



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ  
ΕΝΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ  
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ  
ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ  
ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ  
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ Η ΟΧΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.**

**ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ  
ΑΡΜΟΥΤΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΚΟΣ ΘΗΛΕΜΑΧΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2022**

## Περίληψη

Η διπλωματική εργασία έχει σκοπό να διερευνήσει την επιρροή των τοιχοπληρώσεων στα κτίρια που στο ισόγειο τους έχουν πιλοτή. Τα κτίρια αυτά είναι πολλά στην Ελλάδα και η αλήθεια είναι ότι τουλάχιστον προς το παρόν δεν έχουν σταματήσει να οικοδομούνται τέτοια κτίρια. Έτσι, χρήσιμο είναι να διερευνηθούν οι επιπτώσεις που έχει η απουσία τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο των κτιρίων αυτών, πόσο επιζήμιο είναι για τα κτίρια αυτά σε σχέση με αυτά που έχουν τοιχοπληρώσεις μερικώς ή πλήρως, πώς η διάταξη και ο αριθμός των τοιχοπληρώσεων επηρεάζει την συμπεριφορά των κτιρίων αυτών στον σεισμό.

Έτσι μελετήθηκαν 6 διώροφοι φορείς με παρόμοιο στατικό σύστημα που διαφέρουν στις τοιχοπληρώσεις για να εξαχθούν συμπεράσματα για τις επιρροές των τοιχοπληρώσεων στην αντισεισμική συμπεριφορά τους. Έγινε ανελαστική στατική ανάλυση (pushover) και μελετήθηκαν τα αποτελέσματα. Επίσης έγινε ανελαστική στατική ανάλυση αποσπασματικά σε ένα μοντέλο για να μελετηθούν οι επιπτώσεις της μεταβολής του πάχους της τοιχοπλήρωσης στην συμπεριφορά στο σεισμό.

Παράχθηκαν διαγράμματα και προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με την αλλαγή της αντισεισμικής θωράκισης του διορόφου όταν αλλάζει η διάταξη των τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο του.

## Abstract

The thesis aims to look into the influence of the masonry over the buildings with pilotis. These buildings are many in Greece and the truth is that, at least for the time being, they haven't stopped being built. It is useful to study the results that are caused due to the absence of masonry at the ground floor, how harmful it can be for these buildings compared to the buildings with some or all the external openings filled with masonry, how the structure and the number of the walls affect the behavior of these buildings during earthquakes.

As a result, 6 two-storey buildings with similar static system but different masonry were studied in order to draw conclusions concerning the influence of the masonry over the antiseismic behavior of these buildings. A pushover analysis (anelastic static analysis) was run and the results were studied. In addition, a pushover analysis was run to study the results of the change of the masonry thickness on the antiseismic behavior.

Diagrams were produced and conclusions were drawn concerning the change of the antiseismic efficiency of the two-storey building when the masonry changes.

## Περιεχόμενα

Κατάσταση πινάκων.....	4
Κατάσταση εικόνων .....	5
Κατάσταση διαγραμμάτων.....	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 2 :Τοιχοποιίες και σεισμική αποτίμηση και επιρροή .....	11
2.1:Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε.....	11
2.2:Ευρωκώδικας 8- μέρος 1 .....	12
Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	14
2.1 Τοιχοποιίες πληρώσεως στις κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος.....	14
2.2 Μοντέλα μηχανικής συμπεριφοράς τοιχοπληρώσεων .....	15
Κεφάλαιο 4: Μοντέλα δομικών στοιχείων .....	19
4.1. Μοντέλο στοιχείων πλαισίων .....	19
4.2. Μοντέλο τοιχοπλήρωσης.....	20
Κεφάλαιο 5: Ανάλυση.....	28
5.1. Μοντέλα κτιρίων .....	28
5.2. Ιδιομορφική ανάλυση- περίοδοι και συχνότητες ιδιομορφών.....	28
5.3. Παράμετροι pushover ανάλυσης.....	30
5.4. Εκτέλεση pushover ανάλυσης- παραγωγή καμπυλών.....	32
5.5 Συγκεντρωτικά διαγράμματα με τις εξιδανικευμένες καμπύλες .....	60
5.6. Αύξηση του πάχους τοιχοπλήρωσης και επανάληψη της διαδικασίας ανάλυσης μόνο για το 5 <sup>ο</sup> μοντέλο (ενδεικτικά) .....	68
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	79
6.1. Εξιδανικευμένες καμπύλες.....	79
6.2. Ποσοστό μεταβολής τέμνουσας βάσης .....	80
6.3. Ποσοστό μεταβολής μετακίνησης ελαστικής απόκρισης.....	80
6.4. Βλάβες μετά την pushover .....	80
6.5. Επάρκεια μοντέλων .....	81
6.6. Αύξηση πάχους τοιχοπλήρωσης και επιπτώσεις .....	82
6.7 Γενικά.....	83
6.8 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	83
Βιβλιογραφία.....	84

## Κατάσταση πινάκων

Πίνακας 1: Παράμετροι καμπύλης θλιπτήρα .....	22
Πίνακας 2: Εμπειρικοί παράμετροι .....	24
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά καμπύλης τέμνουσας.....	27
Πίνακας 4: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 1 <sup>ου</sup> μοντέλου .....	28
Πίνακας 5: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 2 <sup>ου</sup> μοντέλου .....	29
Πίνακας 6: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 3 <sup>ου</sup> μοντέλου .....	29
Πίνακας 7: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 4 <sup>ου</sup> μοντέλου .....	29
Πίνακας 8: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 5 <sup>ου</sup> μοντέλου .....	30
Πίνακας 9: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 6 <sup>ου</sup> μοντέλου .....	30
Πίνακας 10: Περίοδοι και συχνότητες ιδιομορφών 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με αυξημένο πάχος τοιχοπλήρωσης .....	73

## Κατάσταση εικόνων

Εικόνα 1: α) Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων θλιβόμενης διαγωνίου τοιχοπλήρωσης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. β) Διάγραμμα διατμητικών τάσεων-γωνιακών παραμορφώσεων τοιχοπλήρωσης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Δρίτσος κ Τσίκας, 2009).....	16
Εικόνα 2: α)Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου πλαισίου με γραμμικά στοιχεία β) Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου πλαισίου με πεπερασμένα στοιχεία(Δρίτσος κ Τσίκας, 2009).....	17
Εικόνα 3:μοντέλο προσομοίωσης τοιχοπληρώσεων με 2 παράλληλους θλιπτήρες και ένα διατμητικό ελατήριο σε κάθε κατεύθυνση.(Ζήνωνος Ιωάννης,2013).....	17
Εικόνα 4:Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων( Ζήνωνος Ι., 2013).....	18
Εικόνα 5:προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με διαγώνιους θλιπτήρες(Κακαράντζας) .....	18
Εικόνα 6: Βασική καμπύλη Ibarra-Medina-Krawinkler σε όρους Δύναμης - Μετατόπισης ..	20
Εικόνα 7:διατομή υποστυλωμάτων με οπλισμό .....	31
Εικόνα 8: διατομή δοκών με οπλισμό στην αρχή, μέση και τέλος των δοκών αντίστοιχα .....	31
Εικόνα 9: 1 <sup>ο</sup> μοντέλο .....	32
Εικόνα 10: 2 <sup>ο</sup> μοντέλο .....	37
Εικόνα 11: 3 <sup>ο</sup> μοντέλο .....	42
Εικόνα 12:4 <sup>ο</sup> μοντέλο .....	46
Εικόνα 13:5 <sup>ο</sup> μοντέλο .....	51
Εικόνα 14: 6 <sup>ο</sup> μοντέλο .....	55

## Κατάσταση διαγραμμάτων

[illegible]

Διάγραμμα 48: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$ ιδιομορφική κατανομή) .....	59
Διάγραμμα 49: pushover καμπύλη ( $Y-0,3X$ ιδιομορφική κατανομή) .....	59
Διάγραμμα 50: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή $X+0,3Y$ .....	60
Διάγραμμα 51: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή $X+0,3Y$ .....	61
Διάγραμμα 52: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή $Y+0,3X$ .....	61
Διάγραμμα 53: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή $Y+0,3X$ .....	62
Διάγραμμα 54: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή $X-0,3Y$ .....	62
Διάγραμμα 55: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή $X-0,3Y$ .....	63
Διάγραμμα 56: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή $Y-0,3X$ .....	63
Διάγραμμα 57: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή $Y-0,3X$ .....	64
Διάγραμμα 58: ποσοστά μεταβολής της (μέγιστης)τέμνουσας βάσης σε όλα τα μοντέλα σε σχέση με το 1 <sup>ο</sup> (χωρίς τοιχοποιίες) .....	65
Διάγραμμα 59: ποσοστά μεταβολής της (μέγιστης)τέμνουσας βάσης σε όλα τα μοντέλα σε σχέση με το 2 <sup>ο</sup> (χωρίς τοιχοποιίες στο ισόγειο) .....	66
Διάγραμμα 60: επεξήγηση της έννοιας της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης σχηματικά...	66
Διάγραμμα 61: ποσοστά μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης στα επιμέρους μοντέλα σε σχέση με το 1 <sup>ο</sup> (χωρίς τοιχοπλήρωσεις) .....	67
Διάγραμμα 62: ποσοστά μεταβολής των περιόδων των πρώτων ιδιομορφών στα επιμέρους μοντέλα σε σχέση με το 1 <sup>ο</sup> .....	67
Διάγραμμα 63: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$ ομοιόμορφη κατανομή) .....	68
Διάγραμμα 64: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$ ομοιόμορφη κατανομή) .....	69
Διάγραμμα 65: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$ ιδιομορφική κατανομή) .....	69
Διάγραμμα 66: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$ ιδιομορφική κατανομή) .....	70
Διάγραμμα 67: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$ ομοιόμορφη κατανομή) .....	70
Διάγραμμα 68: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$ ομοιόμορφη κατανομή) .....	71
Διάγραμμα 69: pushover καμπύλη ( $Y-0,3X$ ομοιόμορφη κατανομή) .....	71
Διάγραμμα 70: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$ ιδιομορφική κατανομή) .....	72
Διάγραμμα 71: pushover καμπύλη ( $Y-0,3X$ ιδιομορφική κατανομή) .....	72
Διάγραμμα 72: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή $X+0,3Y$ .....	73
Διάγραμμα 73: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή $X+0,3Y$ .....	74
Διάγραμμα 74: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή $Y+0,3X$ .....	74
Διάγραμμα 75: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή $Y+0,3X$ .....	75
Διάγραμμα 76: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή $X-0,3Y$ .....	75
Διάγραμμα 77: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή $X-0,3Y$ .....	76
Διάγραμμα 78: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή $Y-0,3X$ .....	76

Διάγραμμα 79: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5 <sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή Y-0,3X.....	77
Διάγραμμα 80: ποσοστά μεταβολής της (μέγιστης)τέμνουσας βάσης στο 5ο μοντέλο κατόπιν της αύξησης του πάχους τοιχοπλήρωσης.....	77
Διάγραμμα 81: ποσοστά μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης στο 5 <sup>ο</sup> μοντέλο κατόπιν αύξησης του πάχους τοιχοπλήρωσης.....	78

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι τα κτίρια με πιλοτή εμφανίζουν αδυναμία αντισεισμικά σε σχέση με τα υπόλοιπα. Επίσης, είναι γνωστή η έννοια «μαλακός όροφος», που μπορεί να εμφανιστεί σε τέτοιου είδους κτίρια. Παρόλα αυτά, στην Ελλάδα αυτά τα κτίρια είναι πολλά ήδη και δεν έχουν σταματήσει να χτίζονται άλλα. Αυτό οφείλεται στον λόγο ότι η διαμόρφωση τους εμφανίζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα κτίρια.

Ένας από τους λόγους που υπάρχει και διατηρείται αυτό το φαινόμενο είναι η δυνατότητα να υπάρχει στεγασμένος χώρος στάθμευσης για περισσότερα από ένα αυτοκίνητα. Επίσης ο στεγασμένος χώρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με άλλους τρόπους, όπως μια εξωτερική αποθήκη κλπ. Είναι γεγονός ότι μια πιλοτή λόγω έλλειψης εσωτερικών χωρισμάτων εξασφαλίζει περισσότερο χώρο για εκμετάλλευση. Επίσης ίσως να αποφεύγονται υγρασίες στο ισόγειο.

Με το δεδομένο ότι αυτή η πρακτική δεν φαίνεται να αλλάζει, τέθηκε η ιδέα να διερευνηθεί κατά πόσο μια πιλοτή αποδυναμώνει ένα κτίριο σε περίπτωση σεισμού σε διάφορες περιπτώσεις. Λέγοντας διάφορες περιπτώσεις εννοούμε πιλοτές χωρίς τοιχοπλήρωση ή με τοιχοπλήρωσεις σε μια ή περισσότερες πλευρές της κάτοψης του ισόγειου, με συμμετρική διάταξη ή όχι. Από τα αποτελέσματα της διερεύνησης θα μπορούσε κάποιος να διαμορφώσει άποψη για την ευνοικότερη και δυσμενέστερη διαμόρφωση των τοιχοπληρώσεων στην κάτοψη στα μοντέλα αυτά, τον λόγο που συμβαίνει αυτό, τον βαθμό διαφοροποίησης από μοντέλο σε μοντέλο και επίσης ενδεχομένως γενικότερη εικόνα για την επιρροή των τοιχοπληρώσεων στις πιλοτές. **Έτσι θα μπορούσε κάποιος που επιθυμεί να σχεδιάσει ένα φορέα με πιλοτή, να λάβει υπόψη του τα πορίσματα της ανάλυσης και να διαμορφώσει πιο «έξυπνα» και συστηματικά τον φορέα του ώστε να έχει όσο το δυνατόν καλύτερη συμπεριφορά έναντι των σεισμών.**

Γιαυτό δημιουργήθηκαν 6 ιδεατά μοντέλα με συμμετρική διαμόρφωση των υποστυλωμάτων του φορέα για την ευκολότερη διερεύνηση της επιρροής της διαμόρφωσης των τοιχοπληρώσεων της πιλοτής στην συμπεριφορά του φορέα στον σεισμό. Για την ανάλυση των 6 μοντέλων έγινε χρήση του λογισμικού SeismoBuild, ενός λογισμικού της Seismosoft που χρησιμοποιείται για την σεισμική αποτίμηση φορέων από σκυρόδεμα.

Μέσω αυτού του λογισμικού γίνεται η ιδιομορφική ανάλυση των φορέων και υπολογίζονται οι περίοδοι και οι συχνότητες των ιδιομορφών. Εξάλλου, μέσω του λογισμικού με την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων εκτελείται pushover, που παράγει δεδομένα χρήσιμα για την αξιολόγηση της τρωτότητας των φορέων σε σεισμό. Μετά την pushover, έχουν παραχθεί αποτελέσματα που μας βοηθούν να μελετήσουμε τον φορέα μας.

Παράγονται καμπύλες που δείχνουν την τέμνουσα βάση του φορέα σε συνάρτηση με την μετατόπιση του κόμβου αναφοράς ( που συνήθως βρίσκεται στην οροφή του τελευταίου ορόφου). Για κάθε μοντέλο από τα 6 μοντέλα, παράγονται 16 καμπύλες που αντιστοιχούν στους συνδυασμούς των κατανομών που έχουμε επιλέξει και οι οποίες είναι η ομοιόμορφη και η ιδιομορφική, διαξονική χωρίς εκκεντρότητα. Στα ίδια δ/τα με τις καμπύλες αυτές είναι σχεδιασμένες οι εξιδανικευμένες καμπύλες, οι οποίες παράγονται από τις προηγούμενες καμπύλες.

Επίσης στα αποτελέσματα της pushover που μπορούν να φανούν χρήσιμα είναι η προοδευτική εμφάνιση των βλαβών στον φέροντα οργανισμό του φορέα μας καθώς αυξάνεται η μετατόπιση του κόμβου αναφοράς. Ανάλογα με την στάθμη επιτελεστικότητας που θα διαλέξουμε, μπορούμε να ερευνήσουμε τις περιορισμένες βλάβες (τύπου Α), τις σημαντικές βλάβες (τύπου Β) και τις βλάβες της στάθμης επιτελεστικότητας Γ «οιωνεί κατάρρευση». Αυτές μπορούν να παρατηρηθούν εύκολα με την βοήθεια έντονα χρωματισμένων σημαδιών στα σημεία όπου υπάρχει βλάβη. Οπότε, έχουμε τις βλάβες συναρτήσει της εκάστοτε μετακίνησης του κόμβου αναφοράς. Έτσι, μπορούμε να διαπιστώσουμε π.χ. μέχρι ποια μετακίνηση του κόμβου αναφοράς δεν υπάρχει βλάβη (Α, Β ή Γ), να συγκρίνουμε τα 6 μοντέλα όσον αφορά αυτό, να παρατηρήσουμε την αλλαγή του επιπέδου της τέμνουσας βάσης ανάλογα με τις τοιχοπληρώσεις (αριθμός, θέση, διεύθυνση, συμμετρία), να ερευνήσουμε στα μοντέλα τι ποσοστό υποστυλωμάτων έχει υποστεί σημαντική βλάβη στο τέλος της pushover κλπ.

Η εργασία που ακολουθεί θα άρχισι με μια αναδρομή στους κανονισμούς για τις τοιχοπληρώσεις, Ο Κ.Α.Ν.ΕΠ.Ε. και ο Ευρωκώδικας 8 – μέρος 1 αναφέρουν κάποια στοιχεία και κατευθύνσεις για τον τρόπο προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων, με ιδιαίτερες αναφορές στα ανοίγματα που μπορεί να υπάρχουν ανάλογα με το μέγεθος των ανοιγμάτων, το σχήμα τους, το ποσοστιαίο μέγεθος τους σε σχέση με το εμβαδόν της τοιχοπλήρωσης, την θέση τους μέσα στην τοιχοπλήρωση, την απόσταση από τα υποστυλώματα, την σχετική θέση μεταξύ τους αν είναι παραπάνω από ένα. Επίσης στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο μαζί με τον τρόπο προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων αναφέρονται και υποδείξεις από τους κανονισμούς για το αν οι τοιχοπληρώσεις θα πρέπει να αγνοηθούν ή όχι ως μέρος του συστήματος κατά τις σεισμικές διεγέρσεις .

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική έρευνα για αυτά που έχουν γραφεί για τον τρόπο προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων και για τα αποτελέσματα που αυτές έχουν στην συμπεριφορά του φορέα κατά τον σεισμό.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται περιγραφή των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν από το λογισμικό SeismoBuild για τον φέροντα οργανισμό των φορέων που θα χρησιμοποιηθούν στην έρευνα μας και για τις τοιχοπληρώσεις των φορέων αυτών.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφονται οι φορείς που θα χρησιμοποιηθούν στην έρευνα μας . Στην συνέχεια αναφέρεται η διαδικασία ανάλυσης που περιλαμβάνει την ιδιομορφική ανάλυση και την ανάλυση pushover. Παρατίθενται πορίσματα της pushover και συγκεντρωτικά δ/τα για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην πιλοτή ανάλογα με την διάταξή τους, τον αριθμό τους, την συμμετρική ή όχι διάταξη τους.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο επιχειρείται εξαγωγή συμπερασμάτων από την έρευνα που έγινε. Διατυπώνονται ενδεχόμενα κενά ή αδυναμίες στην έρευνα μας και προτάσεις για μελλοντική αξιοποίηση της έρευνας μας ή συνέχιση αυτής ή παρομοίων.

Ακολούθως παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

## Κεφάλαιο 2 :Τοιχοποιίες και σεισμική αποτίμηση και επιρροή

### 2.1:Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε

Σύμφωνα με τον Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε., οι τοιχοποιίες πλήρωσης όταν πρόκειται για μη σεισμική φόρτιση δεν επιτρέπεται να υπολογίζονται στην ανάληψη φορτίων. Αντιθέτως, σε σεισμικές φορτίσεις συνίσταται να λαμβάνονται υπόψη οι τοιχοπληρώσεις και η επιρροή τους. Ιδιαίτερα όταν η επιρροή τους στην σεισμική συμπεριφορά και απόκριση του φορέα σε γενικό ή τοπικό επίπεδο είναι δυσμενής, τότε επιβάλλεται να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη τους και η επιρροή τους. Από την υποχρέωση αυτή υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις που εξαιρούνται. Αυτά που εξαιρούνται είναι τα κτίρια που ανεξαρτήτως εφαρμοσθέντος κανονισμού καλύπτουν τις προϋποθέσεις της §5.1.2 του Ευρωκώδικα 8-1 για κατάταξη στην κατηγορία των διπλών συστημάτων που είναι ισοδύναμα προς σύστημα τοιχωμάτων ή των συστημάτων τοιχωμάτων.

Με βάση τον παραπάνω κανονισμό, δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό δεν μπορούν να προκύψουν εφόσον δεν υπάρξει αύξηση της σεισμικής τέμνουσας ενός τουλάχιστον πρωτεύοντος κατακόρυφου στοιχείου και της σεισμικής μετακίνησης ενός ορόφου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 15%, σε οποιαδήποτε στάθμη του κτιρίου. Για τον έλεγχο εφαρμόζεται η ελαστική στατική ανάλυση της §5,5 χωρίς προϋποθέσεις για τον υπολογισμό των σεισμικών τεμνουσών των πρωτευόντων κατακόρυφων στοιχείων. Στην προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων επιτρέπονται οι απλοποιήσεις. Δηλ. παρόλο που μπορεί να προσομοιωθούν με ένα διατμητικό φάτνωμα, μπορεί να γίνει προσομοίωση απλούστερα με ισοδύναμη θλιβόμενη διαγώνιο. Σε περίπτωση ύπαρξης ανοιγμάτων στις τοιχοπληρώσεις και η δημιουργία <<θέσεις>> κοντού υποστηλώματος πρέπει να λαμβάνεται κατάλληλα υπόψη στην προσομοίωση.

Σύμφωνα με την §7.4.1.β του Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε., οι τοιχοπληρώσεις ελέγχονται σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων και λαμβάνονται υπόψη μόνο στις στάθμες επιτελεστικότητας Α και Β κατά το κεφάλαιο 9, άλλα όχι στην Γ. Κατά την §2.2.2. του Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε. κατά την στάθμη επιτελεστικότητας Α ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει μόνο ελαφριές βλάβες και οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες, στην στάθμη Β υπάρχουν σημαντικές αλλά επισκευάσιμες βλάβες, οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους και ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης. Τέλος, στην στάθμη Γ έχουμε εκτεταμένες και μη επισκευάσιμες κατά την πλειονότητα βλάβες με τις σχετικές μετακινήσεις των ορόφων να είναι μεγάλες και τον φέροντα οργανισμό να μην έχει ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας ακόμη και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης. Κατά τις προβλέψεις της §5.9, της §ε του παρ.4.4 και του παρ. 4.4, η ενδεχομένως δυσμενής επιρροή τους οφείλει να ελέγχεται και κατά την §5.4.3. γ απαγορεύεται να λαμβάνονται υπόψη οι τοιχοπληρώσεις επιλεκτικά σε κάποια θέση ή όροφο. Εξαιρέση μπορούν να αποτελέσουν οι σκοπίμως προστιθέμενες οπλισμένες πλινθοπληρώσεις ή οι υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις μετά από ενίσχυση (υπό τις προϋποθέσεις του κεφ.8) για να ληφθούν υπόψη για την στάθμη επιτελεστικότητας Γ.

Κατά την προσομοίωση τοιχοπληρώσεων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ανοίγματα ( ο αριθμός τους, το μέγεθος τους, οι θέσεις τους οι γενικές ως προς το φάτνωμα αλλά και οι σχετικές μεταξύ τους αλλά και η τυχόν ενίσχυση τους με διαζώματα ή πλαίσια κλπ. οριζόντια ή/ και κατακόρυφα). Θα πρέπει να μελετηθεί κατά πόσο μπορεί να προσομοιωθούν οι

τοιχοπληρώσεις με το ένα ή τον άλλο τρόπο (με διατμητικό φάτνωμα ή με λοξές θλιβόμενες ράβδους για τις οποίες να εξασφαλίζονται συνοριακές συνθήκες επιτρέπουσες την συμμετοχή τους στο σχήμα αντίστασης του πλαισίου). Σύμφωνα με τον Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε., επειδή δεν υπάρχει λεπτομερής διερεύνηση για τις άοπλες τοιχοπληρώσεις, μπορούν να ακολουθούνται τα εξής:

Α) όταν υπάρχουν δύο μεγάλα ανοίγματα κοντά στα άκρα του φανώματος, μπορεί να αμεληθεί η τοιχοπλήρωση.

Β) Όταν υπάρχει άνοιγμα περίπου στο κέντρο του φανώματος με διαστάσεις όχι μεγαλύτερες από 20% των αντιστοίχων διαστάσεων του φανώματος, τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης από το άνοιγμα.

Γ) Δύο μικρά και γειτονικά ανοίγματα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ενιαίο ισοδύναμο, περιγεγραμμένο σ' αυτά.

Δ) Όταν ένα άνοιγμα είναι τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φανώματος με διαστάσεις 20 έως 50 % των αντιστοίχων διαστάσεων του φανώματος, τότε μπορεί να ληφθούν δύο λοξοί θλιπτήρες ανά φάτνωμα.

Εξάλλου, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι άοπλες τοιχοπληρώσεις δεν αστοχούν πρόωρα εκτός επιπέδου.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας πλήρωσης εξαρτώνται από τα αντίστοιχα του κονιάματος και των πλινθοσωμάτων αλλά και σχετίζονται με τον τρόπο δόμησης. Επίσης, η αντίσταση της τοιχοπλήρωσης εξαρτάται από το μήκος επαφής της με το περιβάλλον πλαίσιο. Το μήκος επαφής εξαρτάται από την επιβαλλόμενη μετακίνηση και τις βλάβες. Δηλ. η αντίσταση της τοιχοποιίας εξαρτάται από την σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας (Α ή Β).

## 2.2:Ευρωκώδικας 8- μέρος 1

Όπως στον Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε. , έτσι και στον ευρωκώδικα 8 -μέρος 1 για τοιχώματα ή ισοδύναμα προς τοιχώματα διπλά συστήματα από σκυρόδεμα, και για συστήματα από χάλυβα ή σύμμικτα με δικτυωτούς συνδέσμους, η αλληλεπίδραση με τις τοιχοπληρώσεις μπορεί να αγνοηθεί.

Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου οι τοιχοπληρώσεις δημιουργούν μη κανονικότητα σε κάτοψη, πρέπει να λογίζονται οι συνέπειες της μη κανονικότητας.

Το ίδιο πρέπει να λογίζονται όταν δημιουργούν μη κανονικότητα σε όψη.

Μη κανονικότητα σε κάτοψη λόγω των τοιχοπληρώσεων υπάρχει π.χ. όταν υπάρχουν δύο διαδοχικές όψεις με τοιχοπληρώσεις. Θα πρέπει να αποφεύγονται ασύμμετρες κατόψεις, ανομοιόμορφες διατάξεις τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη. Θα πρέπει να ελέγχονται τα φέροντα στοιχεία στις εύκαμπτες πλευρές της (που βρίσκονται μακριά από την πλευρά με τις συγκεντρωμένες τοιχοποιίες) για να αντιμετωπίζονται ενδεχόμενες επιδράσεις στρεπτικής απόκρισης που προκαλείται από τις τοιχοπληρώσεις.

Επίσης, τοιχοπληρώσεις με παραπάνω από δύο ανοίγματα ή τρύπες με σημαντικό μέγεθος μπορούν να αγνοηθούν.

Εξάλλου, κατά την μη κανονικότητα σε όψη (π.χ. αυξημένη συγκέντρωση τοιχοποιιών σε κάποιους από τους ορόφους σε αντίθεση με άλλους ορόφους) θα πρέπει να λαμβάνουμε αυξημένα εντατικά μεγέθη στα κατακόρυφα στοιχεία λόγω σεισμού.

Στην παράγραφο 5.9 δίνονται κατευθύνσεις για τις ενέργειες που ενδείκνυνται να λαμβάνονται όταν λόγω των τοιχοπληρώσεων δημιουργούνται τοπικές συνθήκες στα φέροντα στοιχεία. Αυτές οι ενέργειες αφορούν και την όπλιση των φερόντων στοιχείων, την περίσφιξη τους.

Ως παράδειγμα, μπορεί να αναφερθεί η δημιουργία συνθήκης κοντών υποστυλωμάτων ή τα υποστυλώματα στο ισόγειο λόγω της ιδιαίτερης ευπάθειας των τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο.

## Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 3.1 Τοιχοποιίες πληρώσεως στις κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος

Οι τοιχοποιίες στην Ελλάδα είναι από οπτόπλινθους, ή κοινώς τούβλα, διαφόρων διαστάσεων, οι οποίες είναι άοπλες στην πλειοψηφία τους. Ωστόσο, σε γενικό πλαίσιο οι τοιχοποιίες σχεδόν όλων των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται ως στοιχεία πληρώσεως των πλαισίων. Ιδιαίτερα, όταν ορίζουν εσωτερικά χωρίσματα, κτίζονται με πάχος ανάλογο της μικρής διάστασης του πλίνθου, ή αλλιώς δομικές, και μαζί με τα επιχρίσματα έχουν συνολικό πάχος 12 – 15 cm. Αντίθετα, όταν οι τοιχοποιίες είναι εξωτερικές, το πάχος τους είναι ίσο με την μεγάλη διάσταση του πλίνθου και προσθέτοντας το πάχος των πιθανών μονώσεων, τις μπατικές και τις υπερμπατικές τοιχοποιίες, το πάχος τους είναι ίσο ή και μεγαλύτερο από 25 cm.

Καθ' όλη τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων, οι τοιχοποιίες σαν στοιχεία πληρώσεως, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και την τελική αντοχή των πλαισίων που τις περιβάλλουν. Η προαναφερθείσα εξέλιξη είναι και η προσδοκώμενη, καθώς το δομικό πλαίσιο που προκύπτει, δηλαδή πλαίσιο και τοιχοποιία, έχει αρκετά διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά συγκριτικά με το γυμνό πλαίσιο και συγκεκριμένα σε όρους αντοχής και δυσκαμψίας. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι η συνολική σεισμική συμπεριφορά κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, επηρεάζονται σημαντικά από τις τοιχοποιίες πλήρωσης. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η επιρροή αυτή δύναται να έχει θετικές, αλλά και αρνητικές συνέπειες κατα περίπτωση.

Παρά ταύτα, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στην πράξη του σχεδιασμού κατασκευών από οπλισμένο σκυροδέμα δεν υπολογίζεται η επιρροή των τοιχοποιιών. Αυτό συμβαίνει γιατί δε θεωρούνται ως δομικά στοιχεία και στα συνήθη έργα δεν υπολογίζονται στο μοντέλο ανάλυσης και τους υπολογισμούς διαστασιολόγησης. Αρκετοί σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί κάνουν αναφορά του προβλήματος (EC8, E.A.K.), πιστεύοντας ότι θα πρέπει να συνυπολογίζονται οι τοιχοποιίες πληρώσεως, χωρίς όμως να υποδεικνύουν κάποια σαφή οδηγία. Αυτό δικαιολογείται σε μεγάλο ποσοστό, από τη στιγμή που ακόμη και σε διεθνή πλαίσια δεν υφίσταται συγκεκριμένο μοντέλο συμπεριφοράς, που να προσομοιώνει με αποτελεσματικό τρόπο την απόκριση των τοιχοποιιών και του πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Κατά συνέπεια, συνεχίζουν να υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την προσέγγιση και την μοντελοποίηση της πραγματικής συμπεριφοράς τους και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν σχετικές συστάσεις στους κανονισμούς.

Παρά το γεγονός ότι κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει αρκετές και αξιοσημείωτες πειραματικές προσπάθειες, ώστε να μελετηθεί και να κατανοηθεί η απόκριση των τοιχοποιιών πλήρωσης, αυτό δεν επετεύχθη. Τα αίτια βρίσκονται τόσο στη δομή και τις δυσκολίες των πειραματικών διαδικασιών που έχουν υλοποιηθεί, όσο και στη φύση και τη δομική απόκριση των τοιχοπληρώσεων.

