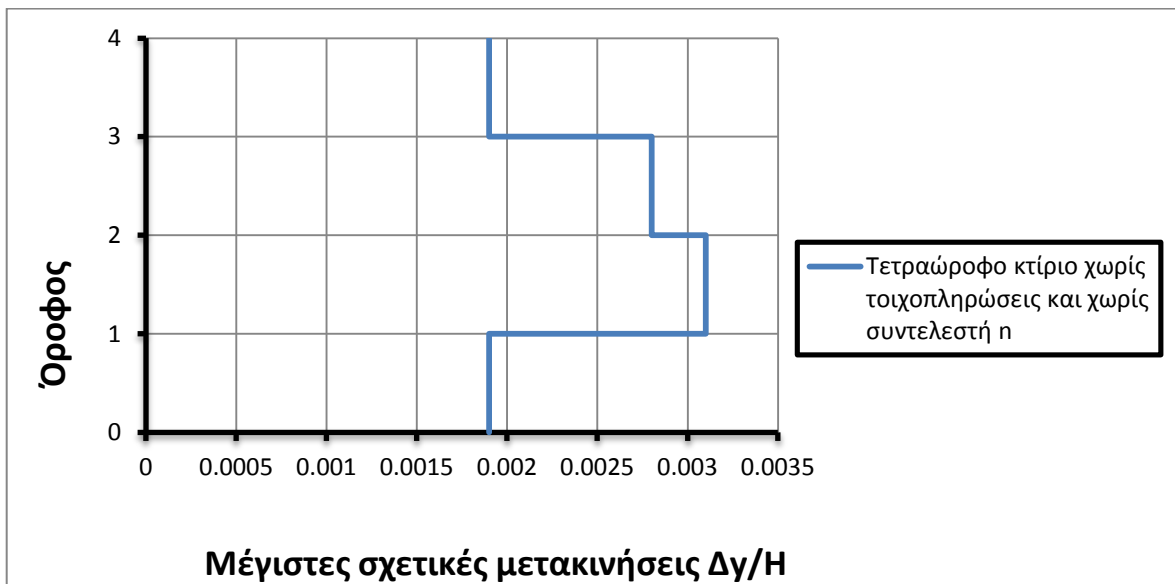
- Ιδιομορφή 1: περισσότερο μεταφορική κατά y.
- Ιδιομορφή 2: στρεπτική.
- Ιδιομορφή 3: περισσότερο μεταφορική κατά x.

Πίνακας 3: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις κάθε στάθμης στις διευθύνσεις y και x.

Στάθμη	$\Delta Y/H$ (m)	$\Delta X/H$ (m)
2	0.0019	0.0010
3	0.0031	0.0019
4	0.0028	0.0019
5	0.0019	0.0015



Σχήμα 16: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς συντελεστή η.



Σχήμα 17: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς συντελεστή η.

4.2.1.1.2 Κανονικότητα

Οι τιμές των τεμνουσών βάσεως για σεισμική διέγερση κατά τη διεύθυνση x και y του κτιρίου από το λογισμικό 3DR STRAD είναι:

$$V_{Ed,x} = F_{b,x} = 4390.695 \text{ KN}$$

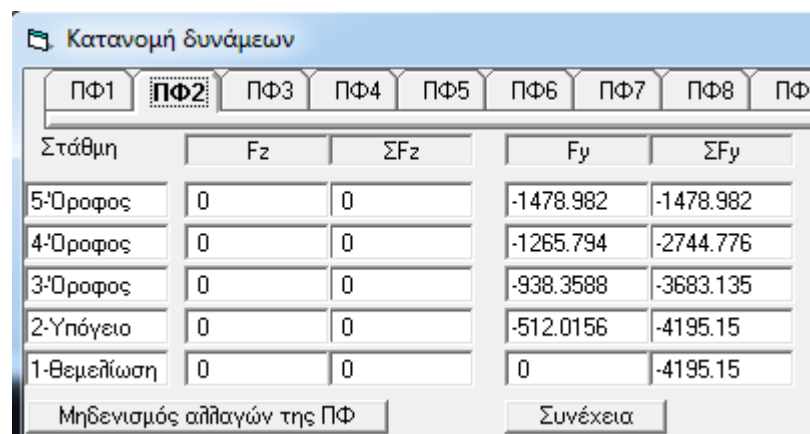
και

$$V_{Ed,y} = F_{b,y} = 4195.15 \text{ KN}$$



Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy	Fx	ΣFx
5-Όροφος	0	0	0	0	-1547.92	-1547.92
4-Όροφος	0	0	0	0	-1324.796	-2872.716
3-Όροφος	0	0	0	0	-982.0978	-3854.813
2-Υπόγειο	0	0	0	0	-535.8818	-4390.695
1-Θεμελίωση	0	0	0	0	0	-4390.695

Εικόνα 13: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.



Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy
5-Όροφος	0	0	-1478.982	-1478.982
4-Όροφος	0	0	-1265.794	-2744.776
3-Όροφος	0	0	-938.3588	-3683.135
2-Υπόγειο	0	0	-512.0156	-4195.15
1-Θεμελίωση	0	0	0	-4195.15

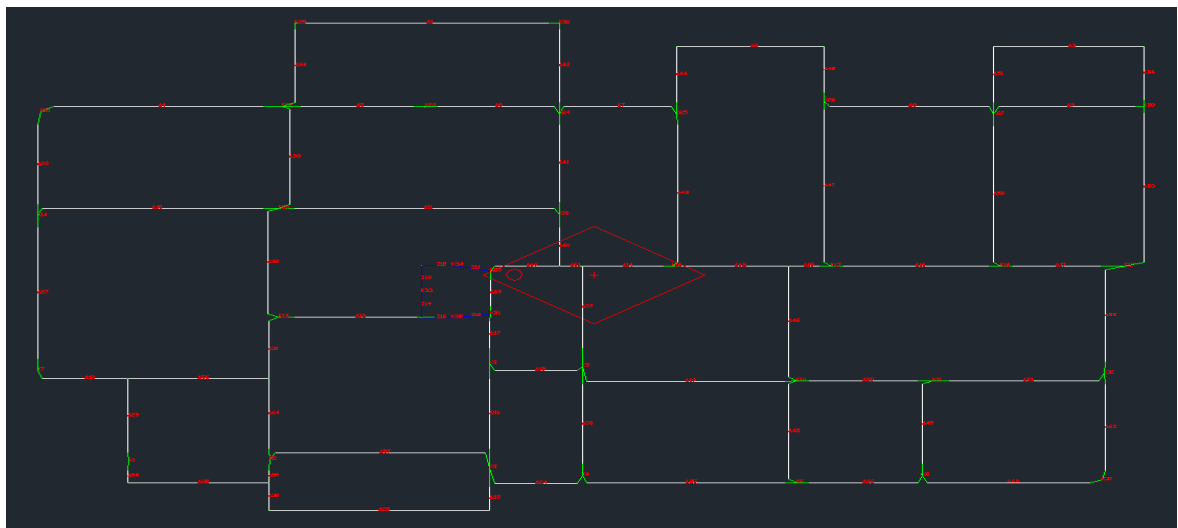
Εικόνα 14: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.

Από την Εικόνα 12 με πράσινα πλαίσια φαίνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς $q_0=3.30$. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς τόσο μεγαλύτερα είναι τα φορτία. Επίσης φαίνεται και η κατάταξη του κτιρίου όπου το κτίριο κατατάσσεται ως μεικτό στη διεύθυνση x και ως πλαισιωτό στη διεύθυνση y.

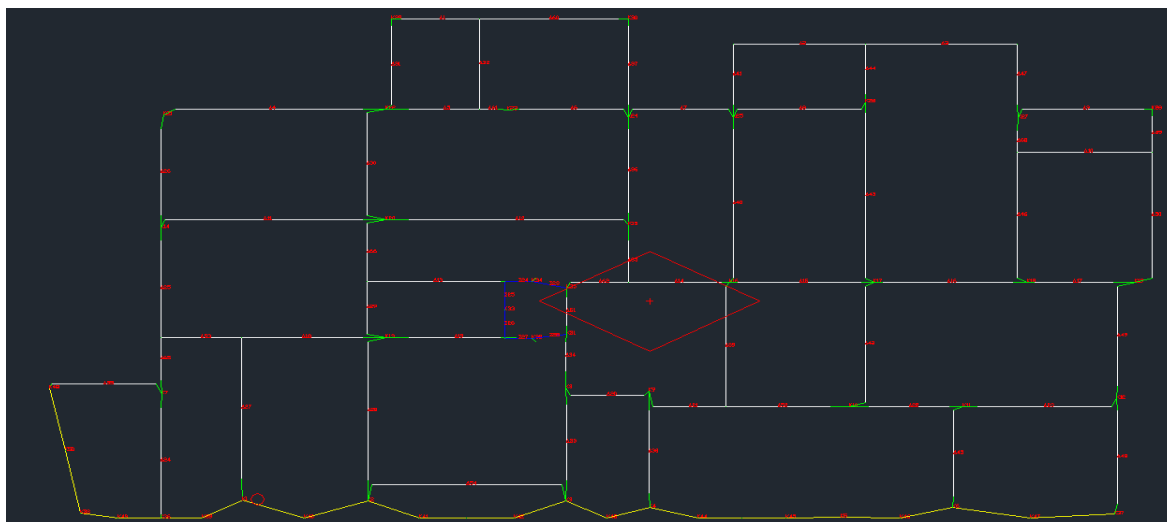
Πίνακας 4: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αυξητικός συντελεστής n.

στ	$X_{κβ(1)}$	$Y_{κβ(1)}$	$X_{κβ(2)}$	$Y_{κβ(3)}$	$X_{κεσ}$	$Y_{κεσ}$	$e_i * L_X$	$e_i * L_Y$	ΔX	ΔY
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	21.77	17.41	20.71	13.69	19.02	11.92	1.60	0.83	1.69	1.77
3	22.04	17.52	21.71	17.43	20.53	17.23	1.44	0.83	1.19	0.20
4	21.99	17.55	21.91	17.70	20.93	17.63	1.44	0.83	0.97	0.07
5	22.11	17.64	22.12	17.89	21.23	17.87	1.44	0.83	0.89	0.02

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται τα κέντρα βάρους του κτιρίου και τα κέντρα ελαστικής στροφής για την κάθε στάθμη. Αφαιρώντας την ελαστική στροφή στη διεύθυνση x ($X_{κεσ}$) από το κέντρο βάρους στην διεύθυνση x από σεισμό στην x ($X_{κβ(2)}$) τότε προκύπτει η ΔX . Το ίδιο ισχύει και για την διεύθυνση y.



Εικόνα 15: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή n.



Εικόνα 16: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς αυξητικό συντελεστή η .

Στην Εικόνα 16 το κέντρο ελαστικής στροφής βρίσκεται μακριά από το κέντρο βάρους λόγω του ότι υπάρχουν τοιχεία υπογειού στην στάθμη 2 τα οποία φαίνονται με κίτρινο χρώμα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι υπάρχει ανομοιομορφία σε κάτοψη λόγω ύπαρξης ισχυρών τοιχωμάτων στη μία διεύθυνση x τα οποία έχουν μεγάλη οριζόντια δυσκαμψία.

4.2.1.1.3 Φαινόμενα 2^{ης} τάξης (έλεγχος θ)

Πίνακας 5: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις χωρίς αυξητικό συντελεστή η .

A/A	W (=ΣN)	VY (=ΣQY)	VX (=ΣQX)	ΔΕΛY m	ΔΕΛX m	ΘY	ΘX	ΔY/H	ΔX/H	q
2	23717	3061	3729	6.77	3.59	0.0488	0.0212	0.0019	0.0010	3.3
3	17311	2778	2634	9.32	5.76	0.0628	0.0410	0.0031	0.0019	3.3
4	10997	2082	2040	8.58	5.90	0.0490	0.0344	0.0028	0.0019	3.3
5	5172	1190	1246	5.78	4.51	0.0272	0.0202	0.0019	0.0015	3.3

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται οι τιμές θ στην διεύθυνση x και y . Για να είναι εντάξει ο έλεγχος πρέπει το ΘY και το ΘX να είναι κάτω από 0.1 πράγμα το οποίο ισχύει.

4.2.1.1.1.4 Οπλισμοί

Πίνακας 6: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή μ .

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2174,1	863,32	7066,6	2806,15	4171,50	4171,50
10	352,9	218,97	2181,0	1353,25	244,90	244,90
12	426,8	381,29	2857,6	2553,22	---	---
14	1220,0	1483,66	---	---	---	---
16	495,2	786,50	405,9	644,73	---	---
18	347,0	697,51	611,2	1228,62	---	---
20	191,0	474,11	1548,5	3843,16	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.91 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 12.43 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 4.42 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 2 = 21.76 τόνους.

Πίνακας 7: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2111,9	838,62	5774,4	2293,02	9239,0	3655,30
10	540,0	335,06	655,0	406,38	---	---
12	509,4	455,09	334,0	298,46	---	---
14	1277,0	1552,92	---	---	---	---
16	508,0	806,94	413,0	656,05	---	---
18	513,8	1032,89	185,9	373,62	---	---
20	152,4	378,23	1555,5	3860,53	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 5.40 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 7.89 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.66 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 3 = 16.95 τόνους.

Πίνακας 8: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2324,4	923,03	3833,8	1522,40	7789,6	3081,90
10	144,9	89,91	492,0	305,29	302,0	187,20
12	487,9	435,94	142,2	127,09	---	---
14	1421,3	1728,42	---	---	---	---
16	416,1	660,86	521,3	828,03	---	---
18	221,8	445,95	417,1	838,56	---	---
20	49,5	122,97	1130,5	2805,74	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.41 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 6.43 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.27 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 4 = 14.11 τόνους.

Πίνακας 9: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2099,9	833,86	3473,6	1379,36	8398,3	3323,20
10	15,2	9,42	398,9	247,51	351,2	217,70
12	481,7	430,41	---	---	---	---
14	1094,2	1330,71	---	---	---	---
16	270,0	428,79	814,0	1293,00	---	---
18	104,9	210,87	297,4	597,78	---	---
20	5,4	13,34	688,5	1708,76	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 3.26 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 5.23 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.54 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 5 = 12.03 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα όλου του προσομοιώματος: 64.85 τόνους.

4.2.1.2 Τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοποιίες λαμβάνοντας υπόψη και τον συντελεστή n .

4.2.1.2.1 Έλεγχος καθ' ύψος κανονικότητας του κτιρίου

Στο συγκεκριμένο προσομοίωμα λόγω ύπαρξης του φαινομένου πιλοτής υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το κτίριο να είναι ανομοιόμορφο καθ' ύψος. Για τον έλεγχο αυτόν, θα πρέπει για κάθε όροφο και για κάθε διεύθυνση να υπολογισθεί ο ακόλουθος συντελεστής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8:

$$n = 1 + \frac{\Delta V_{Rw}}{\Sigma V_{Ed}} \leq q \quad (4.1)$$

όπου

ΔV_{Rw} είναι η συνολική μείωση της διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στο συγκεκριμένο όροφο, σε σύγκριση με τον υπερκείμενο του που περιέχει περισσότερες τοιχοπληρώσεις.

ΣV_{Ed} είναι το άθροισμα των σεισμικών τεμνουσών δυνάμεων όλων των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων του συγκεκριμένου ορόφου.

Οι συντελεστές n θα πρέπει να είναι μικρότεροι από 1.100 για να μην θεωρηθεί ότι οι τοιχοπληρώσεις εισάγουν μη κανονικότητα καθ' ύψος στον υπό εξέταση φορέα.

Παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή η στη στάθμη 2 όπου υπάρχει το φαινόμενο της πλοτής:

Οι τιμές των τεμνουσών βάσεως για σεισμική διέγερση κατά τη διεύθυνση x και y του κτιρίου από το λογισμικό 3DR STRAD είναι:

$$V_{Ed,x} = F_{b,x} = 4390.695 \text{ KN} \quad (4.2)$$

και

$$V_{Ed,y} = F_{b,y} = 4195.15 \text{ KN} \quad (4.3)$$

Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy	Fx	ΣFx
5-Όροφος	0	0	0	0	-1547.92	-1547.92
4-Όροφος	0	0	0	0	-1324.796	-2872.716
3-Όροφος	0	0	0	0	-982.0978	-3854.813
2-Υπόγειο	0	0	0	0	-535.8818	-4390.695
1-Βεμελίωση	0	0	0	0	0	-4390.695

Εικόνα 17: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο.

Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy
5-Όροφος	0	0	-1478.982	-1478.982
4-Όροφος	0	0	-1265.794	-2744.776
3-Όροφος	0	0	-938.3588	-3683.135
2-Υπόγειο	0	0	-512.0156	-4195.15
1-Βεμελίωση	0	0	0	-4195.15

Εικόνα 18: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο.

Για την εφαρμογή της σχέσης 4.1 απομένει ο υπολογισμός του όρου ΔV_{Rw} δηλαδή της συνολικής μείωσης της διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στον ισόγειο όροφο στον οποίο δεν υπάρχουν καθόλου σε σύγκριση με τον πρώτο όροφο στον οποίο υπάρχουν τοιχοπληρώσεις όπου χρειάζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (EC8). Δηλαδή στην περίπτωση αυτή ο όρος ΔV_{Rw} θα ισούται με τη συνολική διατμητική αντοχή των τοιχοπληρώσεων στον πρώτο όροφο.

Ο όρος ΔV_{Rw} υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση ανάλυσης x, y και ισούται αντίστοιχα με:

$$\Delta V_{Rw}^x = f_{vd} \cdot \Delta A_{Rw}^x \quad (4.4)$$

και

$$\Delta V_{Rw}^y = f_{vd} \cdot \Delta A_{Rw}^y \quad (4.5)$$

όπου

f_{vd} η διατμητική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M}$$

(4.6)

όπου

f_{vk} η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας

γ_M ο συντελεστής ασφαλείας

ΔA_{Rw} η συνολική μεταβολή (αύξηση ή μείωση) του εμβαδού των τοιχοπληρώσεων συγκριτικά με τον υπερκείμενο όροφο, παράλληλα στην αντίστοιχη διεύθυνση ανάλυσης x, y. Οι τοιχοπληρώσεις θα πρέπει να θεωρείται ότι λειτουργούν μόνο παράλληλα στη μεγάλη πλευρά.

Η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας f_{vk} δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f_{vk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{vk0} + 0.40 \cdot \sigma_d \\ 0.065 \cdot f_b \end{array} \right. \quad (4.7)$$

όπου

f_{vk0} η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής σε διάτμηση υπό μηδενικές θλιπτικές τάσεις, δηλαδή η συνάφεια κονιάματος και λιθοσώματος.

σ_d η τιμή της θλιπτικής τάσεως της κάθετης προς την επιφάνεια στην ασκούνται οι διατμητικές τάσεις.

f_b η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος για διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου κάθετα στην επιφάνεια έδρασης τους.

Η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος υπολογίζεται από την πιο κάτω σχέση:

$$fb = \delta \cdot fbc \quad (4.8)$$

όπου

δ ο συντελεστής αναγωγής. Στην περίπτωση αυτή ισούται με 1.182.

f_{bc} η μέση τιμή θλιπτικής αντοχής για διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου κάθετα στην επιφάνεια έδρασης. Στην περίπτωση αυτή ισούται με 3.5 MPa

Εφαρμόζοντας την σχέση 4.22 η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος είναι:

$$fb = \delta \cdot fbc = 1.182 \cdot 3.5 = 4.137MPa \quad (4.9)$$

Υποθέτοντας ότι η μέση θλιπτική αντοχή του κονιάματος είναι μεγαλύτερη από 2.5MPa αλλά μικρότερη από 10MPa, η χαρακτηριστική αντοχή σε διάτμηση f_{vk0} μπορεί να ληφθεί ίση με 200kPa.

Το πλάτος έδρασης των εσωτερικών τοιχοποιιών θα ληφθεί ίσο με 100mm. Το πάχος t των εξωτερικών τοιχοποιιών, υποθέτοντας ότι δύο ανεξάρτητοι τοίχοι πάχους 100mm ο καθένας, συνδέονται μεταξύ τους είναι:

$$t = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} = \sqrt[3]{100^3 + 100^3} = 126\text{mm} = 0.126\text{m} \quad (4.10)$$

Για τα εκτιμώμενα φορτία εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών που δόθηκαν στην παράγραφο 4.1 (9.0 KN/m μπατική τοιχοποιία (εξωτερική τοιχοποιία) και 5.0 KN/m δρομική τοιχοποιία(εσωτερική τοιχοποιία)), η κατακόρυφη θλιπτική τάση είναι:

$$\text{Για εξωτερικές τοιχοποιίες: } \sigma d = \frac{9.0}{(126/1000)} = 71.43\text{kPa} \quad (4.11)$$

$$\text{Για εσωτερικές τοιχοποιίες: } \sigma d = \frac{5.0}{(100/1000)} = 50\text{kPa} \quad (4.12)$$

Με την εφαρμογή της σχέσης 4.7, η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή (f_{vk}) των εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοδομών αντίστοιχα είναι:

Για εξωτερικές τοιχοποιίες:

$$\begin{aligned} f_{vk} &= \min \left\{ \begin{array}{l} f_{vk0} + 0.40 \cdot \sigma d \\ 0.065 \cdot f_b \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 200 + 0.40 \cdot 71.43 \\ 0.065 \cdot 4137 \end{array} \right. = \\ &= \min \left\{ \begin{array}{l} 228.6 \\ 268.9 \end{array} \right. = 228.6\text{kPa} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Για εσωτερικές τοιχοποιίες:

$$\begin{aligned} f_{vk} &= \min \left\{ \begin{array}{l} f_{vk0} + 0.40 \cdot \sigma d \\ 0.065 \cdot f_b \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 200 + 0.40 \cdot 50 \\ 0.065 \cdot 4137 \end{array} \right. = \\ &= \min \left\{ \begin{array}{l} 220.0 \\ 268.9 \end{array} \right. = 220.0\text{kPa} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Ο συντελεστής ασφαλείας γ_M ισούται με 1.0. Άρα η διατμητική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας είναι ίση με:

Για εξωτερικές τοιχοποιίες: $f_{vd\ εξ.}=228.8$ kPa

Για εσωτερικές τοιχοποιίες: $f_{vd\ εσ.}=220.0$ kPa

Από το πρόγραμμα:

- Το συνολικό μήκος των εξωτερικών τοιχοποιιών στην διεύθυνση x είναι $L=35.5$ m.
- Το συνολικό μήκος των εσωτερικών τοιχοποιιών στην διεύθυνση y είναι $L=53.58$ m.
- Το συνολικό μήκος των εξωτερικών τοιχοποιιών στην διεύθυνση x είναι $L=23.65$ m.
- Το συνολικό μήκος των εσωτερικών τοιχοποιιών στη διεύθυνση y είναι $L=42.47$ m.

