



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

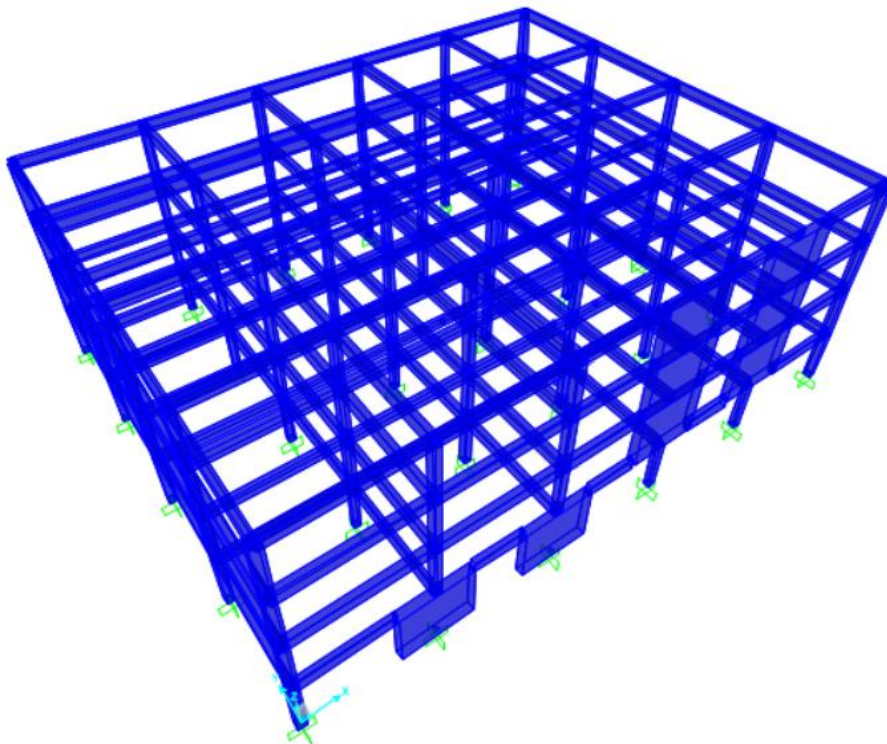
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η επιρροή της στροφής στην ανελαστική ανάλυση»

ΧΡΗΣΤΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

01114579

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ



ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

National Technical University of Athens, Department of Civil Engineering

Christou Ioannis

Copyright © Ιωάννης Τ. Χρήστου, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του πανεπιστημίου.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πολυώροφα κτίρια με ασύμμετρες κατόψεις τα οποία υποβάλλονται σε οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις, τα διαφράγματα των ορόφων υφίστανται ταυτόχρονα μεταφορικές και στρεπτικές μετακινήσεις. Οι μετακινήσεις αυτές δημιουργούν στα φέροντα δομικά στοιχεία της κατασκευής τάσεις και παραμορφώσεις διαφορετικές από εκείνες που θα αναπτύσσονταν στα ίδια στοιχεία, εάν η κατασκευή ήταν συμμετρική και ως εκ τούτου η μετακίνηση κατά κύριον λόγο μεταφορική. Μετασεισμικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό βλαβών ή και καταρρεύσεων κτιρίων με ασύμμετρες κατόψεις, αποδίδεται στις έντονες στρεπτομεταφορικές ταλαντώσεις, οι οποίες φέρεται να δημιουργούν υψηλές απαιτήσεις πλαστιμότητας στα περιμετρικά ιδίως φέροντα στοιχεία όπου και η παρουσία στρεπτικών μετατοπίσεων είναι εντονότερη. Ορμώμενοι ως μηχανικοί από τις παραπάνω σκέψεις αλλά και ως απλοί παρατηρητές παραδειγμάτων της καθημερινότητας όπου για λόγους πρακτικούς ή αρχιτεκτονικούς (στοές, περιορισμοί ιδεατού στερεού, διέλευση οχημάτων στο ισόγειο) η έκκεντρη ενίσχυση θα ήταν προτιμητέα ή και αναγκαστική, επιχειρούμε στην παρούσα εργασία να διερευνήσουμε, με εκπόνηση χαρακτηριστικών παραδειγμάτων, του κατά πόσον διάφορες μορφές έκκεντρης (σε σχέση με τις κατόψεις ή/και τις όψεις ορόφων) και ως προς τους κανονισμούς "ακατάλληλης" ή και απαγορευτικής ενίσχυσης κτιρίου με προσθήκη τοιχωμάτων είναι δυνατόν να έχει αρνητικά αποτελέσματα σε υφιστάμενα, μη ενισχυόμενα, μέλη. Αναμφίβολα μια συμμετρική ενίσχυση εγγυάται και μια καλύτερη συμπεριφορά του φορέα, αναρωτώμαστε όμως ποια η «απώλεια» της έκκεντρης ενίσχυσης σε σχέση με την αντίστοιχη ενίσχυση χωρίς εκκεντρότητα και αν τελικά το χάσμα μεταξύ των δύο αυτών λύσεων είναι μικρότερο από όσο πιστεύεται. Επίσης διερωτώμαστε την αναγκαιότητα εύρεσης του πλασματικού ελαστικού άξονα και τη χρησιμότητα αυτού, με τον οποίον ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ2000) αντιμετωπίζει το ούτως ή άλλως απαιτητικό πρόβλημα της εύρεσης του κατακόρυφου ελαστικού άξονα σε πολυώροφα κτίρια.