Όσον αφορά τη φύση και τους μηχανισμούς απόκρισης, σημαντικές αιτίες για τη μη εύκολη προσέγγιση του προβλήματος, αποτελούν η επιρροή και η διαφοροποίηση από

κάποιους παράγοντες που έχουν η συνολική απόκριση και η μορφή αστοχίας. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- Γεωμετρία: τόσο του πλαισίου Οπλισμένου Σκυροδέματος που περιβάλλει την τοιχοποιία, όσο και την εν γενεί γεωμετρία της κατασκευής, τον αριθμό των ορόφων και των αριθμό των υποστυλωμάτων σε κάθε κατεύθυνση
- Σχέση δυσκαμψίας: Η δυσκαμψία της τοιχοποιίας πληρώσεως διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την δυσκαμψία του πλαισίου.
- Η επιρροή τρόπου όπλισης και της διάταξης οπλισμού του πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος.
- Μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχοπλήρωσης: Λόγω του ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαφορετικών υλικών, κατασκευαστικών λεπτομερειών και κατασκευαστικής τεχνικής, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας ποικίλουν σε σημαντικό βαθμό.
- Η ένταση και η μορφή της σεισμικής διέγερσης.
- Η αξονική καταπόνηση των υποστυλωμάτων των πλαισίων.
- Η πιθανή εκτός επιπέδου καταπόνησης και αστοχίας της τοιχοπλήρωσης.

Η έλλειψη σχετικών οδηγιών και κανόνων σχεδιασμού στους αντισεισμικούς κανόνες, είτε αυτοί είναι διεθνείς είτε είναι εθνικοί, συνεπάγεται τη δημιουργία πολλών δυσκολιών που υπάρχουν ώστε να κατανοηθεί πλήρως η συμπεριφορά των τοιχοποιιών πλήρωσης. Απόρροια αυτού είναι ότι κατά τη συνηθισμένη πρακτική, δε λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη και κατ' επέκταση η επιρροή των τοιχοποιιών πλήρωσης στο σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρόλα αυτά, έχει τονισθεί αρκετά ότι ο μη συνυπολογισμός σε περιπτώσεις μη χρήστης διάταξης τοιχοποιιών πλήρωσης, οδηγεί σε επισφαλείς κατασκευές έναντι σεισμικών διεγέρσεων. Τέτοιες περιπτώσεις είναι:

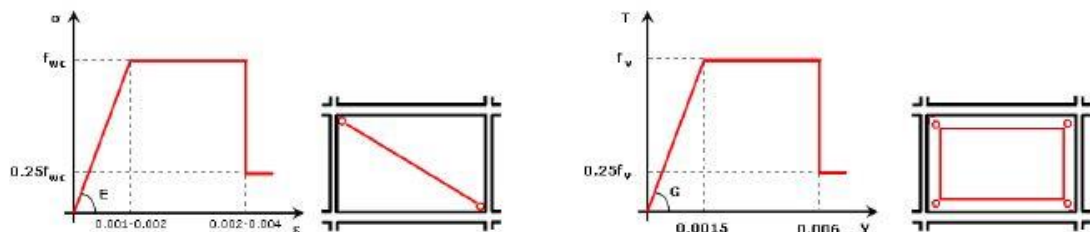
- I. Δημιουργία ανοιχτού εύκαμπτου ισογείου (πιλοτή - pilotis) η οποία αγνοείται κατά το σχεδιασμό κατασκευής, στην περίπτωση που δεν τοποθετούνται τοιχοποιίες μόνο στο ισόγειο κατασκευής. Αυτό έχει ως επακόλουθο, να εμφανίζονται παραμορφώσεις στο ισόγειο και αστοχία των υποστυλωμάτων. Εικόνες όπου έχουν υποστεί καταρροή τα ισόγεια έπειτα από σεισμικές δονήσεις, δεν είναι σπάνιες ιδίως σε σεισμογενείς περιοχές.
- II. Ανάπτυξη σπουδαίας, μη αναμενόμενης στρωφικής απόκρισης παρουσιάζεται στις κατασκευές με ορθογωνική κάτοψη, όταν στο ισόγειο υπάρχουν ισχυρές μπατικές τοιχοποιίες σε μία ή δύο μόνο πλευρές, ενώ οι υπόλοιπες είναι ανοικτές ή με υαλοπίνακες, όπως οι τζαμαρίες καταστημάτων.
- III. Δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων, εμφανίζεται σε τοιχοποιίες που δεν καλύπτουν όλο το ύψος των πλαισίων. Η τεχνική αυτή συνηθίζεται όταν στα κτήρια, βιομηχανικά ή μη, υπάρχουν κοντά στην οροφή τους διαδοχικά, επιμήκη παράθυρα φωτισμού. Αυτή η μορφολογία συνεπάγεται την εύθρυπτη αστοχία των κοντών υποστυλωμάτων και αρκετά συχνά την συνολική αστοχία και μερική κατάρρευση του κτηρίου.
- IV. Τραυματισμοί ως επακόλουθο πιθανής βλάβης και κατάρρευσης τοιχοποιιών κατά την εκτός επιπέδου διεύθυνση.

Τέλος, εκτός από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις, αξίζει να τονισθεί η σημαντική αλλαγή που αυτές προκαλούν στα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Η αύξηση των σεισμικών δράσεων που εισάγονται στην κατασκευή, προκύπτει από την αξιοσημείωτη μείωση που παρουσιάζεται στην ιδιοπερίοδο του δομικού συστήματος, όταν οι σχετικά εύκαμπτες, πλαισιωτές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος διαθέτουν ικανό αριθμό δύσκαμπτων τοιχοπληρώσεων.

### 3.2 Μοντέλα μηχανικής συμπεριφοράς τοιχοπληρώσεων

Όπως έχει αναφερθεί και ανωτέρω, για τον προσδιορισμό της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής, κρίσιμος παράγοντας αποτελεί το μοντέλο περιγραφής της μηχανικής συμπεριφοράς των τοιχοπληρώσεων. Προς το σκοπό αυτό έχει γίνει εκτεταμένη ερευνητική προσπάθεια, χωρίς όμως να υπάρχει μοντέλο καθολικής αποδοχής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι τοιχοπληρώσεις προσομοιώνονται με την βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων ή με ισοδύναμες θλιβόμενες διαγώνιες ράβδους ή με διατμητικά φατνώματα.

Κατά τον ΚΑΝΕΠΕ, η προσομοίωση γίνεται είτε με θλιβόμενη διαγώνιο είτε με διατμητικό φατνώμα. Κατά τον Δρίτσο και Τσίκα, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία πειραματικά για τον τρόπο τοποθέτησης πολλαπλών θλιπτήρων και για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τους και των ιδιοτήτων τους. Ελλείπει λεπτομερέστερης διερευνήσεως, μπορούν να λαμβάνονται υπ' όψη οι απλοποιήσεις που προτείνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (7.4.1.iv) (Δρίτσος κ Τσίκας, 2009).



Εικόνα 1: α) Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων θλιβόμενης διαγωνίου τοιχοπλήρωσης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. β) Διάγραμμα διατμητικών τάσεων-γωνιακών παραμορφώσεων τοιχοπλήρωσης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Δρίτσος κ Τσίκας, 2009).

Με βάση τα αναλυτικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην εργασία του Δρίτσου και Τσίκα με όνομα «Διερεύνηση του τρόπου προσομοίωσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων με ανοίγματα, σε κατασκευές Ο.Σ.» εξάγονται οι εξής παρατηρήσεις:

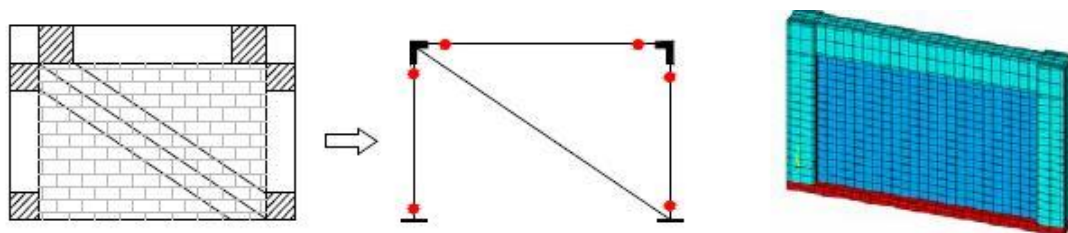
Τα προσομοιώματα τα οποία διαθέτουν φθίνοντα κλάδο (Panagiotakos & Fardis, 1994 και Mostafaei & Kabeyasawa, 2004) παρουσιάσουν μεγαλύτερη σύγκλιση με τα πειραματικά δεδομένα σε σχέση με τα προσομοιώματα τα οποία δεν διαθέτουν φθίνοντα κλάδο (FEMA και ΚΑΝ.ΕΠΕ.) Το σύνολο των αναλυτικών αποτελεσμάτων συγκρίνεται με διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα από έρευνες σε τοιχοπληρωμένα πλαίσια με ανοίγματα μορφής θυρών ή παραθύρων, μεταβλητού μεγέθους και θέσης ανοίγματος.

Η ύπαρξη ανοίγματος στην τοιχοπληρωση προσομοιώνεται με χρήση πολλαπλών θλιπτήρων με σχετικά καλή προσέγγιση.

Η προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με ανοίγματα με τη χρήση ενός μόνο θλιπτήρα ως εναλλακτική λύση των πολλαπλών θλιπτήρων παρουσιάζει καλή σύγκλιση με τα πειραματικά δεδομένα έχει όμως το μειονέκτημα να μην προσομοιώνεται οι τοπικές επιρροές η οποίες προσομοιώνονται με τη χρήση των πολλαπλών θλιπτήρων.

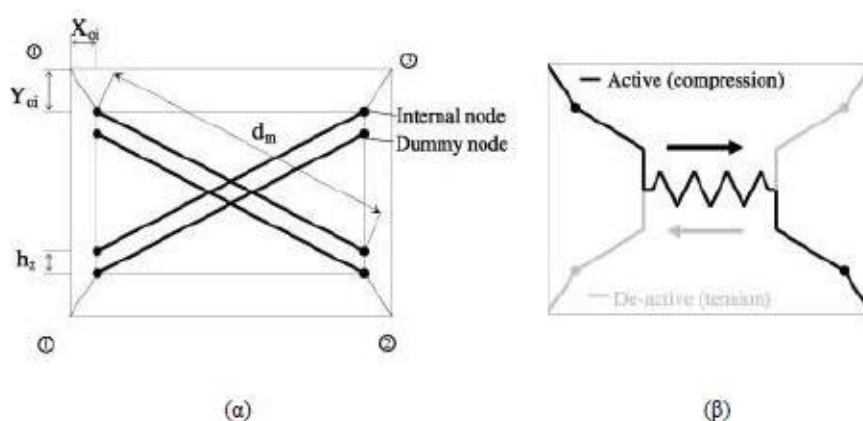
Για την παραπάνω προσομοίωση προτείνονται στο κείμενο της εργασίας σχετικές προσεγγιστικές εκφράσεις η αξιοπιστία των οποίων απαιτεί περισσότερα πειραματικά δεδομένα για να γενικευθεί η ισχύς τους.

Η προσομοίωση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων με χρήση πεπερασμένων στοιχείων παρουσιάζει καλύτερη σύγκλιση με τα πειραματικά δεδομένα, η προσομοίωση όμως έχει μεγάλο υπολογιστικό κόστος (Δρίτσος κ Τσίκας, 2009).



Εικόνα 2: α) Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου πλαισίου με γραμμικά στοιχεία β) Προσομοίωση τοιχοπληρωμένου πλαισίου με πεπερασμένα στοιχεία (Δρίτσος κ Τσίκας, 2009)

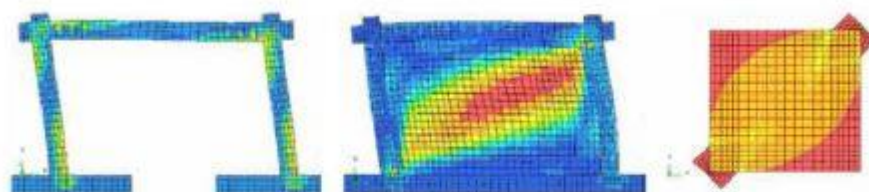
Στην πτυχιακή του εργασία «ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ» ο κ. Ζήνωνος Ιωάννης αναφέρεται στην προσομοίωση τοιχοπληρώσεων κάνοντας παράλληλα μια ιστορική αναδρομή. Διακρίνει τις προσομοιώσεις σε μικρο-προσομοιώματα και μακρο-προσομοιώματα. Τα μακρο-προσομοιώματα άρχισαν από την έννοια ενός ισοδύναμου διαγωνίου θλιπτήρα με πάχος και υλικό ίδιο με αυτό της τοιχοπλήρωσης και πλάτος ίσο με το ένα τρίτο του διαγωνίου. Το πάχος του θλιπτήρα με την πάροδο του χρόνου προτάθηκε να υπολογίζεται μέσα από άλλες σχέσεις. Εξάλλου, υιοθετήθηκαν και άλλα μοντέλα προσομοίωσης με πολλαπλούς θλιπτήρες (διπλό ή τριπλό) ή ακόμα και έξι θλιπτήρες (τρεις σε κάθε κατεύθυνση). Επίσης έχει προταθεί μοντέλο με 2 παράλληλους θλιπτήρες και ένα διατμητικό ελατήριο σε κάθε κατεύθυνση.



Εικόνα 3: μοντέλο προσομοίωσης τοιχοπληρώσεων με 2 παράλληλους θλιπτήρες και ένα διατμητικό ελατήριο σε κάθε κατεύθυνση. (Ζήνωνος Ιωάννης, 2013)

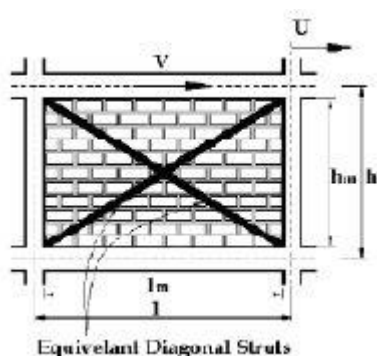
Τα μικρο- προσομοιώματα είναι τα πεπερασμένα στοιχεία, τα οποία μπορούν να προσομοιώσουν την τοιχοπλήρωση με πολύ λεπτομερή τρόπο, αλλά το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι απαιτείται πολύς χρόνος για την διεκπεραίωση τους. Η προσομοίωση τρισδιάστατων φορέων με τρισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία θα αποτελούσε μια προσέγγιση με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Κατά την διαδικασία αυτή λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η ολίσθηση στους αρμούς, η μετακίνηση λιθοσωμάτων, τα κενά στην διεπιφάνεια τοιχοπλήρωσης πλαισίου. Η μέθοδος αυτή λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων,

του χρόνου πραγματοποίησης κρίνεται ότι προσφέρεται παραπάνω για επιστημονικές μελέτες (Ζήνωνος Ιωάννης, 2013).



Εικόνα 4: Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Ζήνωνος Ι., 2013)

Ο κ. Κακαραντζας Απόστολος στην πτυχιακή του εργασία «Επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση πλαισιωτών Κατασκευών Οπλισμένου σκυροδέματος» επίσης διακρίνει τις προσομοιώσεις στα μακρο-προσομοιώματα και στα μικρο-προσομοιώματα. Στην δεύτερη προσέγγιση έχουμε ένα ή περισσότερα ελατήρια (θλιπτήρες/ελκυστήρες), ενώ η πρώτη περιλαμβάνει προσομοιώματα που περιγράφουν λεπτομερώς τα επιμέρους στοιχεία του τοίχου (τοιχοσώματα, κονίαμα, διεπιφάνεια επαφής).



Εικόνα 5: προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με διαγώνιους θλιπτήρες (Κακαράντζας, 2015)

Εξάλλου, στην εργασία του ο κ. Κακαράντζας σημειώνει ότι η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική αντίδραση των κτιρίων είναι σε συνάρτηση με την κάθε κατασκευή, αν και συνήθως επηρεάζουν θετικά την συμπεριφορά των κατασκευών σε σεισμικές συνθήκες και την έκβαση στις επιπτώσεις του σεισμού στην κατασκευή. Περιπτώσεις που μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά είναι η ύπαρξη ανοιγμάτων, η μη σταθερή σύνδεση της τοιχοπλήρωσης με το πλαίσιο που την περιβάλλει και η ανομοιόμορφη κατανομή των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος ή σε κάτοψη (Κακαράντζας).

Τέλος, ο κ. Μπιλάλ Γιασίν ασχολείται με τις τοιχοπληρώσεις στην διδακτορική του διατριβή «Πειραματική διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στην δυναμική απόκριση κτιριακών κατασκευών μέσω της μελέτης φυσικών ομοιωμάτων υπό κλίμακα» το 1999.

Στα συμπεράσματα της διατριβής επιγραμματικά από τα πειράματα που έγιναν στην βάση των συνθηκών που προσομοιώθηκαν και την κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνονται τα εξής:

1. Οι τοιχοπληρώσεις αυξάνουν την δυσκαμψία των πλαισίων Ο.Σ. σημαντικά.

2. Με την παρουσία των τοιχοπληρώσεων και των αξονικών δυνάμεων στους στύλους των πλαισίων αυξάνεται η αντοχή των πλαισίων Ο.Σ.
3. Παρουσιάζεται αύξηση της ικανότητας των πλαισίων να αποσβένουν ενέργεια λόγω των τοιχοπληρώσεων ή της αξονικής δύναμης.
4. Τα ανοίγματα επηρεάζουν αρνητικά την δυσκαμψία και την αντοχή.
5. Η επιρροή του περιμετρικού αρμού εντοπίζεται κυρίως στην μείωση της δυσκαμψίας του τοίχου πλήρωσης.
6. Η αντοχή των κονιαμάτων αυξάνει την δυσκαμψία και την αντοχή. Εμφάνιση ψαθυρού τύπου θραύσης στις γωνίες των κόμβων στύλου – δοκού.
7. Η επιρροή του εγκιβωτισμού είναι σημαντική έως πολύ σημαντική όπως παρουσιάζεται στην διατριβή μέσω των παραμέτρων όπως η γεωμετρία των τούβλων, ύπαρξη ανοιγμάτων, επιβολή αξονικής δύναμης και πάχος αρμών.

## Κεφάλαιο 4: Μοντέλα δομικών στοιχείων

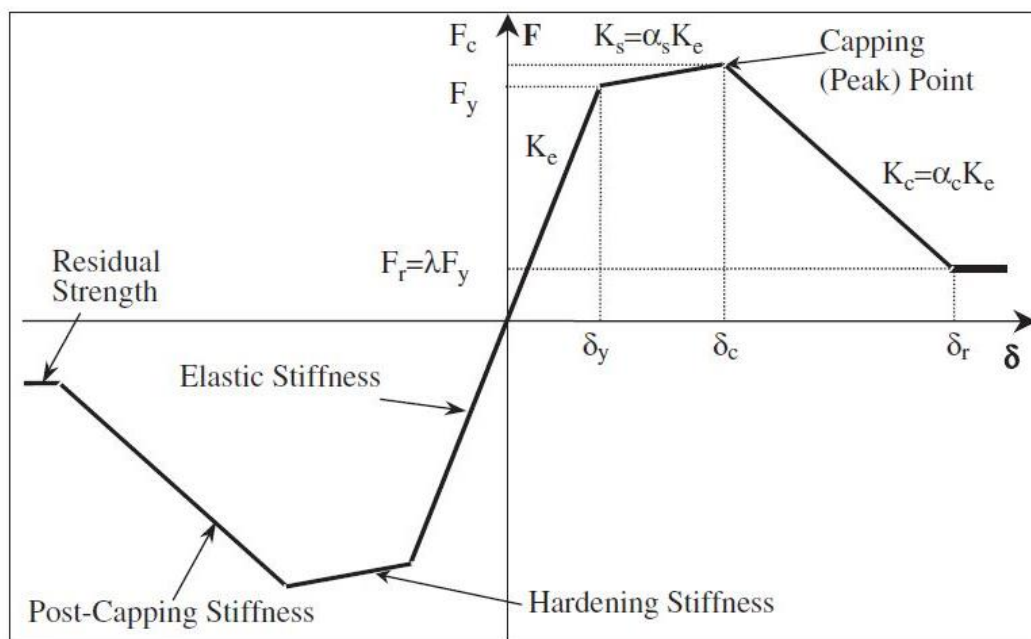
### 4.1.Μοντέλο στοιχείων πλαισίων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος θα γίνει χρήση του τρισδιάστατου ανελαστικού πλαισιακού στοιχείου μετακίνησης με πλαστικές αρθρώσεις. Πρόκειται για ένα στοιχείο που αποτελείται από 3 μέρη:

τους 2 συνδέσμους που βρίσκονται από ένας σε κάθε άκρο του

το κύριο σώμα του που βρίσκεται μεταξύ αυτών των συνδέσμων.

Οι 2 σύνδεσμοι αυτοί προσομοιώνουν τις περιστροφικές πλαστικές παραμορφώσεις γύρω από τους τοπικούς άξονες 2 και 3. Το κομμάτι μεταξύ των συνδέσμων παραμένει ελαστικό και η πλαστικότητα παραμένει μόνο στις άκρες του στοιχείου (συνδέσμους). Τα 4 περιστροφικά ελατήρια στα άκρα του στοιχείου έχουν σχέση δύναμης-μετακίνησης που χαρακτηρίζεται από μια υστερητική καμπύλη που βασίζεται στην καμπύλη MIMK-bilin (Ibarra-Medina-Krawinkler) του seismostruct.



Εικόνα 6: Βασική καμπύλη Ibarra-Medina-Krawinkler σε όρους Δύναμης –Μετατόπισης (Ibarra et. al., 2005)

)

Η καμπτική ροπή διαρροής ( $M_y$ ) και αστοχίας ( $M_u$ ) υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη το αξονικό φορτίο που εφαρμόζεται στο στοιχείο από τα φορτία της κατασκευής, όπως επίσης και παραμόρφωση διαρροής ( $\delta_y$ ) που αντιστοιχεί στην παραμόρφωση του στοιχείου κατά τη ροπή διαρροής. Εν αντίθεση, η ικανότητα πλαστικής περιστροφής (a) και η συνολική περιστροφή (b) υπολογίζονται από πίνακες 10-7 έως 10-9 του ASCE 41-17.

#### 4.2. Μοντέλο τοιχοπλήρωσης

Μια άλλη κατηγορία στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική είναι το ανελαστικό στοιχείο τοιχοπλήρωσης που ονομάζεται infills στο λογισμικό. Είναι το υλικό από το οποίο θα κατασκευάζονται οι τοιχοπληρώσεις. Προσομοιώνει την μη γραμμική απόκριση των υλικών τοιχοπλήρωσης σε πλαίσιακές κατασκευές. Αναπαριστάται από 2 θλιπτήρες σε κάθε διαγώνιο οι οποίοι είναι παράλληλοι και μεταφέρουν τα αξονικά φορτία μεταξύ των απέναντι διαγώνιων γωνιών και έναν ακόμα θλιπτήρα σε κάθε διαγώνιο για την μεταφορά της τέμνουσας από το άνω μέρος της τοιχοπλήρωσης στο κάτω. Ο τελευταίος αυτός θλιπτήρας ενεργοποιείται μόνο στην διαγώνιο που θλίβεται και συνεπώς εξαρτάται από την παραμόρφωση της τοιχοπλήρωσης. Οι θλιπτήρες αξονικού φορτίου ακολουθούν το μοντέλο υστέρησης του θλιπτήρα τοιχοποιίας και οι θλιπτήρες τέμνουσας ένα διγραμμικό μοντέλο υστέρησης. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με στοιχεία της καμπύλης του θλιπτήρα:

Χαρακτηριστικό	Προεπιλεγμένη τιμή
Αρχικό μέτρο ελαστικότητας ή Young	1600000(kpa)
Θλιπτική αντοχή	1000(kpa)
Εφελκυστική αντοχή	0(kpa)
Παραμόρφωση στην μέγιστη τάση	0,0012(m/m)
Τελική παραμόρφωση	0,024(m/m)
Παραμόρφωση κλεισίματος	0,004(m/m)
Παραμόρφωση απομείωσης επιφάνειας θλιπτήρα	0,0006(m/m)
Απομένουσα παραμόρφωση επιφάνειας θλιπτήρα	0,001(m/m)
Συντελεστής δυσκαμψίας στην έναρξη αποφόρτισης	1,5(-)
Συντελεστής παραμόρφωσης επαναφόρτισης	0,2(-)
Συντελεστής παραμόρφωσης σημείου καμψής	0,7(-)
Συντελεστής παραμόρφωσης πλήρους αποφόρτισης	1,5(-)
Συντελεστής τάσης σημείου καμψής	0,9(-)
Συντελεστής δυσκαμψίας μηδενισμού τάσης	1(-)
Συντελεστής δυσκαμψίας επαναφόρτισης	1,5(-)
Συντελεστής δυσκαμψίας πλαστικής αποφόρτισης	3(-)
Συντελεστής παραμόρφωσης επαναλαμβανόμενου κύκλου	1,4(-)

### **Αρχικό μετρό ελαστικότητας – $E_m$**

Το μετρό ελαστικότητας ή μέτρο του Young αναπαριστά την αρχική κλίση της καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων. Η τοιχοποιία είναι ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από τους οπτόπλινθους και συνδετικό κονίαμα, τα οποία έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες. Στην βιβλιογραφία βρίσκουμε δύο κύριους τρόπους προσέγγισης. Κατά τον πρώτο θεωρούμε γραμμική ελαστική συμπεριφορά και για τα δύο υλικά κινητική παραμόρφωση της τοιχοποιίας ισούται με το άθροισμα της παραμόρφωσης των κόμβων των επιμέρους υλικών (οπτόπλινθους και κονίαμα). Εν αντιθέσει κατα το δεύτερο τρόπο, η τοιχοποιία θεωρείται ως ενιαίο υλικό και το μετρό ελαστικότητας συσχετίζεται με τη θλιπτική αντοχή του υλικού.

### **Θλιπτική αντοχή - $f_m$**

Με τον όρο θλιπτική αντοχή αναφερόμαστε στην διαγώνια φέρουσα ικανότητα του πάνελ τοιχοπλήρωσης. Στην συνήθη περίπτωση που ο χρήστης δεν διαθέτει πειραματικά δεδομένα Ο υπολογισμός της αντοχής προκύπτει ως η ελάχιστη τιμή όλων των δυνατών μηχανισμών αστοχίας της τοιχοπλήρωσης.

### **Εφελκυστική αντοχή – $f_t$**

Η εφελκυστική αντοχή αντιπροσωπεύει την αντοχή του δεσμού της διεπιφάνειας μεταξύ του πλαισίου του οπλισμένου σκυροδέματος και της τοιχοπλήρωσης. Εξαιτίας της αμελητέας επιρροής στην τελική απόκριση συνήθως λαμβάνεται ως μηδενική.

### **Παραμόρφωση στη μέγιστη τάση - $\epsilon_m$**

Η συγκεκριμένη παράμετρος επηρεάζει τον αύξοντα κλάδο της καμπύλης τάσης παραμόρφωσης και οι τιμές προκύπτουν από πειραματικά δεδομένα. Η προτεινόμενη τιμή του Seismostruct είναι 0.0012

### **Τελική ή οριακή παραμόρφωση - $\epsilon_{ult}$**

Αυτή η παράμετρος επηρεάζει τον καθοδικό κλάδο της καμπύλης τάσης παραμόρφωσης η οποία είναι παραβολική ώστε να προσεγγιστεί καλύτερα η απόκριση των θλιπτήρων. Η προτεινόμενη τιμή είναι 0.024 ήτοι 20 φορές την παραμόρφωση στη μέγιστη τάση με σκοπό την ομαλή μείωση της θλιπτικής αντοχής.

## **Παραμόρφωση κλεισίματος - $\epsilon_{cl}$**

Αυτή η παράμετρος καθορίζει το επίπεδο παραμορφώσεις με το πέρας του οποίου οι ρωγμές κλείνουν επαρκώς ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων.

## **Παραμόρφωση απομείωσης επιφάνειας θλιπτήρα και απομένουσα παραμόρφωση επιφάνειας θλιπτήρα - $\epsilon_1$ και $\epsilon_2$**

Η τιμή της παραμόρφωσης απομείωσης επιφάνειας θλιπτήρα, ή αλλιώς  $\epsilon_1$ , κυμαίνεται από 0,0003 έως 0,0008, ενώ η τιμή της απομένουσας παραμόρφωσης, δηλαδή της  $\epsilon_2$ , από 0,0006 μέχρι 0,016. Πιο επεξηγηματικά, ο τρόπος με τον οποίο μειώνεται το εμβαδό του θλιπτήρα, καθιστά την εύρεση πειραματικών στοιχείων δύσκολη, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάποια σταθερή τιμή και για τις δύο παραμορφώσεις.

## **Εμπειρικές παράμετροι**

Κατά τον Crisafulli, συνιστάται ο ορισμός πρόσθετων πειραματικών παραμέτρων, όπου η συσχέτιση τους με ανακυκλική φόρτιση θα επιδρά σε μικρό βαθμό στη στατική ανάλυση pushover.

**Συντελεστής δυσκαμψίας στην έναρξη αποφόρτισης ( $Y_{um}$ ):** ορίζεται το αρχικό μέτρο δυσκαμψίας στην αποφόρτιση.

**Συντελεστής παραμόρφωσης επαναφόρτισης ( $\alpha_{re}$ ):** ορίζεται η παραμόρφωση, όπου ο βρόγχος φτάνει την περιβάλλουσα μετά την αποφόρτιση.

**Συντελεστής παραμόρφωσης σημείου καμπής ( $\alpha_{ch}$ ):** υπολογίζεται η παραμόρφωση, κατά την οποία η καμπύλη επαναφόρτισης πρέπει να χρησιμοποιεί ένα σημείο καμπής, ώστε να ελέγχεται το πάχος του βρόγχου.

**Συντελεστής παραμόρφωσης πλήρους αποφόρτισης ( $\beta_u$ ):** ορίζεται η πλαστική παραμόρφωση μετά από πλήρη αποφόρτιση.

**Συντελεστής τάσης σημείου καμπής ( $\beta_{ch}$ ):** υπολογίζεται η τάση κατά την οποία η καμπύλη επαναφόρτισης πρέπει να έχει ένα σημείο καμπής.

**Συντελεστής δυσκαμψίας μηδενισμού τάσης ( $Y_{plu}$ ):** ορίζεται η ακαμψία στην μηδενική τάση έπειτα από πλήρη αποφόρτιση, ως ανάλογο του αρχικού αντίστοιχου  $E_m$ .

**Συντελεστής δυσκαμψίας επαναφόρτισης ( $Y_{plr}$ ):** ορίζεται η επαναφόρτιση του συντελεστή ακαμψίας μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης, ως ανάλογο του αρχικού αντίστοιχου φορτίου  $E_m$ .

**Συντελεστής δυσκαμψίας πλαστικής αποφόρτισης ( $\epsilon_{\chi 1}$ ):** ορίζεται η αποφόρτιση του εφαπτομενικού μέτρου, που αντιστοιχεί στην πλαστική αποφόρτιση, ως ανάλογο του αρχικού φορτίου.

**Συντελεστής δυσκαμψίας επαναλαμβανόμενου κύκλου ( $\epsilon_{\chi 2}$ ):** υπολογίζεται η παραμόρφωση, στην οποία φτάνει η καμπύλη περιβάλλουσας μετά από έναν εσωτερικό κύκλο.

Parameters	Suggested Values	Limit values	Used value
$Y_{um}$	1.5 – 2.5	$\geq 1$	1.5
$\alpha_{re}$	0.2 – 0.4	$\geq 0$	0.2
$\alpha_{ch}$	0.3 – 0.6	0.1 – 0.7	0.7
$\beta_a$	1.5 – 2.0	$\geq 0$	2.0
$\beta_{ch}$	0.6 – 0.7	0.5 – 0.9	0.9
$Y_{plu}$	0.5 – 0.7	0 – 1.0	1.0
$Y_{plr}$	1.1 – 1.5	$\geq 1$	1.1
$\varepsilon_{\chi 1}$	1.5 – 2.0	$\geq 0$	3.0
$\varepsilon_{\chi 2}$	1.0 – 1.5	$\geq 0$	1.0

Πίνακας 2: Εμπειρικοί παράμετροι

### Παράμετροι ελατηρίου (Shear Curve Parameters)

Ο συνδυασμός δύο μηχανισμών, της αντοχής δεσμού και της αντίστασης τριβής του κονιάματος και των τούβλων, είναι αποτέλεσμα της αντοχής σε τέμνουσα. Συνεπώς, η αντοχή σε τέμνουσα δύναται να εκφράζεται ως το άθροισμα της αρχικής αντοχής διατμητικής συνάφειας  $\tau_o$  και του προϊόντος του συντελεστή τριβής  $\mu$  επί την απόλυτη τιμή της κανονικής θλιπτικής δύναμης στην κάθετη διεύθυνση των αρθρώσεων. Ο μηχανισμός αστοχίας που αναπτύσσεται στο πάνελ τοιχοπλήρωσης, δηλαδή η αστοχία τριβής τέμνουσας, η αστοχία διαγώνιου εφελκυσμού και η αστοχία σε θλίψη είναι ανεξάρτητα από την προαναφερθείσα προσέγγιση, η οποία εφαρμόζεται για την εκτίμηση της αντοχής σε τέμνουσα.