Η συνολική μεταβλητού εμβαδού των τοιχοπληρώσεων συγκριτικά με τον υπερκείμενο όροφο υπολογίζεται από την πιο κάτω σχέση:

$$\Delta A_{Rw\ \epsilon\xi.}^x = L_{\epsilon\xi.}^x \cdot t_{\epsilon\xi.} = 35.50 \cdot 0.126 = 4.473\text{m}^2 \quad (4.15)$$

$$\Delta A_{Rw\ \epsilon\sigma.}^x = L_{\epsilon\sigma.}^x \cdot t_{\epsilon\sigma.} = 53.58 \cdot 0.100 = 5.358\text{m}^2 \quad (4.16)$$

$$\Delta A_{Rw\ \epsilon\xi.}^y = L_{\epsilon\xi.}^y \cdot t_{\epsilon\xi.} = 23.65 \cdot 0.126 = 2.980\text{m}^2 \quad (4.17)$$

$$\Delta A_{Rw\ \epsilon\sigma.}^y = L_{\epsilon\sigma.}^y \cdot t_{\epsilon\sigma.} = 42.47 \cdot 0.100 = 4.247\text{m}^2 \quad (4.18)$$

Από τις σχέσεις 4.4 και 4.5 η συνολική μείωση της διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στον ισόγειο όροφο σε σύγκριση με τον πρώτο όροφο προκύπτει:

$$\Delta V_{Rw \varepsilon\xi.}^x = f_{vd \varepsilon\xi.} \cdot \Delta A_{Rw \varepsilon\xi.}^x = 228.8 \cdot 4.473 = 1022.53 \text{ KN} \quad (4.19)$$

$$\Delta V_{Rw \varepsilon\sigma.}^x = f_{vd \varepsilon\sigma.} \cdot \Delta A_{Rw \varepsilon\sigma.}^x = 220.0 \cdot 5.358 = 1178.76 \text{ KN} \quad (4.20)$$

$$\Delta V_{Rw \varepsilon\xi.}^y = f_{vd \varepsilon\xi.} \cdot \Delta A_{Rw \varepsilon\xi.}^y = 228.8 \cdot 2.980 = 681.23 \text{ KN} \quad (4.21)$$

$$\Delta V_{Rw \varepsilon\sigma.}^y = f_{vd \varepsilon\sigma.} \cdot \Delta A_{Rw \varepsilon\sigma.}^y = 220.0 \cdot 4.247 = 934.34 \text{ KN} \quad (4.22)$$

Πίνακας 10: Συνολική μείωση διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στη διεύθυνση x στη στάθμη 2.

Διεύθυνση x	L	t	$\Delta A_{Rw} (m^2)$	$f_{vd} (kPa)$	$\Delta V_{Rw} (KN)$
Εξωτερικές τοιχοποιίες	35.50	0.126	4.473	228.6	1022.53
Εσωτερικές τοιχοποιίες	53.58	0.100	5.358	220.0	1178.76
Σύνολο					2201.29

Πίνακας 11: Συνολική μείωση διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στη διεύθυνση y στη στάθμη 2.

Διεύθυνση y	L	t	$\Delta A_{Rw} (m^2)$	$f_{vd} (kPa)$	$\Delta V_{Rw} (KN)$
Εξωτερικές τοιχοποιίες	23.65	0.126	2.980	228.6	681.23
Εσωτερικές τοιχοποιίες	42.47	0.100	4.247	220.0	934.34
Σύνολο					1615.57

Με την εφαρμογή της σχέσης 4.1 οι συντελεστές n είναι ίσοι με:

Για την διεύθυνση x :

$$n = 1 + \frac{\Delta V_{rw}}{\Sigma V_{ed}} = \left(1 + \frac{2201.29}{4390.695} \right) = 1.501 \quad (4.24)$$

Για την διεύθυνση y :

$$n = 1 + \frac{\Delta V_{rw}}{\Sigma V_{ed}} = \left(1 + \frac{1615.57}{4195.150} \right) = 1.385 \quad (4.25)$$

Τη στιγμή που οι συντελεστές n υπολογίστηκαν και είναι πάνω από 1.1, θεωρείται ότι η σχετική υπεραντοχή των ορόφων μεταβάλλεται απότομα από τον ισόγειο όροφο στον πρώτο όροφο και έτσι υπάρχει μη κανονικότητα καθ' ύψος στο κτίριο.

Οι συντελεστές n θα έπρεπε να υπολογιστούν και για τους υπόλοιπους ορόφους αλλά λόγω του ότι δεν υπάρχει μεγάλη αλλαγή της ποσότητας και της θέσης των τοιχοπληρώσεων μεταξύ των υπόλοιπων ορόφων ο συντελεστής n κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1.0 και 1.1 πράγμα το οποίο είναι αποδεκτό και δεν υπάρχει υπόθεση περί μη κανονικότητας καθ' ύψος του κτιρίου.

4.2.1.2.2 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD

4.2.1.2.2.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά

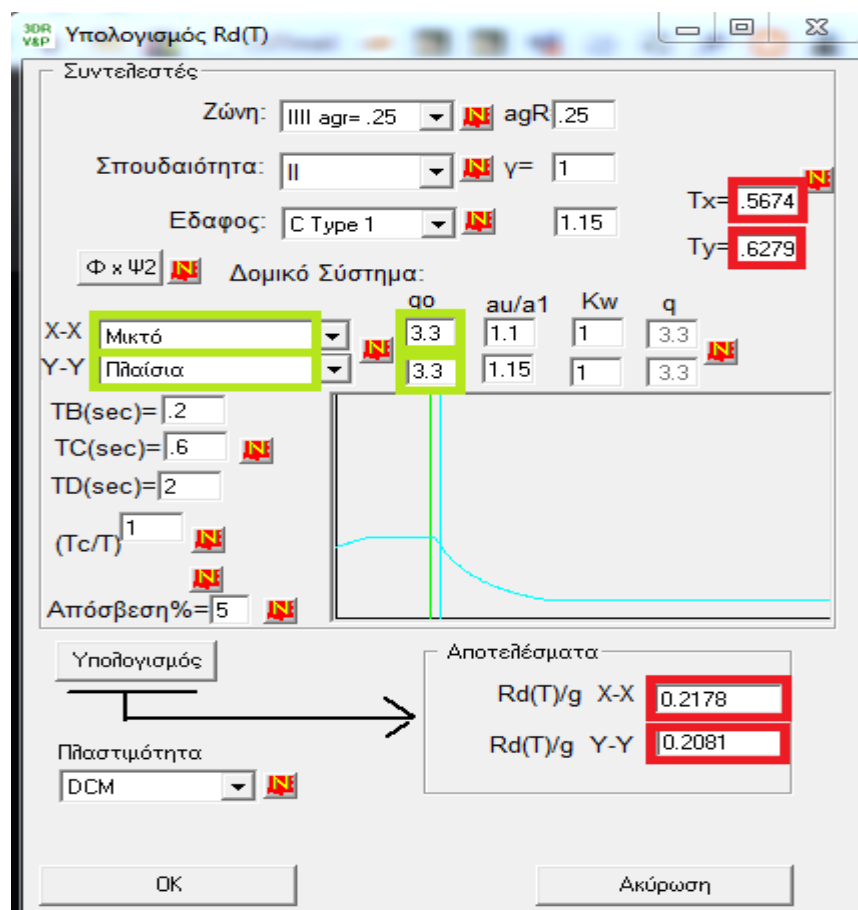
Σε αυτό το προσομοίωμα το οποίο είναι το τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις λαμβάνοντας υπόψη τους αυξητικούς συντελεστές η που υπολογίστηκαν πιο πάνω, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του που προκύπτουν είναι:

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση x: 0.2178.

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση y: 0.2081.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση x: $T_x = 0.5674s$.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση y: $T_y = 0.6279s$.



Εικόνα 19: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.

Όπως φαίνεται και στην πιο πάνω εικόνα μέσα σε κόκκινο πλαίσιο είναι τα αποτελέσματα του προσομοιώματος του αντισεισμικού συντελεστή και της ιδιοπεριόδου στην κάθε διεύθυνση. Στην εικόνα 19 επίσης φαίνεται το φάσμα σχεδιασμού του προσομοιώματος και σε ποιο σημείο του βρίσκονται οι 2 ιδιοπεριόδοι. Η ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση x βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο του φάσματος σχεδιασμού στο οποίο είναι μεταξύ της T_B και της T_C που είναι η περιοχή που αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική επιτάχυνση ενώ η ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση y βρίσκεται πιο δεξιά στην περιοχή μεταξύ T_C και T_D που είναι η περιοχή που αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική ταχύτητα.

όπου

T_B η περίοδος του κάτω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

T_C η περίοδος του άνω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

T_D η τιμή της περιόδου που αντιστοιχεί στην αρχή της περιοχής σταθερών φασματικών μετακινήσεων του φάσματος.

Πίνακας 12: Ιδιοπεριόδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις λαμβάνοντας υπόψη τους αυξητικούς συντελεστής n.

Ti	Bd(t)	Rd(t)	TiTi-3	TiTi-2	TiTi-1	TiTi	TiTi+1	TiTi+2	TiTi+3	X	Y
[sec]										[%]	[%]
0.700	2.464	1.832				1.0000	0.2861	0.1094	0.0058	9.20	37.60
0.598	2.500	1.858			0.2861	1.0000	0.3877	0.0084	0.0054	31.30	34.80
0.528	2.500	1.858		0.1094	0.3877	1.0000	0.0115	0.0072	0.0057	31.00	7.00
0.223	2.500	1.858	0.0058	0.0084	0.0115	1.0000	0.2114	0.1007	0.0667	1.00	4.20
0.184	2.502	1.860	0.0054	0.0072	0.2114	1.0000	0.4813	0.2420	0.1830	6.30	9.00
0.166	2.505	1.862	0.0057	0.1007	0.4813	1.0000	0.6540	0.4673	0.3369	9.20	2.40
0.154	2.507	1.863	0.0667	0.2420	0.6540	1.0000	0.8967	0.6880	0.6488	0.50	0.10
0.149	2.508	1.864	0.1830	0.4673	0.8967	1.0000	0.8997	0.8644	0.6335	0.10	0.30
0.144	2.508	1.864	0.3369	0.6880	0.8997	1.0000	0.9962	0.8461	0.7294	0.00	0.00
0.143	2.508	1.864	0.6488	0.8644	0.9962	1.0000	0.8828	0.7698	0.6447	0.10	0.00
0.138	2.509	1.865	0.6335	0.8461	0.8828	1.0000	0.9678	0.8751	0.7458	0.40	0.10

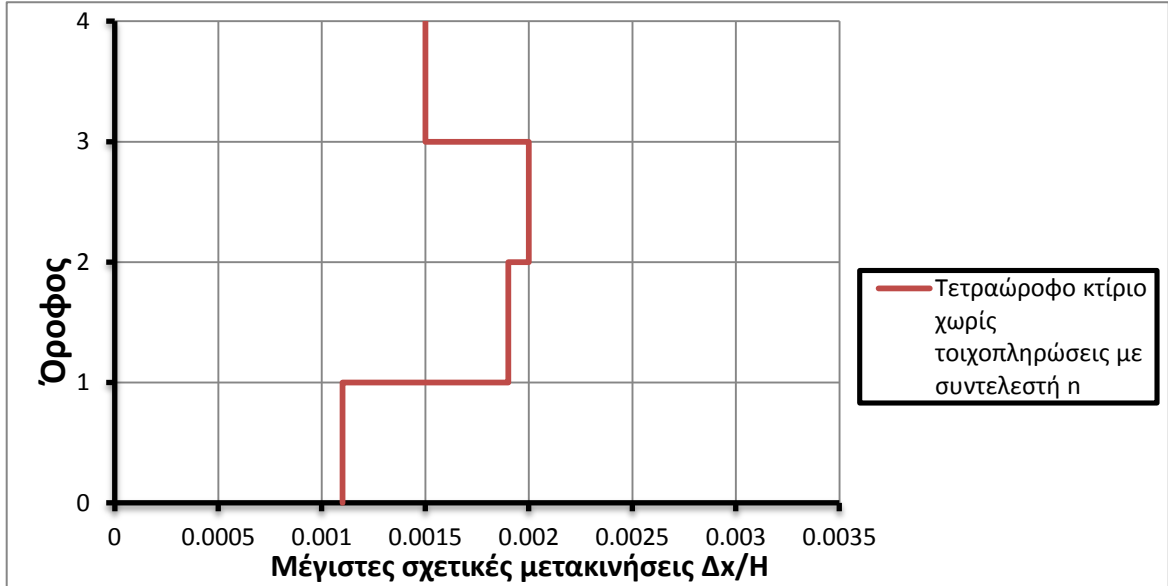
0.136	2.510	1.865	0.7294	0.7698	0.9678	1.0000	0.9633	0.8613	0.7370	0.00	0.10
0.133	2.510	1.865	0.6447	0.8751	0.9633	1.0000	0.9593	0.8609	0.7060	0.10	0.20
0.130	2.510	1.866	0.7458	0.8613	0.9593	1.0000	0.9630	0.8384	0.8280	0.10	0.10
0.128	2.511	1.866	0.7370	0.8609	0.9630	1.0000	0.9442	0.9368	0.9312	0.00	0.20
0.125	2.511	1.866	0.7060	0.8384	0.9442	1.0000	0.9997	0.9992	0.7163	0.10	0.00
0.125	2.511	1.866	0.8280	0.9368	0.9997	1.0000	0.9999	0.7271	0.7081	0.00	0.10
0.124	2.511	1.866	0.9312	0.9992	0.9999	1.0000	0.7348	0.7158	0.5442	0.00	0.20
0.117	2.512	1.867	0.7163	0.7271	0.7348	1.0000	0.9991	0.9103	0.8258	0.00	0.00
0.117	2.512	1.867	0.7081	0.7158	0.9991	1.0000	0.9251	0.8440	0.7836	0.00	0.00
0.114	2.513	1.868	0.5442	0.9103	0.9251	1.0000	0.9793	0.9452	0.8695	0.00	0.10
0.112	2.513	1.868	0.8258	0.8440	0.9793	1.0000	0.9910	0.9446	0.9282	0.00	0.10
0.111	2.513	1.868	0.7836	0.9452	0.9910	1.0000	0.9790	0.9677	0.9211	0.00	0.10
0.109	2.514	1.868	0.8695	0.9446	0.9790	1.0000	0.9987	0.9791	0.9574	0.00	0.00
0.109	2.514	1.868	0.9282	0.9677	0.9987	1.0000	0.9880	0.9703	0.9512	0.20	0.00
0.108	2.514	1.868	0.9211	0.9791	0.9880	1.0000	0.9958	0.9866	0.9669	0.00	0.00
0.107	2.514	1.868	0.9574	0.9703	0.9958	1.0000	0.9973	0.9858	0.9559	0.00	0.10
0.106	2.514	1.868	0.9512	0.9866	0.9973	1.0000	0.9953	0.9741		0.00	0.00
0.106	2.514	1.868	0.9669	0.9858	0.9953	1.0000	0.9911			0.00	0.00
0.105	2.514	1.869	0.9559	0.9741	0.9911	1.0000				0.10	0.40
										90	97

Με τις 30 ιδιομορφές που χρησιμοποιήθηκαν ενεργοποιείται 90% της μάζας στη διεύθυνση x και 97% της μάζας στη διεύθυνση y. Στις πρώτες 3 ιδιομορφές που είναι και οι πιο σημαντικές έχουμε:

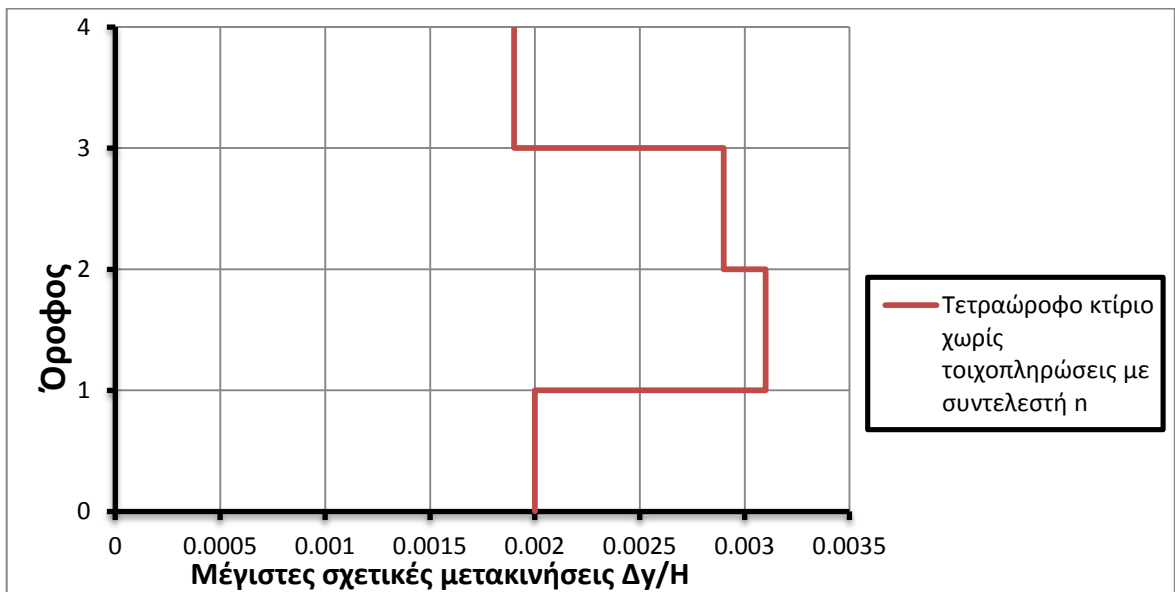
- Ιδιομορφή 1: περισσότερο μεταφορική κατά y.
- Ιδιομορφή 2: στρεπτική.
- Ιδιομορφή 3: περισσότερο μεταφορική κατά x.

Πίνακας 13: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις σε κάθε στάθμη στις κατευθύνεις y και x.

Στάθμη	$\Delta Y/H$ (m)	$\Delta X/H$ (m)
2	0.0020	0.0011
3	0.0031	0.0019
4	0.0029	0.0020
5	0.0019	0.0015



Σχήμα 18: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετράωροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με συντελεστή η.



Σχήμα 19: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετράωροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με συντελεστή η.

4.2.1.2.2 Κανονικότητα

Οι τιμές των τεμνουσών βάσεως για σεισμική διέγερση κατά τη διεύθυνση x και y του κτιρίου από το λογισμικό 3DR STRAD είναι:

$$V_{Ed,x} = F_{b,x} = 4658.636 \text{ KN}$$

και

$$V_{Ed,y} = F_{b,y} = 4392.276 \text{ KN}$$

Κατανομή δυνάμεων						
ΠΦ1 ΠΦ2 ΠΦ3 ΠΦ4 ΠΦ5 ΠΦ6 ΠΦ7 ΠΦ8 ΠΦ9 ΠΦ10 ΠΦ11 ΠΦ12						
Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy	Fx	ΣFx
5-Όροφος	0	0	0	0	-1547.92	-1547.92
4-Όροφος	0	0	0	0	-1324.796	-2872.716
3-Όροφος	0	0	0	0	-982.0978	-3854.813
2-Υπόγειο	0	0	0	0	-803.8225	-4658.636
1-Βεμελίωση	0	0	0	0	0	-4658.636

Εικόνα 20: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n.