### Αντοχή διατμητικής επιφάνειας – $\tau_o$

Η παράμετρος  $\tau_o$  υπολογίζεται κατευθείαν από πειράματα. Οι τυπικές τιμές του  $\tau_o$  διακυμαίνονται από 0.1 έως 1.5MPa, οι οποίες είναι αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών με χρήση διαφόρων υλικών.

### Συντελεστής τριβής – $\mu$

Σε αντίθεση με την παράμετρο  $\tau_o$ , η παράμετρος  $\mu$  υπολογίζεται από πειραματικά δεδομένα, αλλά εξαιτίας της έλλειψης σαφούς συμφωνίας στους συντελεστές, από τους οποίους επηρεάζεται ο συντελεστής τριβής, οι ερευνητές κατέληξαν σε τιμές μεταξύ του 0,1 και 0,2. Εντούτοις, έχει προταθεί η τιμή 0.7, που έχει προκύψει από επιπλέον πειραματικά αποτελέσματα, ως ένα αξιόπιστο κάτω όριο της παραμέτρου.

### **Μέγιστη αντίσταση τέμνουσας - $\tau_{max}$**

Η παράμετρος αυτή απεικονίζει τη μεγαλύτερη διατμητική τάση, που κινητοποιείται από το πάνελ τοιχοπλήρωσης και είναι εξαρτώμενη από το μηχανισμό αστοχίας, ο οποίος αναπτύσσεται στο πάνελ. Η μέγιστη αντίσταση τέμνουσας  $\tau_{max}$  υπολογίζεται από την επικείμενη μορφή αστοχίας.

### **Συντελεστής απομείωσης τέμνουσας - $\alpha_\beta$**

Η τιμές αυτής της παραμέτρου κυμαίνονται από 1,4 έως 1,65, με προτεινόμενη τιμή την 1,5, αναπαριστώντας τη σχέση μεταξύ της μέγιστης διατμητικής τάσης και της μέσης τάσης στο πάνελ.

### **Υπόλοιπες παράμετροι τοιχοποιίας**

#### **Πάχος τοίχου – $t$**

Θεωρείται ίσο με το πλάτος μόνο των τούβλων του πάνελ ή να συνυπολογίζεται και η συνεισφορά του σοβά.

### **Αστοχία εκτός επιπέδου σε σχετική μετακίνηση**

Όταν το πάνελ και όχι το πλαίσιο μετακινείται μερικώς εκτός επιπέδου, παύει να επιδρά τόσο στην αντοχή όσο και στην δυσκαμψία της κατασκευής, αφού θεωρητικά έχει υποστεί αστοχία με ένα εκτός επιπέδου μηχανισμό αστοχίας. Η διαδικασία αυτή αποτελεί την απενεργοποίηση του στοιχείου, η οποία προκύπτει από την εισαγωγή της παραμέτρου ή αστοχίας (\*\*\*) ως ποσοστό του ύψους του ορόφου.

### **Εμβαδό θλιπτήρα 1 – A1**

Ορίζεται το προϊόν του πάχους του πάνελ και του ισοδύναμου πλάτους του θλιπτήρα  $b_w$ , όπου κυμαίνεται μεταξύ 10% και 40% της διαγωνίου του πάνελ πλήρωσης  $d_w$ .

### **Εμβαδό θλιπτήρα 2 – A2**

Εισάγεται ως ποσοστό του  $A_1$ , με σκοπό να αντιληφθεί το γεγονός ότι εξαιτίας της ρηγματώσης του πάνελ πλήρωσης, επέρχεται μείωση του μήκους επαφής μεταξύ του πλαισίου και το πάνελ αντίστοιχη με αυτή της πλευρικής μετακίνησης και ως εκ τούτου να αυξάνεται η αξονική. Συνεπώς το εμβαδό του θλιπτήρα επηρεάζεται και θεωρείται ότι μεταβάλλεται γραμμικά συναρτήσει της αξονικής παραμέτρου.

### Ισοδύναμο μήκος επαφής – $h_z$

Δίνεται ως ποσοστό του κατακόρυφου ύψους των πάνελ και χρησιμοποιείται για την σωστή αντίληψη του μήκους επαφής μεταξύ του πλαισίου και του πάνελ πλήρωσης. Από αποτελέσματα προκύπτουν τιμές που ποικύλουν μεταξύ του  $1/3$  και  $1/2$  του πραγματικού μήκους επαφής ( $z$ ) ίσο με  $0,5pl^{-1}$ , όπου  $\lambda$  είναι μια αδιάστατη παράμετρος σχετικής δυσκαμψίας που υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\lambda = h^4 \sqrt{\frac{E_m t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_c h_w}}$$

$E_m$  = μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας

$T_w$  = πάχος πάνελ

$\theta$  = γωνία του διαγώνιου θλιπτήρα σε σχέση με τις δοκούς

$E_c I_c$  = δυσκαμψία κάμψης των υποστλωμάτων

$h_w$  = ύψος του πάνελ πλήρωσης

### Οριζόντια και κατακόρυφη μετάθεση – $\chi_0$ και $\gamma_0$

Ορίζεται το ποσοστό των οριζόντιων και κατακόρυφων διαστάσεων του πάνελ, όπου λόγω του βάθους των ραβδόμορφων μελών, απεικονίζουν την μείωση των κατακόρυφων.

### Ποσοστό δυσκαμψίας που αποδίδεται στη τέμνουσα

Αναπαριστά το ποσοστό της δυσκαμψίας του πάνελ, ώστε να οριστεί στο ελατήριο τέμνουσας. Παρακάτω ακολουθεί ο υπολογισμός της δυσκαμψίας του θλιπτήρα ( $K_A$ ) και η δυσκαμψία τέμνουσας ( $K_s$ ):

$$K_A = (1 - \gamma_s) \frac{A_{ms} E_m}{2d_m}$$

$$K_s = \gamma_s \frac{A_{ms} E_m}{d_m} \cos^2 \theta$$

### Ειδικό βάρος – $\gamma$

Απεικονίζει το ογκομετρικό βάρος του πάνελ.

Η καμπύλη τέμνουσας θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Χαρακτηριστικό	Προεπιλεγμένη τιμή
Αντοχή διατμητικής συνάφειας	300(kpa)
Συντελεστής τριβής	0,7(-)
Μεγιστη αντίσταση τέμνουσας	600(kpa)
Συντελεστής απομείωσης τέμνουσας	1,5(-)

*Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά καμπύλης τέμνουσας*

Ως πάχος τοίχου ορίζουμε  $t=11\text{ cm}$  (πλάτος τούβλου)

Ως ειδικό βάρος ορίζεται  $\gamma=20\text{ kN/m}^3$

Στην προκειμένη περίπτωση το τούβλο έχει  $f_{ck} 16\text{ MPa}$  και το κονίαμα  $f_{ck} 4\text{ MPa}$ . Το πάχος του κονιάματος λαμβάνεται 1 εκ.

## Κεφάλαιο 5: Ανάλυση

### 5.1. Μοντέλα κτιρίων

Έχουν δημιουργηθεί 6 μοντέλα κτιρίων στο λογισμικό SeismoBuild στα οποία εφαρμόστηκε ιδιομορφική ανάλυση και στην συνέχεια pushover ανάλυση. Στην συνέχεια θα περιγραφούν τα μοντέλα κατά σειρά:

- 1) Διόροφο συμμετρικό με τετραγωνική κάτοψη με 13,5 μ. πλευρά με υποστυλώματα 4 ανά πλευρά σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (συνολικά 16 υποστυλώματα με αποστάσεις 4,5μ) . Τα υποστυλώματα έχουν διατομή 30X 30 εκ. και δοκάρια 25X 60 εκ. Το ύψος ορόφου είναι 2,5μ. Στο κτίριο αυτό δεν υπάρχουν τοιχοπληρώσεις.
- 2) Το ίδιο κτίριο με τοιχοπληρώσεις σε όλα τα εξωτερικά φαντώματα του πάνω ορόφου.
- 3) Το 2ο μοντέλο με την προσθήκη μιας τοιχοπλήρωσης στην πίσω εξωτερική πλευρά του ισόγειου (κατά X)
- 4) Το 2<sup>ο</sup> μοντέλο με την προσθήκη 2 τοιχοπληρώσεων απέναντι μεταξύ τους στις 2 εξωτερικές πλευρές (αριστερή και δεξιά κατά Y άξονα) στο ισόγειο
- 5) Το 2<sup>ο</sup> μοντέλο με την προσθήκη τοιχοπληρώσεων στις 3 από τις 4 εξωτερικές πλευρές του ισόγειου (2 κατά Y και μία κατά X-εκτός από την μπροστινή)
- 6) Το 1<sup>ο</sup> μοντέλο με την προσθήκη τοιχοπληρώσεων σε όλες τις εξωτερικές πλευρές του κτιρίου.

### 5.2. Ιδιομορφική ανάλυση- περίοδοι και συχνότητες ιδιομορφών

Έγινε ιδιομορφική ανάλυση στα προηγούμενα μοντέλα μέσω του λογισμικού SeismoBuild. Προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα για τις περιόδους και συχνότητες των πρώτων 3 ιδιομορφών:

#### 1<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,305	3,283	20,630
2	0,305	3,284	20,630
3	0,269	3,723	23,391

Πίνακας 4: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 1<sup>ου</sup> μοντέλου

2<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,289	3,461	21,744
2	0,289	3,461	21,745
3	0,257	3,888	24,432

*Πίνακας 5:Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 2<sup>ου</sup> μοντέλου*

3<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,290	3,444	21,639
2	0,275	3,640	22,871
3	0,185	5,416	34,032

*Πίνακας 6:Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 3<sup>ου</sup> μοντέλου*

4<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,292	3,427	21,536
2	0,197	5,089	31,974
3	0,176	5,683	35,707

*Πίνακας 7:Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 4<sup>ου</sup> μοντέλου*

5<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,244	4,093	25,719
2	0,197	5,072	31,867
3	0,156	6,393	40,167

Πίνακας 8: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 5<sup>ου</sup> μοντέλου

6<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,198	5,055	31,761
2	0,198	5,055	31,761
3	0,148	6,765	42,504

Πίνακας 9: Περίοδοι και συχνότητες πρώτων ιδιομορφών 6<sup>ου</sup> μοντέλου

Παρατηρούμε ότι όσο προστίθενται τοιχοπληρώσεις και οδεύουμε από το 1<sup>ο</sup> μοντέλο (χωρίς τοιχοπληρώσεις σε κανένα όροφο) προς το 6<sup>ο</sup> μοντέλο ( με τοιχοπληρώσεις εξωτερικά και στους 2 ορόφους) η δυσκαμψία αυξάνεται και οι περίοδοι μειώνονται.

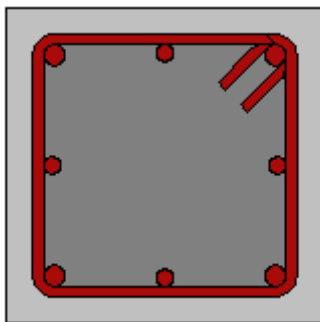
### 5.3. Παράμετροι pushover ανάλυσης

Στην συνέχεια έγινε ανάλυση pushover σε όλα τα παραπάνω μοντέλα. Έτσι μπορέσαμε να παράγουμε αποτελέσματα σχετικά με τον τρόπο εξέλιξης των βλαβών στα δομικά στοιχεία, την υπεραντοχή που έχει το κάθε μοντέλο, την δυσκαμψία τους, τις μέγιστες τέμνουσες βάσης, την κατάσταση στην οποία βρίσκονται σε σχέση με τις στάθμες επιτελεστικότητας.

Θα αναφερθούμε στις παραμέτρους που ορίστηκαν πριν προχωρήσουμε στις pushover.

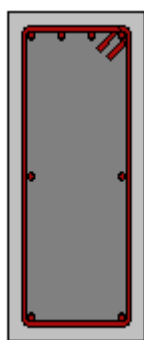
Το σκυρόδεμα έχει  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $f_c=20\text{MPa}$  , είναι C16/20, ο χάλυβας διαμήκους οπλισμού είναι S400, όπως και ο χάλυβας εγκάρσιου οπλισμού.

Στις γωνίες των υποστυλωμάτων υπάρχουν Φ20 και στα μέσα των πλευρών Φ16. Επίσης ως εγκάρσιο οπλισμό έχουμε συνδετήρες Φ10/10cm.

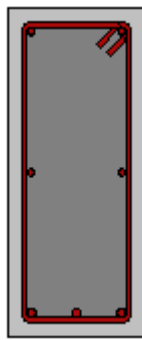


Εικόνα 7: διατομή υποστυλωμάτων με οπλισμό

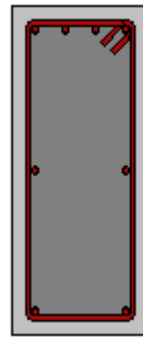
Στις δοκούς στην αρχή τους έχουμε διαμήκη οπλισμό 2Φ14 κάτω και 4Φ14 άνω και 2Φ12 πλευρικά, στο μέσο των δοκών 3Φ16 κάτω, 2Φ14 άνω και 2Φ12 πλευρικά, στο τέλος των δοκών 2Φ14 κάτω, 4Φ14 άνω και 2Φ12 πλευρικά. Ο εγκάρσιος οπλισμός τους είναι Φ10/15 εκ.



αρχή δοκού



μέσο δοκού



τέλος δοκού

Εικόνα 8: διατομή δοκών με οπλισμό στην αρχή, μέση και τέλος των δοκών αντίστοιχα

Οι δοκοί και τα υποστυλώματα ορίζονται ως ανελαστικά πλαισιακά στοιχεία μετακίνησης με πλαστικές αρθρώσεις.

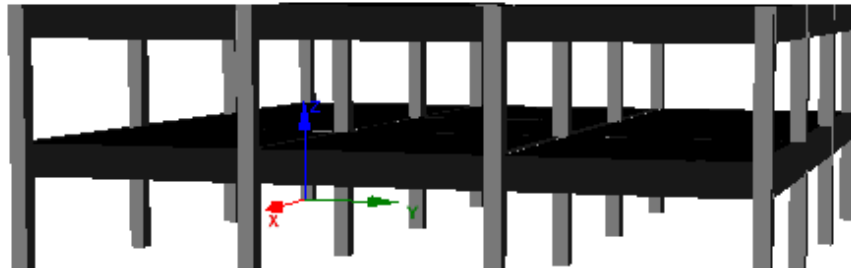
Η pushover γίνεται για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή, διαξονική πλευρική φόρτιση χωρίς εκκεντρότητα.

Η φασματική επιτάχυνση  $PGA(g)$  περιόδου επαναφοράς 475 ετών λαμβάνεται ίση με 0,24g , ο τύπος εδάφους Α και η κατηγορία σπουδαιότητας II και η απόσβεση 5%.

Η στάθμη αξιοπιστίας των δεδομένων λαμβάνεται ικανοποιητική. Ο συντελεστής μόνιμων φορτίων λαμβάνεται 1 και κινητών 0,3.

Επίσης επιλέγεται δομικός τύπος 1, παράμετρος που χρησιμεύει στον υπολογισμό του C2.

#### 5.4. Εκτέλεση pushover ανάλυσης- παραγωγή καμπυλών

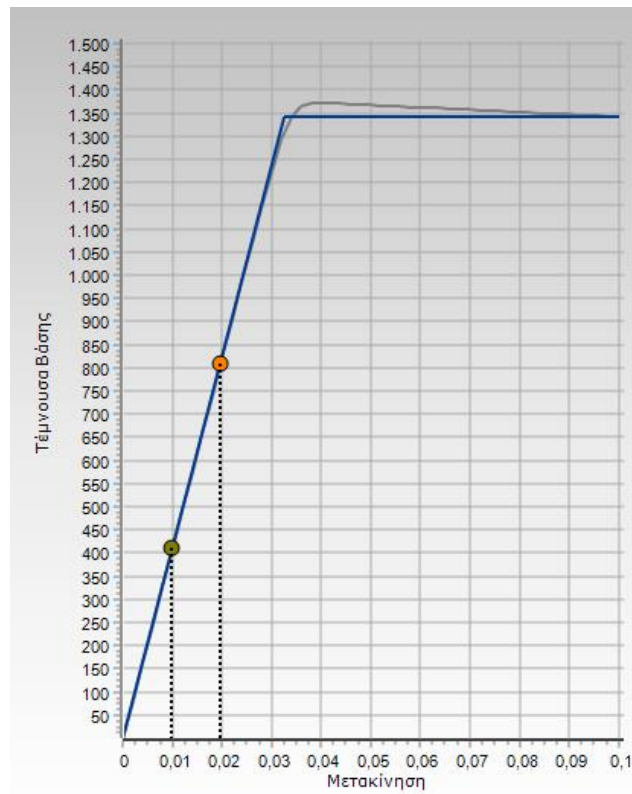


Εικόνα 9: 1<sup>ο</sup> μοντέλο

1<sup>ο</sup> μοντέλο:

Ενδεικτικά παρατίθενται οι pushover καμπύλες οι οποίες αναπαριστούν την τέμνουσα βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου ελέγχου (κέντρο μάζας της οροφής του τελευταίου ορόφου) για τις κατανομές X+0,3Y ομοιόμορφη, Y +0,3X ομοιόμορφη, X+0,3Y ομοιόμορφη, Y+0,3X ιδιομορφική, X+0,3Y ιδιομορφική, X-0,3Y ομοιόμορφη, Y-0,3X ομοιόμορφη, X-0,3Y ιδιομορφική, Y-0,3X ιδιομορφική.

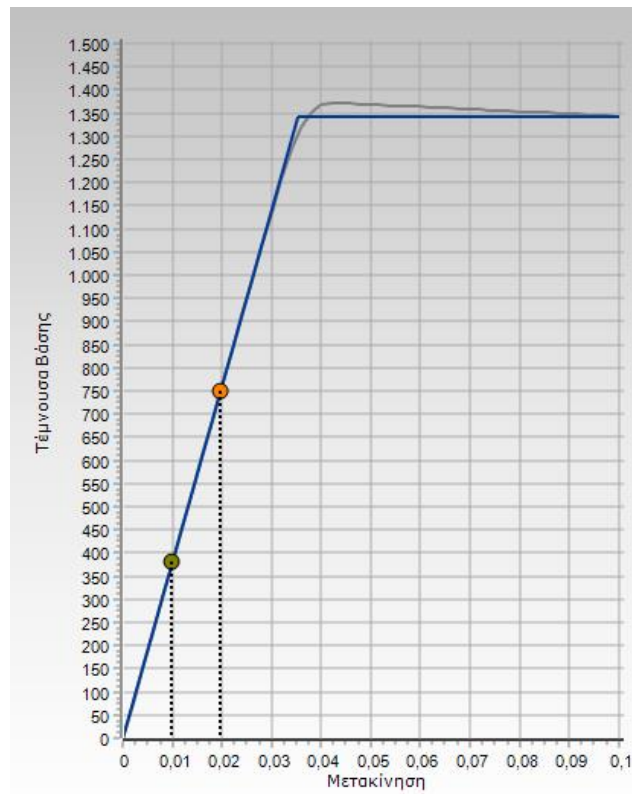
Στα διαγράμματα φαίνονται με μπλε χρώμα οι εξιδανικευμένες καμπύλες που παράγονται αυτόματα από το λογισμικό SeismoBuild.



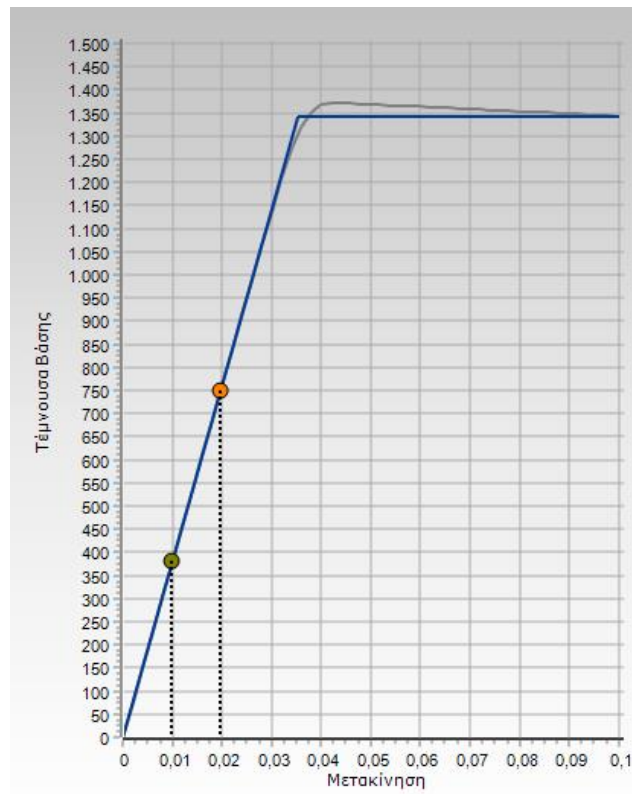
Διάγραμμα 1: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



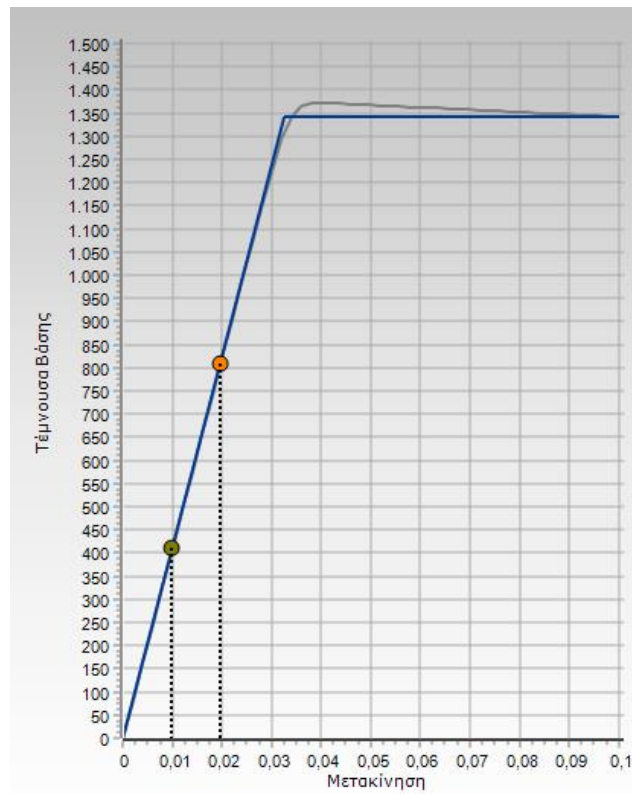
Διάγραμμα 2: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



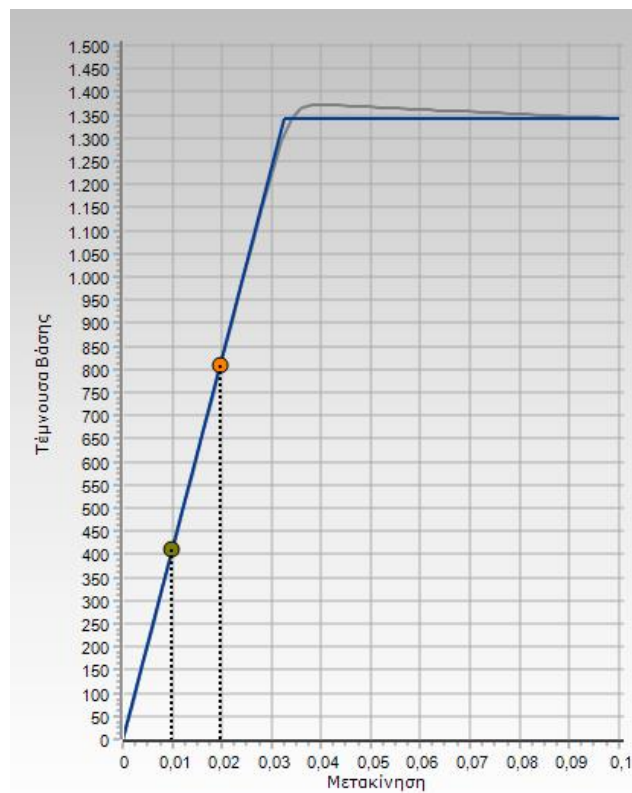
Διάγραμμα 3: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



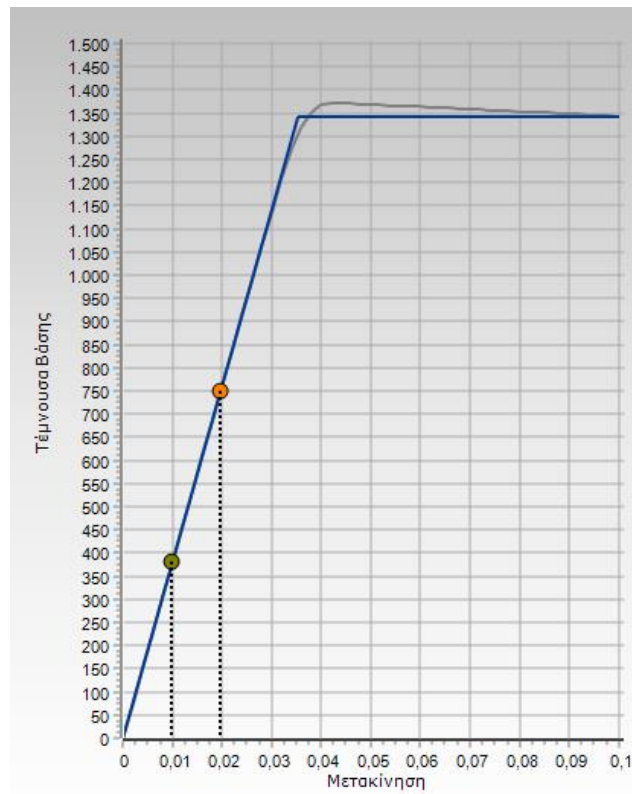
Διάγραμμα 4: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



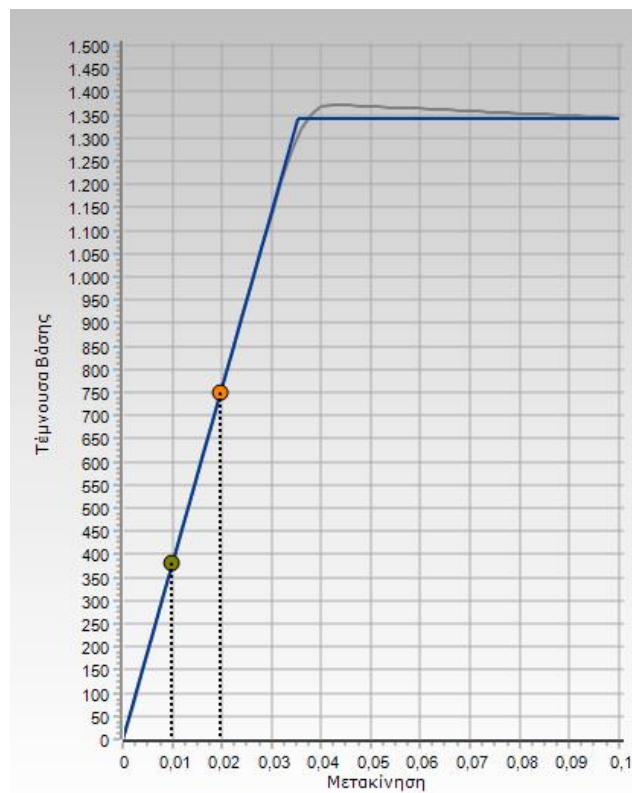
Διάγραμμα 5: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 6: pushover καμπύλη ( $Y-0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



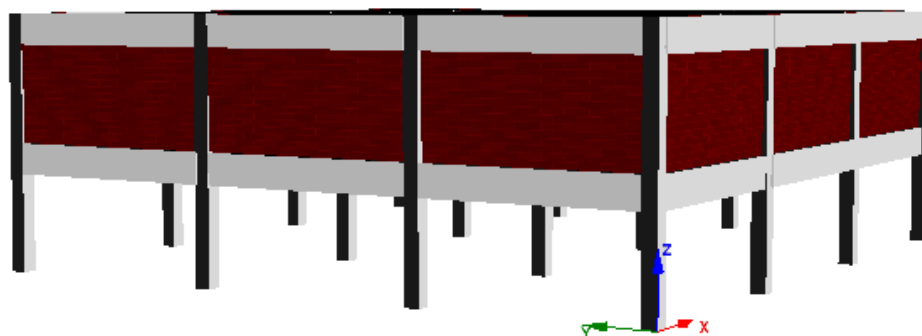
Διάγραμμα 7: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



Διάγραμμα 8: pushover καμπύλη ( $Y-0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)

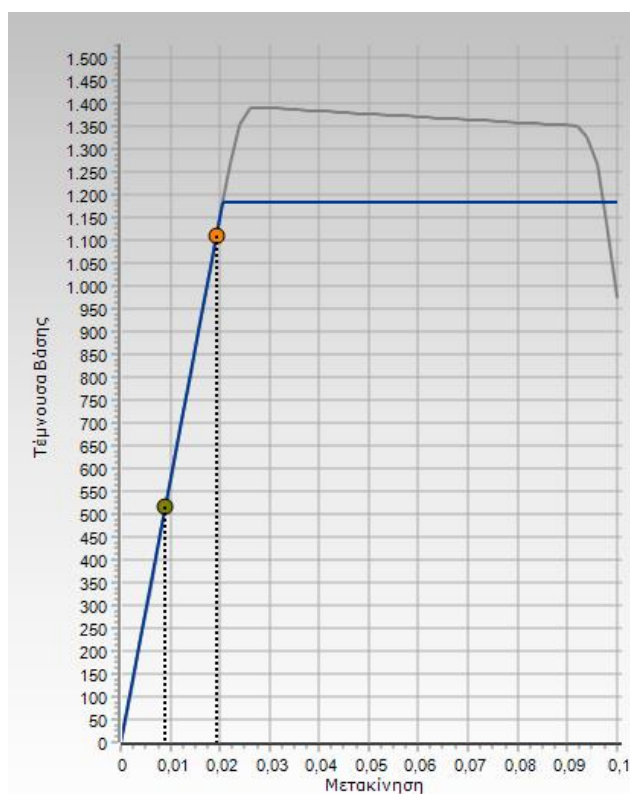
Στο 1<sup>ο</sup> μοντέλο σε όλα τα διαγράμματα η μέγιστη τέμνουσα βάση είναι μεταξύ 1313 και 1318kN στις εξιδανικευμένες καμπύλες

2<sup>ο</sup> μοντέλο:



Εικόνα 10: 2<sup>ο</sup> μοντέλο

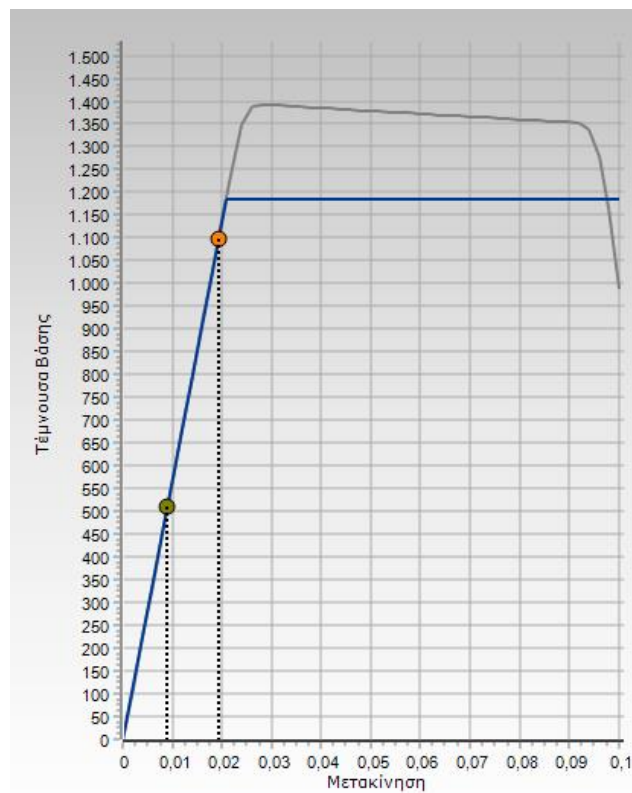
Ενδεικτικά παρατίθενται οι καμπύλες της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου ελέγχου για τις κατανομές  $X+0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y+0,3X$  ομοιόμορφη,  $Y+0,3X$  ιδιομορφική,  $X+0,3Y$  ιδιομορφική,  $X-0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y-0,3X$  ομοιόμορφη,  $X-0,3Y$  ιδιομορφική,  $Y-0,3X$  ιδιομορφική



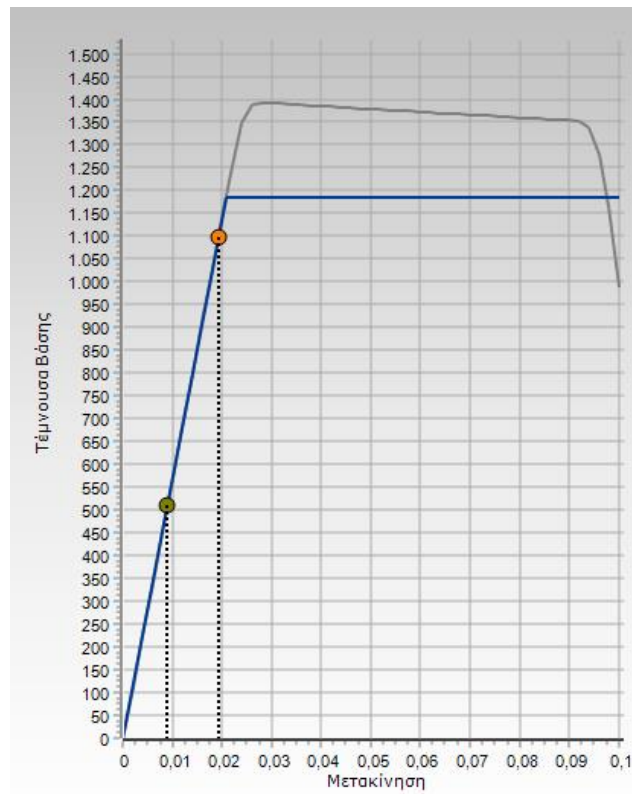
Διάγραμμα 9: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 10: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



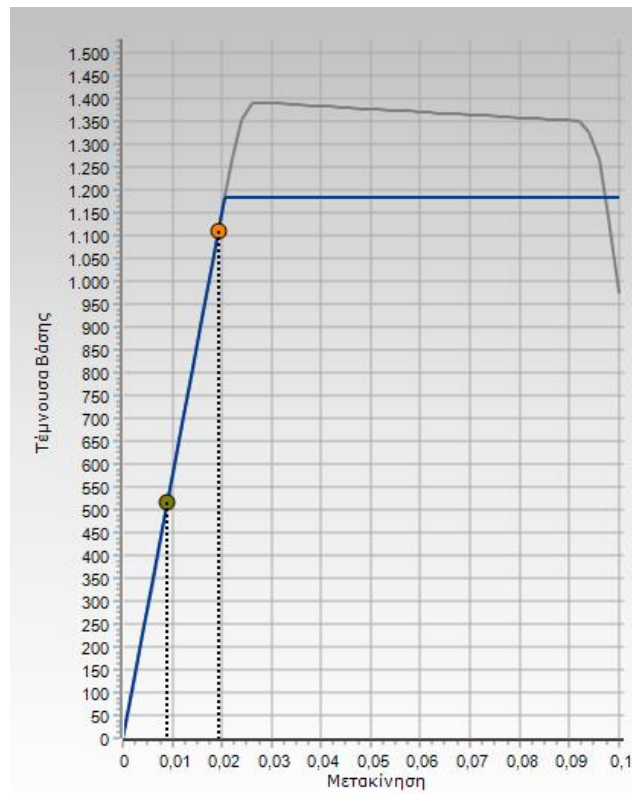
Διάγραμμα 11: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



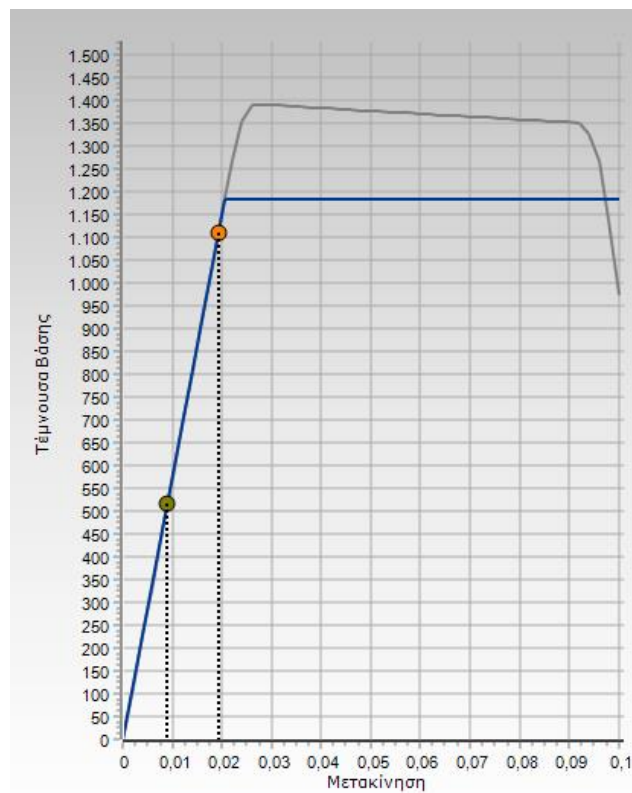
Διάγραμμα 12: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



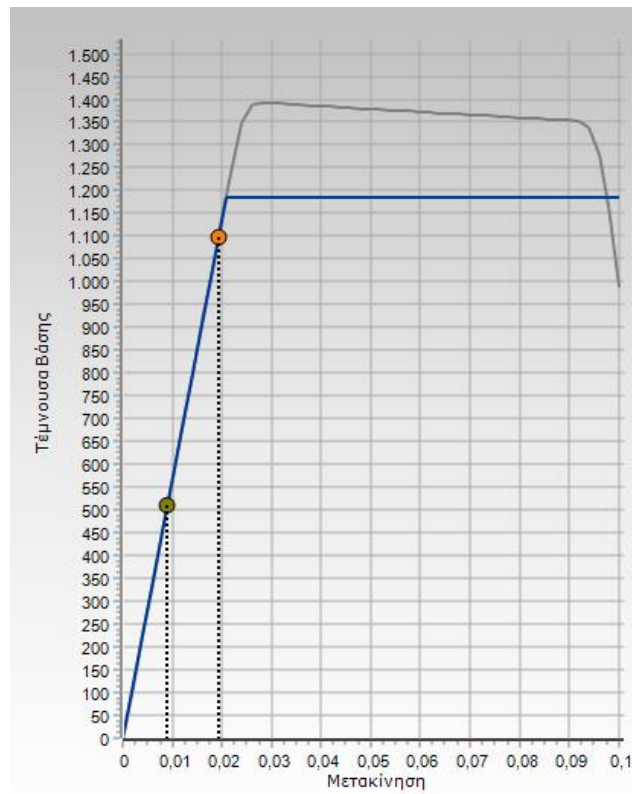
Διάγραμμα 13: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



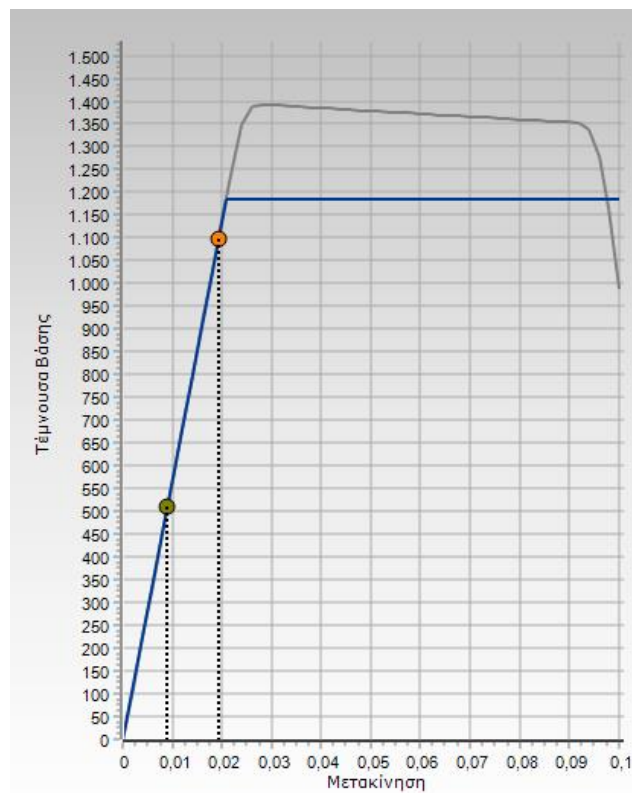
Διάγραμμα 14: pushover καμπύλη(  $X-0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 15: pushover καμπύλη(  $Y-0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



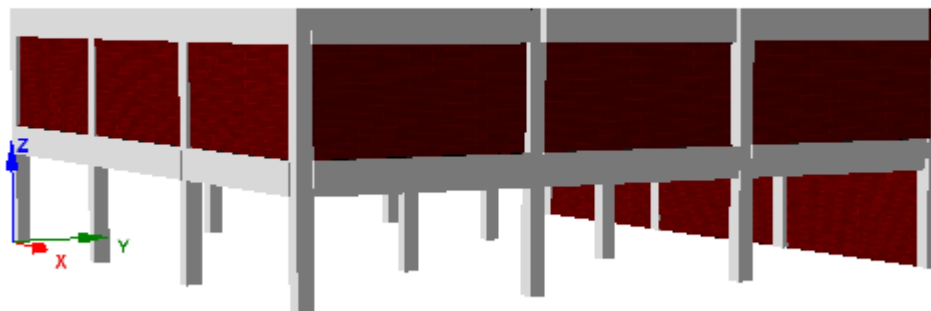
Διάγραμμα 16: pushover καμπύλη (X-0,3Y ιδιομορφική κατανομή)



Διάγραμμα 17: pushover καμπύλη (Y-0,3X ιδιομορφική κατανομή)

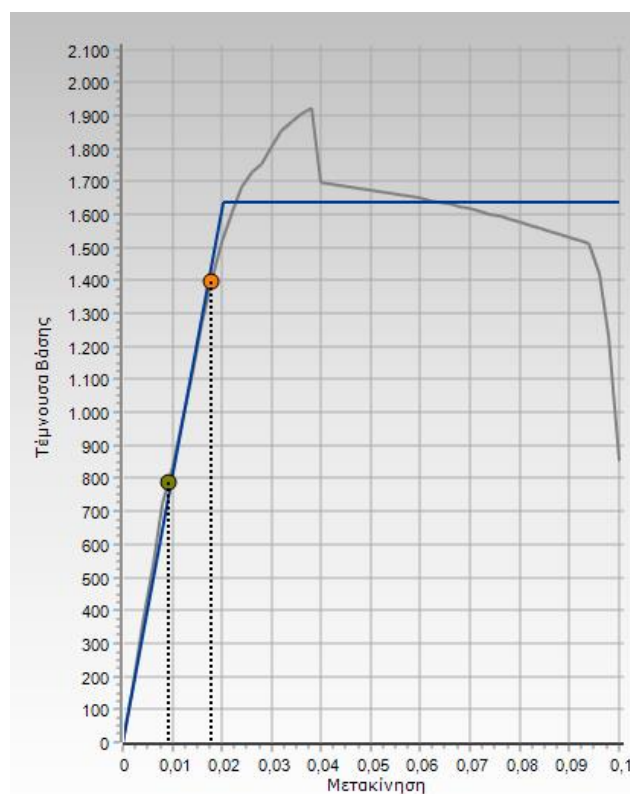
Στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο σε όλα τα διαγράμματα η μέγιστη τέμνουσα βάση είναι περίπου 1183kN στις εξιδανικευμένες καμπύλες

3<sup>ο</sup> μοντέλο:

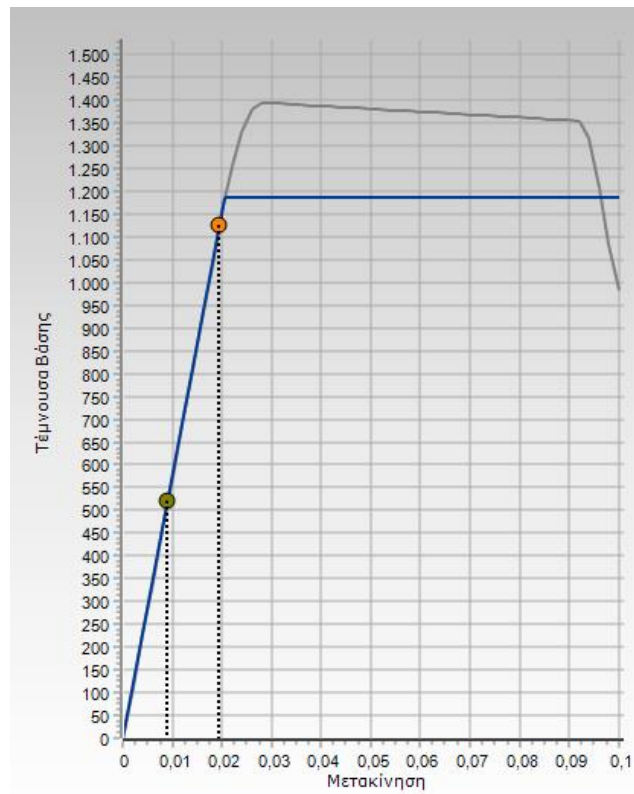


Εικόνα 11: 3<sup>ο</sup> μοντέλο

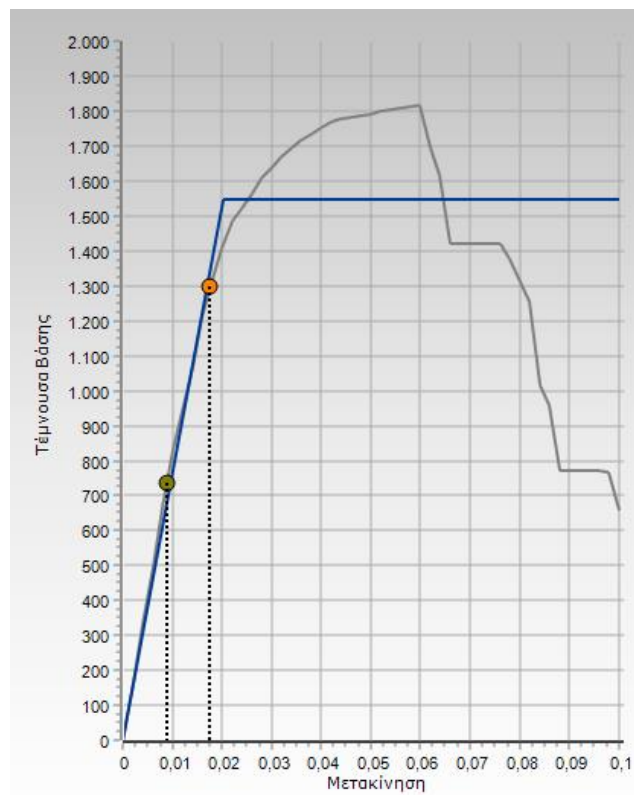
Ενδεικτικά παρατίθενται οι καμπύλες της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου ελέγχου για τις κατανομές  $X+0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y+0,3X$  ομοιόμορφη,  $Y+0,3X$  ιδιομορφική,  $X+0,3Y$  ιδιομορφική,  $X-0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y-0,3X$  ομοιόμορφη,  $X-0,3Y$  ιδιομορφική,  $Y-0,3X$  ιδιομορφική



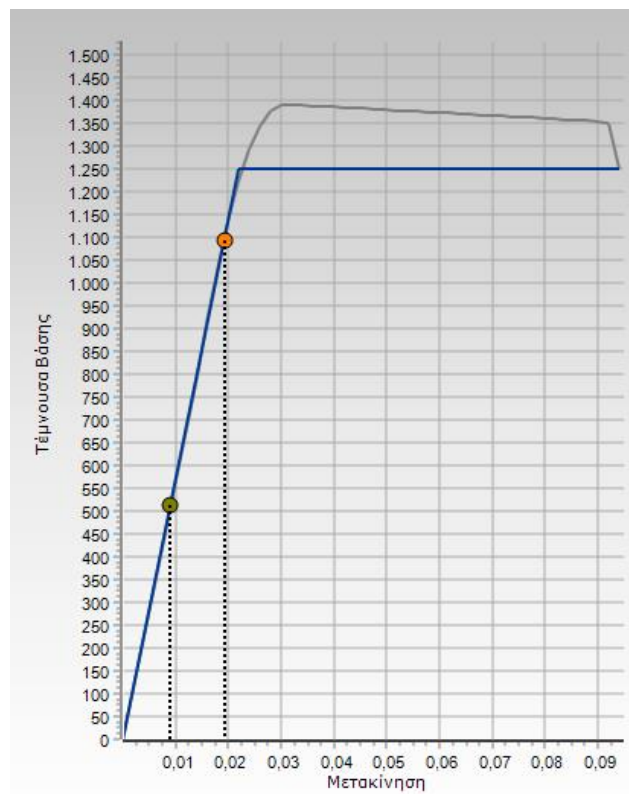
Διάγραμμα 18: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



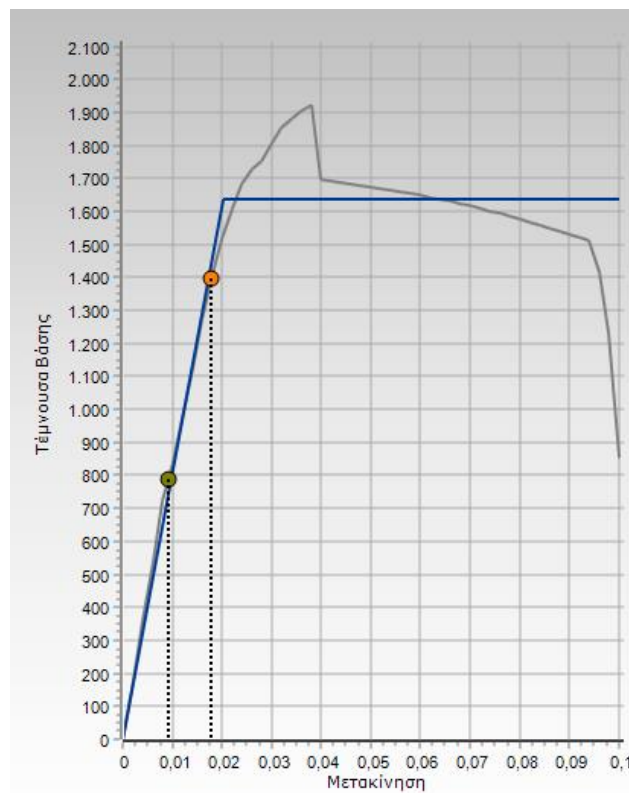
Διάγραμμα 19: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



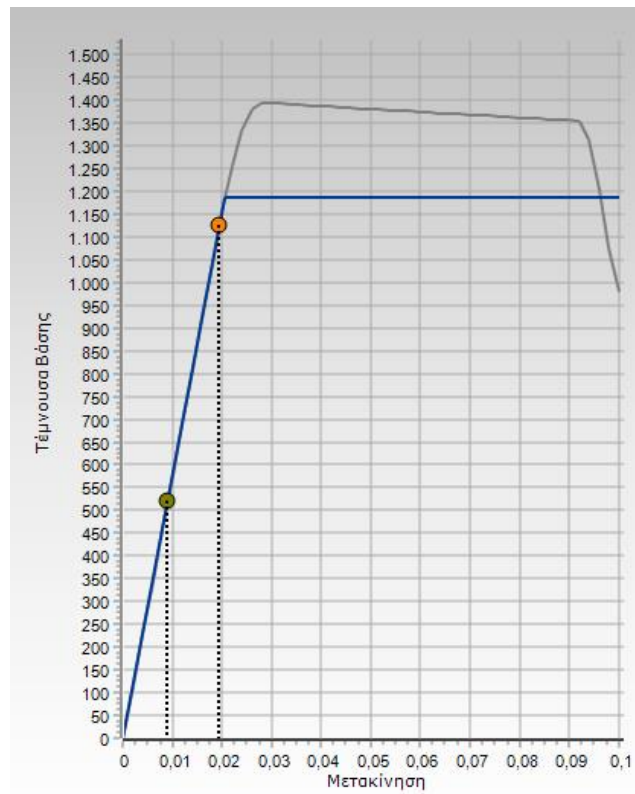
Διάγραμμα 20: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



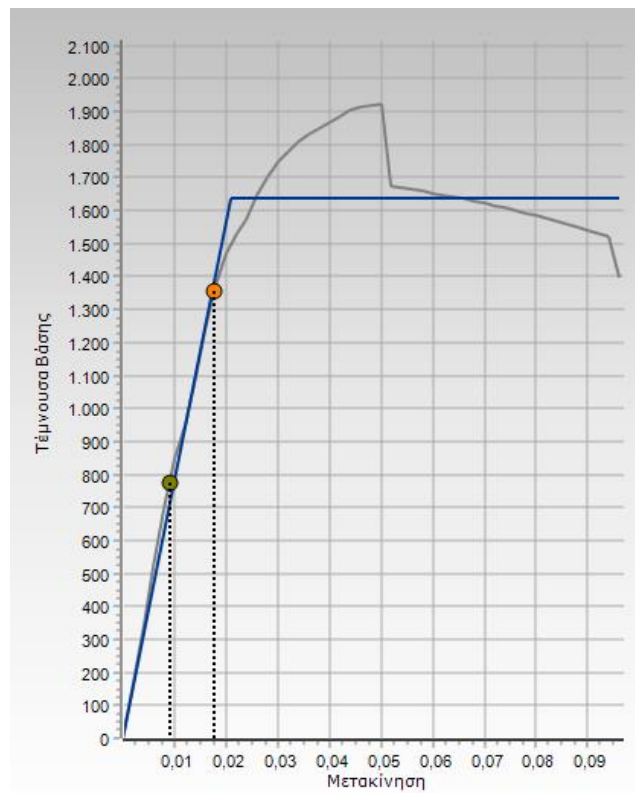
Διάγραμμα 21: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



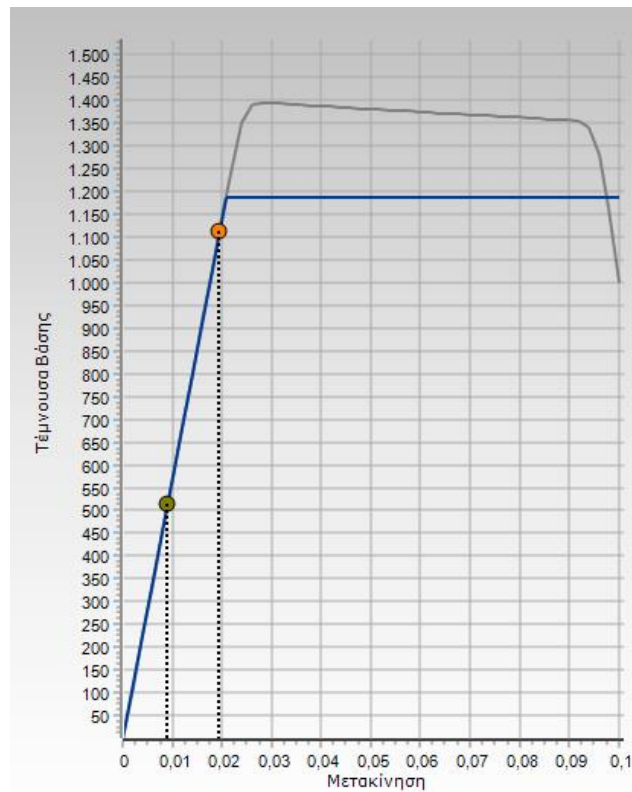
Διάγραμμα 22: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 23: pushover καμπύλη (Y-0,3X ομοιόμορφη κατανομή)



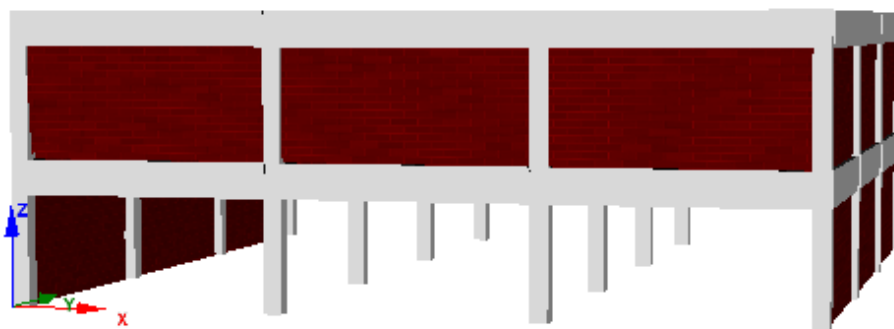
Διάγραμμα 24: pushover καμπύλη (X-0,3Y ιδιομορφική κατανομή)



Διάγραμμα 25: pushover καμπύλη (Y-0,3X ιδιομορφική κατανομή)

Στο 3<sup>ο</sup> μοντέλο σε όλα τα διαγράμματα η μέγιστη τέμνουσα βάσης είναι μεταξύ 1185 και 1636kN στις εξιδανικευμένες καμπύλες

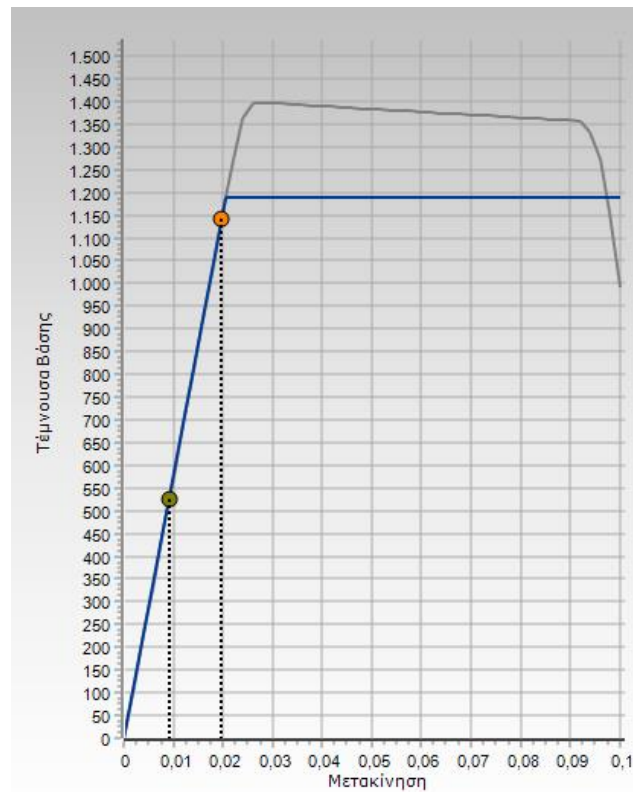
4<sup>ο</sup> μοντέλο:



Εικόνα 12: 4<sup>ο</sup> μοντέλο

Ενδεικτικά παρατίθενται οι καμπύλες της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου ελέγχου για τις κατανομές X+0,3Y ομοιόμορφη, Y +0,3X

ομοιόμορφη ,  $Y+0,3X$  ιδιομορφική,  $X+0,3Y$  ιδιομορφική,  $X-0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y-0,3X$  ομοιόμορφη,  $X-0,3Y$  ιδιομορφική,  $Y-0,3X$  ιδιομορφική



Διάγραμμα 26: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



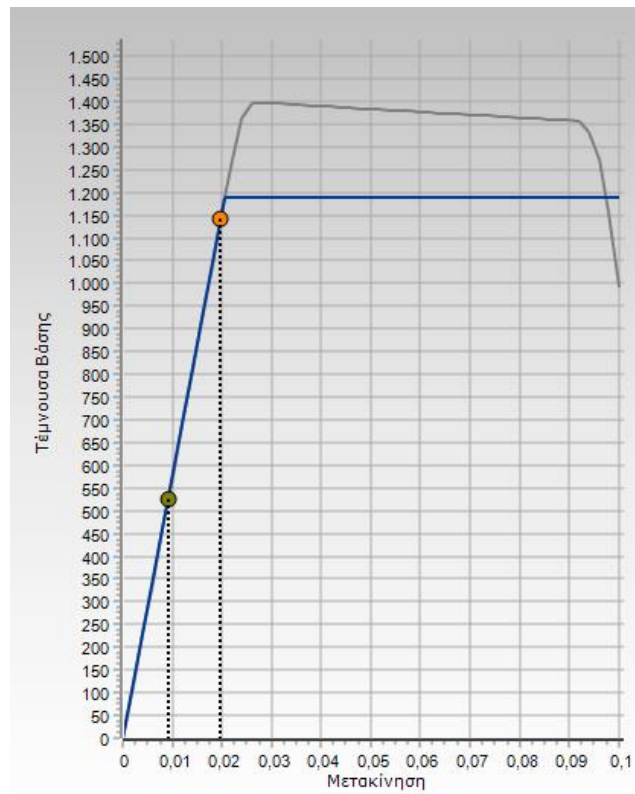
Διάγραμμα 27: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



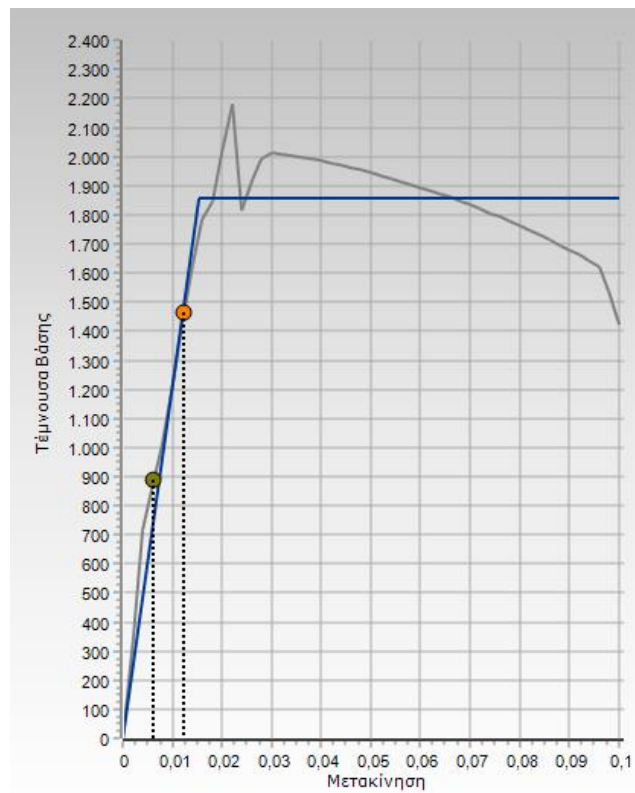
Διάγραμμα 28: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



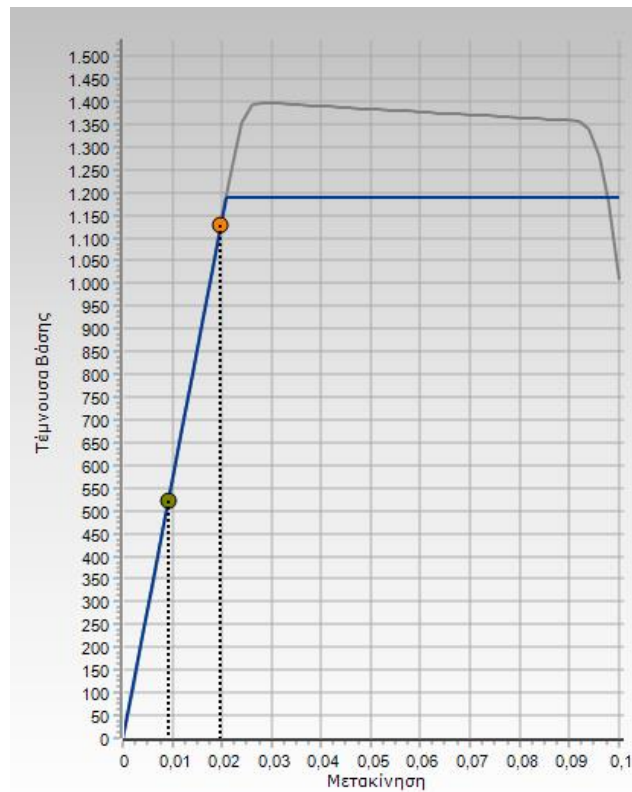
Διάγραμμα 29: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