Κατανομή δυνάμεων					
ΠΦ1 ΠΦ2 ΠΦ3 ΠΦ4 ΠΦ5 ΠΦ6 ΠΦ7 ΠΦ8 ΠΦ					
Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy	Fx
5-Όροφος	0	0	-1478.982	-1478.982	
4-Όροφος	0	0	-1265.794	-2744.776	
3-Όροφος	0	0	-938.3588	-3683.135	
2-Υπόγειο	0	0	-709.1417	-4392.276	
1-Βεμελίωση	0	0	0	-4392.276	

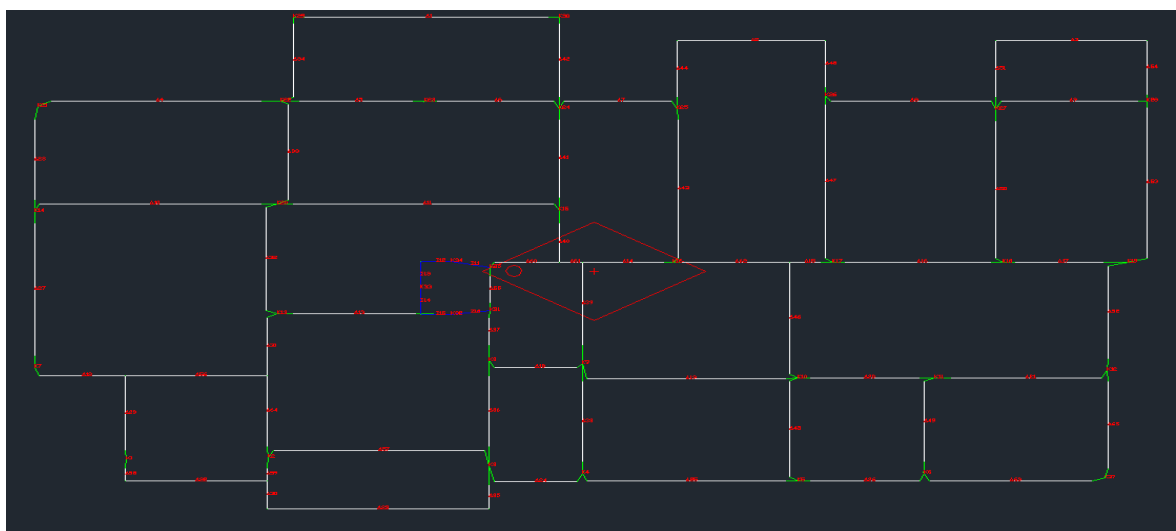
Εικόνα 21: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n.

Από την Εικόνα 19 με πράσινα πλαίσια φαίνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς $q_0=3.30$. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς τόσο μεγαλύτερα είναι τα φορτία. Επίσης φαίνεται και η κατάταξη του κτιρίου όπου το κτίριο κατατάσσεται ως μεικτό στη διεύθυνση x και ως πλαισιωτό στη διεύθυνση y.

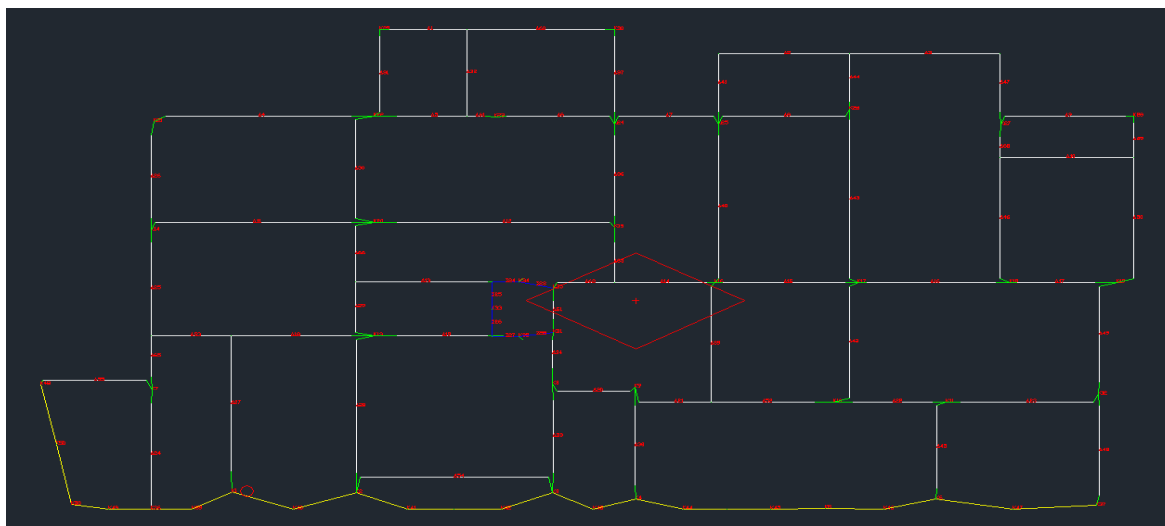
Πίνακας 14: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις και λαμβάνοντας υπόψη τον αυξητικό συντελεστή n.

στ	Χκβ(1)	Υκβ(1)	Χκβ(2)	Υκβ(3)	Χκεσ	Υκεσ	ει*LX	ει*LY	ΔX	ΔY
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	21.77	17.41	20.70	13.76	19.03	11.98	1.60	0.83	1.67	1.78
3	22.04	17.52	21.72	17.43	20.54	17.22	1.44	0.83	1.18	0.21
4	21.99	17.55	21.91	17.71	20.94	17.63	1.44	0.83	0.97	0.07
5	22.11	17.64	22.12	17.90	21.24	17.87	1.44	0.83	0.88	0.03

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται τα κέντρα βάρους του κτιρίου και τα κέντρα ελαστικής στροφής για την κάθε στάθμη. Αφαιρώντας την ελαστική στροφή στη διεύθυνση x (Χκεσ) από το κέντρο βάρους στην διεύθυνση x από σεισμό στην x (Χκβ(2)) τότε προκύπτει η ΔX. Το ίδιο ισχύει και για την διεύθυνση y.



Εικόνα 22: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n.



Εικόνα 23: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n .

Στην Εικόνα 23 το κέντρο ελαστικής στροφής βρίσκεται μακριά από το κέντρο βάρους λόγω του ότι υπάρχουν τοιχεία υπογείου στην στάθμη 2 τα οποία φαίνονται με κίτρινο χρώμα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι υπάρχει ανομοιομορφία σε κάτοψη λόγω ύπαρξης ισχυρών τοιχωμάτων στη μία διεύθυνση x τα οποία έχουν μεγάλη οριζόντια δυσκαμψία.

4.2.1.2.2.3 Φαινόμενα 2^{ης} τάξης (έλεγχος θ)

Πίνακας 15: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n .

A/A	W (=ΣN)	VY (=ΣQY)	VX (=ΣQX)	ΔΕΛY m	ΔΕΛX m	ΘY	ΘX	ΔY/H	ΔX/H	q
2	23717	3338	3923	7.16	3.78	0.0473	0.0212	0.0020	0.0011	3.3
3	17311	2857	2684	9.58	5.92	0.0628	0.0413	0.0031	0.0019	3.3
4	10997	2151	2082	8.78	6.01	0.0486	0.0343	0.0029	0.0020	3.3
5	5172	1241	1266	5.93	4.60	0.0267	0.0203	0.0019	0.0015	3.3

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται οι τιμές θ στην διεύθυνση x και y . Για να είναι εντάξει ο έλεγχος πρέπει το ΘY και το ΘX να είναι κάτω από 0.1 πράγμα το οποίο ισχύει.

4.2.1.2.2.4 Οπλισμοί

Πίνακας 16: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2246,8	892,18	7180,1	2851,21	10550,2	4171,50
10	358,4	222,40	2149,5	1333,68	395,4	244,90
12	416,9	372,51	2832,6	2530,81	---	---
14	1151,2	1399,95	131,7	160,16	---	---
16	579,8	920,95	324,7	515,78	---	---
18	322,7	648,71	495,4	995,93	---	---
20	275,0	682,53	1866,8	4633,01	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 5.14 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 13.02 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 4.42 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 2 = 22.58 τόνους.

Πίνακας 17: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2000,1	794,23	5897,2	2341,78	9239,0	3655,30
10	638,0	395,86	596,6	370,14	---	---
12	476,6	425,82	377,6	337,39	---	---
14	1358,5	1652,09	---	---	---	---
16	593,8	943,16	397,0	630,58	---	---
18	399,0	802,17	202,4	406,83	---	---
20	227,3	564,14	1623,5	4029,30	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 5.58 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 8.12 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.66 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 3 = 17.36 τόνους.

Πίνακας 18: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2365,8	939,47	3920,3	1556,73	7789,6	3081,90
10	104,9	65,07	499,1	309,66	302,0	187,20
12	455,5	406,99	142,2	127,09	---	---
14	1474,1	1792,70	---	---	---	---
16	376,4	597,90	505,3	802,55	---	---
18	216,4	435,04	371,7	747,23	---	---
20	83,1	206,36	1211,3	3006,15	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.44 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 6.55 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.27 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 4 = 14.26 τόνους.

Πίνακας 19: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις με τον αυξητικό συντελεστή n.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2110,3	837,98	3474,1	1379,57	8398,3	3323,20
10	15,2	9,42	398,9	247,51	351,2	217,70
12	436,0	389,53	---	---	---	---
14	1088,2	1323,38	---	---	---	---
16	340,7	541,14	761,9	1210,20	---	---
18	89,2	179,34	334,5	672,51	---	---
20	5,4	13,42	714,0	1772,05	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 3.29 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 5.28 τόνους.

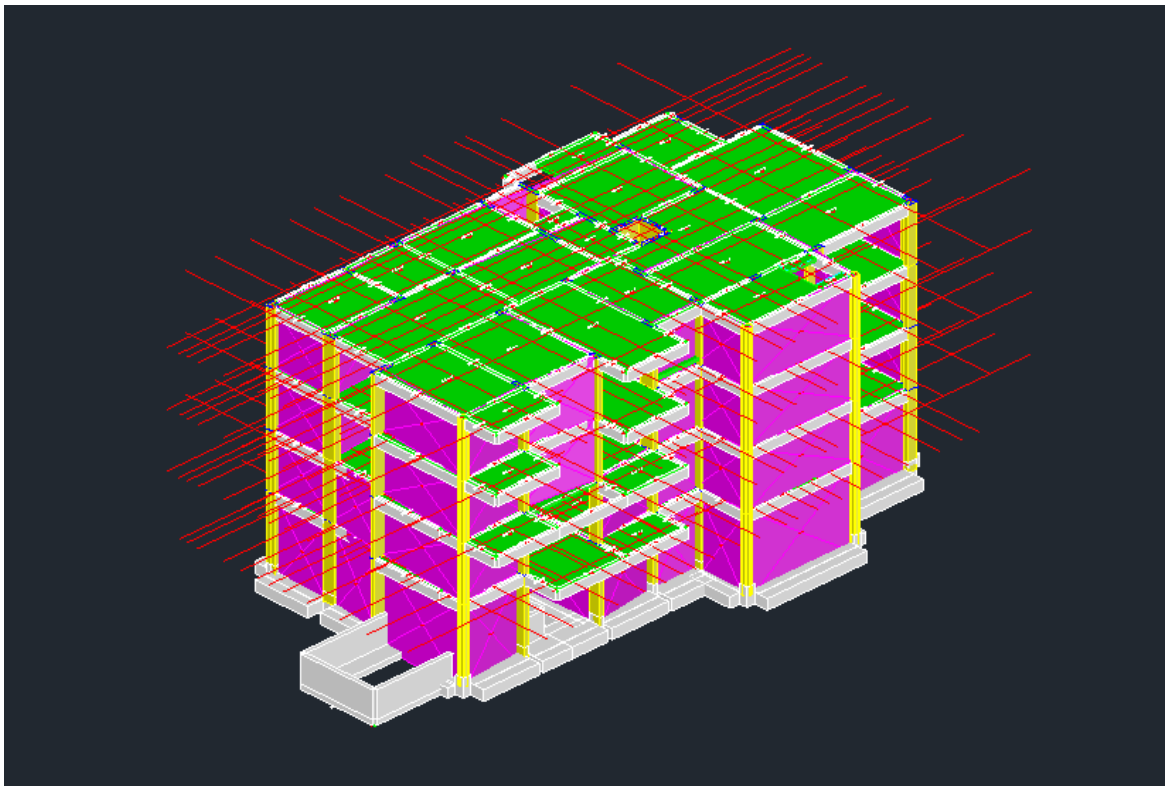
Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.54 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 5 = 12.11 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα όλου του προσομοιώματος: **66.31 τόνους.**

4.2.2 Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τα σχετικά τους ανοίγματα

Το προσομοίωμα αυτό σχεδιάστηκε, επιλύθηκε και διαστασιολογήθηκε λαμβάνοντας υπόψη και όλες τις τοιχοπληρώσεις του κτιρίου. Δεν χρειάζεται να υπολογιστεί ο συντελεστής n γιατί σε αυτό το προσομοίωμα υπάρχουν οι τοιχοπληρώσεις και έτσι δεν χρειάζεται να υπάρχει επιπρόσθετος συντελεστής αύξησης. Εξάλλου το προσομοίωμα αυτό δεν παρουσιάζει φαινόμενα πιλοτής ή μαλακού ορόφου αφού θα τοποθετηθούν τοιχοπληρώσεις σε όλες τις στάθμες του κτιρίου. Αυτό που πρέπει να υπολογισθεί είναι το πάχος, καθώς επίσης και το ισοδύναμο πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα για την κάθε τοιχοπλήρωση έτσι ώστε να τοποθετηθούν στο πρόγραμμα για να ληφθούν υπόψη οι τοιχοπληρώσεις στην επίλυση του προσομοιώματος.

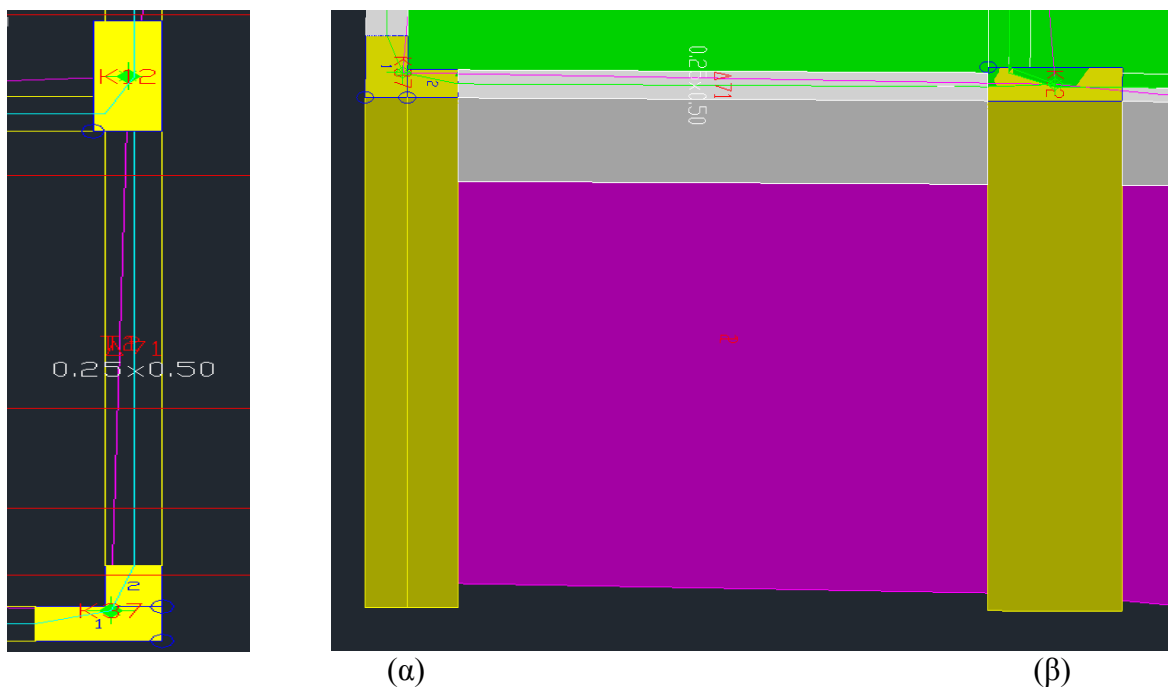


Εικόνα 24: Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις από το λογισμικό 3DR STRAD

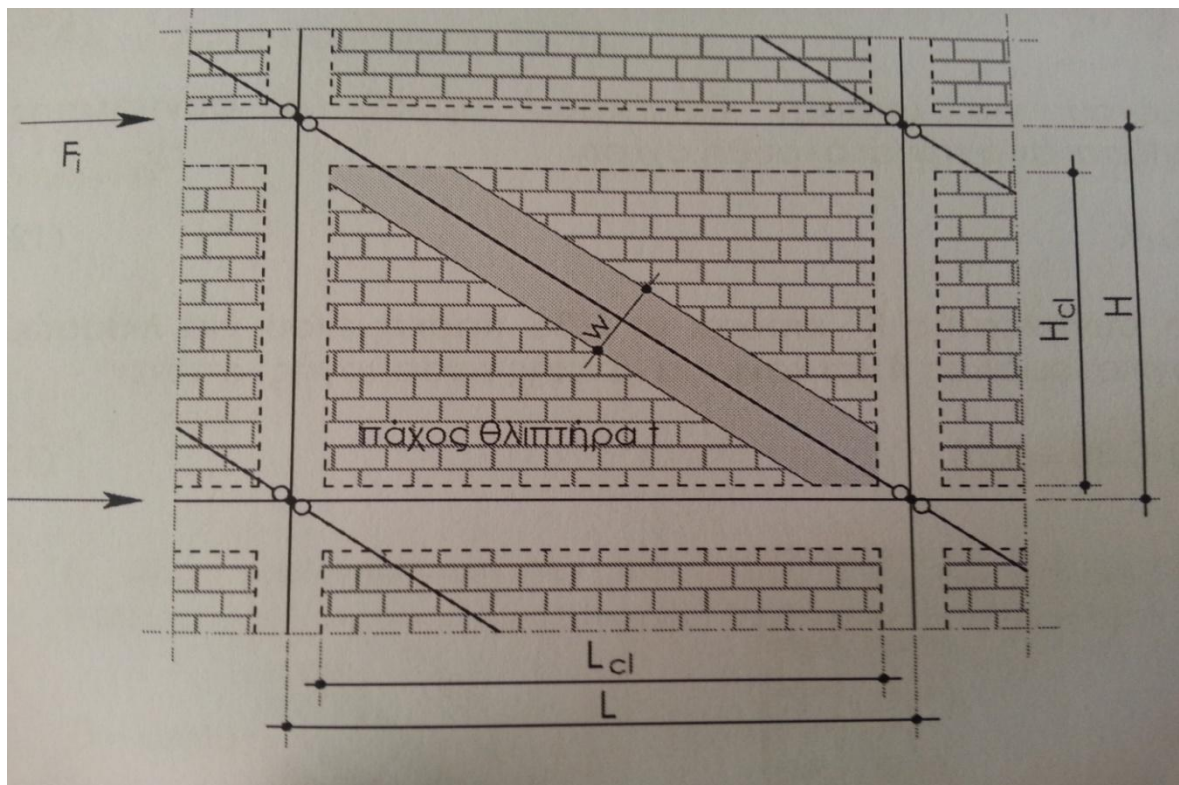
4.2.2.1 Υπολογισμός ισοδύναμου πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα της τοιχοποιίας

Στον συγκεκριμένο προσομοίωμα θα τοποθετηθούν τοιχοποιίες σε όλους τους ορόφους του κτιρίου όπου χρειάζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και τον ελληνικό κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ). Για να συμπεριληφθούν οι τοιχοπληρώσεις στην ανάλυση του προσομοιώματος πρέπει να δοθούν στο λογισμικό το πάχος της τοιχοποιίας το μέτρο Ελαστικότητας καθώς και το ισοδύναμο πλάτος του διαγώνιου στοιχείου. Για να υπολογιστούν αυτά ακολουθείται η πιο κάτω διαδικασία:

Παράδειγμα της τοιχοπλήρωσης 1 της στάθμης 3:



Εικόνα 25: Από το λογισμικό 3DR STRAD: (α) Κάτοψη τοίχου 1 στάθμης 3, (β) Όψη τοίχου 1 στάθμης 3.



Σχήμα 20: Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με ισοδύναμη θλιβόμενη διαγώνια ράβδο πλάτους w .

Κόμβος αρχής: 37

Κόμβος τέλους: 12

Σύμφωνα με το Σχήμα 20 πιο πάνω για την τοιχοπλήρωση 1 της στάθμης 3 $L_{cl}=3.15$, $L=3.90$, $H_{cl}=2.55$ και $H=3.05$.

Για το μέτρο Ελαστικότητας χρησιμοποιήθηκε η πιο κάτω εμπειρική σχέση:

$$Ew = 1000 \cdot f_k \quad (4.26)$$

όπου f_k είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος.