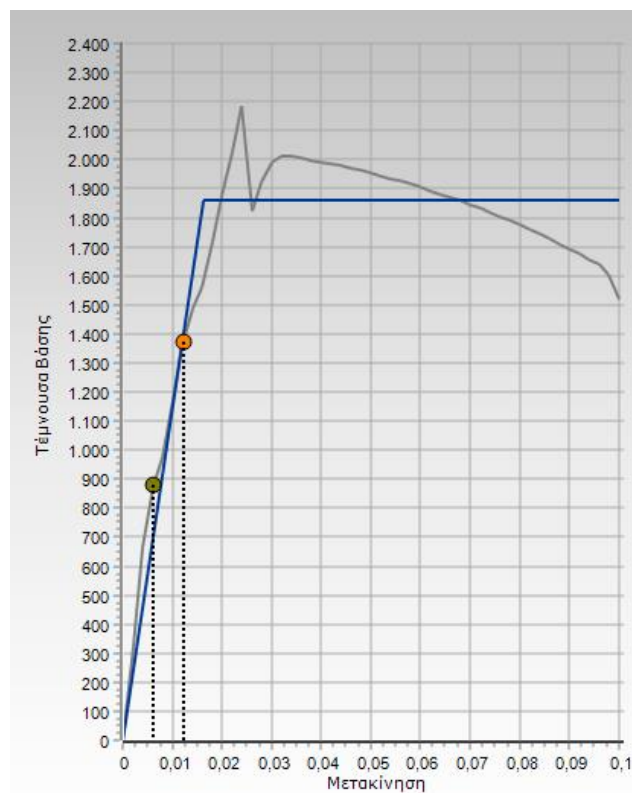
Διάγραμμα 30: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 31: pushover καμπύλη ( $Y-0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



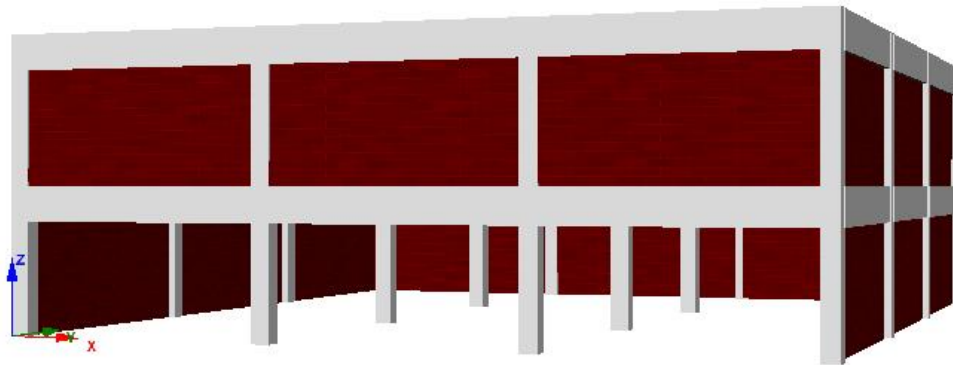
Διάγραμμα 32: pushover καμπύλη (X-0,3Y ιδιομορφική κατανομή)



Διάγραμμα 33: pushover καμπύλη (Y-0,3X ιδιομορφική κατανομή)

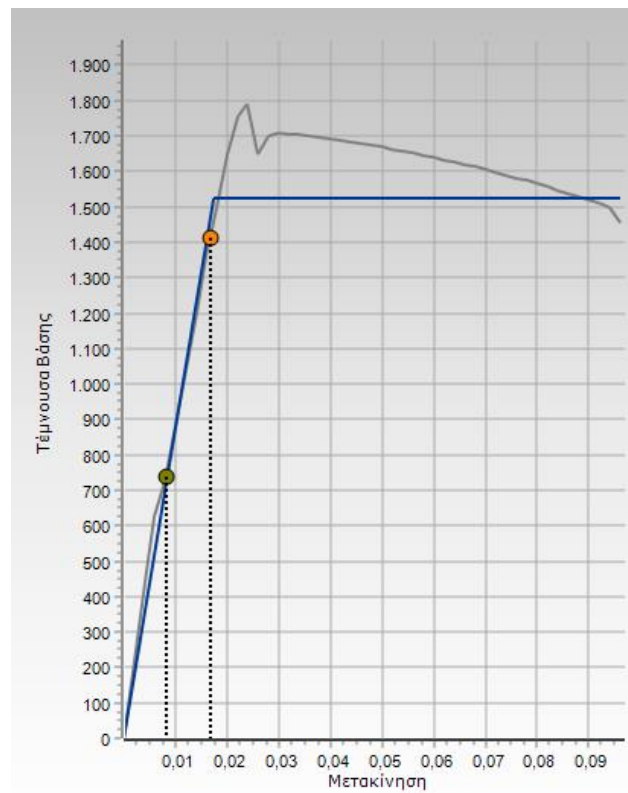
Στο 4<sup>ο</sup> μοντέλο σε όλα τα διαγράμματα η μέγιστη τέμνουσα βάσης είναι μεταξύ 1187 και 1859kN στις εξιδανικευμένες καμπύλες

5<sup>ο</sup> μοντέλο:

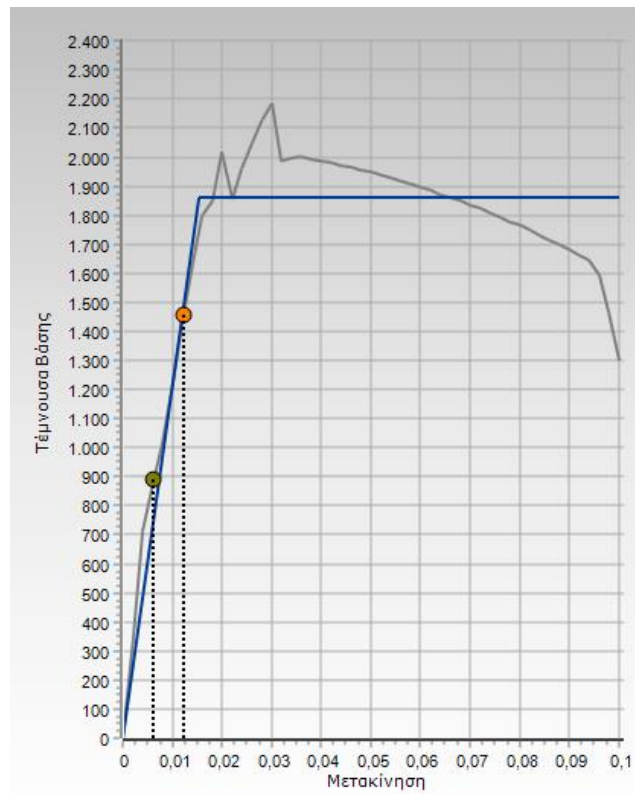


Εικόνα 13:5<sup>ο</sup> μοντέλο

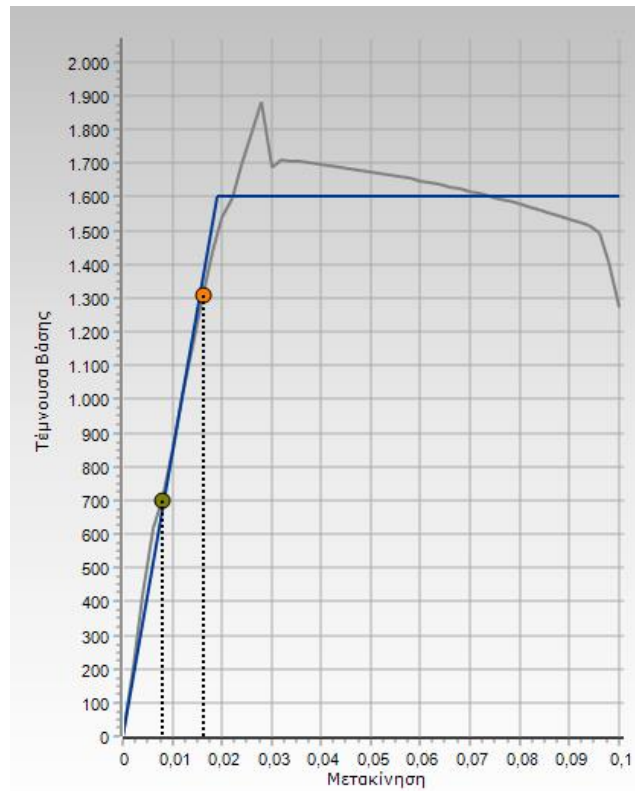
Ενδεικτικά παρατίθενται οι καμπύλες της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου ελέγχου για τις κατανομές  $X+0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y+0,3X$  ομοιόμορφη,  $Y+0,3X$  ιδιομορφική,  $X+0,3Y$  ιδιομορφική,  $X-0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y-0,3X$  ομοιόμορφη,  $X-0,3Y$  ιδιομορφική,  $Y-0,3X$  ιδιομορφική



Διάγραμμα 34: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



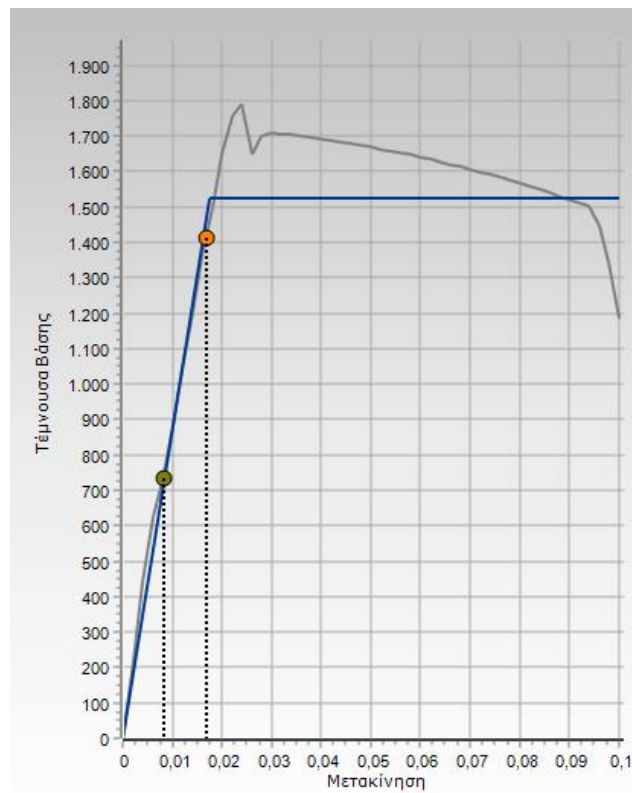
Διάγραμμα 35: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



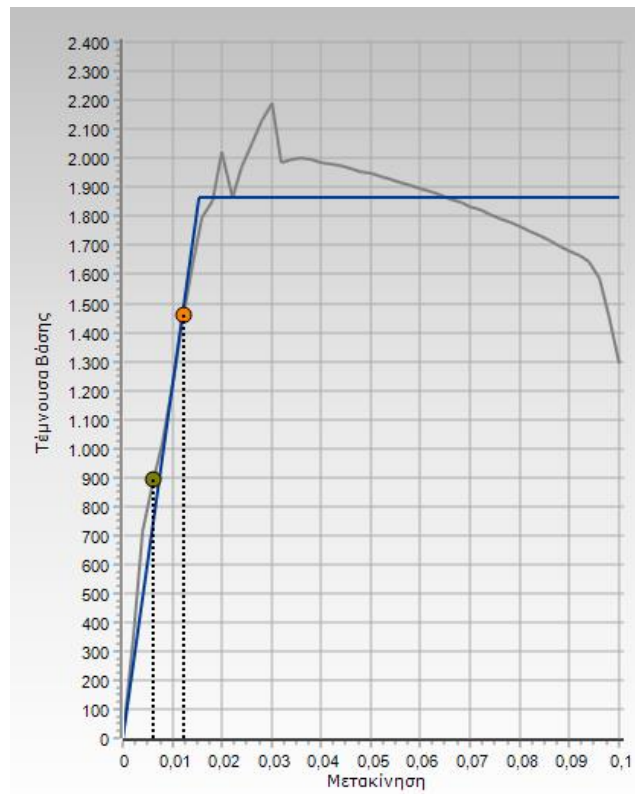
Διάγραμμα 36: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



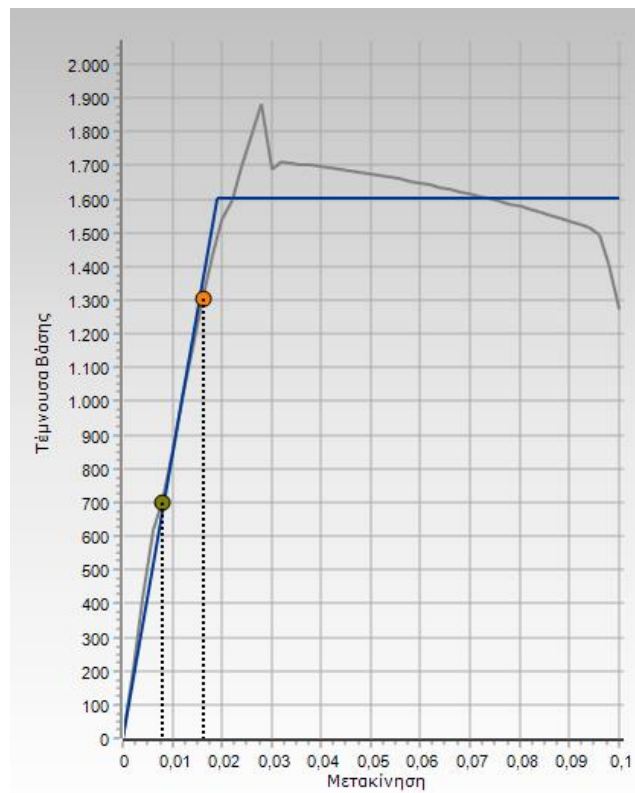
Διάγραμμα 37: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



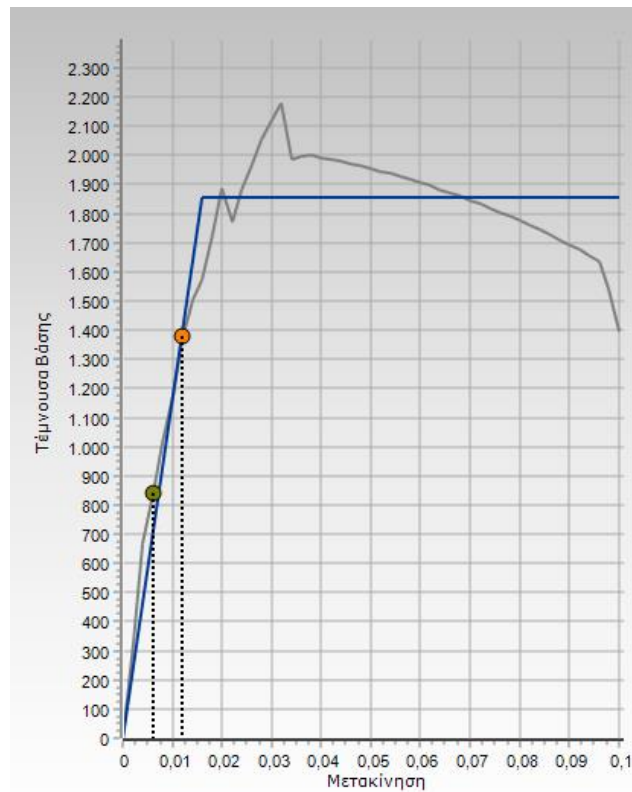
Διάγραμμα 38: pushover καμπύλη ( $X-0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 39: pushover καμπύλη (Y-0,3X ομοιόμορφη κατανομή)



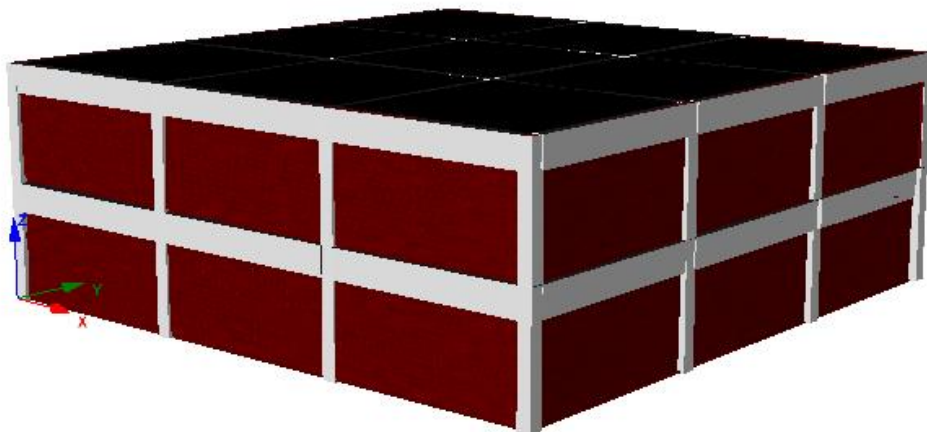
Διάγραμμα 40: pushover καμπύλη (X-0,3Y ιδιομορφική κατανομή)



Διάγραμμα 41: pushover καμπύλη (Y-0,3X ιδιομορφική κατανομή)

Στο 5<sup>ο</sup> μοντέλο σε όλα τα διαγράμματα η μέγιστη τέμνουσα βάσης είναι μεταξύ 1522 και 1863kN στις εξιδανικευμένες καμπύλες

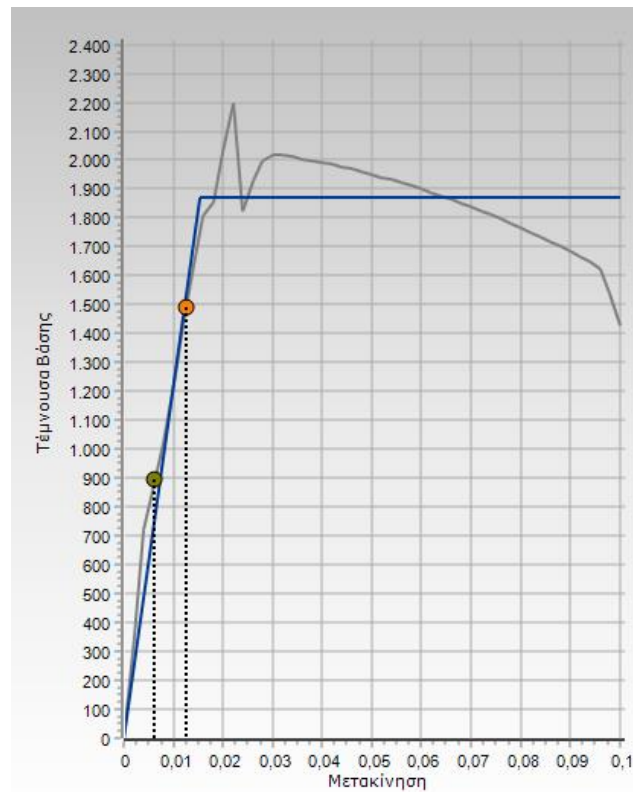
6<sup>ο</sup> μοντέλο:



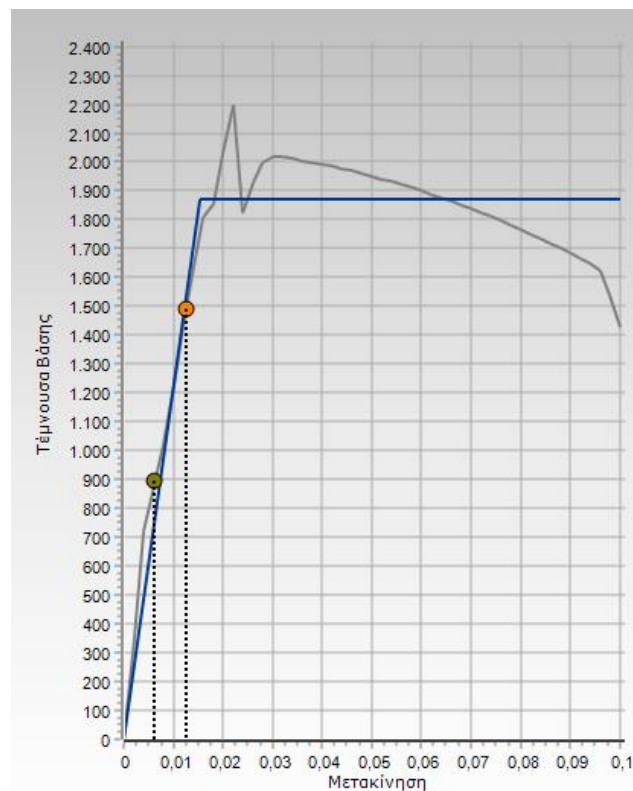
Εικόνα 14: 6<sup>ο</sup> μοντέλο

Ενδεικτικά παρατίθενται οι καμπύλες της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης του κόμβου ελέγχου για τις κατανομές X+0,3Y ομοιόμορφη, Y +0,3X

ομοιόμορφη ,  $Y+0,3X$  ιδιομορφική,  $X+0,3Y$  ιδιομορφική,  $X-0,3Y$  ομοιόμορφη,  $Y-0,3X$  ομοιόμορφη,  $X-0,3Y$  ιδιομορφική,  $Y-0,3X$  ιδιομορφική



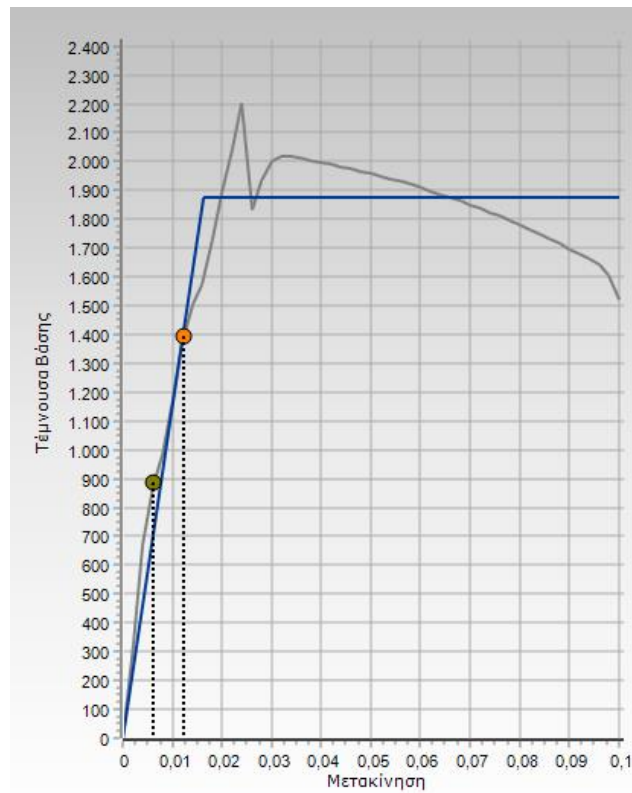
Διάγραμμα 42: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



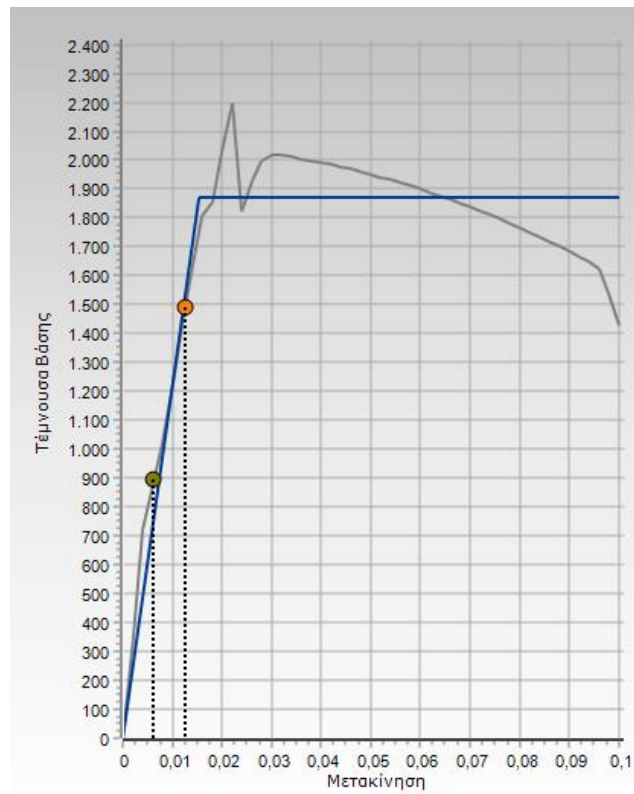
Διάγραμμα 43: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 44: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



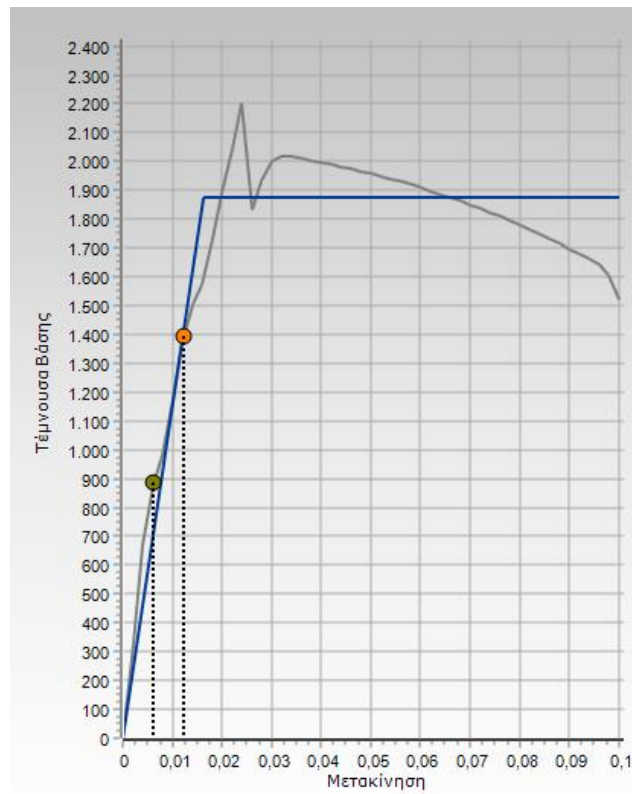
Διάγραμμα 45: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



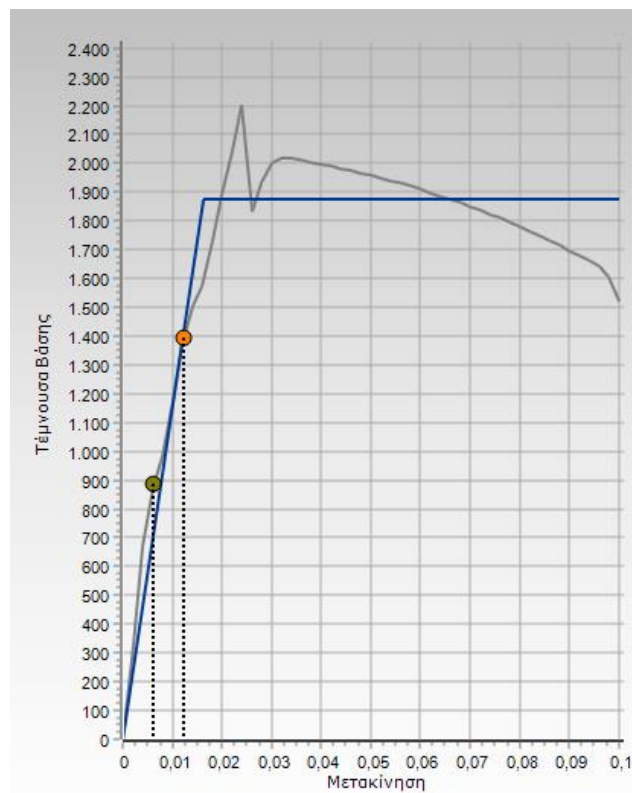
Διάγραμμα 46: pushover καμπύλη (X-0,3Y ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 47: pushover καμπύλη (Y-0,3X ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 48: pushover καμπύλη (X-0,3Y ιδιομορφική κατανομή)



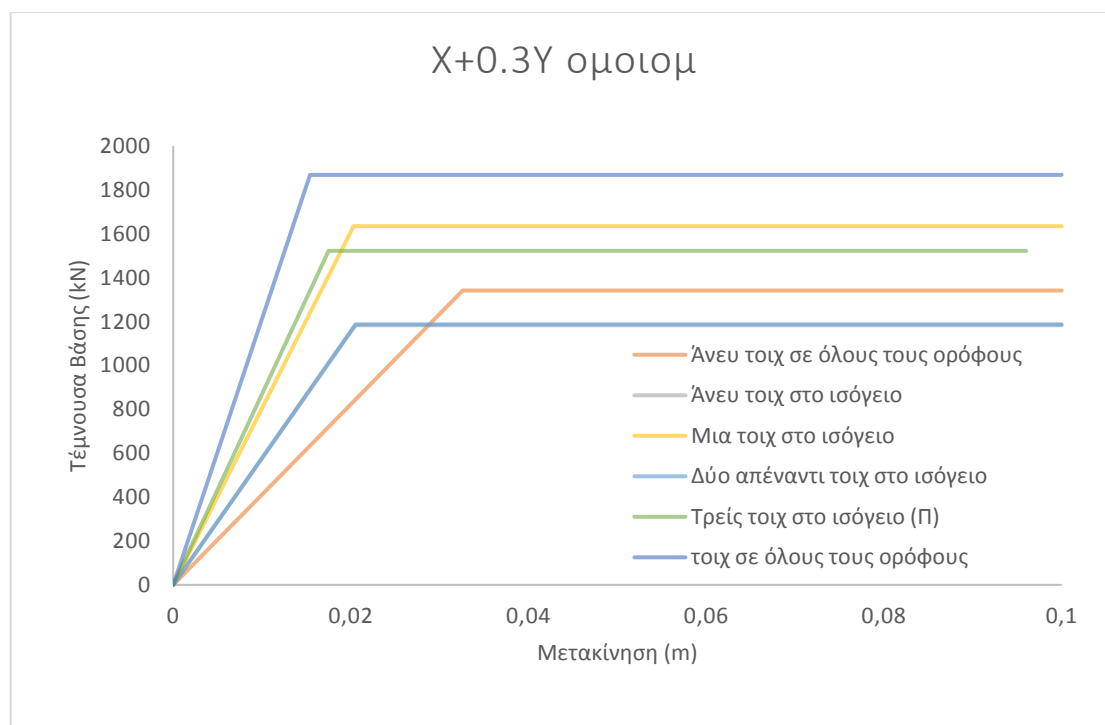
Διάγραμμα 49: pushover καμπύλη (Y-0,3X ιδιομορφική κατανομή)

Στο 6<sup>ο</sup> μοντέλο σε όλα τα διαγράμματα η μέγιστη τέμνουσα βάσης είναι μεταξύ 1869 και 1873kN στις εξιδανικευμένες καμπύλες.

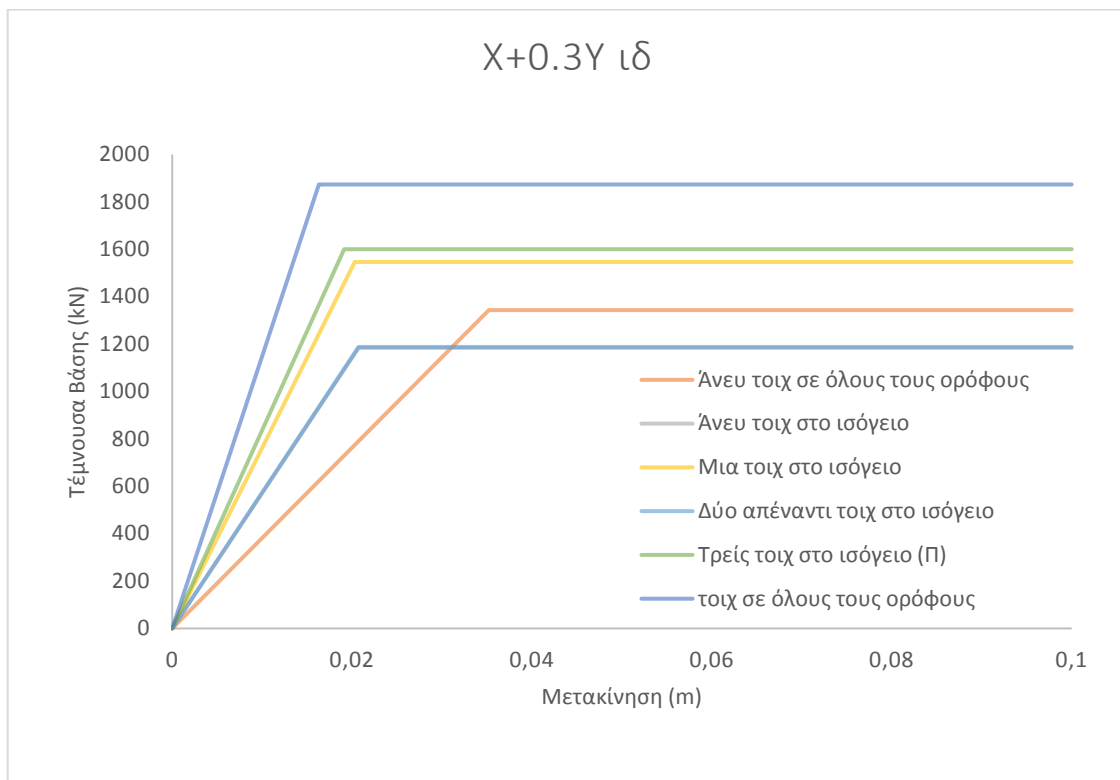
Παρατηρούμε την εξέλιξη της μέγιστης τέμνουσας βάσης στις εξιδανικευμένες καμπύλες των μοντέλων. Στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο είχαμε μέγιστη τέμνουσα βάσης 1183kN, ενώ στο 6<sup>ο</sup> έχουμε μέγιστη τέμνουσα βάσης μεταξύ 1869 και 1873kN, δηλ. αύξηση κατά ποσοστό περίπου 58,33% από το κτίριο με πιλοτή χωρίς καθόλου τοιχοπληρώσεις έως το κτίριο που έχει σε όλες τις εξωτερικές πλευρές του τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο.