Σε όλες τις τοιχοπληρώσεις η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή ισούται με $f_k=1.131 \text{ MPa}$

Άρα,

$$Ew = 1000 \cdot f_k = 1000 \cdot 1.131 = 1131 \text{ MPa} \quad (4.27)$$

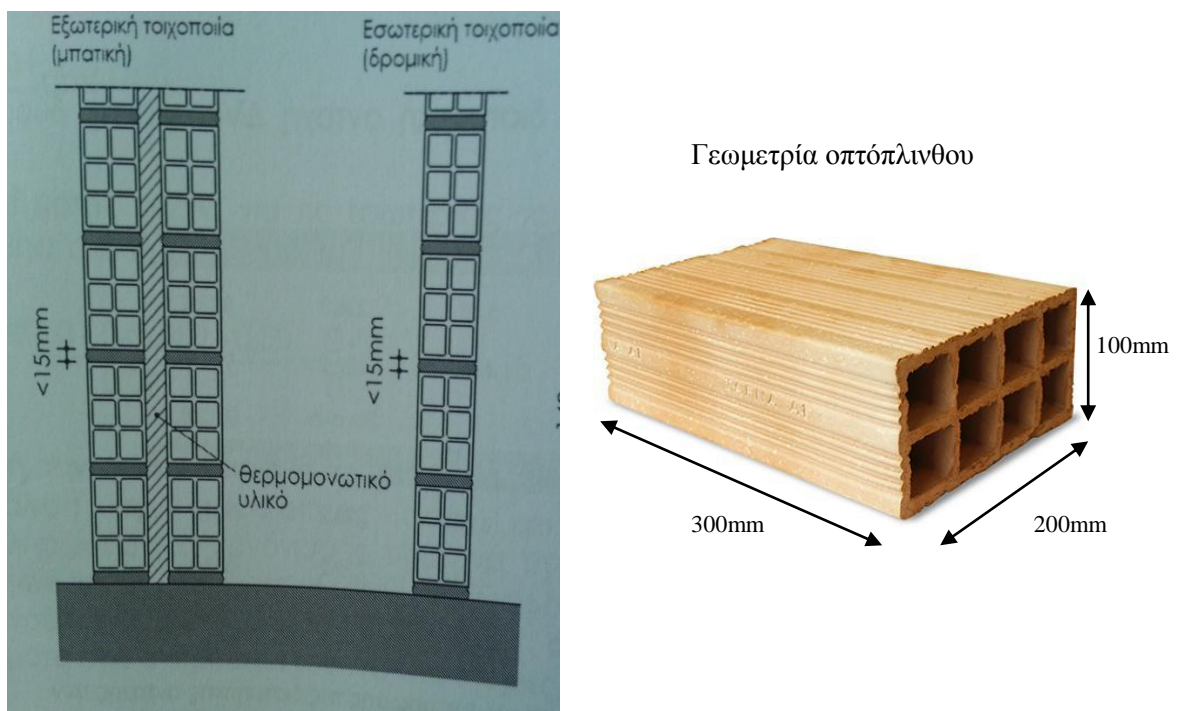
Η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 25 + 8 = 33MPa \quad (4.28)$$

Το μέτρο Ελαστικότητας του σκυροδέματος είναι:

$$E_{cm} = 22 \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3} = 22 \cdot \left[\frac{33}{10} \right]^{0.3} = 31470MPa \quad (4.29)$$

Όσον αφορά το πάχος των τοιχοπληρώσεων χρησιμοποιήθηκαν τούβλα με διαστάσεις 100x200x300mm. Για τις εσωτερικές τοιχοποιίες χρησιμοποιήθηκαν μονά τούβλα ενώ στις εξωτερικές τοιχοποιίες χρησιμοποιήθηκαν διπλά τούβλα με 5cm ενδιάμεσο κενό όπως φαίνεται στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26: Διαμόρφωση εσωτερικών και εξωτερικών τοιχοποιιών με οπτόπλινθους διαστάσεων 100x200x300mm.

Σε αυτή την περίπτωση για τον τοίχο 1 της στάθμης 3 ο οποίος είναι εξωτερικός τοίχος, το πάχος του t αφού υποθέσουμε ότι αποτελείται από δύο ανεξάρτητους τοίχους πάχους 100mm οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους ισούται με:

$$t = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} = \sqrt[3]{100^3 + 100^3} = 126\text{mm} = 0.126\text{m} \quad (4.30)$$

Για τους εσωτερικούς τοίχους το πάχος t ισούται με 0.100m.

Για τον υπολογισμό του πλάτους w χρησιμοποιήθηκαν οι πιο κάτω σχέσεις (Mainstone 1971):

$$W = \frac{0.175 \cdot Lcl}{\cos \theta (\lambda^{0.4} \cdot H^{0.4})} \quad (4.31)$$

όπου

$$\lambda = \left(\frac{Ew \cdot t \cdot \sin 2 \cdot \theta}{4 \cdot Ecm \cdot Ic \cdot Hcl} \right) \quad (4.32)$$

όπου

θ η κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα η οποία ισούται:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{3.05}{3.90} \right) = 38^\circ \quad (4.33)$$

Ecm το μέτρο Ελαστικότητας του σκυροδέματος το οποίο υπολογίσθηκε πιο πάνω.

Ic η ροπή αδρανείας της διατομής των υποστυλωμάτων που περιβάλλουν τον τοίχο. Χρησιμοποιείται εκείνη η ροπή αδρανείας που αντιστοιχεί σε κάμψη εντός του επιπέδου του τοίχου.

Σε αυτή την περίπτωση όπου έχουμε υποστυλώματα διαφορετικής διατομής εκατέρωθεν του τοίχου χρησιμοποιείται μια μέση τιμή για τη ροπή αδρανείας η οποία για αυτό το παράδειγμα ισούται:

$$I_c = 0.5 \cdot \frac{\left(\frac{0.3 \cdot 0.8^3}{12} + \frac{0.55 \cdot 0.25^3}{12} + \frac{0.25 \cdot 0.3^3}{12}\right)}{2} = 3.52 \cdot 10^{-3} m^4 \quad (4.34)$$

Ο συντελεστής 0.5 χρησιμοποιήθηκε για να ληφθεί υπόψη η επιρροή της ρηγμάτωσης στη δυσκαμψία του στοιχείου.

Εφαρμόζοντας την σχέση 4.32 για τον υπολογισμό του συντελεστή λ είναι:

$$\lambda = \left(\frac{1131 \cdot 0.126 \cdot \sin 2 \cdot 38}{4 \cdot 31470 \cdot 3.52 \cdot 10^{-3} \cdot 2.55}\right) = 0.1224 \quad (4.35)$$

Στις περιπτώσεις όπου η τοιχοπλήρωση έχει ανοίγματα για να συμπεριληφθούν και αυτά μέσα στην ανάλυση για τον υπολογισμό του συντελεστή λ χρησιμοποιήθηκε η πιο κάτω σχέση (P.G. Asteris (2003, 2008)):

$$\lambda = 1 - 2 \cdot a_w^{0.54} + a_w^{1.14} \quad (4.36)$$

όπου το a_w είναι το ποσοστό ανοίγματος στην τοιχοπλήρωση.

Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ.) στις τοιχοπληρώσεις όπου υπήρχε άνοιγμα το οποίο βρισκόταν στο άκρο τους φατνώματος η τοιχοπλήρωση αγνοείτο. Όταν υπήρχε άνοιγμα το οποίο δεν ήταν στην άκρη του φατνώματος και οι διαστάσεις του ήταν μικρότερες από το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος τότε το άνοιγμα αγνοείτο και λαμβανόταν υπόψη η τοιχοπλήρωση σαν να μην είχε άνοιγμα. Όταν υπήρχε άνοιγμα το οποίο δεν ήταν στην άκρη του φατνώματος και οι διαστάσεις του ήταν μεταξύ 20-50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος τότε το άνοιγμα λαμβανόταν υπόψη και χρησιμοποιούταν η σχέση 4.36 για τον υπολογισμό του συντελεστή λ . Σύμφωνα με τον κανονισμό αν υπήρχε άνοιγμα το οποίο δεν ήταν στην άκρη του φατνώματος και οι διαστάσεις του ανοίγματος ήταν μεγαλύτερες από το 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος τότε η τοιχοπλήρωση αγνοείτο αλλά τέτοια περίπτωση δεν βρέθηκε στο συγκεκριμένο μοντέλο.

Τελικά το πλάτος w του διαγώνιου στοιχείου για αυτό το παράδειγμα ισούται:

$$w = \frac{0.175 \cdot 3.15}{\cos((38) \cdot (0.1224^{0.4} \cdot 3.05^{0.4}))} = 0.606m \quad (4.37)$$

Επίσης, το πλάτος w μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά με το να ληφθεί ίσο με το 15% του μήκους της διαγωνίου της τοιχοποιίας L_d :

$$L_d = \sqrt{Lcl^2 + Hcl^2} = \sqrt{3.15^2 + 2.55^2} = 4.053m \quad (4.38)$$

Άρα

$$w = 0.15 \cdot L_d = 0.15 \cdot 4.053 = 0.608m \quad (4.39)$$

Παρατηρώντας τις δύο τιμές του πλάτους w που προκύπτουν βλέπουμε ότι βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Παρ' όλα αυτά οι υπολογισμοί του πλάτους w σε όλες τις τοιχοπληρώσεις όλων των σταθμών υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τις σχέσεις 4.31, 4.32 (Mainstone 1971) και τη σχέση 4.36 (P.G. Asteris (2003, 2008)).

Στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 20, 21, 22, 23) παρουσιάζονται οι τιμές του πάχους της τοιχοπλήρωσης, η κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα, ο συντελεστής λ και το πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα για την κάθε τοιχοπλήρωση του κτιρίου σε όλες τις στάθμες. Τα αποτελέσματα αυτά βρέθηκαν με την πιο πάνω διαδικασία.

όπου,

- * άνοιγμα μεταξύ 20-50% στην τοιχοπλήρωση το οποίο λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα.
- ** άνοιγμα κάτω από 20% στην τοιχοπλήρωση το οποίο δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα.
- *** άνοιγμα στο άκρο του φατνώματος και έτσι η τοιχοπλήρωση δεν λαμβάνεται υπόψη.

Πίνακας 20: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 2.

Στάθμη 2						
Αριθμός τοίχου	Κόμβος αρχής	Κόμβος τέλους	t-πάχος τοιχοποιίας (σε m)	Θ-κλίση διαγώνιου θλιπτήρα (σε μοίρες)	Συντελεστής λ	W- Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα (σε m)
1	37	12	0.126	38	0.1224	0.6114
2	6	11	0.1	41.9	0.0727	0.5321
3	4	9	0.1	38	0.0214	0.5024
4*	3	8	0.1	38.75	0.2711	0.5510
5***	2	13	---	---	---	---
6***	36	7	---	---	---	---
7	12	19	0.126	38	0.1194	0.6488
8**	10	17	0.1	36.31	0.5738	0.9724
9***	8	31	---	---	---	---
10**	13	20	0.1	37.67	0.4029	0.8567
11	7	14	0.126	28.8	0.0519	0.8469
12	19	28	0.126	27.7	0.3888	1.0914
13	18	27	0.1	29	0.0532	0.8838
14	17	26	0.1	26.95	0.1423	1.0291
15	16	25	0.1	28.92	0.1065	0.9234
16	15	24	0.1	40.27	0.0390	0.4946
17	20	22	0.1	39.5	0.4088	0.8275
18	14	21	0.126	39	0.1174	0.5640
19	24	30	0.126	43	0.1384	0.5339
20	22	29	0.126	45.5	0.4624	0.7568
21	2	3	0.1	27.95	0.0114	0.9703
22	11	12	0.1	34.4	0.0949	0.7308
23	10	11	---	---	---	---
24	9	10	0.1	27.5	0.0245	0.9144
25	8	9	0.1	51.8	0.019	0.3926
26	48	7	0.126	43.2	0.0886	0.5918
27	13	32	0.1	35.6	0.3335	0.5829
28	18	19	0.1	44.25	0.5337	0.6218
29	17	18	0.1	34.4	0.6704	0.9287
30	16	17	0.1	36.2	0.9077	1.0823
31*	35	16	0.1	32.7	0.3210	0.9122
32	20	15	0.1	23.4	0.0389	1.1105
33	14	20	0.1	25	0.090	1.0413
34	27	28	0.126	38	0.1164	0.6861
35	25	26	0.1	38.4	0.0780	0.6777
36	24	25	0.126	45	0.0838	0.5455
37	23	24	0.1	41	0.1163	0.5995
38	22	23	0.1	40.8	0.4412	0.6544
39	21	22	0.126	25.3	0.2287	1.0280
40	29	30	0.126	24	0.3299	1.2170

Πίνακας 21: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 3.

Στάθμη 3						
Αριθμός τοίχου	Κόμβος αρχής	Κόμβος τέλους	t-πάχος τοιχοποιίας (σε m)	Θ-κλίση διαγώνιου θλιπτήρα(σε μοίρες)	Συντελεστής λ	W-Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα(σε m)
1	37	12	0.126	38	0.1224	0.6114
2	6	11	0.1	41.9	0.0727	0.5321
3	5	10	0.1	39.5	0.6289	0.9647
4	4	9	0.1	38	0.0214	0.5024
5	3	8	0.1	38.75	0.0175	0.4562
6	2	13	0.1	30.04	0.0715	0.8490
7	12	19	0.126	38	0.1194	0.6488
8	10	17	0.1	36.31	0.5738	0.9724
9***	8	31	---	---	---	---
10***	13	20	---	---	---	---
11***	7	14	---	---	---	---
12**	19	28	0.126	27.7	0.3888	1.0914
13	18	27	0.1	29	0.0879	0.9064
14***	17	26	---	---	---	---
15**	16	25	0.1	28.92	0.1065	0.9224
16	15	24	0.1	40.27	0.0390	0.4946
17	20	22	0.1	39.5	0.4088	0.8275
18	14	21	0.126	39	0.1174	0.5640
19	24	30	0.126	43	0.1384	0.5339
20	22	29	0.126	45.5	0.4624	0.7568
21	6	37	0.126	33	0.0724	0.7730
22	5	6	0.126	43.2	0.0933	0.5458
23	4	5	0.126	28.8	0.0789	0.9298
24**	3	4	0.126	51.23	0.0249	0.3962
25	2	3	0.126	28	0.0222	0.9671
26	11	12	0.1	34.4	0.0949	0.7308
27	10	11	0.1	42.75	0.5665	0.6866
28	9	10	0.1	27.5	0.0245	0.9144
29	8	9	0.1	51.8	0.0190	0.3926
30	13	32	0.1	35.6	0.3335	0.5829
31	18	19	0.1	44.25	0.5337	0.6218
32**	17	18	0.1	34	0.6704	0.9287
33	35	16	0.1	32.7	0.3204	0.9120
34	20	15	0.1	23.4	0.0389	1.1105
35*	14	20	0.1	25	0.1601	1.0627
36	27	28	0.126	38	0.1164	0.6861
37*	25	26	0.1	38.4	0.2189	0.7484
38	24	25	0.126	45	0.0838	0.5455
39***	23	24	---	---	---	---
40	22	23	0.1	40.8	0.4412	0.6544
41***	21	22	---	---	---	---
42	29	30	0.126	24	0.3299	1.2170

Πίνακας 22: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 4.

Στάθμη 4						
Αριθμός τοίχου	Κόμβος αρχής	Κόμβος τέλους	t-πάχος τοιχοποιίας (σε m)	Θ-κλίση διαγώνιου θλιπτήρα(σε μοίρες)	Συντελεστή ξ λ	W-Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα (σε m)
1	37	12	0.126	38	0.1224	0.6114
2***	6	11	---	---	---	---
3***	5	10	---	---	---	---
4	4	9	0.1	38	0.0214	0.5024
5	3	8	0.1	38.75	0.0175	0.4562
6	2	13	0.1	30.6	0.1065	0.8633
7***	12	19	---	---	---	---
8***	8	31	---	---	---	---
9***	13	20	---	---	---	---
10***	7	14	---	---	---	---
11	19	28	0.126	27.7	0.3888	1.0914
12***	18	27	---	---	---	---
13	17	26	0.1	26.95	0.219	1.0546
14	16	25	0.1	28.92	0.1065	1.0183
15	15	24	0.1	40.27	0.039	0.4946
16	20	22	0.1	39.5	0.6651	0.9899
17*	14	21	0.126	39	0.2189	0.6063
18	24	30	0.126	43	0.1384	0.5339
19	22	29	0.126	45.5	0.5284	0.8039
20	6	37	0.126	33.3	0.0272	0.7523
21*	5	6	0.126	43.2	0.2095	0.6066
22**	4	5	0.126	28.8	0.0789	0.9298
23**	3	4	0.126	51.23	0.0249	0.3962
24	2	3	0.126	28	0.0222	0.9671
25	11	12	0.1	34.4	0.0949	0.7308
26	10	11	0.1	40.7	0.7574	0.9130
27	9	10	0.1	28.6	0.0255	0.9160
28	8	9	0.1	51.8	0.019	0.3926
29	13	32	0.1	34	0.3843	0.6942
30	18	19	0.1	44.25	0.5337	0.6218
31	17	18	0.1	34	0.7425	0.9778
32	16	17	0.1	36.3	0.9889	1.1400
33**	35	16	0.1	32.7	0.3204	0.9120
34	20	15	0.1	22.7	0.0627	1.2064
35	14	20	0.1	25.8	0.2236	1.0863
36	27	28	0.126	38	0.1164	0.6861
37	26	27	0.126	34.7	0.0967	0.7794
38	24	25	0.126	45	0.1465	0.5642
39***	23	24	---	---	---	---
40***	22	23	---	---	---	---
41***	21	22	---	---	---	---
42	29	30	0.126	24	0.3299	1.2170

Πίνακας 23: Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα για όλες τις τοιχοπληρώσεις στη στάθμη 5.

Στάθμη 5						
Αριθμός τοίχου	Κόμβος αρχής	Κόμβος τέλους	t-πάχος τοιχοποιίας (σε m)	Θ-κλίση διαγώνιου θλιπτήρα(σε μοίρες)	Συντελεστή ξ λ	W-Πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα (σε m)
1	37	12	0.126	38	0.1438	0.6212
2***	6	11	---	---	---	---
3***	5	10	---	---	---	---
4	4	9	0.1	38	0.0214	0.5024
5	3	8	0.1	38.75	0.0175	0.4562
6	2	13	0.1	30.6	0.1065	0.8633
7***	12	19	---	---	---	---
8***	8	31	---	---	---	---
9***	13	20	---	---	---	---
10***	7	14	---	---	---	---
11	19	28	0.126	27.7	0.3888	1.0914
12***	18	27	---	---	---	---
13	17	26	0.1	26.95	0.2190	1.0546
14	16	25	0.1	28.92	0.1065	1.0183
15	15	24	0.1	40.27	0.0390	0.4946
16	20	22	0.1	39.5	0.6651	0.9899
17*	14	21	0.126	39	0.2189	0.6063
18	24	30	0.126	43	0.1384	0.5339
19	22	29	0.126	45.5	0.5284	0.8039
20	6	37	0.126	33.3	0.0272	0.7523
21*	5	6	0.126	43.2	0.2095	0.6066
22**	4	5	0.126	28.8	0.0789	0.9298
23**	3	4	0.126	51.23	0.0249	0.3962
24	2	3	0.126	28	0.0245	0.9771
25	11	12	0.1	34.40	0.1133	0.7481
26	10	11	0.1	40.7	0.7574	0.9130
27	9	10	0.1	28.6	0.0255	0.9160
28	8	9	0.1	51.8	0.0190	0.3926
29	13	32	0.1	34	0.3843	0.6942
30	18	19	0.1	44.25	0.5337	0.6218
31	17	18	0.1	34	0.7425	0.9778
32	16	17	0.1	36.3	0.9889	1.1400
33**	35	16	0.1	32.7	0.3204	0.9120
34	20	15	0.1	22.7	0.0868	1.2143
35*	14	20	0.1	25.8	0.2236	1.0863
36	27	28	0.126	38	0.1164	0.6861
37	26	27	0.126	34.7	0.0966	0.7794
38	24	25	0.126	45	0.1465	0.5642
39***	23	24	---	---	---	---
40***	22	23	---	---	---	---
41***	21	22	---	---	---	---
42	29	30	0.126	24	0.3299	1.2170

4.2.2.2 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD

4.2.2.2.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά

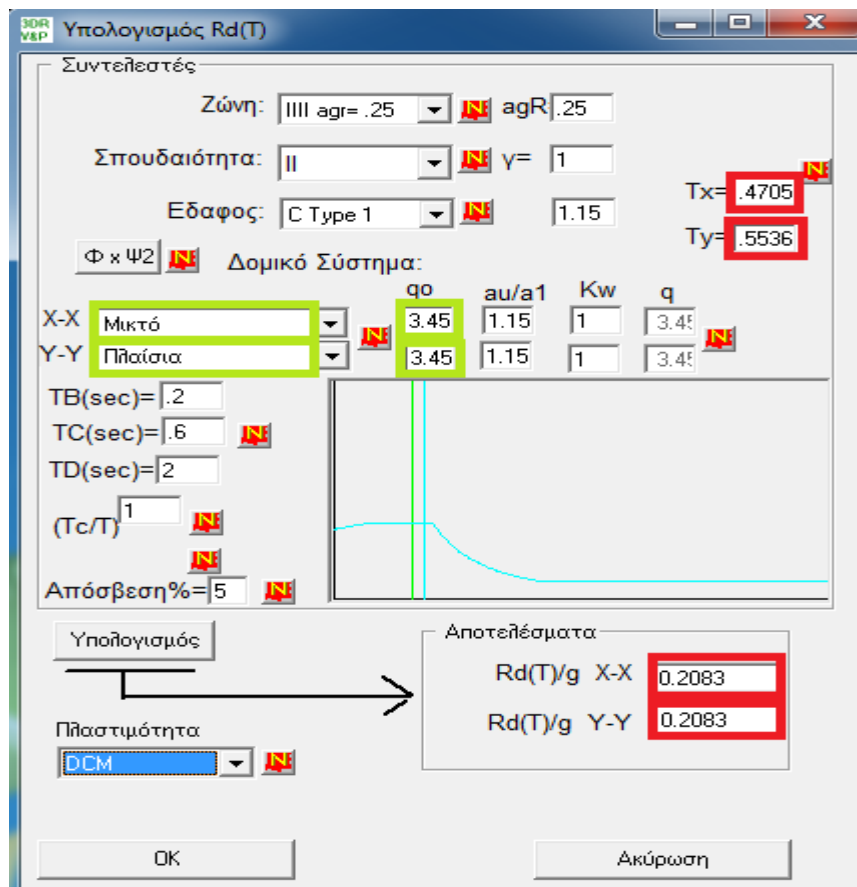
Σε αυτό το δεύτερο προσομοίωμα το οποίο είναι το τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του που προκύπτουν είναι:

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση x: 0.2083.

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση y: 0.2083.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση x: $T_x = 0.4705s$.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση y: $T_y = 0.5536s$.



Εικόνα 27: Φάσμα σεισμικού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.

Όπως φαίνεται και στην πιο πάνω εικόνα μέσα σε κόκκινο πλαίσιο είναι τα αποτελέσματα του προσομοιώματος του αντισεισμικού συντελεστή και της ιδιοπεριόδου στην κάθε διεύθυνση. Στην εικόνα 27 επίσης φαίνεται το φάσμα σχεδιασμού του προσομοιώματος και σε ποιο σημείο του βρίσκονται οι 2 ιδιοπεριόδοι όπου σε αυτό το παράδειγμα και οι δύο ιδιοπεριόδοι βρίσκονται στο ψηλότερο σημείο του φάσματος σχεδιασμού στο οποίο είναι μεταξύ της T_B και της T_C που είναι η περιοχή που αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική επιτάχυνση.

όπου

T_B η περίοδος του κάτω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

T_C η περίοδος του άνω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

Πίνακας 24: Ιδιοπεριόδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

Ti	Bd(t)	Rd(t)	TiTi-3	TiTi-2	TiTi-1	TiTi	TiTi+1	TiTi+2	TiTi+3	X	Y
[sec]										[%%]	[%%]
0.578	2.500	1.777				1.0000	0.4431	0.1241	0.0058	5.20	61.20
0.517	2.500	1.777			0.4431	1.0000	0.3015	0.0075	0.0054	26.40	20.40
0.444	2.500	1.777		0.1241	0.3015	1.0000	0.0109	0.0075	0.0061	46.20	0.70
0.184	2.512	1.785	0.0058	0.0075	0.0109	1.0000	0.3068	0.1423	0.1324	0.40	5.00
0.158	2.530	1.799	0.0054	0.0075	0.3068	1.0000	0.5300	0.4783	0.3881	2.90	6.70
0.144	2.540	1.806	0.0061	0.1423	0.5300	1.0000	0.9896	0.9109	0.8078	0.00	0.00
0.143	2.542	1.807	0.1324	0.4783	0.9896	1.0000	0.9576	0.8707	0.5702	9.20	0.70
0.140	2.544	1.808	0.3881	0.9109	0.9576	1.0000	0.9703	0.6982	0.6439	0.00	0.00
0.137	2.545	1.809	0.8078	0.8707	0.9703	1.0000	0.8112	0.7557	0.6672	0.00	0.10
0.131	2.550	1.813	0.5702	0.6982	0.8112	1.0000	0.9926	0.9524	0.8848	0.20	0.00
0.130	2.551	1.813	0.6439	0.7557	0.9926	1.0000	0.9814	0.9298	0.8716	0.10	0.20
0.128	2.552	1.814	0.6672	0.9524	0.9814	1.0000	0.9815	0.9429	0.7840	0.10	0.00
0.126	2.553	1.815	0.8848	0.9298	0.9815	1.0000	0.9882	0.8693	0.6413	0.20	0.10
0.125	2.554	1.816	0.8716	0.9429	0.9882	1.0000	0.9280	0.7102	0.5597	0.00	0.00

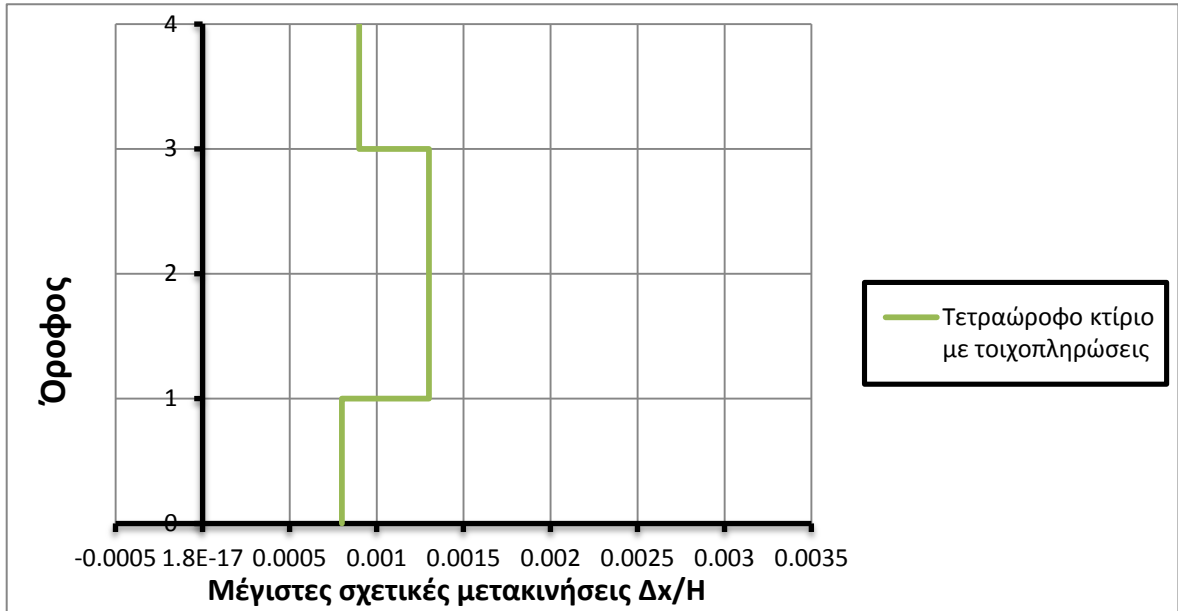
0.121	2.557	1.818	0.7840	0.8693	0.9280	1.0000	0.8853	0.7303	0.6729	0.10	0.10
0.117	2.560	1.820	0.6413	0.7102	0.8853	1.0000	0.9422	0.8980	0.8545	0.00	0.00
0.114	2.562	1.821	0.5597	0.7303	0.9422	1.0000	0.9921	0.9736	0.9110	0.00	0.30
0.113	2.563	1.822	0.6729	0.8980	0.9921	1.0000	0.9943	0.9525	0.8826	0.00	0.00
0.112	2.564	1.822	0.8545	0.9736	0.9943	1.0000	0.9786	0.9228	0.8652	0.00	0.00
0.111	2.565	1.823	0.9110	0.9525	0.9786	1.0000	0.9804	0.9425	0.7479	0.00	0.00
0.109	2.566	1.824	0.8826	0.9228	0.9804	1.0000	0.9890	0.8384	0.7957	0.00	0.20
0.108	2.567	1.825	0.8652	0.9425	0.9890	1.0000	0.8999	0.8614	0.8460	0.00	0.00
0.105	2.569	1.826	0.7479	0.8384	0.8999	1.0000	0.9954	0.9914	0.9171	0.00	0.00
0.104	2.570	1.827	0.7957	0.8614	0.9954	1.0000	0.9993	0.9485	0.8983	0.00	0.00
0.104	2.570	1.827	0.8460	0.9914	0.9993	1.0000	0.9587	0.9119	0.8111	0.00	0.10
0.101	2.571	1.828	0.9171	0.9485	0.9587	1.0000	0.9894	0.9297	0.9205	0.00	0.00
0.100	2.572	1.829	0.8983	0.9119	0.9894	1.0000	0.9714	0.9650	0.9151	0.00	0.00
0.099	2.573	1.829	0.8111	0.9297	0.9714	1.0000	0.9996	0.9826		0.00	0.00
0.098	2.574	1.829	0.9205	0.9650	0.9996	1.0000	0.9872			0.00	0.00
0.097	2.574	1.830	0.9151	0.9826	0.9872	1.0000				0.00	0.10
										91	96

Με τις 30 ιδιομορφές που χρησιμοποιήθηκαν ενεργοποιείται 91% της μάζας στη διεύθυνση x και 96% της μάζας στη διεύθυνση y. Στις πρώτες 3 ιδιομορφές που είναι και οι πιο σημαντικές έχουμε:

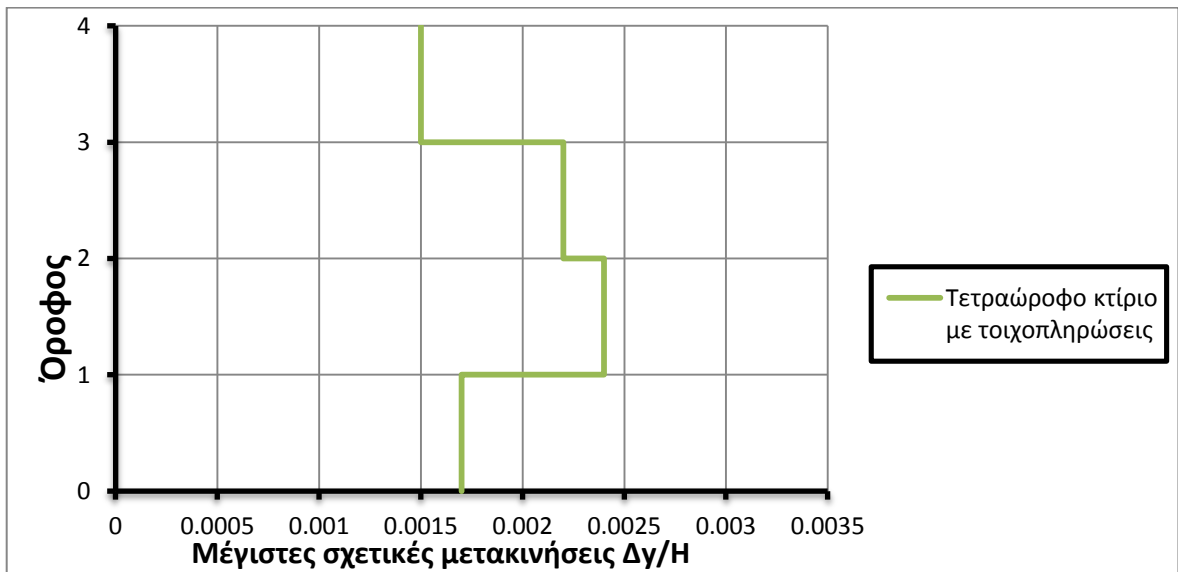
- Ιδιομορφή 1: περισσότερο μεταφορική κατά y.
- Ιδιομορφή 2: στρεπτική.
- Ιδιομορφή 3: περισσότερο μεταφορική κατά x.

Πίνακας 25: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις σε κάθε στάθμη στις διευθύνσεις y και x.

Στάθμη	$\Delta Y/H$ (m)	$\Delta X/H$ (m)
2	0.0017	0.0008
3	0.0024	0.0013
4	0.0022	0.0013
5	0.0015	0.0009



Σχήμα 21: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.



Σχήμα 22: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

4.2.2.2 Κανονικότητα

Οι τιμές των τεμνουσών βάσεων για σεισμική διέγερση κατά τη διεύθυνση x και y του κτιρίου από το λογισμικό 3DR STRAD είναι:

$$V_{Ed,x} = F_{b,x} = 4199.182 \text{ KN}$$

και

$$V_{Ed,y} = F_{b,y} = 4199.182 \text{ KN}$$

Κατανομή δυνάμεων	ΠΦ1 ΠΦ2 ΠΦ3 ΠΦ4 ΠΦ5 ΠΦ6 ΠΦ7 ΠΦ8 ΠΦ9 ΠΦ10 ΠΦ11 ΠΦ12											
Στάθμη	Fz		ΣFz		Fy		ΣFy		Fx		ΣFx	
5-Όροφος	0	0	0	0	0	0	-1480.403	-1480.403	-1480.403	-1480.403	-1480.403	-1480.403
4-Όροφος	0	0	0	0	0	0	-1267.011	-1267.011	-1267.011	-1267.011	-2747.414	-2747.414
3-Όροφος	0	0	0	0	0	0	-939.2606	-939.2606	-939.2606	-939.2606	-3686.675	-3686.675
2-Υπόγειο	0	0	0	0	0	0	-512.5078	-512.5078	-512.5078	-512.5078	-4199.182	-4199.182
1-Θεμελίωση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4199.182	-4199.182

Εικόνα 28: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

Κατανομή δυνάμεων	ΠΦ1 ΠΦ2 ΠΦ3 ΠΦ4 ΠΦ5 ΠΦ6 ΠΦ7 ΠΦ8 ΠΦ9							
Στάθμη	Fz		ΣFz		Fy		ΣFy	
5-Όροφος	0	0	0	0	-1480.403	-1480.403	-1480.403	-1480.403
4-Όροφος	0	0	0	0	-1267.011	-1267.011	-1267.011	-2747.414
3-Όροφος	0	0	0	0	-939.2606	-939.2606	-939.2606	-3686.675
2-Υπόγειο	0	0	0	0	-512.5078	-512.5078	-512.5078	-4199.182
1-Θεμελίωση	0	0	0	0	0	0	0	-4199.182

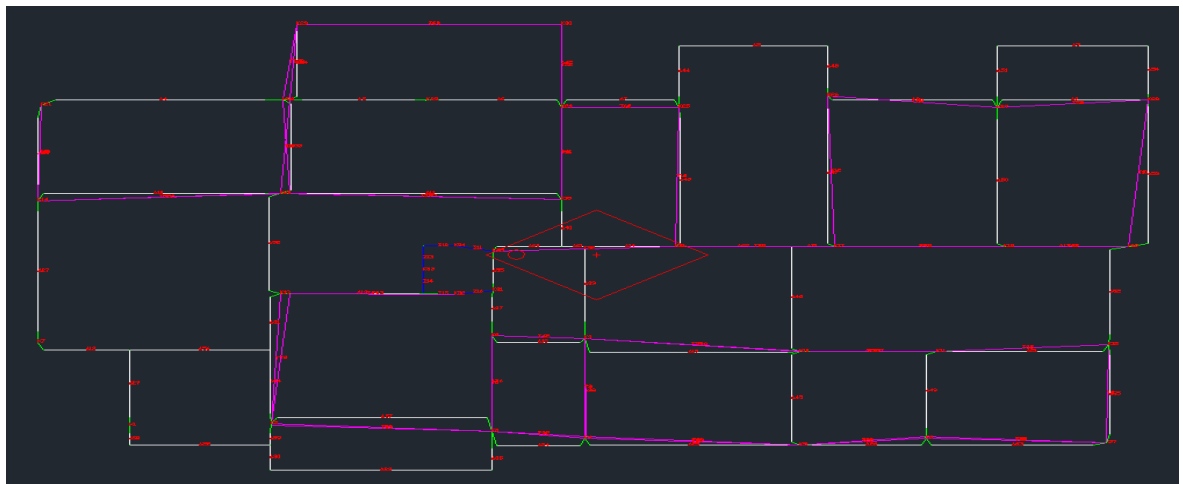
Εικόνα 29: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

Από την Εικόνα 27 με πράσινα πλαίσια φαίνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς $q_0=3.45$. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς τόσο μεγαλύτερα είναι τα φορτία. Επίσης φαίνεται και η κατάταξη του κτιρίου όπου το κτίριο κατατάσσεται ως μεικτό στη διεύθυνση x και ως πλαισιωτό στη διεύθυνση y.

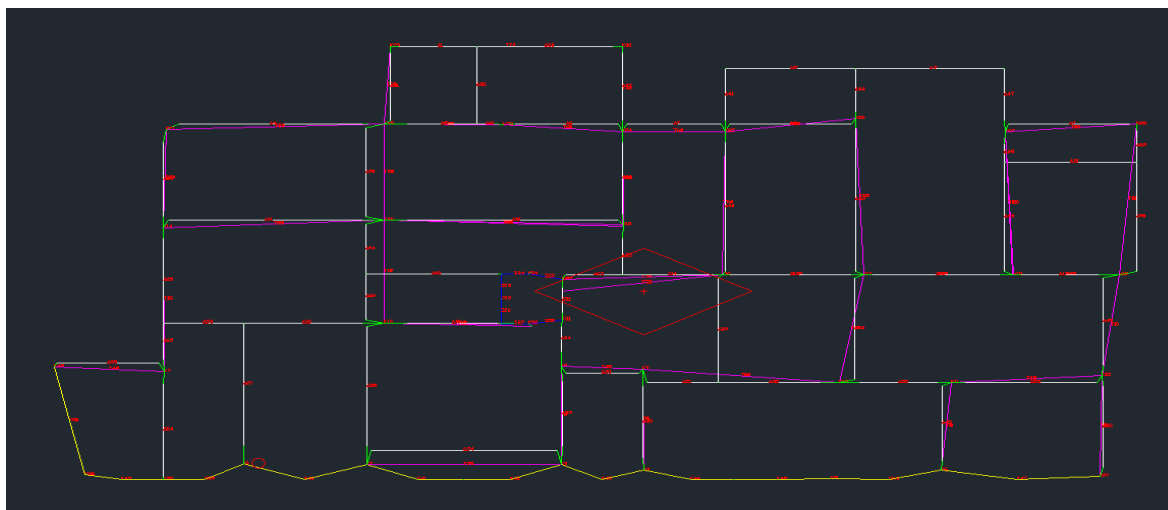
Πίνακας 26: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

στ	Χκβ(1)	Υκβ(1)	Χκβ(2)	Υκβ(3)	Χκεσ	Υκεσ	ei*LX	ei*LY	ΔX	ΔY
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	21.77	17.41	18.89	12.01	19.07	12.04	1.60	0.83	-0.18	-0.03
3	22.05	17.52	17.58	17.31	20.07	17.20	1.44	0.83	-2.49	0.11
4	22.00	17.54	20.73	18.69	21.05	17.63	1.44	0.83	-0.32	1.06
5	22.12	17.64	20.72	-171.12	21.26	17.89	1.44	0.83	-0.55	-189.01

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται τα κέντρα βάρους του κτιρίου και τα κέντρα ελαστικής στροφής για την κάθε στάθμη. Αφαιρώντας την ελαστική στρόφη στη διεύθυνση x (Χκεσ) από το κέντρο βάρους στην διεύθυνση x από σεισμό στην x (Χκβ(2)) τότε προκύπτει η ΔX. Το ίδιο ισχύει και για την διεύθυνση y.



Εικόνα 30: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.



Εικόνα 31: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στρώσης (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

Στην Εικόνα 31 το κέντρο ελαστικής στρώσης βρίσκεται μακριά από το κέντρο βάρους λόγω του ότι υπάρχουν τοιχεία υπογείου στην στάθμη 2 τα οποία φαίνονται με κίτρινο χρώμα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι υπάρχει ανομοιομορφία σε κάτοψη λόγω ύπαρξης ισχυρών τοιχωμάτων στη μία διεύθυνση x τα οποία έχουν μεγάλη οριζόντια δυσκαμψία.

4.2.2.2.3 Φαινόμενα 2^{ης} τάξης (έλεγχος θ)

Πίνακας 27: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

A/A	W	VY	VX	ΔELY	ΔELX	ΘY	ΘX	$\Delta Y/H$	$\Delta X/H$	q
	(=ΣN)	(=ΣQY)	(=ΣQX)	m	m					
2	23717	2265	2777	6.07	2.70	0.0617	0.0224	0.0017	0.0008	3.5
3	17311	1751	1331	7.28	4.07	0.0814	0.0599	0.0024	0.0013	3.5
4	10997	1382	892	6.79	3.85	0.0611	0.0537	0.0022	0.0013	3.5
5	5172	746	460	4.61	2.73	0.0362	0.0348	0.0015	0.0009	3.5

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται οι τιμές θ στην διεύθυνση x και y. Για να είναι εντάξει ο έλεγχος πρέπει το ΘY και το ΘX να είναι κάτω από 0.1 πράγμα το οποίο ισχύει.

4.2.2.2.4 Οπλισμοί

Πίνακας 28: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2204,8	875,54	6780,9	2692,68	10517,9	4158,90
10	154,4	95,79	3408,5	2114,82	395,4	244,90
12	427,8	382,25	1476,3	1319,06	---	---
14	1162,1	1413,22	---	---	---	---
16	344,5	547,26	690,0	1096,04	---	---
18	268,1	538,89	638,9	1284,47	---	---
20	60,1	149,13	788,5	1956,95	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.00 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 10.46 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 4.40 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 2 = 18.86 τόνους.

Πίνακας 29: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2309,0	916,88	4901,5	1946,36	9239,0	3655,30
10	169,4	105,09	817,2	507,07	---	---
12	483,8	432,30	58,8	52,52	---	---
14	1301,9	1583,24	---	---	---	---
16	297,0	471,68	745,9	1184,72	---	---
18	257,6	517,85	450,2	904,98	---	---
20	81,3	201,77	548,3	1360,68	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.23 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 5.96 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.66 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 3 = 13.85 τόνους.

Πίνακας 30: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2177,0	864,47	3484,4	1383,66	7789,6	3081,90
10	---	---	492,7	305,69	302,0	187,20
12	540,1	482,53	---	---	---	---
14	1293,2	1572,69	---	---	---	---
16	285,3	453,09	1074,7	1707,01	---	---
18	86,2	173,24	268,5	539,67	---	---
20	3,9	9,74	374,0	928,22	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 3.56 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 4.86 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.27 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 4 = 11.69 τόνους.