### 5.5 Συγκεντρωτικά διαγράμματα με τις εξιδανικευμένες καμπύλες

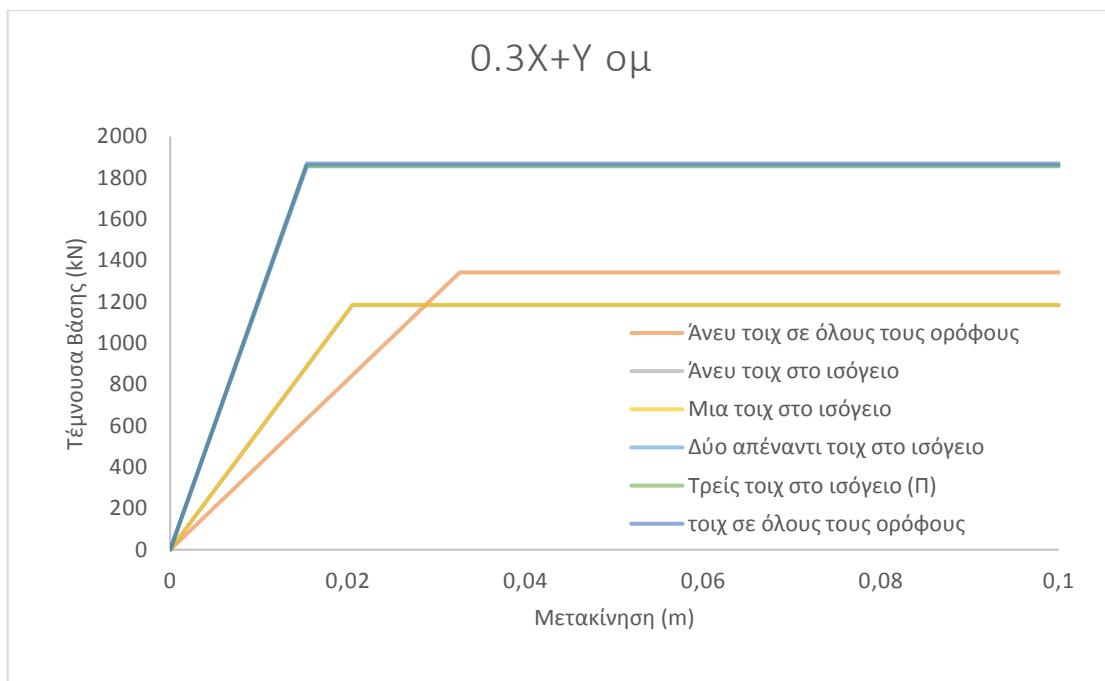
Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωτικά διαγράμματα όπου παρουσιάζονται οι εξιδανικευμένες καμπύλες, όπως τις δημιούργησε το λογισμικό, για τις βασικότερες κατανομές.



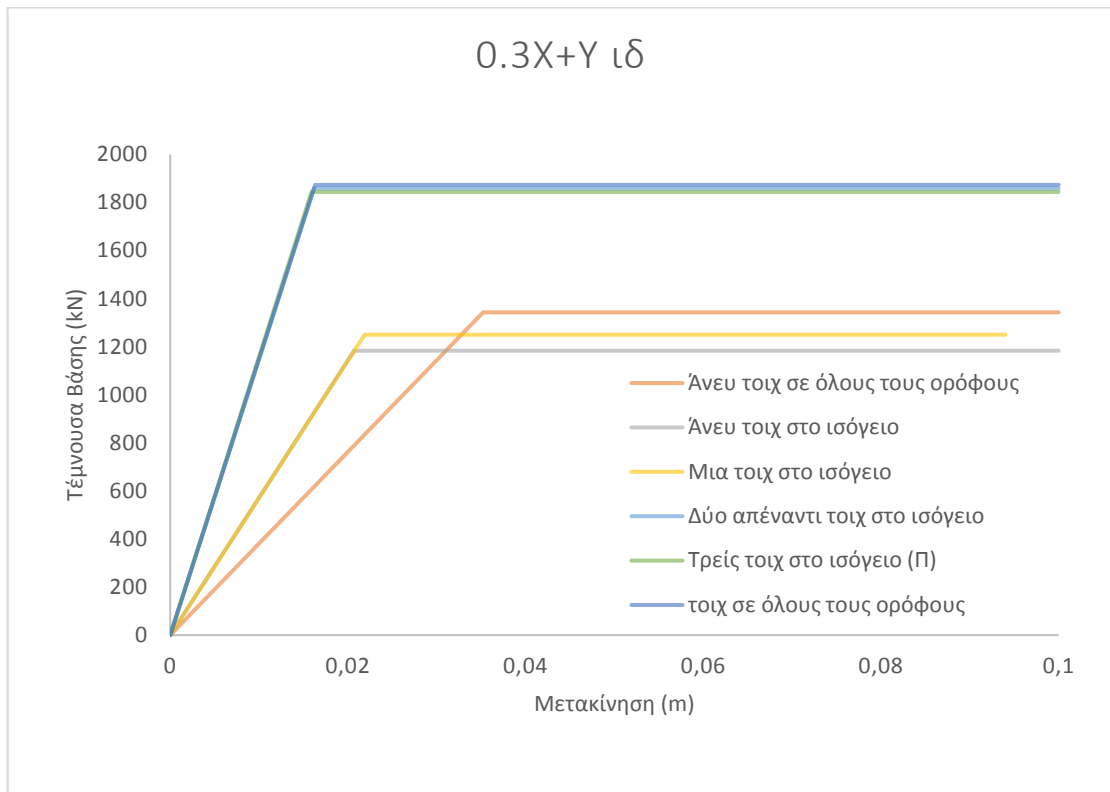
Διάγραμμα 50:εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή X+0,3Y



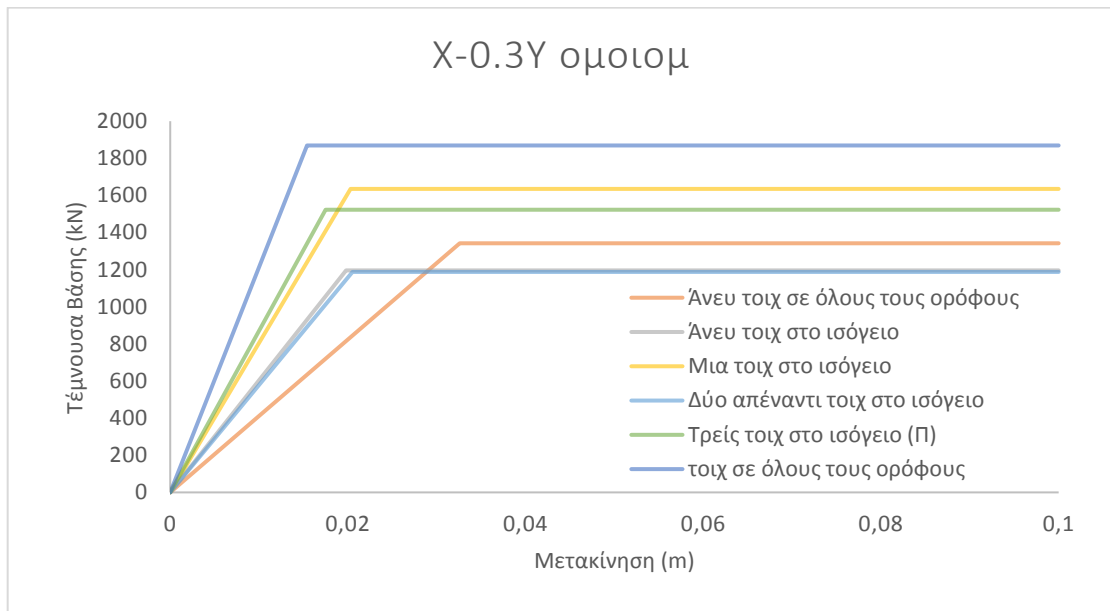
Διάγραμμα 51: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή  $X+0.3Y$



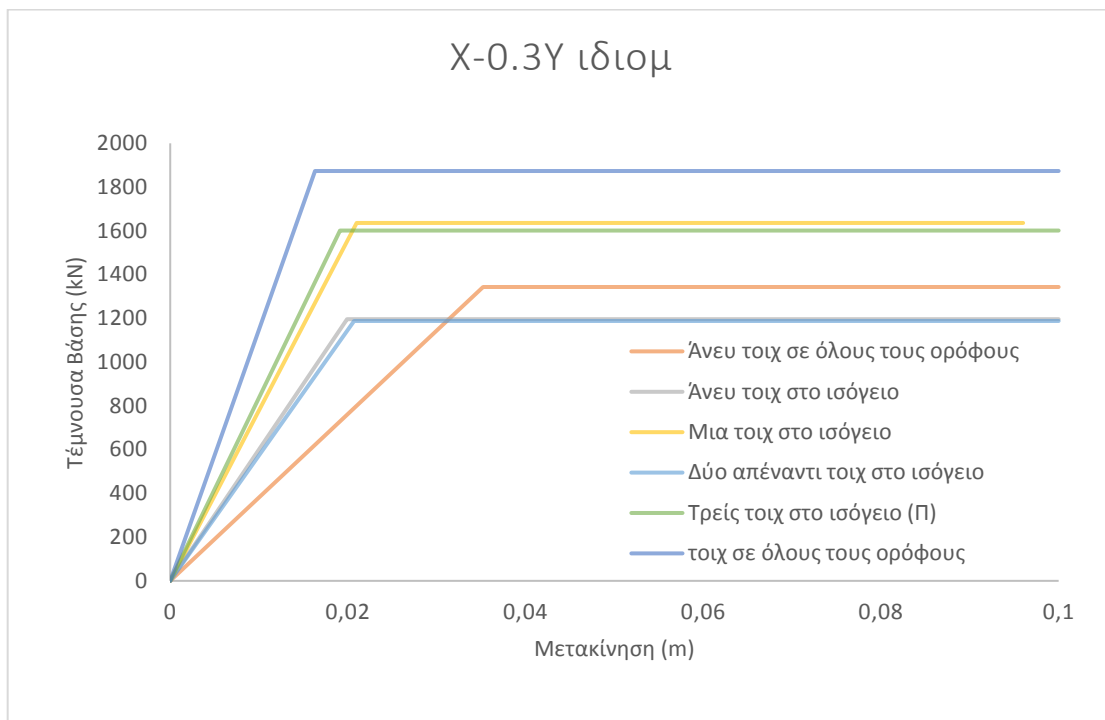
Διάγραμμα 52: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή  $Y+0.3X$



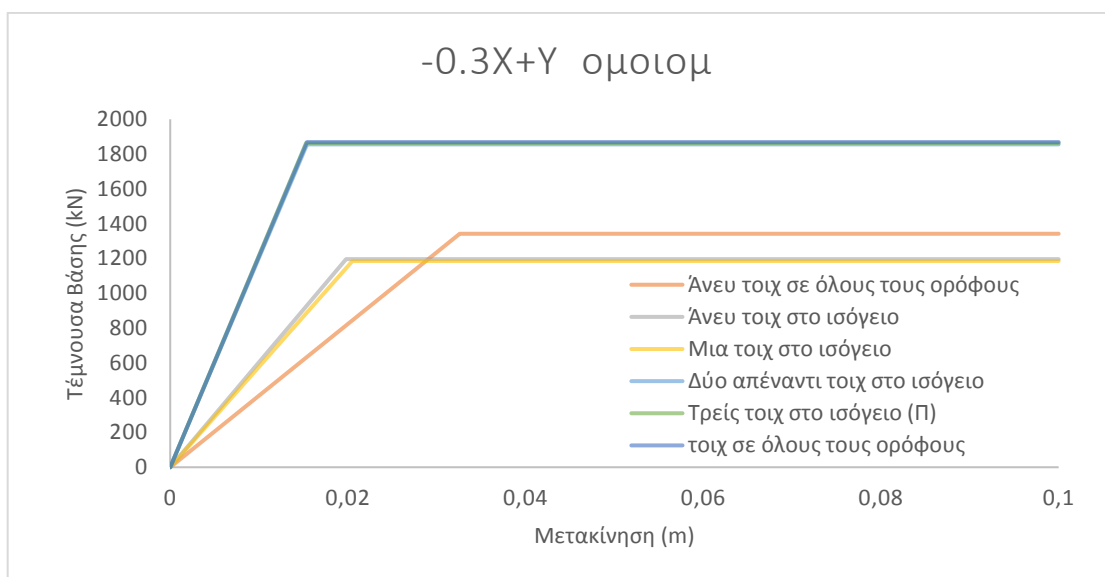
Διάγραμμα 53: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή  $Y+0,3X$



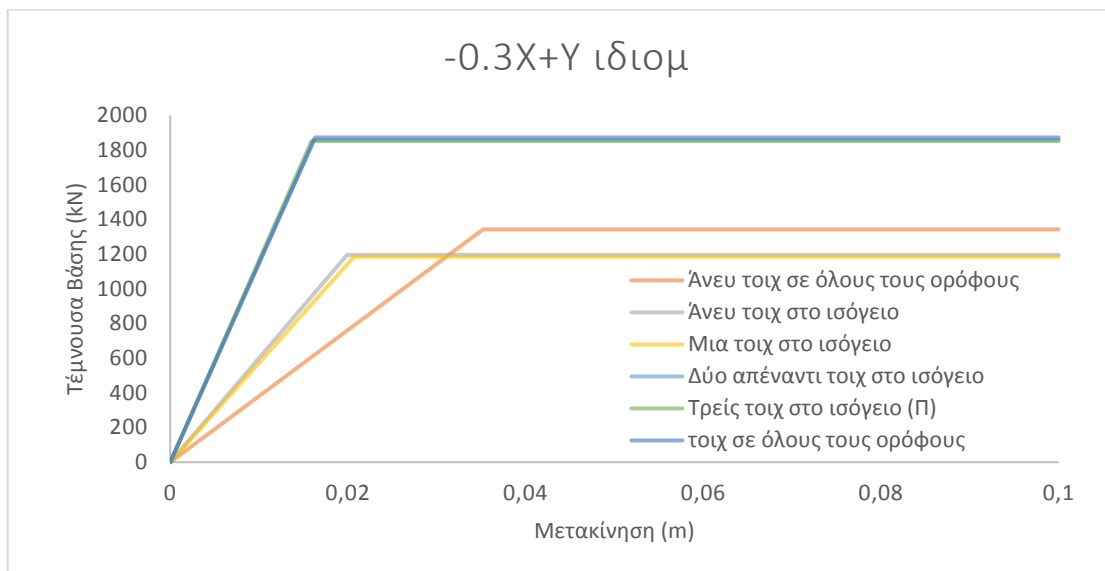
Διάγραμμα 54: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή  $X-0,3Y$



Διάγραμμα 55: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή X-0,3Y



Διάγραμμα 56: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ομοιόμορφη κατανομή Y-0,3X



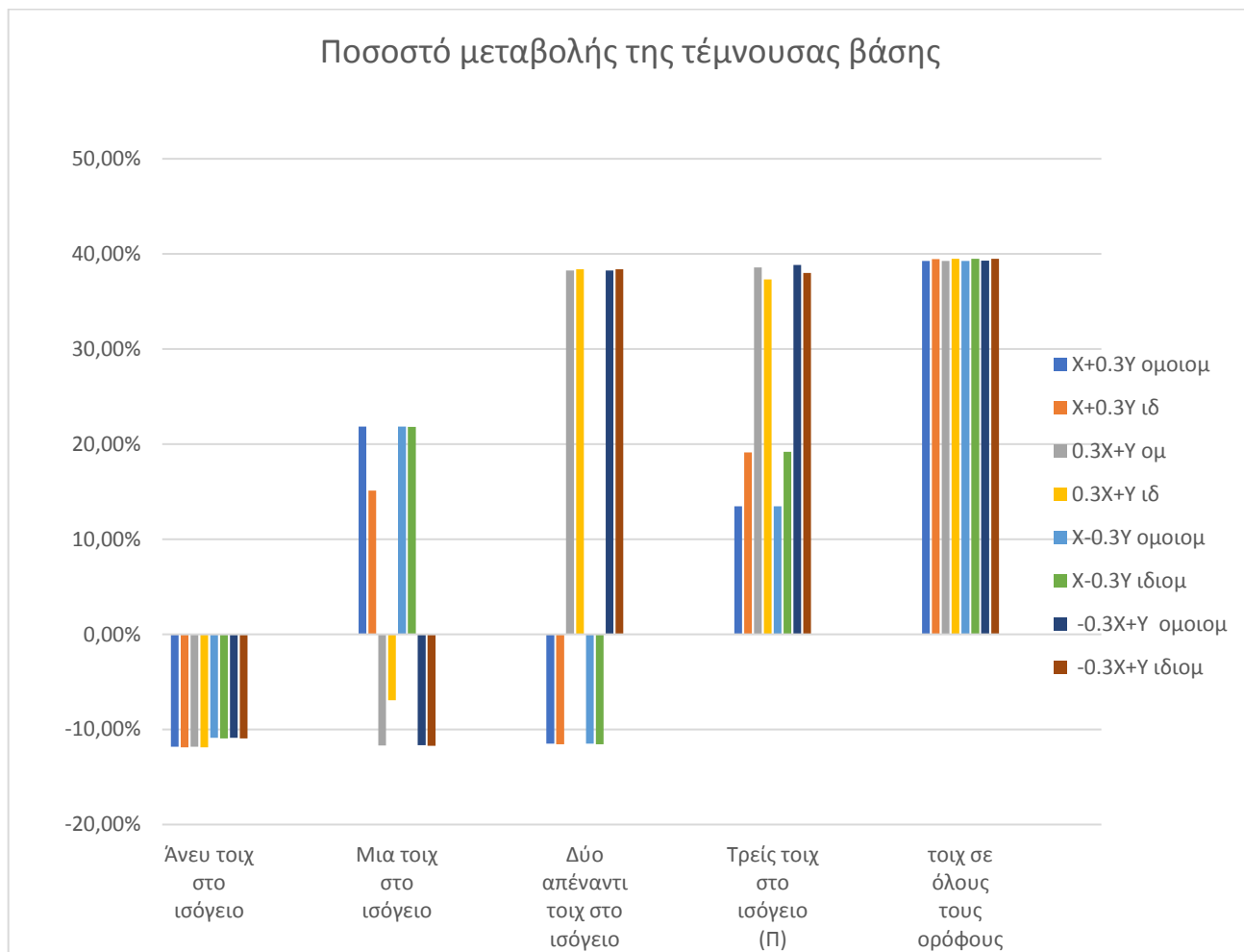
Διάγραμμα 57: εξιδανικευμένες pushover καμπύλες των μοντέλων σε ιδιομορφική κατανομή Y-0,3X

Από τα παραπάνω δ/τα μπορούν να αντληθούν συμπεράσματα και να γίνουν ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις όσον αφορά την σχετική μεταξύ τους δυσκαμψία, μέγιστη τέμνουσα βάσης.

Ενδεικτικά παρατηρούμε ότι το 6<sup>ο</sup> μοντέλο έχει την υψηλότερη μέγιστη τέμνουσα βάσης σε όλες τις περιπτώσεις επειδή και στις 2 διευθύνσεις (X και Y) έχει τοιχοπληρωμένες πλευρές, δηλαδή έχει διπλή τοιχοπλήρωση σε κάθε διεύθυνση.

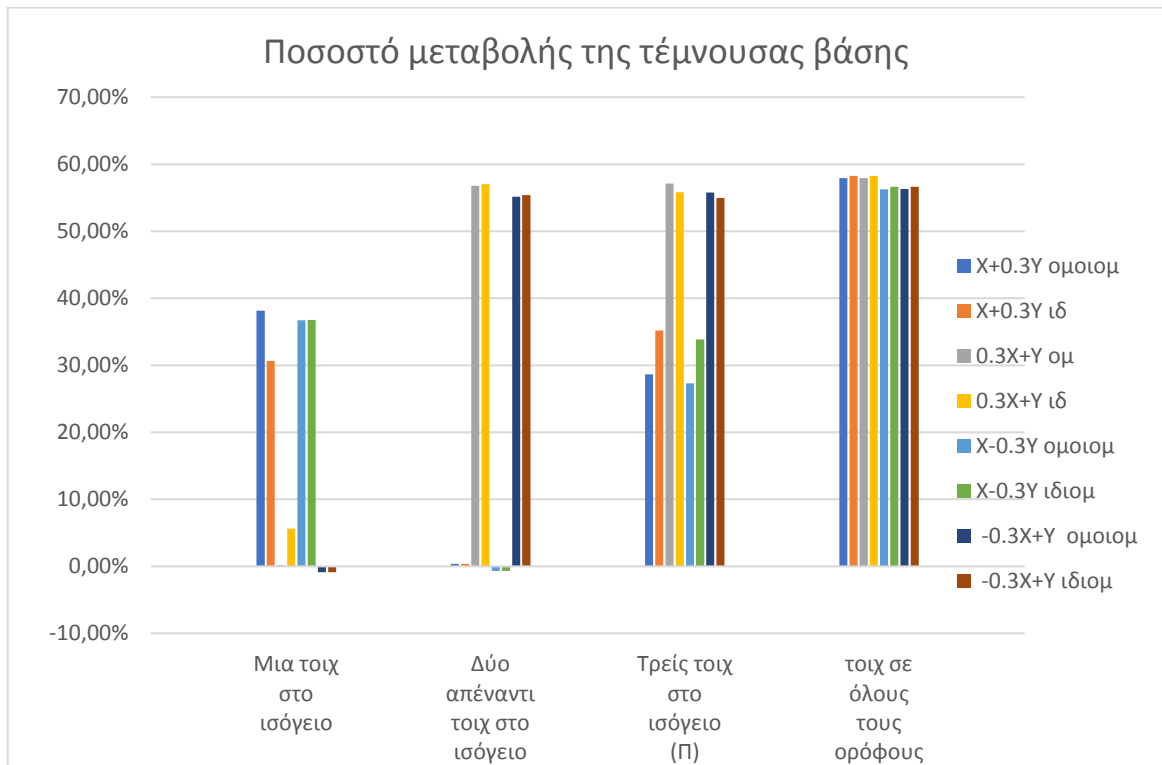
Εξάλλου, όπως αναμενόταν, το 4<sup>ο</sup> και το 5<sup>ο</sup> μοντέλο σχεδόν συμπίπτουν με το 6<sup>ο</sup> μοντέλο όσον αφορά την μέγιστη τέμνουσα βάσης, όταν το διάγραμμα έχει κύρια διεύθυνση την Y γιατί και τα 3 μοντέλα έχουν 2 πλευρές τοιχοπληρωμένες κατά Y.

Στην συνέχεια παρατίθεται δ/μα όπου φαίνονται τα ποσοστά μεταβολής της μέγιστης τέμνουσας βάσης των εξιδανικευμένων καμπυλών των επιμέρους μοντέλων σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> μοντέλο, όπου δεν υπάρχουν τοιχοπληρώσεις σε κανένα όροφο.



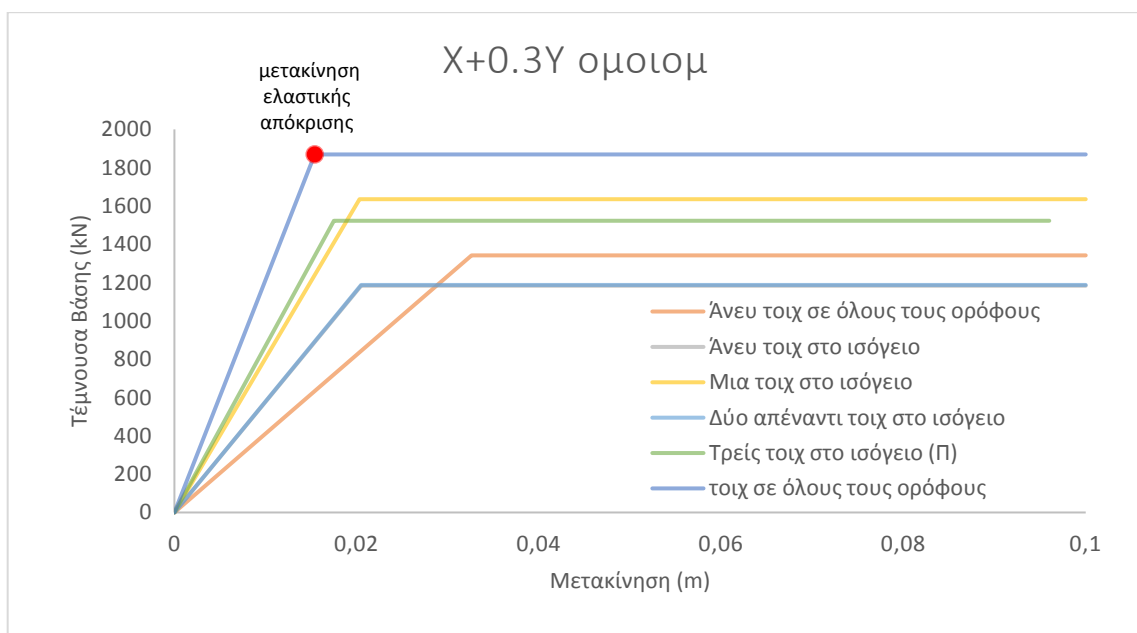
Διάγραμμα 58: ποσοστά μεταβολής της (μέγιστης)τέμνουσας βάσης σε όλα τα μοντέλα σε σχέση με το 1<sup>ο</sup>(χωρίς τοιχοποιίες)

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνονται τα ποσοστά μεταβολής της μέγιστης τέμνουσας βάσης των εξιδανικευμένων καμπυλών των επιμέρους μοντέλων σε σχέση με το 2<sup>ο</sup> μοντέλο, όπου δεν υπάρχουν τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο.



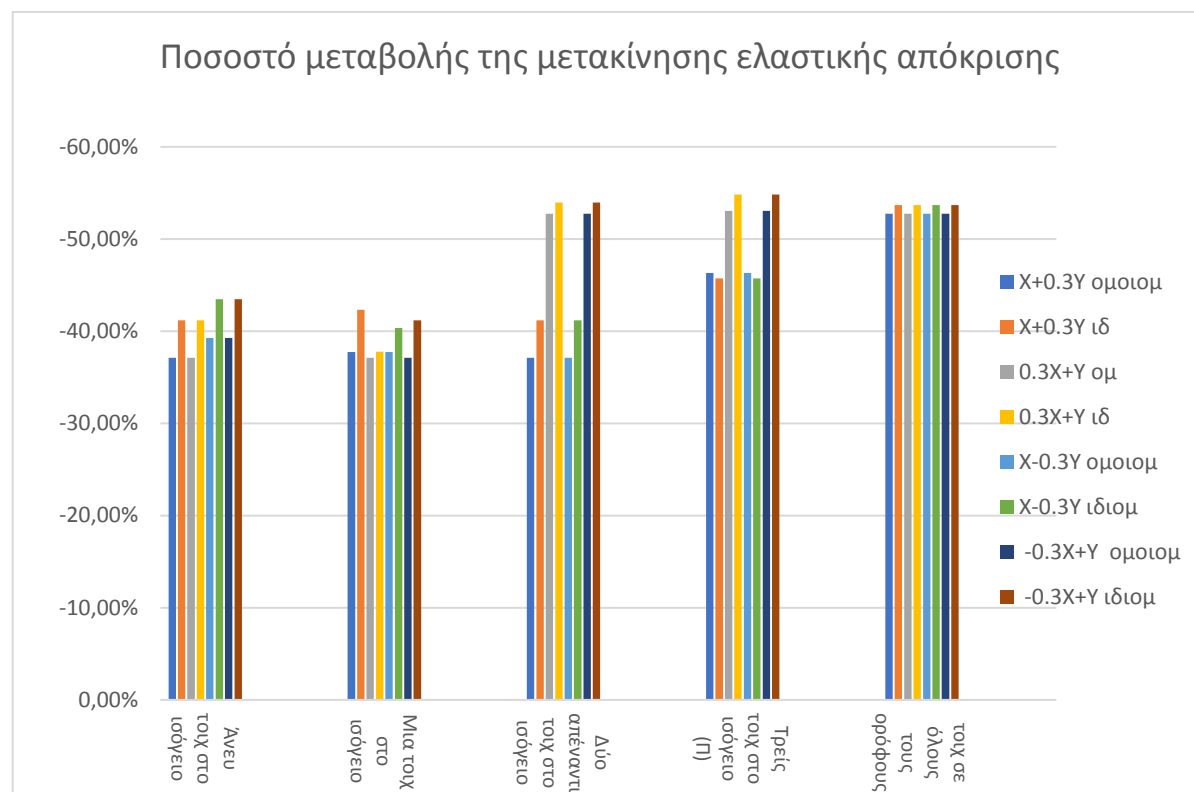
Διάγραμμα 59: ποσοστά μεταβολής της (μέγιστης)τέμνουσας βάσης σε όλα τα μοντέλα σε σχέση με το 2<sup>ο</sup>(χωρίς τοιχοποιίες στο ισόγειο)

Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το διάγραμμα όπου φαίνεται το ποσοστό μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης για όλα τα μοντέλα και τις κατανομές σε σχέση με την μετακίνηση ελαστικής απόκρισης του 1<sup>ου</sup> μοντέλου (που είναι χωρίς καθόλου τοιχοπληρώσεις). Αυτό αποτυπώνεται με ραβδογράμματα. Καταρχάς να δείξουμε σχηματικά τι είναι η μετακίνηση ελαστικής απόκρισης.



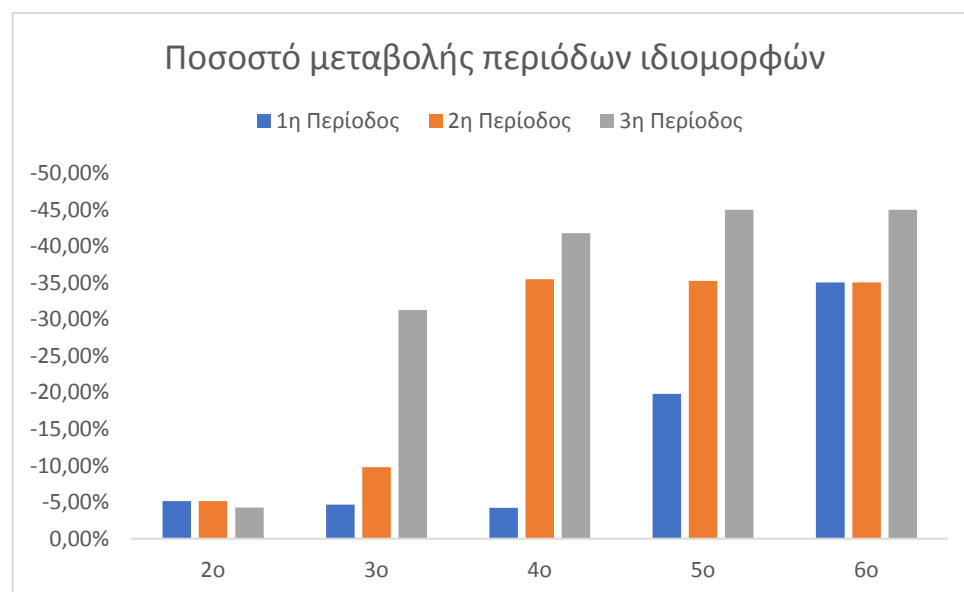
Διάγραμμα 60: επεξήγηση της έννοιας της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης σχηματικά

Στο πιο πάνω διάγραμμα φαίνεται ένα κόκκινο σημάδι. Το σημάδι δείχνει το σημείο όπου η εξιδανικευμένη καμπύλη αλλάζει κατεύθυνση. Η τετμημένη αυτού του σημείου είναι η μετακίνηση ελαστικής απόκρισης. Ακολουθώς φαίνεται το δ/μα που αναφέραμε πιο πάνω.