Πίνακας 31: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 5 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	1971,5	782,89	3325,7	1320,64	8398,3	3323,20
10	---	---	398,9	247,51	351,2	217,70
12	579,2	517,49	---	---	---	---
14	953,4	1159,44	---	---	---	---
16	234,5	372,55	1287,2	2044,59	---	---
18	60,6	121,75	214,8	431,73	---	---
20	12,7	31,40	170,0	421,92	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 2.99 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 4.47 τόνους.

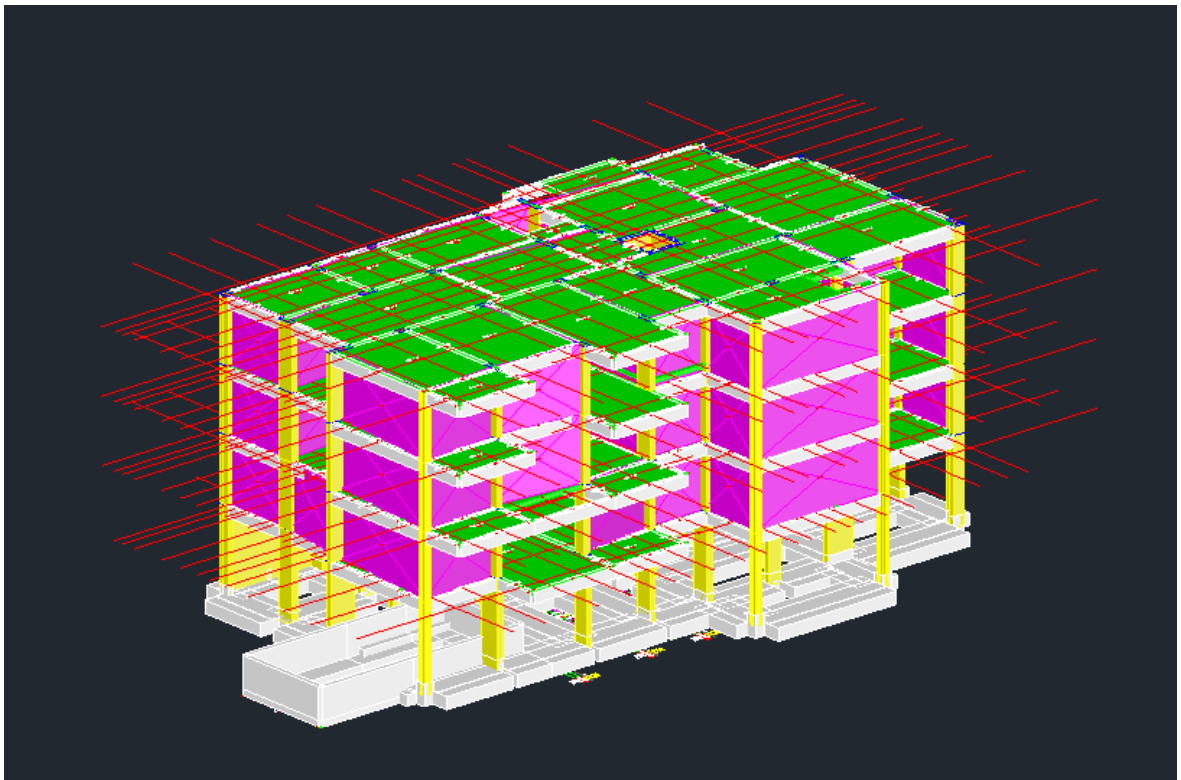
Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.54 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 5 = 11.00 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα όλου του προσομοιώματος: 55.4 τόνους.

4.2.3 Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις και τα σχετικά τους ανοίγματα με πιλοτή

Το προσομοίωμα αυτό αποτελείται από ένα τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις σε όλες τις στάθμες εκτός από την στάθμη 2 όπου υπάρχει το φαινόμενο της πιλοτής στο οποίο και οι τοιχοπληρώσεις αγνοούνται. Κατ' ακρίβεια στη στάθμη 2 υπάρχει το φαινόμενο της πιλοτής μόνο στις 3 διευθύνσεις λόγω τοιχομάτων υπογείου που υπάρχουν σε όλη τη μια διεύθυνση x . Προτιμήθηκε το προσομοίωμα αυτό λόγω του ότι είναι συχνό φαινόμενο στη πραγματικότητα και συμβαίνει όταν υπάρχει ανισοσταθμία του εδάφους. Ο αυξητικός συντελεστής η δεν υπολογίζεται ούτε και σε αυτό το προσομοίωμα για τον λόγο ότι οι τοιχοπληρώσεις των πιο πάνω ορόφων θα υπολογιστούν και θα ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυση. Αυτό που πρέπει να υπολογιστεί για να ληφθούν οι τοιχοπληρώσεις στο προσομοίωμα είναι, όπως και στο προσομοίωμα 2, το πάχος της κάθε τοιχοπλήρωσης και το ισοδύναμο πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα.



Εικόνα 32: Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις με φαινόμενο πιλοτής από το λογισμικό 3DR STRAD

4.2.3.1 Υπολογισμός ισοδύναμου πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα της τοιχοποιίας

Σε αυτό το προσομοίωμα θα τοποθετηθούν τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους του κτιρίου όπου χρειάζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και τον ελληνικό κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) εκτός από της στάθμης 2 (δηλαδή του υπογείου) στην οποία παρουσιάζεται το φαινόμενο της πιλοτής. Για να συμπεριληφθούν οι τοιχοπληρώσεις της στάθμης 3, 4 και 5 στην ανάλυση του προσομοιώματος πρέπει να δοθούν στο λογισμικό το πάχος της τοιχοποιίας το μέτρο Ελαστικότητας καθώς και το ισοδύναμο πλάτος του διαγώνιου στοιχείου. Όλα αυτά υπολογίζονται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκαν και στο προηγούμενο προσομοίωμα στην παράγραφο 4.2.2.1 απλά στην στάθμη 2 δεν θα υπολογιστούν λόγω του φαινομένου πιλοτής που παρουσιάζεται. Τα αποτελέσματα τους βρίσκονται στους Πίνακες 21, 22, και 23.

4.2.3.2 Αποτελέσματα από επίλυση στο λογισμικό 3DR STRAD

4.2.3.2.1 Δυναμικά χαρακτηριστικά

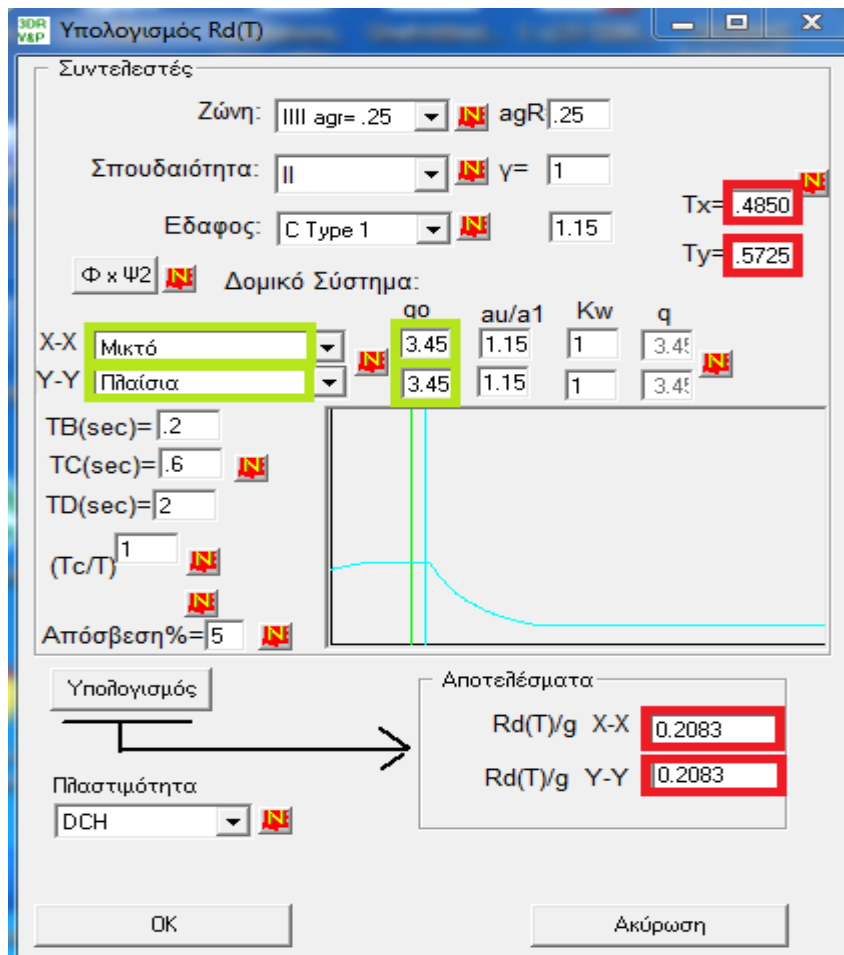
Στο τελευταίο προσομοίωμα το οποίο είναι το τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους εκτός από την στάθμη 2 η οποία είναι το υπόγειο που υπάρχει το φαινόμενο της πιλοτής, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του που προκύπτουν είναι:

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση x: 0.2083.

Αντισεισμικός συντελεστής στην διεύθυνση y: 0.2083.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση x: $T_x = 0.4850s$.

Ιδιοπερίοδος στην διεύθυνση y: $T_y = 0.5725s$.



Εικόνα 33: Φάσμα σεισμού προσομοιώματος από το λογισμικό 3DR STRAD.

Όπως φαίνεται και στην πιο πάνω εικόνα μέσα σε κόκκινο πλαίσιο είναι τα αποτελέσματα του προσομοιώματος του αντισεισμικού συντελεστή και της ιδιοπεριόδου στην κάθε διεύθυνση. Στην εικόνα 33 επίσης φαίνεται το φάσμα σχεδιασμού του προσομοιώματος και σε ποιο σημείο του βρίσκονται οι 2 ιδιοπεριόδου όπου σε αυτό το παράδειγμα και οι δύο ιδιοπεριόδου βρίσκονται στο ψηλότερο σημείο του φάσματος σχεδιασμού στο οποίο είναι μεταξύ της T_B και της T_c που είναι η περιοχή που αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική επιτάχυνση.

όπου

T_B η περίοδος του κάτω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

T_C η περίοδος του άνω ορίου της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

Πίνακας 32: Ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις με φαινόμενο πλοτής.

Ti	Bd(t)	Rd(t)	TiTi-3	TiTi-2	TiTi-1	TiTi	TiTi+1	TiTi+2	TiTi+3	X	Y
[sec]										[%%]	[%%]
0.606	2.846	2.023				1.0000	0.3984	0.0950	0.0057	8.50	54.50
0.536	2.500	1.777			0.3984	1.0000	0.2287	0.0075	0.0052	25.50	28.50
0.447	2.500	1.777		0.0950	0.2287	1.0000	0.0119	0.0079	0.0060	44.80	0.70
0.191	2.506	1.782	0.0057	0.0075	0.0119	1.0000	0.2682	0.1095	0.1087	0.30	4.30
0.162	2.527	1.797	0.0052	0.0079	0.2682	1.0000	0.4170	0.4120	0.3142	2.90	6.70
0.144	2.540	1.806	0.0060	0.1095	0.4170	1.0000	0.9999	0.9207	0.8183	1.90	0.10
0.144	2.541	1.806	0.1087	0.4120	0.9999	1.0000	0.9267	0.8259	0.5311	6.80	0.70
0.140	2.543	1.808	0.3142	0.9207	0.9267	1.0000	0.9694	0.6980	0.6348	0.00	0.00
0.138	2.545	1.809	0.8183	0.8259	0.9694	1.0000	0.8128	0.7480	0.6768	0.00	0.00
0.131	2.550	1.813	0.5311	0.6980	0.8128	1.0000	0.9900	0.9574	0.8744	0.30	0.00
0.130	2.551	1.813	0.6348	0.7480	0.9900	1.0000	0.9879	0.9280	0.8692	0.10	0.20
0.128	2.552	1.814	0.6768	0.9574	0.9879	1.0000	0.9725	0.9285	0.7890	0.20	0.00
0.126	2.553	1.815	0.8744	0.9280	0.9725	1.0000	0.9882	0.8914	0.6423	0.20	0.10
0.125	2.554	1.816	0.8692	0.9285	0.9882	1.0000	0.9457	0.7115	0.5786	0.00	0.00
0.122	2.557	1.817	0.7890	0.8914	0.9457	1.0000	0.8639	0.7266	0.6529	0.10	0.10
0.117	2.560	1.820	0.6423	0.7115	0.8639	1.0000	0.9553	0.9007	0.8709	0.00	0.00
0.115	2.562	1.821	0.5786	0.7266	0.9553	1.0000	0.9868	0.9724	0.9001	0.10	0.30
0.113	2.563	1.822	0.6529	0.9007	0.9868	1.0000	0.9972	0.9548	0.8833	0.00	0.00
0.113	2.563	1.822	0.8709	0.9724	0.9972	1.0000	0.9737	0.9121	0.8551	0.00	0.00
0.111	2.565	1.823	0.9001	0.9548	0.9737	1.0000	0.9792	0.9425	0.7435	0.00	0.00
0.109	2.566	1.824	0.8833	0.9121	0.9792	1.0000	0.9899	0.8370	0.7981	0.00	0.20
0.108	2.567	1.824	0.8551	0.9425	0.9899	1.0000	0.8963	0.8611	0.8414	0.00	0.00
0.105	2.569	1.826	0.7435	0.8370	0.8963	1.0000	0.9962	0.9912	0.9341	0.00	0.00
0.104	2.570	1.827	0.7981	0.8611	0.9962	1.0000	0.9989	0.9600	0.8980	0.00	0.00
0.104	2.570	1.827	0.8414	0.9912	0.9989	1.0000	0.9714	0.9151	0.8540	0.00	0.10
0.102	2.571	1.828	0.9341	0.9600	0.9714	1.0000	0.9826	0.9447	0.8990	0.00	0.00

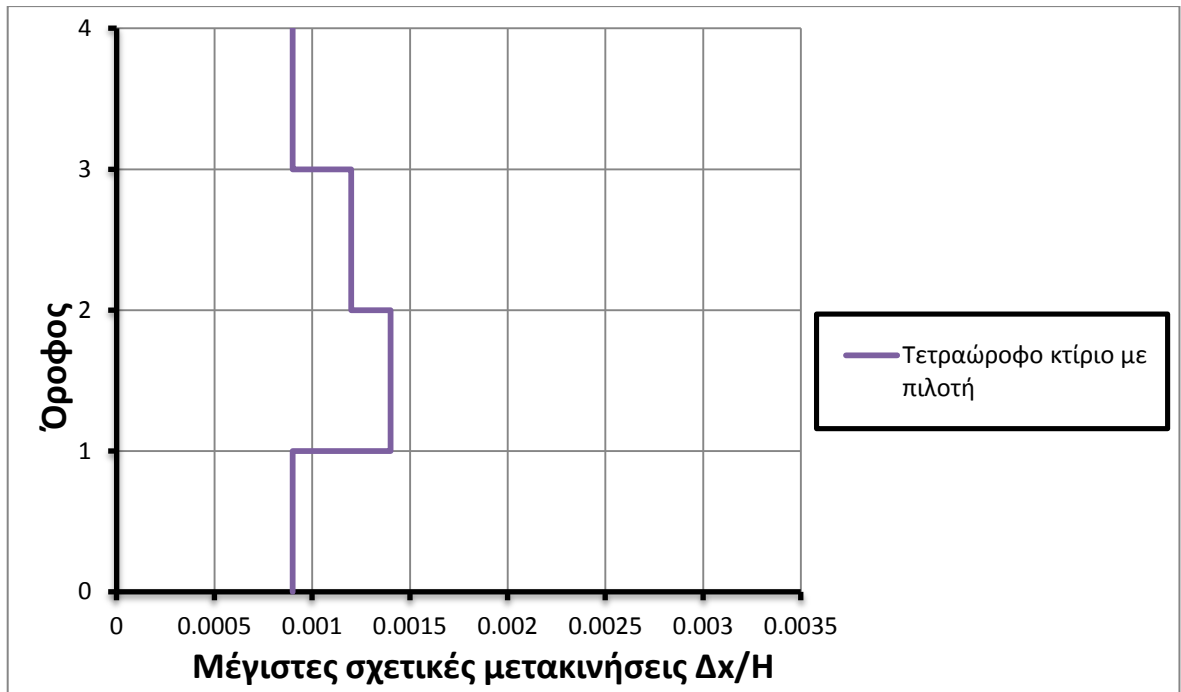
0.101	2.572	1.828	0.8980	0.9151	0.9826	1.0000	0.9883	0.9608	0.9383	0.00	0.00
0.099	2.573	1.829	0.8540	0.9447	0.9883	1.0000	0.9914	0.9787		0.00	0.00
0.099	2.574	1.829	0.8990	0.9608	0.9914	1.0000	0.9971			0.00	0.00
0.098	2.574	1.830	0.9383	0.9787	0.9971	1.0000				0.00	0.10
										92	97

Με τις 30 ιδιομορφές που χρησιμοποιήθηκαν ενεργοποιείται 92% της μάζας στη διεύθυνση x και 97% της μάζας στη διεύθυνση y. Στις πρώτες 3 ιδιομορφές που είναι και οι πιο σημαντικές έχουμε:

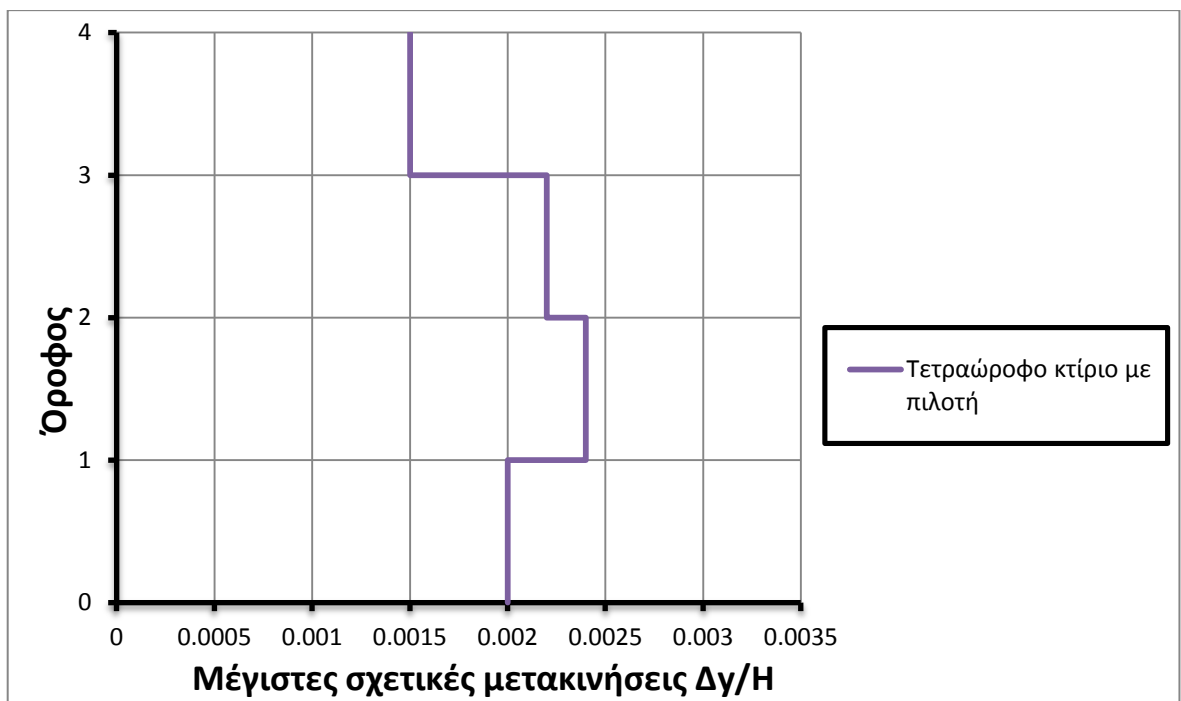
- Ιδιομορφή 1: περισσότερο μεταφορική κατά y.
- Ιδιομορφή 2: στρεπτική.
- Ιδιομορφή 3: περισσότερο μεταφορική κατά x.

Πίνακας 33: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις σε κάθε στάθμη στις διευθύνσεις y και x.

Στάθμη	$\Delta Y/H$	$\Delta X/H$
	(m)	(m)
2	0.0020	0.0009
3	0.0024	0.0014
4	0.0022	0.0012
5	0.0015	0.0009



Σχήμα 23: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση x σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με πιλοτή.



Σχήμα 24: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στη διεύθυνση y σε κάθε όροφο τετραώροφου κτιρίου με πιλοτή.

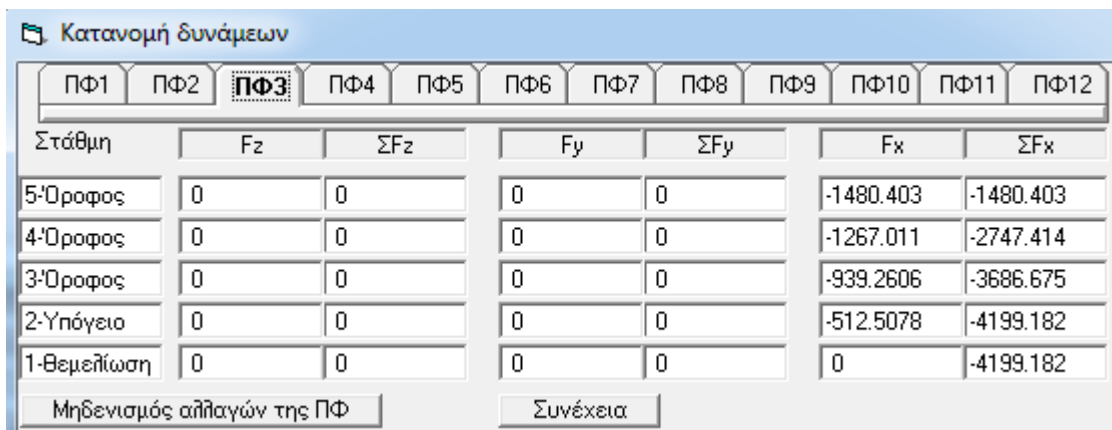
4.2.3.2.2 Κανονικότητα

Οι τιμές των τεμνουσών βάσεων για σεισμική διέγερση κατά τη διεύθυνση x και y του κτιρίου από το λογισμικό 3DR STRAD είναι:

$$V_{Ed,x} = F_{b,x} = 4199.182 \text{ KN}$$

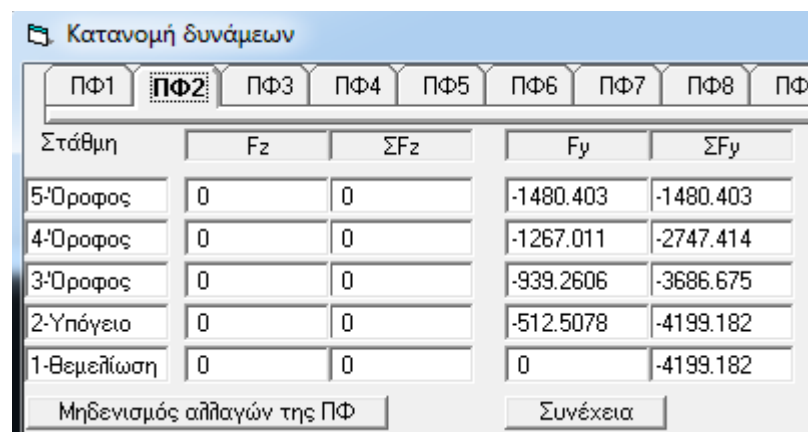
και

$$V_{Ed,y} = F_{b,y} = 4199.182 \text{ KN}$$



Κατανομή δυνάμεων						
ΠΦ1 ΠΦ2 ΠΦ3 ΠΦ4 ΠΦ5 ΠΦ6 ΠΦ7 ΠΦ8 ΠΦ9 ΠΦ10 ΠΦ11 ΠΦ12						
Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy	Fx	ΣFx
5-Όροφος	0	0	0	0	-1480.403	-1480.403
4-Όροφος	0	0	0	0	-1267.011	-2747.414
3-Όροφος	0	0	0	0	-939.2606	-3686.675
2-Υπόγειο	0	0	0	0	-512.5078	-4199.182
1-Βεμελίωση	0	0	0	0	0	-4199.182

Εικόνα 34: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση x για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.



Κατανομή δυνάμεων				
ΠΦ1 ΠΦ2 ΠΦ3 ΠΦ4 ΠΦ5 ΠΦ6 ΠΦ7 ΠΦ8 ΠΦ				
Στάθμη	Fz	ΣFz	Fy	ΣFy
5-Όροφος	0	0	-1480.403	-1480.403
4-Όροφος	0	0	-1267.011	-2747.414
3-Όροφος	0	0	-939.2606	-3686.675
2-Υπόγειο	0	0	-512.5078	-4199.182
1-Βεμελίωση	0	0	0	-4199.182

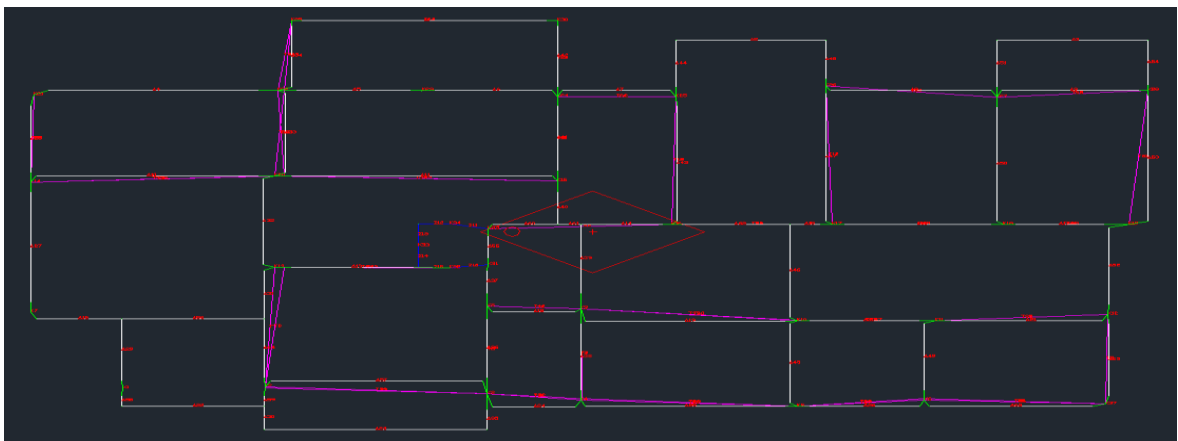
Εικόνα 35: Πίνακας από το λογισμικό 3DR STRAD που δείχνει τις τιμές των τεμνουσών στην διεύθυνση y για κάθε όροφο του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

Από την Εικόνα 33 με πράσινα πλαίσια φαίνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς $q_0=3.45$. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς τόσο μεγαλύτερα είναι τα φορτία. Επίσης φαίνεται και η κατάταξη του κτιρίου όπου το κτίριο κατατάσσεται ως μεικτό στη διεύθυνση x και ως πλαισιωτό στη διεύθυνση y.

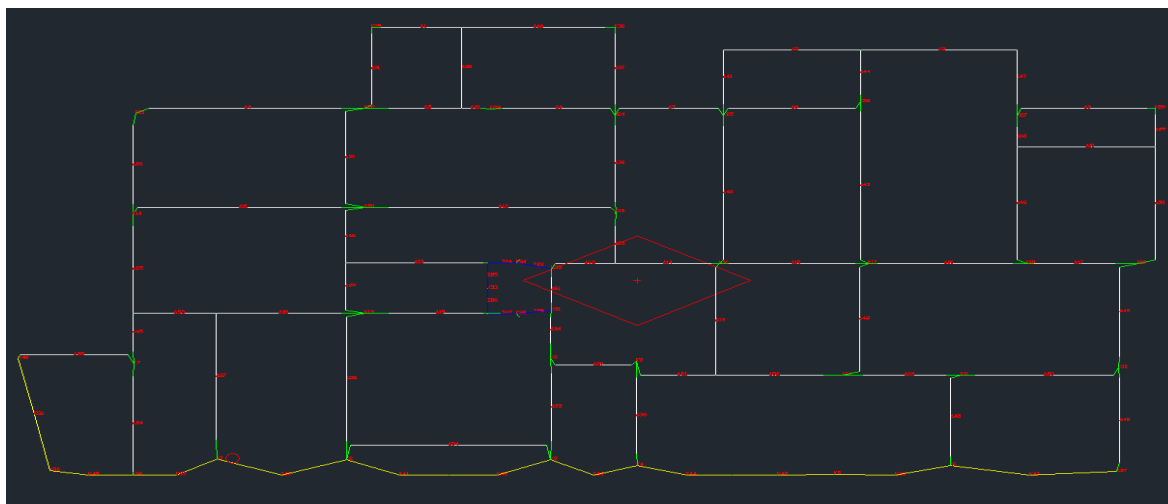
Πίνακας 34: Κέντρα βάρους και κέντρα ελαστικής στροφής τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

στ	Χκβ(1)	Υκβ(1)	Χκβ(2)	Υκβ(3)	Χκεσ	Υκεσ	ει*LX	ει*LY	ΔX	ΔY
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	21.77	17.41	20.86	14.12	19.34	12.32	1.60	0.83	1.51	1.80
3	22.05	17.52	17.08	17.17	19.93	17.11	1.44	0.83	-2.85	0.06
4	22.00	17.54	20.73	18.75	21.08	17.64	1.44	0.83	-0.35	1.11
5	22.12	17.64	20.70	-13.25	21.30	17.92	1.44	0.83	-0.60	-31.17

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται τα κέντρα βάρους του κτιρίου και τα κέντρα ελαστικής στροφής για την κάθε στάθμη. Αφαιρώντας την ελαστική στρόφη στη διεύθυνση x (Χκεσ) από το κέντρο βάρους στην διεύθυνση x από σεισμό στην x (Χκβ(2)) τότε προκύπτει η ΔX. Το ίδιο ισχύει και για την διεύθυνση y.



Εικόνα 36: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.



Εικόνα 37: Κέντρο βάρους (ρόμβος) και κέντρο ελαστικής στροφής (κύκλος) στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

Στην Εικόνα 37 το κέντρο ελαστικής στροφής βρίσκεται μακριά από το κέντρο βάρους λόγω του ότι υπάρχουν τοιχεία υπογείου στην στάθμη 2 τα οποία φαίνονται με κίτρινο χρώμα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι υπάρχει ανομοιομορφία σε κάτοψη λόγω ύπαρξης ισχυρών τοιχωμάτων στη μία διεύθυνση x τα οποία έχουν μεγάλη οριζόντια δυσκαμψία.

4.2.3.2.3 Φαινόμενα 2^{ης} τάξης (έλεγχος θ)

Πίνακας 35: Έλεγχος θ τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

A/A	W (=ΣN)	VY (=ΣQY)	VX (=ΣQX)	ΔELY m	ΔELX m	ΘY	ΘX	ΔY/H	ΔX/H	q
2	23717	3368	3393	7.18	3.20	0.0492	0.0217	0.0020	0.0009	3.5
3	17311	1669	1304	7.39	4.16	0.0868	0.0625	0.0024	0.0014	3.5
4	10997	1331	931	6.64	3.78	0.0620	0.0505	0.0022	0.0012	3.5
5	5172	728	454	4.48	2.67	0.0360	0.0344	0.0015	0.0009	3.5

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνονται οι τιμές θ στην διεύθυνση x και y. Για να είναι εντάξει ο έλεγχος πρέπει το ΘY και το ΘX να είναι κάτω από 0.1 πράγμα το οποίο ισχύει.

4.2.3.2.4 Οπλισμοί

Πίνακας 36: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 2 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2090,2	830,01	7019,6	2787,46	10517,9	4158,90
10	296,5	183,96	2611,2	1620,17	395,4	244,90
12	454,7	406,27	2240,3	2001,65	---	---
14	1101,7	1339,81	---	---	---	---
16	453,4	720,12	423,9	673,38	---	---
18	311,0	625,24	588,0	1182,08	---	---
20	57,2	142,01	1363,3	3383,39	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.25 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 11.65 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 4.40 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 2 = 20.03 τόνους.

Πίνακας 37: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 3 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2270,2	901,50	4929,4	1957,47	9239,0	3655,30
10	205,5	127,48	790,5	490,47	---	---
12	438,8	392,02	58,8	52,52	---	---
14	1301,8	1583,10	---	---	---	---
16	358,8	569,91	689,7	1095,55	---	---
18	224,8	451,98	441,9	888,37	---	---
20	90,7	225,02	620,5	1539,99	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 4.25 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 6.02 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.66 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 3 = 13.93 τόνους.

Πίνακας 38: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 4 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	2153,9	855,32	3484,2	1383,58	7789,6	3081,90
10	---	---	475,9	295,28	302,0	187,20
12	515,4	460,46	---	---	---	---
14	1282,0	1559,02	---	---	---	---
16	237,6	377,46	1138,8	1808,92	---	---
18	106,7	214,53	185,9	373,62	---	---
20	16,3	40,42	382,5	949,31	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 3.51 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 4.81 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.27 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 4 = 11.59 τόνους.

Πίνακας 39: Μήκος και βάρος οπλισμού στάθμης 5 τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και με φαινόμενο πιλοτής.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΟΚΟΙ		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		ΠΛΑΚΕΣ	
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΟΣ (Kg)
8	1874,6	744,41	3315,6	1316,61	8398,3	3323,20
10	---	---	398,9	247,51	351,2	217,70
12	589,3	526,53	---	---	---	---
14	960,8	1168,43	---	---	---	---
16	166,9	265,04	1287,2	2044,59	---	---
18	42,1	84,64	198,2	398,52	---	---
20	16,7	41,43	195,5	485,20	---	---

Ολικό βάρος χάλυβα δοκών = 2.83 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα υποστυλωμάτων = 4.49 τόνους.

Ολικό βάρος χάλυβα πλακών = 3.54 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα στάθμης 5 = 10.86 τόνους.

Συνολικό βάρος χάλυβα όλου του προσομοιώματος: 56.41 τόνους.

5. Συμπεράσματα

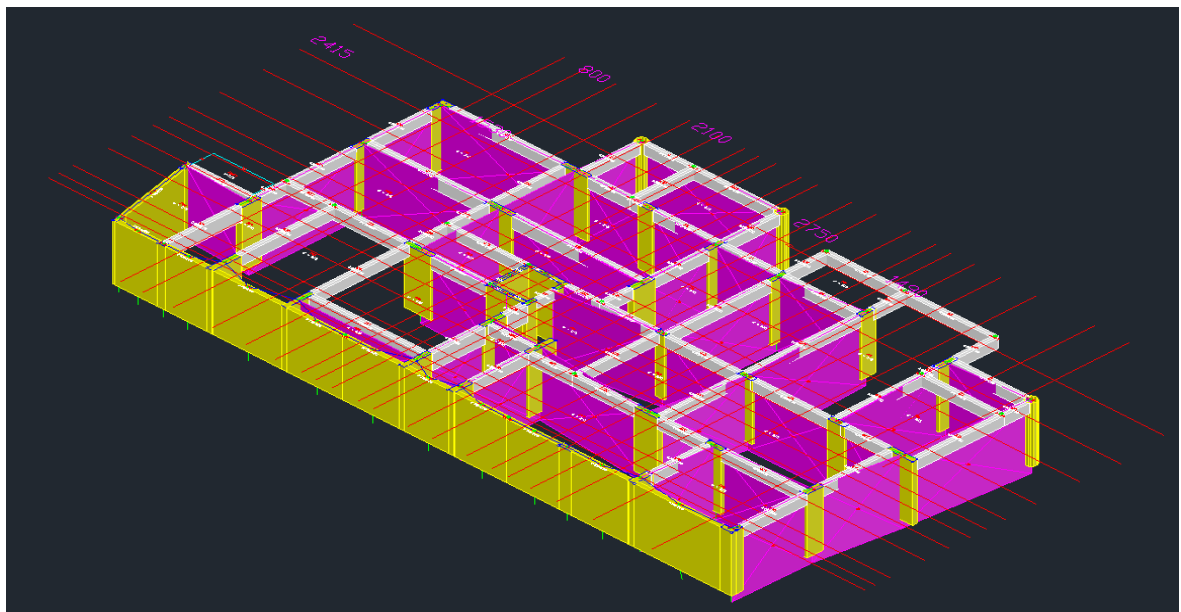
Στην παρούσα διπλωματική μελέτη πραγματοποιήθηκε μια αριθμητική διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων σε πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό σεισμικά φορτία με προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων με τη μέθοδο της διπλής θλιβόμενης διαγωνίου. Πραγματοποιήθηκαν φασματικές αναλύσεις για διάφορες διατάξεις των τοιχοπληρώσεων. Συγκεκριμένα τα προσομοιώματα που αναλύθηκαν ήταν κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο αυξητικός συντελεστής η και λαμβάνοντας υπόψη τον αυξητικό συντελεστή η , κτίριο με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους και κτίριο με τοιχοπληρώσεις με παρουσία μαλακού ορόφου (πυλωτής) στις 3 διευθύνσεις, στην στάθμη 2 (υπόγειο).

5.1 Διαφοροποιήσεις στα δυναμικά χαρακτηριστικά

Από τον πιο κάτω πίνακα παρατηρούμε ότι ο αντισεισμικός συντελεστής των προσομοιωμάτων δεν άλλαξε και πολύ από προσομοίωμα σε προσομοίωμα. Υπάρχει μια μικρή διαφορά μεταξύ του προσομοιώματος 1α και 1β σε σχέση με τα προσομοιώματα 2 και 3, διαφορά η οποία βασίζεται στις τοιχοπληρώσεις. Η σημαντική διαφορά όμως παρουσιάζεται στις ιδιοπερίόδους, στις οποίες σε όλα τα προσομοιώματα η ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση x είναι πιο μικρή από την διεύθυνση y . Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι υπάρχουν σε όλα τα προσομοιώματα τοιχεία υπογείου στη στάθμη 2 τα οποία βρίσκονται όλα στη x διεύθυνση και έτσι υπάρχει μεγαλύτερο μέρος της δυσκαμψίας της κατασκευής στη x διεύθυνση. Επίσης στα προσομοιώματα 2 και 3 όπου τοποθετούνται και τοιχοπληρώσεις η ιδιοπερίοδος τους είναι πιο μικρή πράγμα το οποίο δείχνει ότι η εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων στο πλαισιωτό σύστημα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας του φορέα γιατί όσο μεγαλύτερη είναι η δυσκαμψία ενός φορέα τόσο μικρότερη είναι και η ιδιοπερίοδος του.

Πίνακας 40: Αντισεισμικοί συντελεστές και ιδιοπεριόδους σε όλα τα προσομοιώματα.

	Προσομοίωμα 1α	Προσομοίωμα 1β	Προσομοίωμα 2	Προσομοίωμα 3
Αντισεισμικός συντελεστής στη διεύθυνση x	0.2178	0.2178	0.2083	0.2083
Αντισεισμικός συντελεστής στη διεύθυνση y	0.2081	0.2081	0.2083	0.2083
Ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση x	0.5675s	0.5674s	0.4705s	0.4850s
Ιδιοπερίοδος στη διεύθυνση y	0.6279s	0.6279s	0.5536s	0.5725s



Εικόνα 38: Τετραώροφο κτίριο με τοιχοπληρώσεις στάθμη 2.

Στην πιο πάνω εικόνα φαίνονται οι τοιχοπληρώσεις και το τοιχείο υπογείου της στάθμης 2 στην οποία διακρίνεται ότι το κτίριο έχει μεγαλύτερη δυσκαμψία στη x διεύθυνση αφού οι περισσότερες τοιχοπληρώσεις καθώς επίσης και το τοιχείο βρίσκονται στη x διεύθυνση γι' αυτό τον λόγο προκύπτουν και τα πιο πάνω αποτελέσματα των ιδιοπεριόδων.

5.2 Δυνάμεις και μετακινήσεις

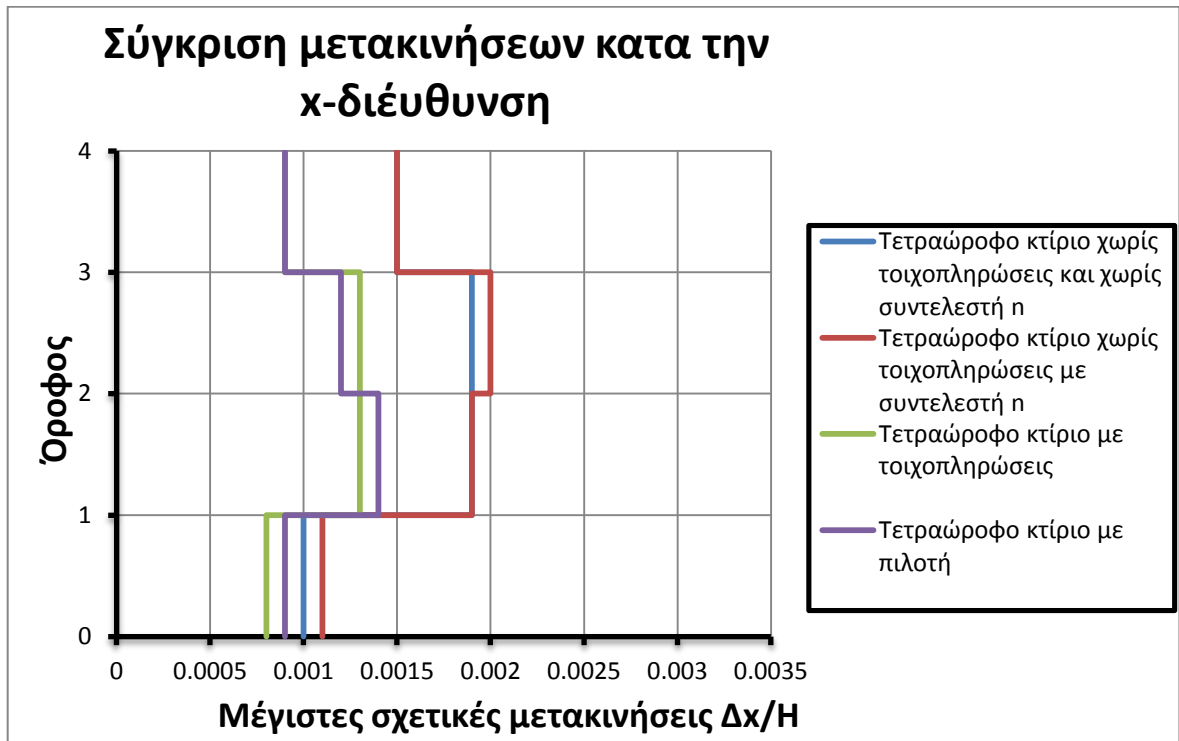
Στο πιο κάτω πίνακα φαίνονται οι τέμνουσες των προσομοιωμάτων σε κάθε όροφο και σε κάθε διεύθυνση καθώς επίσης και οι τέμνουσες βάσης τους. Σε όλους του φορείς οι τέμνουσες είναι σχεδόν οι ίδιες εκτός από το προσομοίωμα 1β το οποίο είναι το τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις με αυξητικό συντελεστή n , στο οποίο υπάρχει κάποια αύξηση της τέμνουσας του πρώτου ορόφου. Αυτό οφείλεται στο ότι σε αυτό το προσομοίωμα τοποθετήθηκε ο αυξητικός συντελεστής n ο οποίος αυξάνει τα φορτία στον πρώτο όροφο και έτσι αυξάνεται και η τέμνουσα.