Διάγραμμα 61: ποσοστά μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης στα επιμέρους μοντέλα σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> (χωρίς τοιχοπληρώσεις)

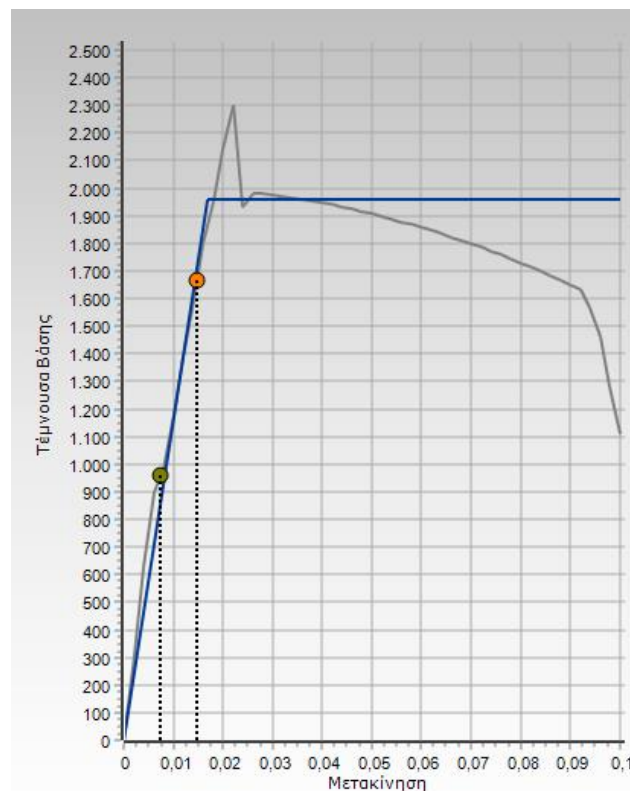
Στην συνέχεια παραθέτουμε δ/μα με το ποσοστό μεταβολής των πρώτων περιόδων των ιδιομορφών των μοντέλων με τοιχοπληρώσεις (2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup>, 4<sup>ο</sup>, 5<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup>) σε σχέση με το αρχικό (1<sup>ο</sup>).



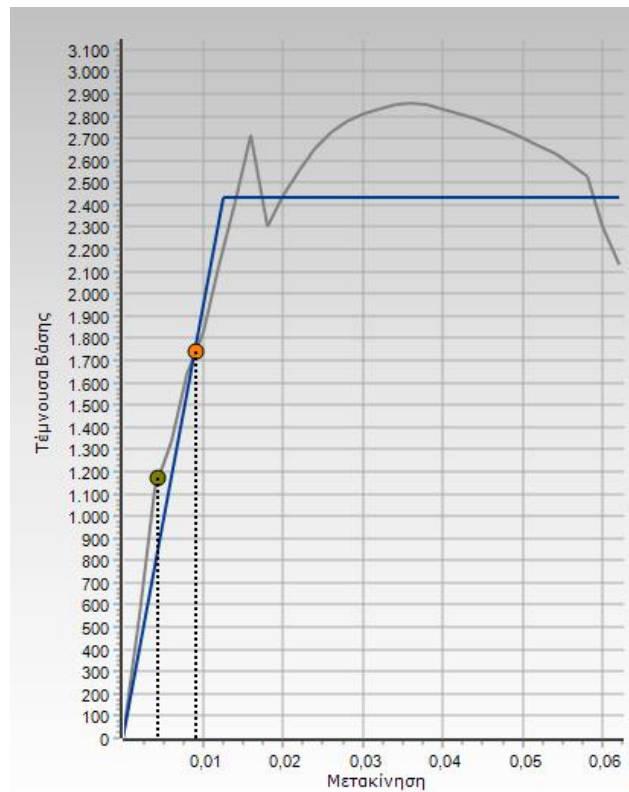
Διάγραμμα 62: ποσοστά μεταβολής των περιόδων των πρώτων ιδιομορφών στα επιμέρους μοντέλα σε σχέση με το 1<sup>ο</sup>

### 5.6. Αύξηση του πάχους τοιχοπλήρωσης και επανάληψη της διαδικασίας ανάλυσης μόνο για το 5<sup>ο</sup> μοντέλο (ενδεικτικά)

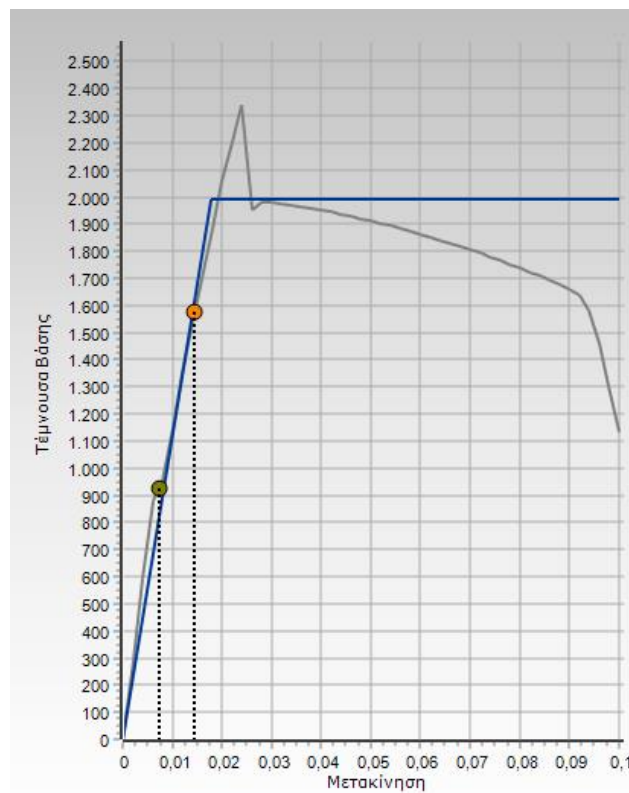
Στην συνέχεια με τα ίδια δεδομένα άλλα με διαφορετικό πάχος τούβλου (20εκ.) έγινε μια απόπειρα να κατανοήσουμε ενδεικτικά αν και κατά πόσο επηρεάζει το πάχος της τοιχοποιίας τα αποτελέσματα της pushover. Ενδεικτικά έγινε pushover στο 5<sup>ο</sup> μοντέλο (με τις 3 από τις 4 πλευρές του ισογείου τοιχοπληρωμένες). Παράχθηκαν οι εξής καμπύλες τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετατόπισης του κόμβου ελέγχου:



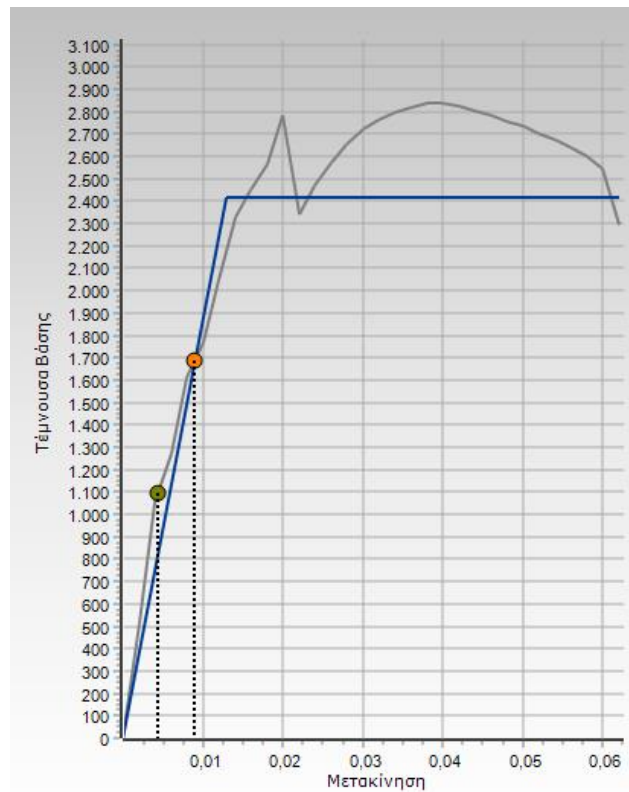
Διάγραμμα 63: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ομοιόμορφη κατανομή)



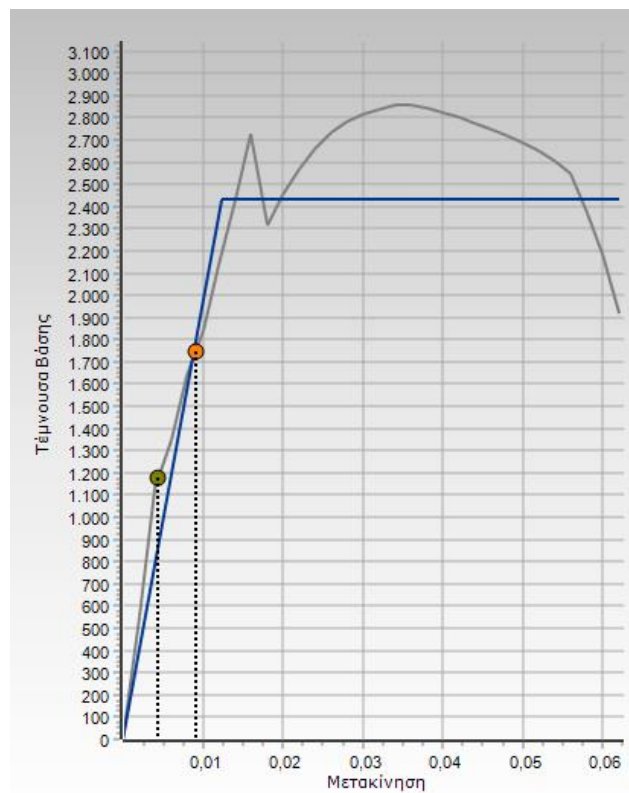
Διάγραμμα 64: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



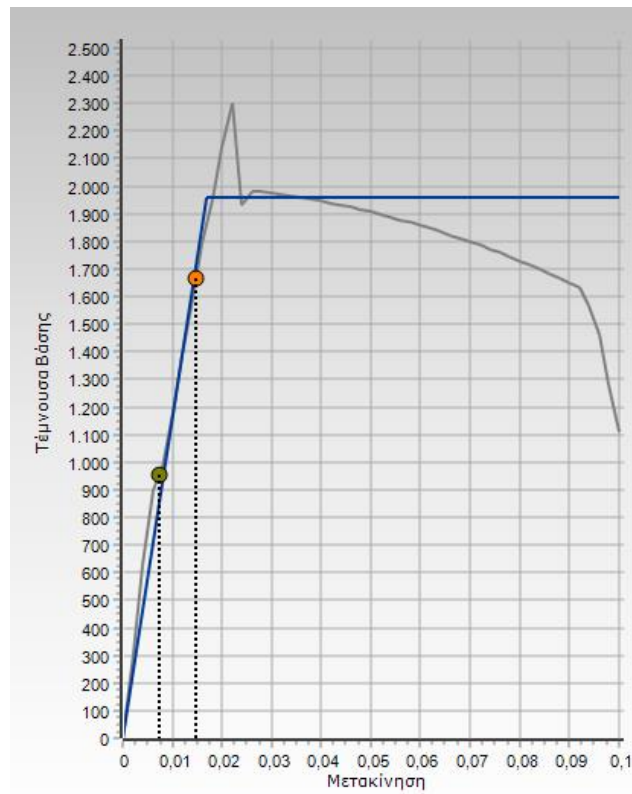
Διάγραμμα 65: pushover καμπύλη ( $X+0,3Y$  ιδιομορφική κατανομή)



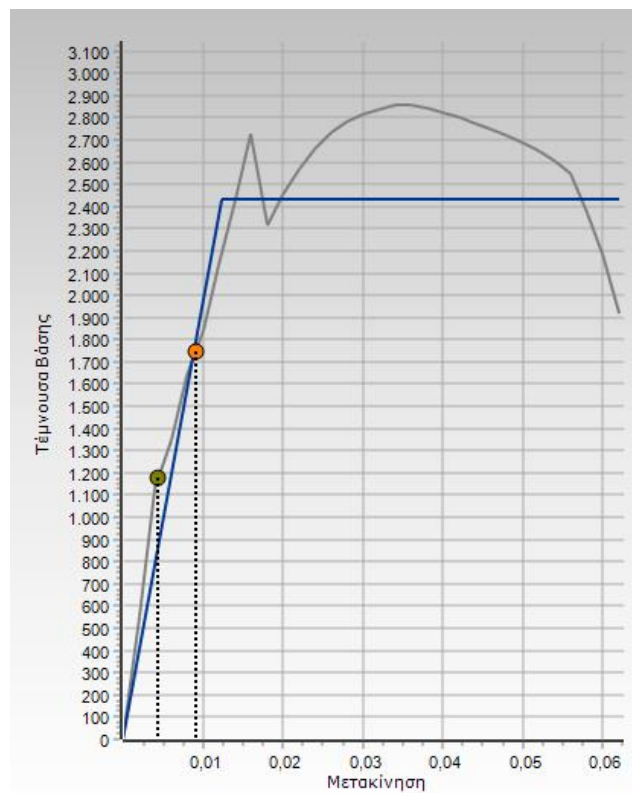
Διάγραμμα 66: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ιδιομορφική κατανομή)



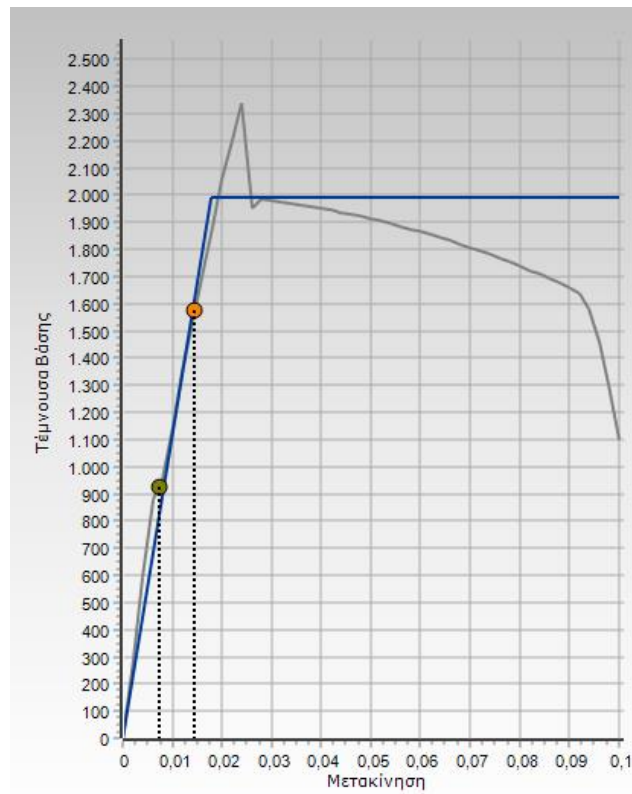
Διάγραμμα 67: pushover καμπύλη ( $Y+0,3X$  ομοιόμορφη κατανομή)



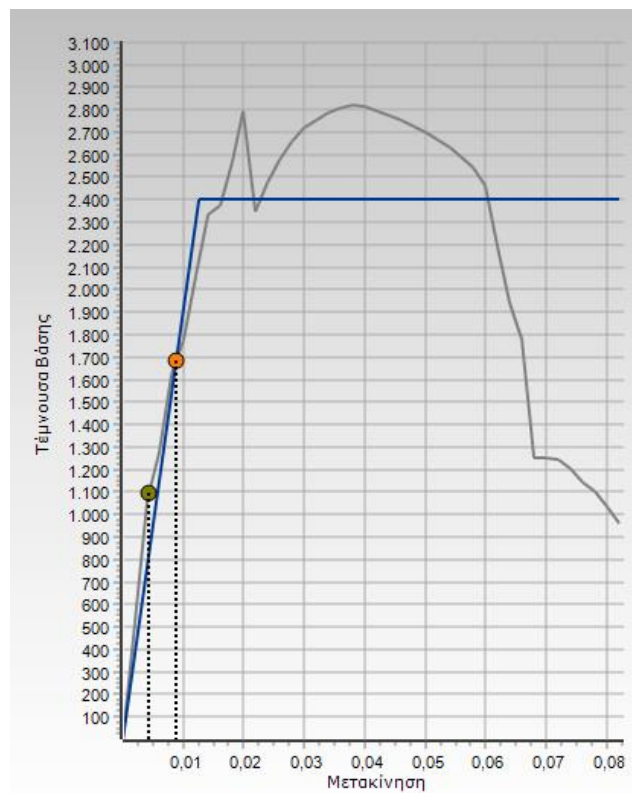
Διάγραμμα 68: pushover καμπύλη (X-0,3Y ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 69: pushover καμπύλη (Y-0,3X ομοιόμορφη κατανομή)



Διάγραμμα 70: pushover καμπύλη (X-0,3Y ιδιομορφική κατανομή)



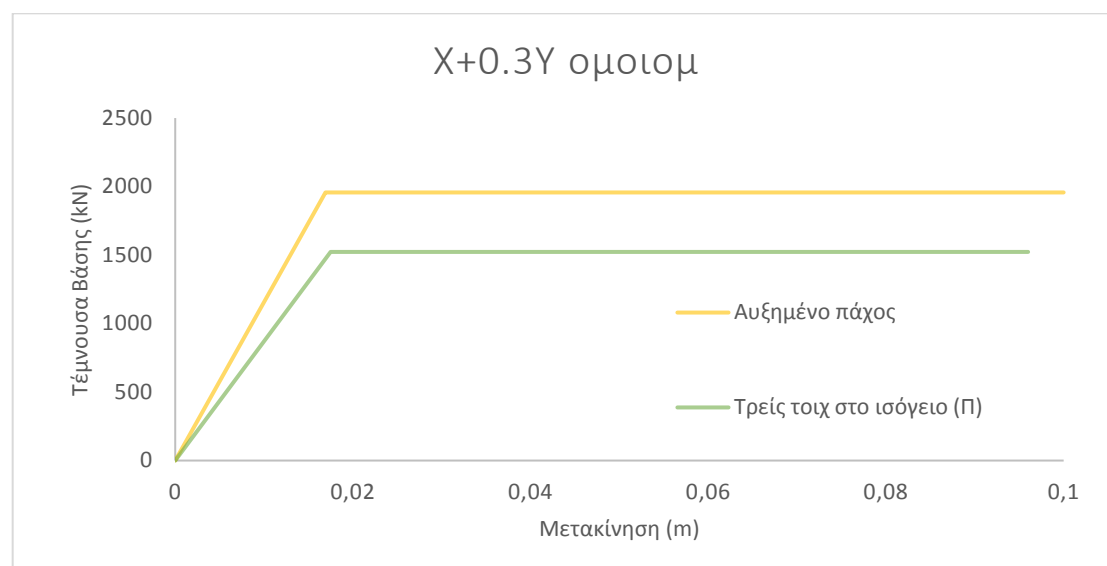
Διάγραμμα 71: pushover καμπύλη (Y-0,3X ιδιομορφική κατανομή)

Οι περίοδοι και συχνότητες των 3 πρώτων ιδιομορφών του μοντέλου με τα 20 εκ. πάχος τοιχοπλήρωσης είναι:

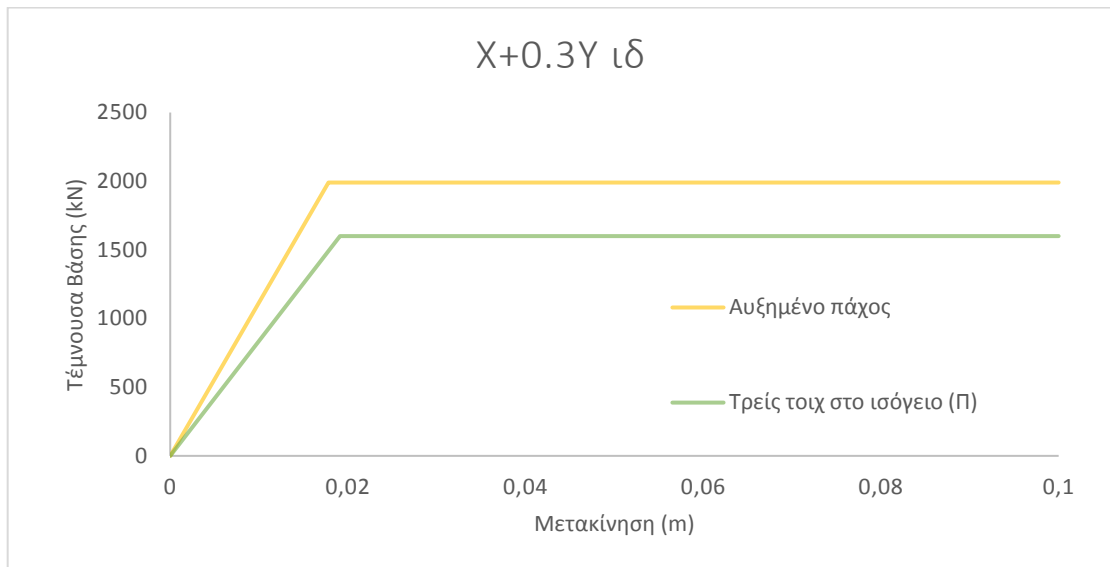
Ιδιομ.	Περίοδος (sec)	Συχνότητα (Hertz)	Γωνιακή Συχνότητα (rad/sec)
1	0,226	4,421	27,781
2	0,169	5,917	37,178
3	0,134	7,473	46,952

Πίνακας 10: Περίοδοι και συχνότητες ιδιομορφών 5<sup>ου</sup> μοντέλου με αυξημένο πάχος τοιχοπλήρωσης

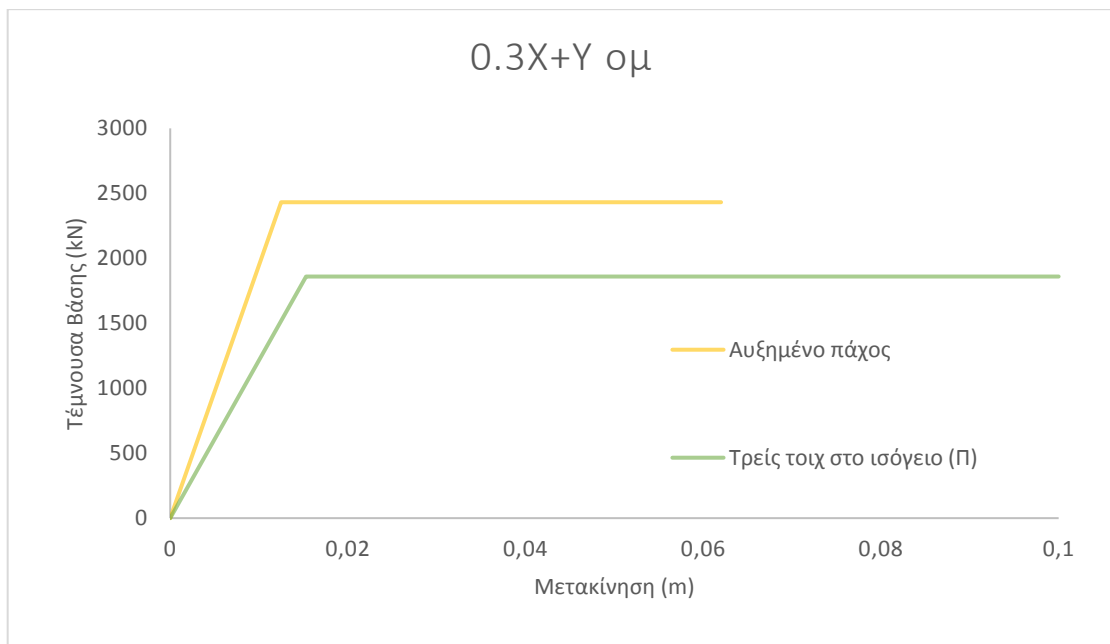
Στην συνέχεια έγιναν συγκεντρωτικά δ/τα που δείχνουν παράλληλα την συμπεριφορά του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με πάχος τούβλου 11εκ. και του ίδιου μοντέλου με πάχος τούβλου 20εκ., ώστε να γίνουν παρατηρήσεις.



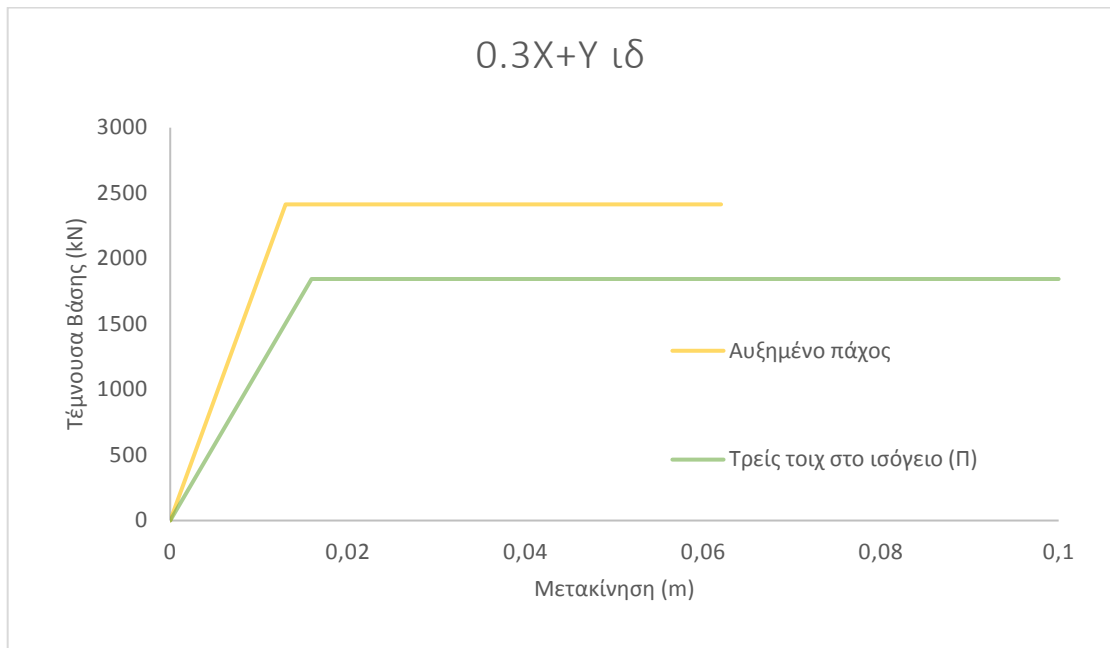
Διάγραμμα 72: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή  $X+0,3Y$



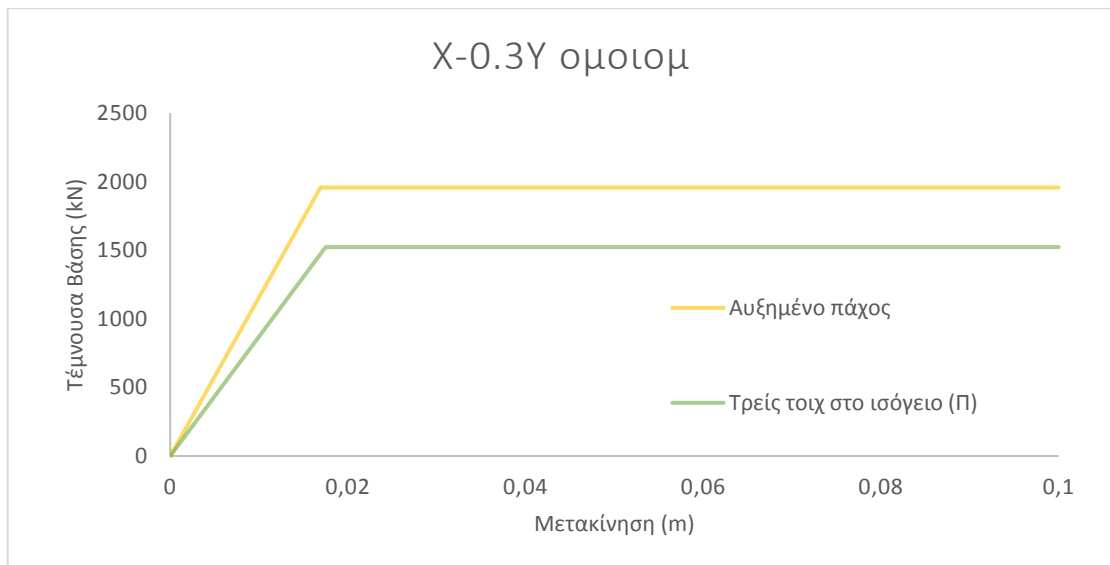
Διάγραμμα 73: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή  $X+0,3Y$



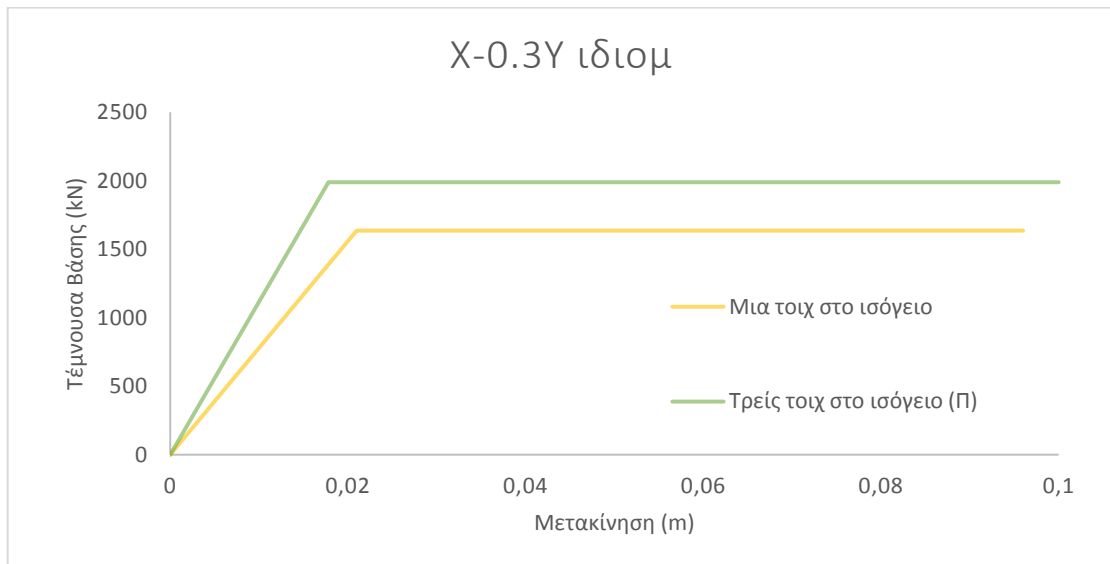
Διάγραμμα 74: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή  $Y+0,3X$



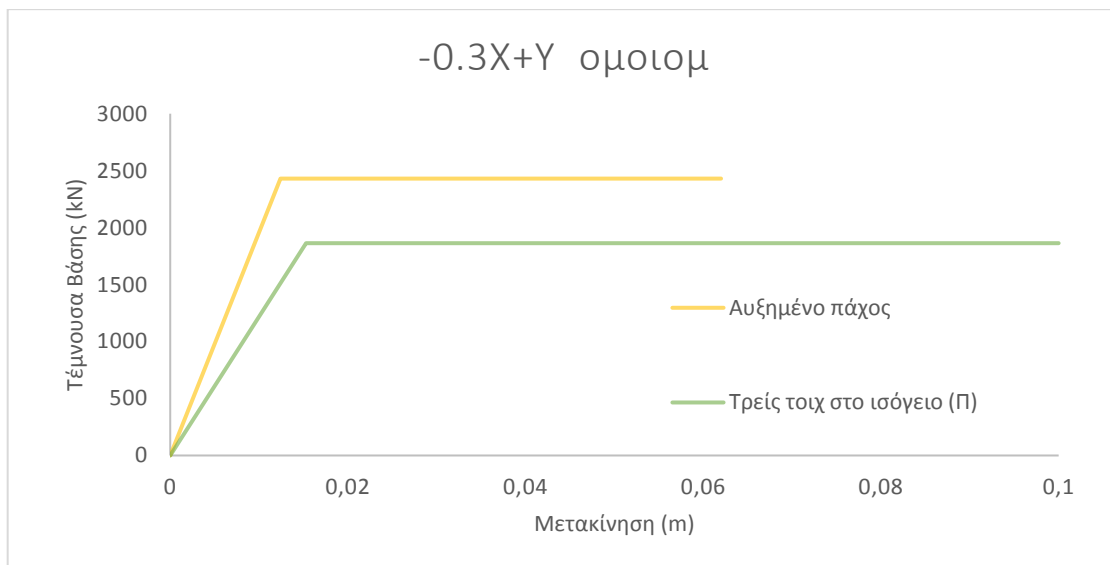
Διάγραμμα 75: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή  $Y+0,3X$



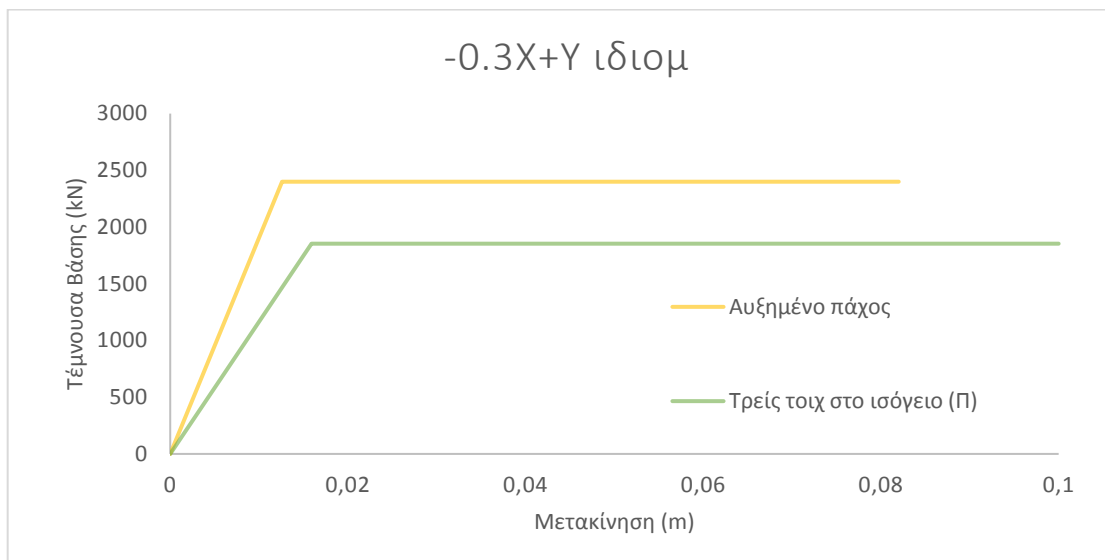
Διάγραμμα 76: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή  $X-0,3Y$



Διάγραμμα 77: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή X-0,3Y

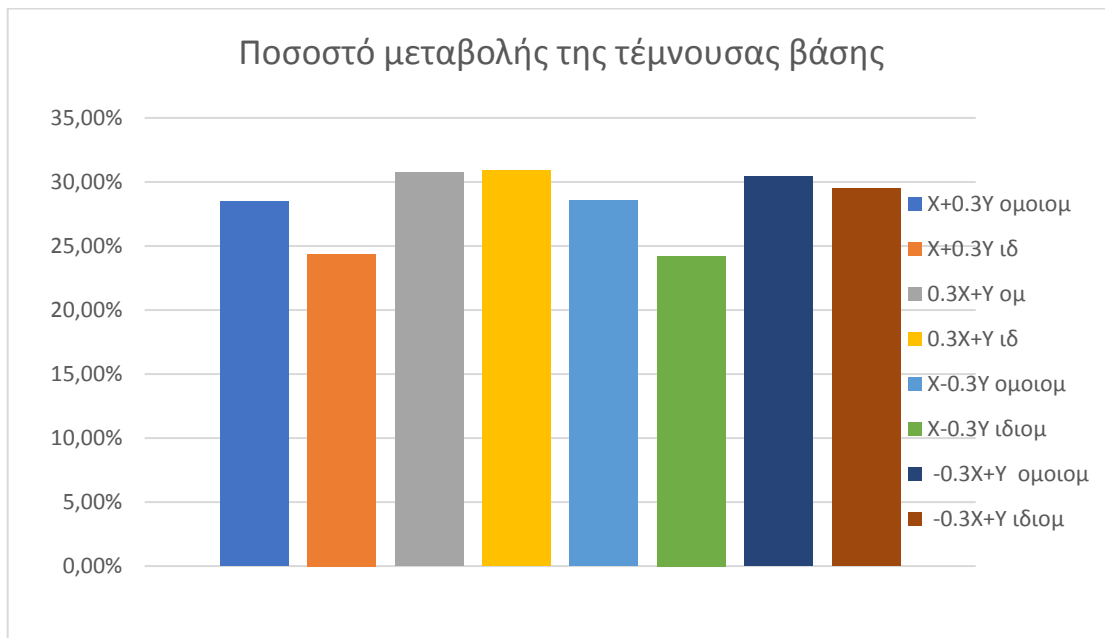


Διάγραμμα 78: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ομοιόμορφη κατανομή Y-0,3X

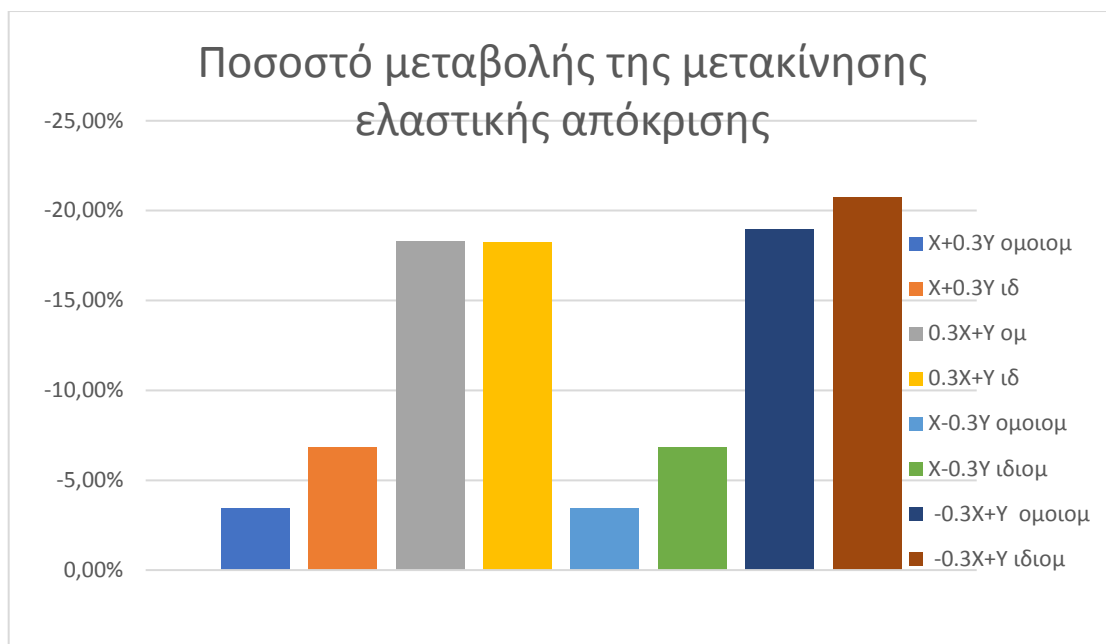


Διάγραμμα 79: σύγκριση εξιδανικευμένων pushover καμπυλών του 5<sup>ου</sup> μοντέλου με διαφορετικά πάχη τοιχοπλήρωσης σε ιδιομορφική κατανομή Y-0,3X

Ακολούθως εξάχθηκαν τα ακόλουθα συμπερασματικά διαγράμματα για τις μεταβολές (λόγω της αύξησης του πάχους του τούβλου) σε μέγιστη τέμνουσα βάσης και μετακίνηση της ελαστικής απόκρισης.



Διάγραμμα 80: ποσοστά μεταβολής της (μέγιστης)τέμνουσας βάσης στο 5ο μοντέλο κατόπιν της αύξησης του πάχους τοιχοπλήρωσης



Διάγραμμα 81: ποσοστά μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης στο 5<sup>ο</sup> μοντέλο κατόπιν αύξησης του πάχους τοιχοπλήρωσης

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Όπως αποτυπώθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, που αφορούσε την διαδικασία ανάλυσης pushover, παράχθηκαν συγκεντρωτικά δ/τα που δείχνουν παράλληλα την συμπεριφορά των 6 μοντέλων, ώστε να μπορεί κάποιος να τα συγκρίνει και ενδεχομένως να κάνει τις παρατηρήσεις του και να εξάγει συμπεράσματα.

### 6.1. Εξιδανικευμένες καμπύλες

Με βάση τα δ/τα που δείχνουν τις εξιδανικευμένες καμπύλες των 6 μοντέλων δύναται κανείς να παρατηρήσει:

α) Η μέγιστη τέμνουσα βάσης σε όλες τις κατανομές ανήκει στο 6<sup>ο</sup> μοντέλο με τοιχοπλήρωση εξωτερικά σε όλες τις πλευρές και των 2 ορόφων.

β) Η τέμνουσα βάσης του 1<sup>ου</sup> μοντέλου που δεν έχει καμία τοιχοπλήρωση, αλλά μόνο τον φέροντα οργανισμό, σε καμία από τις κατανομές δεν είναι η μικρότερη μεταξύ των τεμνουσών των μοντέλων.

γ) Στα δ/τα με κατανομή  $Y+0,3X$ , τα στοιχεία που προσθέτουν δυσκαμψία στον φορέα είναι οι 2 πλευρές του ισόγειου με τοιχοπλήρωσεις που είναι κατά  $Y$ , στον φορέα με τις 2 απέναντι τοιχοπληρωμένες πλευρές στο ισόγειο κατά  $Y$  (4<sup>ο</sup> μοντέλο), στον φορέα με τις 3 τοιχοπληρωμένες πλευρές στο ισόγειο (5<sup>ο</sup> μοντέλο) και στον φορέα με όλες τις πλευρές του τοιχοπληρωμένες (6<sup>ο</sup> μοντέλο). Όλα αυτά τα παραπάνω μοντέλα έχουν τις ίδιες κατά τον άξονα  $Y$  τοιχοπληρωμένες πλευρές στο ισόγειο (2 πλευρές κατά  $Y$ ).

δ) Παρατηρούμε στα δ/τα  $X+0,3Y$ , ότι στον φορέα με μία πλευρά τοιχοπληρωμένη στο ισόγειο κατά  $X$  (3<sup>ο</sup> μοντέλο) και στον φορέα με τις 3 τοιχοπληρωμένες πλευρές (5<sup>ο</sup> μοντέλο) δεν υπάρχει ριζική αλλαγή στην (μέγιστη) τέμνουσα βάσης διότι αυτό που παίζει σημαντικότερο ρόλο είναι η πλευρά κατά  $X$  που είναι τοιχοπληρωμένη, που είναι η ίδια και στους 2 φορείς.

ε) Επίσης στα δ/τα  $X+0,3Y$  παρατηρούμε ότι μεγάλη αλλαγή στην τέμνουσα βάσης εντοπίζεται μόνο στον φορέα με όλες τις πλευρές του τοιχοπληρωμένες διότι έχει 2 πλευρές τοιχοπληρωμένες κατά  $X$ .

στ) Στα δ/τα  $X+0,3Y$  παρατηρούμε ότι οι καμπύλες για τον φορέα χωρίς καθόλου τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο (2<sup>ο</sup> μοντέλο) και αυτού με 2 πλευρές απέναντι τοιχοπληρωμένες (κατά  $Y$  - 4<sup>ο</sup> μοντέλο) περίπου ταυτίζονται γιατί αυτές οι τοιχοπληρώσεις είναι κατά  $Y$  και παίζουν ελάχιστο ρόλο στον συνδυασμό  $X+0,3Y$ .

ζ) Αντίστοιχα στα δ/τα  $Y+0,3X$  περίπου ταυτίζονται οι καμπύλες του φορέα με τις 2 απέναντι τοιχοπληρωμένες (κατά  $Y$ ) πλευρές στο ισόγειο (4<sup>ο</sup> μοντέλο), του φορέα με τις 3 τοιχοπληρωμένες πλευρές στο ισόγειο (5<sup>ο</sup> μοντέλο) και του φορέα με όλες τις πλευρές τοιχοπληρωμένες στο ισόγειο (6<sup>ο</sup> μοντέλο) γιατί έχουν τις ίδιες ακριβώς πλευρές κατά  $Y$  τοιχοπληρωμένες και οι οποίες παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στον συνδυασμό  $Y+0,3X$ .

η) Συμπεραίνουμε ότι η δυσκαμψία του κτιρίου (κλίση της διγραμμικής καμπύλης push over) επηρεάζεται άμεσα από την ύπαρξη, τον αριθμό και την διάταξη των τοιχοπληρώσεων.

## 6.2. Ποσοστό μεταβολής τέμνουσας βάσης

Με βάση τα συγκεντρωτικά δ/τα με το ποσοστό μεταβολής της μέγιστης τέμνουσας βάσης των 5 μοντέλων σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> μοντέλο (που είναι χωρίς τοιχοπληρώσεις) διαπιστώνουμε ότι:

- α) Το 2<sup>ο</sup> μοντέλο (με πιλοτή χωρίς τοιχοπληρώσεις) έχει μείωση της μέγιστης τέμνουσας βάσης σε όλες τις περιπτώσεις σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> μοντέλο (χωρίς τοιχοπλήρωση) πάνω από 10%.
- β) Το 5<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> μοντέλο ( με τις 3 και τις 4 πλευρές τοιχοπληρωμένες στο ισόγειο αντίστοιχα) έχουν σταθερά αύξηση της μέγιστης τέμνουσας βάσης με το 6<sup>ο</sup> μοντέλο να πλησιάζει το 40% αύξηση.
- γ) Αντίθετα το 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> μοντέλο σε κάποιες κάποιους συνδυασμούς παρουσιάζουν μικρότερη μέγιστη τέμνουσα βάση (περίπου κατά 10%) σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> μοντέλο και συμβαίνει σε συνδυασμούς όπου η κύρια διεύθυνση είναι κάθετη σε αυτήν που έχουν τοιχοπλήρωση.

## 6.3. Ποσοστό μεταβολής μετακίνησης ελαστικής απόκρισης

Από το δ/μα μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης διαπιστώνονται τα εξής:

- α) έχουμε μείωση της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης από περίπου 35% μέχρι περίπου 55% στα άλλα μοντέλα σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> μοντέλο που δεν έχει καθόλου τοιχοπληρώσεις σε κανένα όροφο.
- β) σε σχέση με το 2<sup>ο</sup> μοντέλο (όπου έχουμε πιλοτή- χωρίς τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο) τα υπόλοιπα μοντέλα όπου προσθέτουμε τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο έχουν μέχρι 20% περίπου μείωση της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο φορέας χωρίς καθόλου τοιχοπληρώσεις πουθενά (1<sup>ο</sup> μοντέλο- σκέτο οπλισμένο σκυρόδεμα) είναι για πολύ μεγαλύτερη μετατόπιση του κόμβου αναφοράς ελαστικός, ενώ στα υπόλοιπα μοντέλα η ελαστικότητα μειώνεται σημαντικά (περίπου 20% μείωση της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης) σε σχέση με το 2<sup>ο</sup> μοντέλο (με σκέτη πιλοτή) όταν έχουμε και τις 2 πλευρές τοιχοπληρωμένες κατά την κύρια διεύθυνση του σεισμού.

## 6.4. Βλάβες μετά την pushover

Επίσης παρατηρώντας την Pushover σε όλα τα μοντέλα και τις βλάβες που υπήρχαν, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

Στο 6<sup>ο</sup> μοντέλο (πλήρως τοιχοπληρωμένο εξωτερικά) οι σημαντικές βλάβες (στάθμης επιτελεστικότητας B) αρχίζουν για 9,2εκ. μετακίνησης του κόμβου αναφοράς. Στο ίδιο μοντέλο στα 10εκ. όπου τελειώνει η pushover έχουμε μέγιστο μόνο 6 στα 16 υποστυλώματα του ισόγειου με σημαντικές βλάβες σε βάση και κορυφή παράλληλα (37,5%) στις ομοιόμορφες κατανομές. Επίσης στο μοντέλο αυτό, στα 10εκ. όπου τελειώνει η pushover έχουμε το μέγιστο

μόνο 3 στα 16 υποστυλώματα ισογείου με βλάβες σε βάση και κορυφή παράλληλα (δηλαδή 18,75%) στις ιδιομορφικές κατανομές. Δηλ. έχουμε αισθητά μικρό αριθμό υποστυλωμάτων σε σχέση με το 50% (37,5%) και είμαστε μακριά από το σχηματισμό μηχανισμού.

Στο 5<sup>ο</sup> μοντέλο έχουμε το μέγιστο (δηλ. τουλάχιστον σε μια κατανομή) 11 υποστυλώματα που παρουσιάζουν σημαντικές βλάβες (στάθμης επιτελεστικότητας B) σε βάση και κορυφή **παράλληλα** στις ομοιόμορφες κατανομές κατά το πέρας της pushover και αντίστοιχα 10 υποστυλώματα στις ιδιομορφικές κατανομές. Δηλ. έχουμε μέγιστο (τουλάχιστον σε κάποια κατανομή) 68,75% των υποστυλωμάτων του ισογείου με τέτοιου είδους βλάβες στο πέρας της pushover.

Επιγραμματικά αναφέρουμε για τα υπόλοιπα αντίστοιχα.

4<sup>ο</sup>: 14 υποστυλώματα, δηλαδή 87,5% το μέγιστο με αντίστοιχες βλάβες (στάθμης B) σε βάση και κορυφή παράλληλα (αξίζει να σημειωθεί ότι στις κατανομές κατά X έχουμε το μέγιστο 25% αντίστοιχες βλάβες σε βάση και κορυφή παράλληλα- στην διεύθυνση δηλ. όπου δεν έχει τοιχοπλήρωση στο ισόγειο)

3<sup>ο</sup>: 16 υποστυλώματα, 100% το μέγιστο σε αντίστοιχες βλάβες σε βάση και κορυφή παράλληλα

2<sup>ο</sup>: 16 υποστυλώματα, 100% το μέγιστο σε αντίστοιχες βλάβες σε βάση και κορυφή παράλληλα

1<sup>ο</sup>: 4 υποστυλώματα, 25% το μέγιστο σε αντίστοιχες βλάβες σε βάση και κορυφή παράλληλα.

Αυτά αναφέρθηκαν για να προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε πόσο κοντά στην δημιουργία μηχανισμού στο ισόγειο είναι τα μοντέλα.

Συμπεραίνουμε ότι όσον αφορά αυτό που εξετάσαμε, κατά σειρά καλύτερα λειτουργούν: το 1<sup>ο</sup>, το 6<sup>ο</sup>, το 5<sup>ο</sup>, το 4<sup>ο</sup>, το 3<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup>. Δηλαδή ο φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις πουθενά, υπερέχει με το 6<sup>ο</sup> μοντέλο που είναι παντού τοιχοπληρωμένο να έχει κοντινά αποτελέσματα. Από τα άλλα (που στην ουσία είναι πιλοτές με μερική ή πλήρη απουσία τοιχοπληρώσεων) καλύτερο παρουσιάζεται αυτό που έχει τοιχοπληρώσεις στις 3 από τις 4 πλευρές του. Παρόλα αυτά σε όλα από τα μοντέλα των πιλοτών (2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup>, 4<sup>ο</sup>, 5<sup>ο</sup>) πάνω από 65% των υποστυλωμάτων στο ισόγειο τουλάχιστον σε μια κατανομή παρουσιάζουν παράλληλα βλάβη στην βάση και στην κορυφή τους με το πέρας της pushover.

Επίσης από την έρευνα που έγινε για την στάθμη επιτελεστικότητας Γ (οιωνεί κατάρρευση) διαπιστώθηκε ότι μόνο το 1<sup>ο</sup> μοντέλο κατά την περαίωση της pushover με το λογισμικό SeismoBuild έχει το μέγιστο σε κάποια κατανομή 4 υποστυλώματα με βλάβες τύπου Γ μόνο στην βάση τους, ενώ το 3<sup>ο</sup> μοντέλο έχει το μέγιστο 3 υποστυλώματα που έχουν βλάβη τέτοιου τύπου (Γ) στην βάση τους σε κάποια κατανομή. Δηλ. σε σύνολο 16 υποστυλωμάτων στο ισόγειο, (με δυνατές βλάβες σε βάση ή κορυφή  $16 \times 2 = 32$ ), έχουμε μόνο  $4/32 = 12,5\%$  βλάβη το μέγιστο για το 1<sup>ο</sup> μοντέλο και  $3/32 = 9,4\%$  για το 3<sup>ο</sup> μοντέλο (που έχει μόνο μια τοιχοπλήρωση στο ισόγειο). Σε όλα τα άλλα μοντέλα δεν έχουμε τέτοιου είδους βλάβες με την περαίωση της pushover.

## 6.5. Επάρκεια μοντέλων

Από την έρευνα που κάναμε επίσης διαπιστώθηκαν τα εξής για τα μοντέλα:

Σε όλες τις περιπτώσεις με βάση το λογισμικό SeismoBuild υπολογίζονται στοχευόμενες μετακινήσεις για τις διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας. Οι αρχικοί υπολογισμοί έγιναν για

στάθμη επιτελεστικότητας περιορισμένες βλάβες (Α) με 50% πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός ενός κύκλου συμβατικής ζωής 50 χρόνων και στάθμη επιτελεστικότητας σημαντικές βλάβες (Β) με πιθανότητα υπέρβασης 10% της σεισμικής δράσης εντός ενός κύκλου συμβατικής ζωής 50 χρόνων. Σε όλες τις περιπτώσεις, όλα τα μοντέλα κρίθηκαν **επαρκή** καθώς οι βλάβες που εμφανίζονται ανάλογα με κάθε στάθμη επιτελεστικότητας (ελαφριές βλάβες (Α) ή σημαντικές βλάβες (Β)) γίνονται για μετακινήσεις μεγαλύτερες των αντιστοίχων στοχευόμενων μετακινήσεων για στάθμη (Α) ή (Β).

Τα μοντέλα ερευνήθηκαν επίσης για στάθμη επιτελεστικότητας περιορισμένες βλάβες (Α) με 50% πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός ενός κύκλου συμβατικής ζωής 50 χρόνων και στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (Γ) με πιθανότητα υπέρβασης 10% της σεισμικής δράσης εντός ενός κύκλου συμβατικής ζωής 50 χρόνων. Σε όλες τις περιπτώσεις, όλα τα μοντέλα κρίθηκαν **επαρκή** καθώς οι βλάβες που εμφανίζονται ανάλογα με κάθε στάθμη επιτελεστικότητας (ελαφριές βλάβες (Α) ή οιονεί κατάρρευση (Γ)) γίνονται για μετακινήσεις μεγαλύτερες των αντιστοίχων στοχευόμενων μετακινήσεων για στάθμη (Α) ή (Γ).

Συμπερασματικά, τα μοντέλα μας κρίθηκαν **επαρκή με συνέπεια να μην χρειάζονται κάποιου είδους ενίσχυση**.

## 6.6. Αύξηση πάχους τοιχοπλήρωσης και επιπτώσεις

Από την έρευνα που έγινε στο 5<sup>ο</sup> μοντέλο (όπου όλες οι εξωτερικές πλευρές και στους 2 ορόφους είναι τοιχοπληρωμένες, εκτός από μία στο ισόγειο κατά Χ), αναφορικά με την μετατροπή του πλάτους του τούβλου των τοιχοπληρώσεων από 11εκ. σε 20 εκ. σε όλο τον φορέα, έχουν αποτυπωθεί οι καμπύλες μεταβολής της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της μετακίνησης του κόμβου αναφοράς για όλες τις κατανομές και συγκεντρωτικά δ/τα με σύγκριση του αρχικού φορέα με πλάτος τούβλου 11εκ. και του άλλου με πλάτος 20εκ. Από αυτά παρατηρεί κανείς τα εξής:

- 1) Εμφανίζεται αύξηση της μέγιστης τέμνουσας βάσης στις εξιδανικευμένες καμπύλες που κυμαίνεται από περίπου 25% μέχρι περίπου 30% σε όλες τις περιπτώσεις.
- 2) Στις περισσότερες περιπτώσεις (ιδιαίτερα σε αυτές όπου η κύρια διεύθυνση του συνδυασμού είναι ίδια με αυτήν των περισσότερων τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο) έχουμε το φαινόμενο η pushover να σταματάει και να μην μπορεί να ολοκληρωθεί στα 10 εκ. μετακίνησης του κόμβου αναφοράς. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην μεγάλη αύξηση της τέμνουσας βάσης στα όρια της αντοχής.
- 3) Οι μεταβολές στις πρώτες περιόδους ιδιομορφών με την αύξηση του πάχους τοιχοπλήρωσης είναι: μείωση 7,38% στην πρώτη, 14,21% στην δεύτερη και 14,1% στην τρίτη.
- 4) Το ποσοστό μεταβολής της μετακίνησης ελαστικής απόκρισης κυμαίνεται γύρω στο -20% στις κατανομές όπου κύρια διεύθυνση είναι η Υ (γιατί έχει 2 πλευρές τοιχοπληρωμένες κατά Υ ενώ κατά Χ έχει 1) και στο -5% όπου κύρια διεύθυνση είναι η Χ (που είναι λογικό γιατί κατά Υ έχουμε 2 και όχι μια τοιχοπληρωμένη πλευρά στο ισόγειο)

## 6.7 Γενικά

Από την εργασία, όπως γράφτηκε και παραπάνω, προέκυψαν αρκετές παρατηρήσεις που μπορούν ενδεχομένως να προκαλέσουν τροφή για σκέψη όσον αφορά τις πιλοτές, τις τοιχοπληρώσεις και τις επιπτώσεις τους στην αντισεισμική συμπεριφορά ενός φορέα ανάλογα με το μέγεθος τους, την διάταξή τους, την συμμετρία τους.

Στα μοντέλα που μελετήσαμε ξεκάθαρα βλέπουμε την υπεροχή του 6<sup>ου</sup> μοντέλου που δεν έχει πιλοτή και είναι παντού τοιχοπληρωμένο, μια υπεροχή που ίσως να οφείλεται στην συμμετρία του φορέα κατά X και Y. Από τους υπόλοιπους φορείς με πιλοτή ξεχωρίζει το 5<sup>ο</sup> μοντέλο που είναι συμμετρικό κατά τον άξονα Y και η αδυναμία του οφείλεται στην έλλειψη συμμετρίας κατά X. Παρόλα αυτά είναι πιο ισορροπημένο από το 4<sup>ο</sup> μοντέλο που παρόλο που και αυτό έχει συμμετρία κατά Y και όχι κατά X, εμφανίζει μεγάλη αναντιστοιχία στις δυσκαμψίες στους 2 άξονες. Μοντέλο προς αποφυγή είναι το 3<sup>ο</sup> μοντέλο με μόνο μια τοιχοπληρωμένη πλευρά στο ισόγειο κατά X που εμφανίζει συνολικά και τα δυσμενέστερα αποτελέσματα (σε δυσκαμψία, στις ιδιοπεριόδους, στις τελικές βλάβες μετά από την pushover για στάθμη επιτελεστικότητας B και Γ).

Επίσης το πείραμα με την αύξηση του πάχους μας δείχνει την μεγάλη ώθηση που μπορεί να προκληθεί στην τέμνουσα βάσης του φορέα με την αύξηση της δυσκαμψίας, που όμως σε κάποιες περιπτώσεις δεν προτείνεται γιατί αφαιρείται στην ουσία μέρος της ελαστικότητας του φορέα και της ικανότητας να λαμβάνει παραμορφώσεις (διακοπή της pushover πριν τα 10 εκ. μετακίνησης του κόμβου αναφοράς).

## 6.8 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Είναι σαφές ότι η διαμόρφωση των τοιχοπληρώσεων μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα αντισεισμικά για ένα κτίριο. Ένας μελετητής μηχανικός θα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν επαρκή στοιχεία για την πρόληψη αυτού του προβλήματος ή την αντιμετώπιση του.

Θα πρέπει να γίνουν έρευνες μελλοντικά ενδεχομένως για το βέλτιστο πάχος της τοιχοπλήρωσης με σκοπό να υπάρχουν ενδεικτικά στοιχεία ερευνών με διαφορετικά πάχη τοιχοποιίας και τις επιπτώσεις σε ένα κτίριο γιατί ενδεχομένως, όπως είδαμε και στην παρούσα διπλωματική, το υπερβολικό πάχος να προσδίδει υπερβολική δυσκαμψία που δυσκολεύει την λειτουργία του στατικού συστήματος, ενώ πολύ μικρά πάχη να μην είναι επαρκή για την απόδοση δυσκαμψίας.

## Βιβλιογραφία

Γιασίν, Μ. (1999). *Πειραματική διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στη δυναμική απόκριση κτιριακών κατασκευών μέσω της μελέτης φυσικών ομοιωμάτων υπό κλίμακα*, διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ζήνωνος, Γ. (2013). *Επιρροή των τοιχοπληρώσεων στον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος*, πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λεμεσός.

Κακαραντζάς, Α. (2015). *Επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση πλαισιωτών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος*, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Καραγιάννης, Χ. (2019). *Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και σεισμικές δράσεις*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, Εκδόσεις σοφία.

Φαρδής, Μ. & Δρίτσος, Σ. (2003). *Σεισμικές βλάβες, επισκευές και ενισχύσεις τόμος Α', Αποτίμηση σεισμικών βλαβών, επισκευές και ενισχύσεις κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος*. Πάτρα, Ελλάδα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2005), “ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ 2η Αναθεώρηση 2017”, Αθήνα.

ΤΣΙΚΑΣ, Π. & ΔΡΙΤΣΟΣ, Σ., *Διερεύνηση του τρόπου προσομοίωσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων με ανοίγματα, σε κατασκευές Ο.Σ.*, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος.

Μπακάλης, Α. (2021). *Αντισεισμική μη-γραμμική στατική ανάλυση ασύμμετρων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος στη μέγιστη δυνατή κατάσταση επικείμενης κατάρρευσης με χρήση καταναγκασμένων μετακινήσεων ορόφων ή ανελαστικών δυναμικών εκκεντροτήτων*. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Seismosoft [2022] “SeismoStruct 2022 [2022] – A computer program for seismic assessment of reinforced concrete framed structures,”

Seismosoft [2021] “SeismoBuild 2021 – A computer program for seismic assessment of reinforced concrete framed structures,”

Baker, J. W. (2007). Measuring bias in structural response caused by ground motion scaling. Pacific Conference on Earthquake Engineering, (056), 1–6.

Crisafulli, F. J. (1997). *Seismic behavior of reinforced concrete structures with masonry infills*. PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

Crisafulli, F. J., Carr, A. J., & Park, R. (2000). *Analytical modelling of infilled frame structures*. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33(1), 30–47.

Eurocode 8: Design of Structures for earthquake resistance – Part 1 General, rules, seismic actions and rules for Buildings”, CEN, EN 1998-1, Dec. 2004.

Eurocode 2: Design of Structures – Part 1 General Rules and Rules for Building, CEN, EN 1998-1, Dec. 2004.

Fardis, M. N., & Panagiotakos, T. B. (1997). *Seismic design and response of bare and masonry-infilled reinforced concrete buildings. Part II: Infilled structures. Journal of Earthquake Engineering*, 1(3), 475–503.

Fardis, M. N., & Panagiotakos, T. B. (1997). *Seismic design and response of bare and masonry-infilled reinforced concrete buildings. Part i: Bare structures. In Journal of Earthquake Engineering (Vol. 1).*

Francisco J. Crisafulli, & Athol J. Carr. (2007). *Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40(2), 69–77.

Beer, M.&Kougioumtzoglou, I.A.&Patelli, E.&Siu-Kui Au, I. (2015). Encyclopedia of Earthquake Engineering. In Encyclopedia of Earthquake Engineering.

Panagiotakos, T. B., & Fardis, M. N. (1999). *Deformation-controlled earthquake-resistant design of rc buildings. Journal of Earthquake Engineering*, 3(4), 495–518.

Panagiotakos, T. B., & Fardis, M. N. (2004). *Seismic performance of RC frames designed to eurocode 8 or to the Greek codes 2000. Bulletin of Earthquake Engineering*, 2(2), 221–259.

Borekci,M\* & Kirç,M.S.(2010) *Fragility analysis of R/C frame buildings based on different types of hysteretic mode. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/264150700\\_Fragility\\_analysis\\_of\\_RC\\_frame\\_buildings\\_based\\_on\\_different\\_types\\_of\\_hysteretic\\_model](https://www.researchgate.net/publication/264150700_Fragility_analysis_of_RC_frame_buildings_based_on_different_types_of_hysteretic_model)*