Πίνακας 41: Τέμνουσες ορόφων και τέμνουσα βάσης όλων των προσομοιωμάτων.

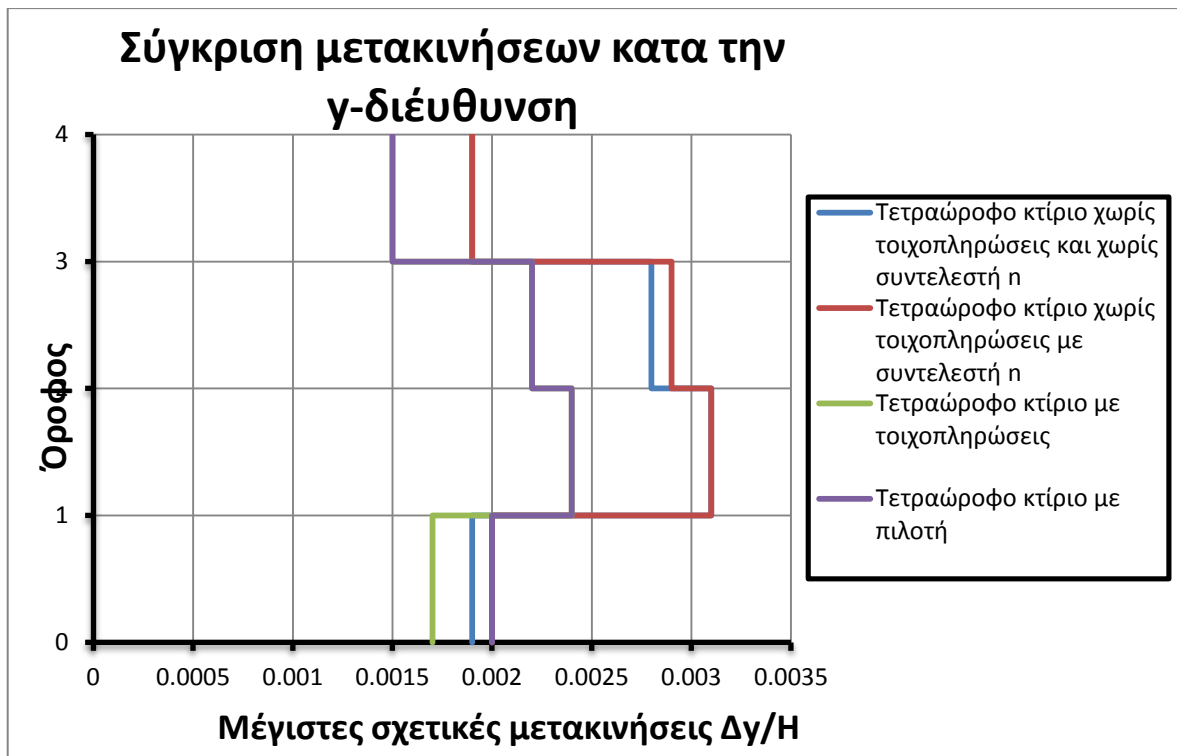
Όροφος	Προσομοίωμα 1α		Προσομοίωμα 1β		Προσομοίωμα 2		Προσομοίωμα 3	
	x	y	x	y	x	y	x	y
4	1547.92	1478.98	1547.92	1478.98	1480.40	1480.40	1480.40	1480.40
3	1324.80	1265.79	1324.80	1265.79	1267.01	1267.01	1267.01	1267.01
2	982.10	938.36	982.10	938.36	939.26	939.26	939.26	939.26
1	535.88	512.02	803.82	709.14	512.51	512.51	512.51	512.51
Σύνολο	4390.7	4195.15	4658.64	4392.27	4199.18	4199.18	4199.18	4199.18

Οι δύο γραφικές παραστάσεις πιο κάτω παρουσιάζουν τις μέγιστες σχετικές μετακινήσεις στην κάθε διεύθυνση και των τεσσάρων προσομοιωμάτων μαζί. Στα σημεία όπου δεν φαίνεται η γραμμή πράσινη είναι για τον λόγο ότι έχει τις ίδιες τιμές με την μπλε και το ίδιο ισχύει και για την κόκκινη η οποία έχει τις ίδιες τιμές με την κίτρινη. Συγκρίνοντας τις σχετικές μετακινήσεις του τετραώροφου κτιρίου με τοιχοπληρώσεις και του τετραώροφου κτιρίου με πιλοτή προκύπτει ότι υπάρχει μεγαλύτερη μετακίνηση στον πρώτο όροφο του κτιρίου με πιλοτή και στις δύο κατευθύνσεις η οποία προκύπτει από το ότι δεν υπάρχουν οι τοιχοπληρώσεις. Αν στο κτίριο με πιλοτή δεν υπήρχαν τα τοιχεία υπογείου τότε οι μετακινήσεις θα ήταν πολύ πιο μεγάλες του πρώτου ορόφου. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σχετικών μετακινήσεων των προσομοιωμάτων 1α και 1β που δεν έχουν τοιχοπληρώσεις με τα αποτελέσματα των σχετικών μετακινήσεων των προσομοιωμάτων 2

και 3 που έχουν τοιχοπληρώσεις βγαίνει το συμπέρασμα ότι η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων στον φορέα δίνει μικρότερες σχετικές μετακινήσεις κατά τον σεισμό. Επιπρόσθετα αυτό το συμπέρασμα προκύπτει και από το ότι στην διεύθυνση x όπου υπάρχουν τα τοιχεία υπογείου, αλλά και το μεγαλύτερο μέρος των τοιχοπληρώσεων και στα τέσσερα προσομοιώματα οι μετακινήσεις είναι μικρότερες από την διεύθυνση y.



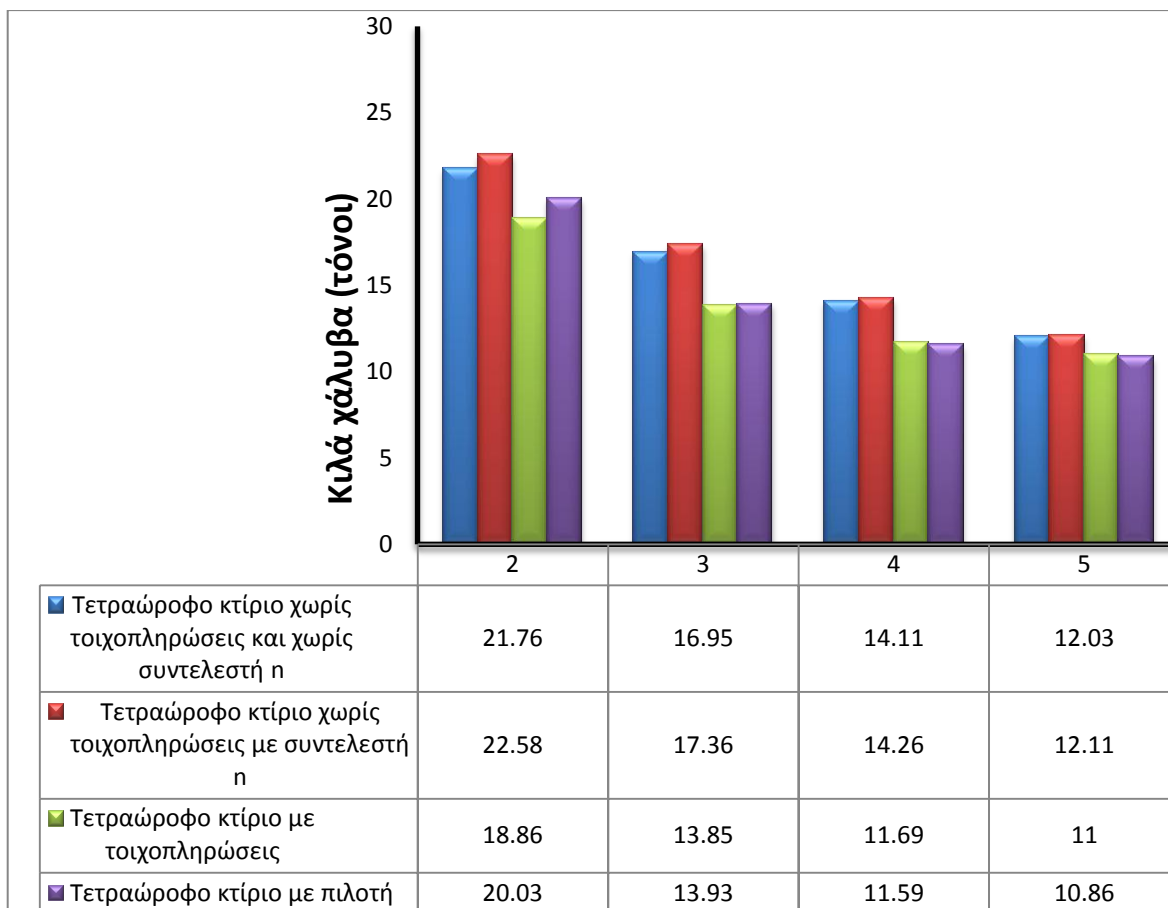
Σχήμα 25: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις και των τεσσάρων προσομοιωμάτων στη διεύθυνση x.



Σχήμα 26: Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις και των τεσσάρων προσομοιωμάτων στη διεύθυνση γ .

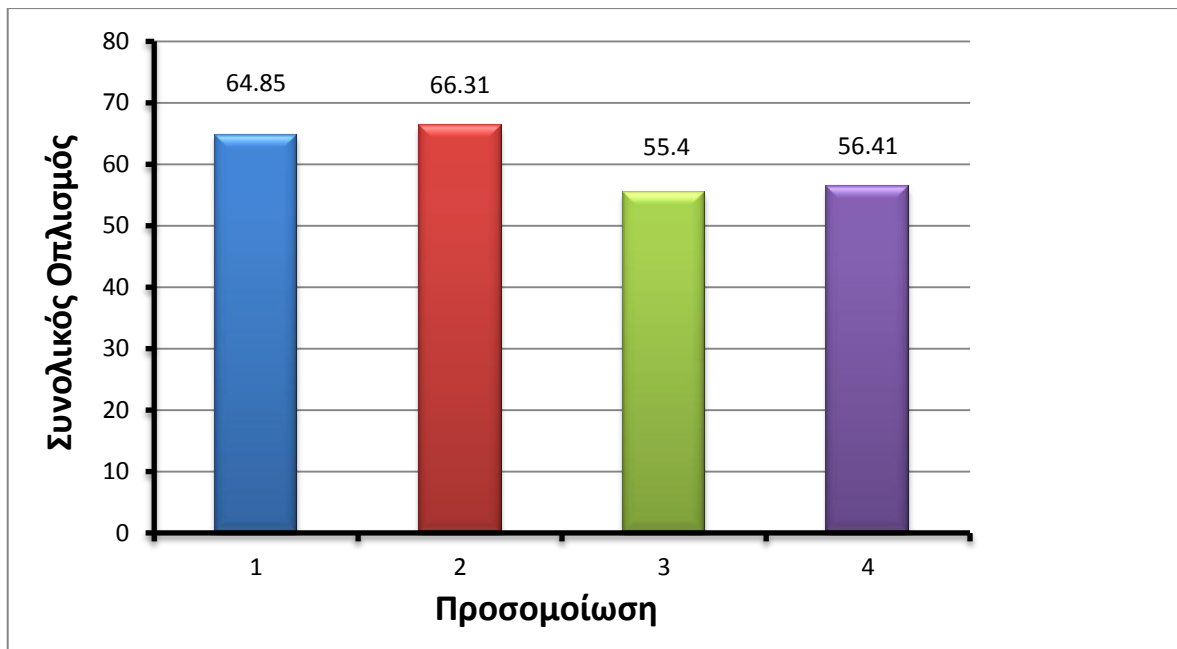
5.3 Οπλισμοί

Παρατηρώντας τους οπλισμούς στο Σχήμα 27 που υπολογίζονται από το λογισμικό 3DR STRAD για κάθε προσομοίωμα προκύπτει ότι το τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και με συντελεστή η χρειάζεται περισσότερο οπλισμό σε όλες τις στάθμες από όλα τα προσομοιώματα αφού ασκούνται μεγαλύτερα φορτία στην στάθμη 2 λόγω του συντελεστή η . Ακολούθως έρχεται το τετραώροφο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και χωρίς συντελεστή η . Τα άλλα δύο προσομοιώματα με τον λιγότερο οπλισμό παρουσιάζουν αισθητή διαφορά στη στάθμη 2, όπου το κτίριο με πιλοτή χρειάζεται περισσότερο οπλισμό λόγω της μη ύπαρξης τοιχοπληρώσεων και της μειωμένης δυσκαμψίας.



Σχήμα 27: Κιλά γάλυβα κάθε προσομοιώματος σε κάθε στάθμη.

Στην συνέχεια στο Σχήμα 28 αναπαριστώνται οι συνολικοί οπλισμοί για το κάθε προσομοίωμα ξεχωριστά και επιβεβαιώνεται ότι οι τοιχοπληρώσεις συνεισφέρουν σημαντικά στη συνολική δυσκαμψία του φορέα, μειώνοντας τις μετακινήσεις κατά την επιβολή των σεισμικών διεγέρσεων με αποτέλεσμα τη μείωση του απαιτούμενου οπλισμού. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη τις τοιχοπληρώσεις κατά τον σχεδιασμό του φορέα προκύπτει λιγότερος οπλισμός, άρα εξοικονόμηση χρήματος.



Σχήμα 28: Κιλά χάλυβα κάθε προσομοιώματος για όλες τις στάθμες συνολικά.

Συνοψίζοντας, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων της παρούσας εργασίας, οι τοιχοπληρώσεις δεν έχουν αμελητέα δυσκαμψία και αντοχή, αλλά αντιθέτως η παρουσία τους μεταβάλλει ουσιαστικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, την κανονικότητα, τους οπλισμούς της κατασκευής, καθώς επίσης και την απόκριση τους στα σεισμικά φορτία. Οι οριζόντιες μετακινήσεις, οι στροφές αλλά και οι μέγιστες μετακινήσεις των ορόφων του φορέα με τοιχοπληρώσεις εμφανίζονται αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες του φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, αφού η ύπαρξη των τοιχοπληρώσεων συνεισφέρει σημαντικά στη συνολική δυσκαμψία του, μειώνοντας τις μετακινήσεις κατά την επιβολή των σεισμικών διεγέρσεων. Σε κάθε περίπτωση η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον μηχανικό για να κατανοήσει και να προβλέψει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη συμπεριφορά των κατασκευών. Το σημαντικότερο είναι ότι με βάση τα παραδείγματα που έγιναν σ' αυτή τη μελέτη, φαίνεται ότι η συμπερίληψη των τοιχοπληρώσεων έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χάλυβα που θα απαιτηθεί, με συνεπακόλουθο τη μείωση του κόστους της κατασκευής.

6. Βιβλιογραφία

- Αντωνιάδης, Σ.Π. (2012). “ Αντισεισμικός σχεδιασμός κτιριακών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με τον EC8.” Θεσσαλονίκη.
- ΚΑΝ.ΕΠΕ.(2006). “Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) – Σχέδιο 2.”Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας. Αθήνα.
- Asteris, P.G.(2003). “ Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames.”J.Struct.Eng., 129(8), 17071-1079.
- Asteris,P.G.(2008). “ Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames.”Electronic Journal of Structural Engineering, Vol.8, pp.1-11.
- B.S. Smith.(1962). “Lateral Stiffness of Infilled Frames”. J. Struct. Div., ASCE, Vol. 88, No. ST6, 183-199.
- B.S. Smith.(1966). “Behavior of square infilled frames.” J. Stuct. Div., ASCE, ST1, 381-403.
- B.S. Smith.(1967). “Methods of predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multi-StoreyInfilled Frames.” Building Science, Vol. 2, 247-257.
- B.S. Smith, C. Carter.(1969). “A method of analysis for infilled frames.” Proc., Instn. Civ. Engrs., 44, 31-48.
- Carr, A.J.(2000). “ RUAUMOKO: Inelastic dynamic analysis.” Department of Civil Engineering , University of Canterbury, < <http://www.ruaumoko.co.nz> >.
- Chrisafulli ,F.J.(1997). “Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills.” Ph.D Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Chrisafulli ,F.J, and Carr, A.J..(2007). “ Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures.” Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 40(2), 60-77.
- Chrysostomou, C.Z.(1991). “ Effects of degrading infill walls on the nonlinear seismic response of two-dimensional steel frames.” PhD. Thesis, Cornell University , Ithaca, NY.

Chrysostomou ,C.Z., Gergely, P. and Abel, J.F.(2002), “ A six-strut model for nonlinear dynamic analysis of steel infilled frames,” International Journal of Structural Stability and Dynamics, Vol.2, No.3, 335-353.

Chrysostomou, C.Z., Asteris.P.G.(2012). “On the in-plane properties and capacities of infilled frames.” Engineering Structures., Vol.41,385-402.

Combescure, D. and Pegon,P.(1996). “ Numerical studies on one- bay masonry infilled R/C frames.” ELSA Res. Rep. No.I.96.35, European Laboratory for structural Assessment , Ispra, Italy.

Dhanasekar, M., and Page , A. W. (1986). “ Influence of brick masonry infill properties on the behaviour of infilled frames.” Proc. ,Instn. Civ. Engrs., London, Part 2, 81,593-605.

Eurocode 8 (EC8): Design of structures for earthquake resistance, Stage 64 CEN, Part1: General rules, seismic actions and rules for buildings.

Fardis, M., Negro, P., Bousias, S., Colombo, A. (1999a).“ Seismic design of open-storey infilled RC buildings.” Journal of Earthquake Engineering, Vol. 3, No.2, pp. 173-197

Fardis, M., Bousias, S., Franchioni, G., Panagiotakos, T.(1999b). “ Seismic response and design of RC structures with plan-eccentric masonry infills.” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 28, pp. 173-191.

Federal Emergency Management Agency.(1997). “ NEHRP commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings.” FEMA-274, Applied Technology Council , Washington ,DC.

Federal Emergency Management Agency.(1998). “ Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings : Basic procedures manual.” FEMA-306, Applied Technology Council,Washington ,DC.

Liauw, T. C., and Kwan, K.H.(1983a). “ Plastic theory of infilled with finite interface shear strength.” Proc. ,Institution of Civil Engineers., London, Part 2, 75, 707-723.

Liauw, T. C., and Kwan, K.H.(1983b). “ Plastic theory of nonintegral infilled frames.” Proc., Institution of Civil Engineers., London, Part 2, 75, 379-396.

- Liauw, T. C., and Kwan, K.H.(1984). “ Nonlinear behaviour of non-integral infilled frames.” *Comput.Struct.*, 18, 551-560.
- Mainstone, R.J., G.A. Weeks,(1970). “The influence of Bounding Frame on the Racking Stiffness and Strength of Brick Walls.” *Proceedings of the 2nd International Brick Masonry Conference, Building Research Establishment, Watford, England*, pp. 165-171.
- Mainstone, R.J.(1971). “ On the stiffnesses and strengths of infilled frames.” *Proc. Instn. Civ. Engrs., Supp., (iv)*, 57-90.
- Mainstone, R.J.(1974). “Supplementary note on the stiffness and strengths of infilled frames”. *Current Paper CP 13/74, Building Research Station, Garston, Watford, U.K.*
- Shing, P., and Mehrabi, A. (2002). “ Behaviour and analysis of masonry infilled frames.” *Progress in Structural Engineering Materials, Vol.4*, pp. 320-331.
- SeismoSoft (2009), *SeismoStruct – A Computer Program for the Static and Dynamic Analysis of Framed Structures*, < <http://www.seismosoft.com> >
- Smyrou, E. (2006). “ Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames.” *Dissertation for Msc. in Earthquake Engineering, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE SCHOOL), Universita degli Studi di Pavia, Italy.*
- Smyrou, E., Blandon-Uribe,C., Antoniou, S., Pinho, R., and Crowley, H.(2006). “ Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear pseudo-dynamic analysis of infilled RC frames.” *Proc., First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology ,Geneva.*
- Syrmakizis, C.A., and Vratsanou,V.Y.(1986). “ Influence of infill walls to RC frames Response.” *Proc., Eighth European Conference on Earthquake Engineering , Lisbon, Portugal*, 3, 47-53.
- Thiruvengadam, V.(1985). “On the natural frequencies of infilled frames.” *Earthquake Engineering , Struct, Dyn.*, 13(3), 401-419.
- Wood R.H.(1965). “Discussion on the stability of tall buildings, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, 12, 517-518.