## ABSTRACT

In multi-storey buildings with asymmetric floor plans which are subjected to horizontal seismic forces, the floor diaphragms incur simultaneous translational and torsional movements. These movements create in the load resisting structural elements of the construction tendencies and deformations different from those that would develop in the same elements, if the construction was symmetrical and therefore the movement was mainly translational. Post-seismic observations show that a large percentage of damage or collapse of buildings with asymmetric floor plans, is due to strong torsional oscillations, which create high plasticity requirements especially in perimeter resisting structural elements where the presence of torsional displacements is higher. Rushing as engineers from the above thoughts but also as simple observers of examples of everyday life where for practical or architectural reasons (courtyards spaces, partition walls, transit of vehicles) the eccentric strengthening would be preferable or even forced, we try in this thesis to investigate with typical examples, whether various forms of eccentric (according to the floor plans and / or facades) and in terms of regulations "inappropriate" or even prohibited strengthening of a building by adding shear walls may have adverse effects on existing, non-strengthening, members. Undoubtedly a symmetrical strengthening also guarantees a better behavior of the building, but we wonder what is the "loss" of the eccentric strengthening in relation to the corresponding non-eccentric one and whether in the end the gap between these two solutions is smaller than believed. We also wonder the necessity of finding the nominal elastic axis and its usefulness, with which the Greek Anti-Seismic Regulation (EAK2000) encounters the already demanding problem of finding the vertical elastic axis in multi storey buildings.

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.</b> Καθορισμός επιφάνειες εσοχής ορόφου .....	4
<b>Εικόνα 2.</b> Διατάξεις Τοιχώματων.....	6
<b>Εικόνα 3.</b> Καθορισμός Πλασματικού Άξονα .....	15
<b>Εικόνα 4.</b> Καμπύλη Ικανότητας Κατασκευής .....	18
<b>Εικόνα 5.</b> Ορισμός γωνίας στροφής χορδής, $\theta$ .....	18
<b>Εικόνα 6.</b> Ιδεατή καμπύλη F-δ δομικών στοιχείων.....	19
<b>Εικόνα 7.</b> Μετακίνηση οροφής υπό ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή.....	21
<b>Εικόνα 8.</b> Διγραμμικοποίηση καμπύλης ικανότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ .....	22
<b>Εικόνα 9.</b> Κάτοψη Αναφοράς .....	23
<b>Εικόνα 10.</b> Συμμετρικά Τοιχώματα -1-.....	24
<b>Εικόνα 11.</b> Συμμετρικά Τοιχώματα -2-.....	24
<b>Εικόνα 12.</b> Ασύμμετρα Τοιχώματα -1-.....	25
<b>Εικόνα 13.</b> Ασύμμετρα Τοιχώματα -2-.....	25
<b>Εικόνα 14.</b> Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα καθύψος -1-.....	26
<b>Εικόνα 15.</b> Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα καθύψος -2-.....	27
<b>Εικόνα 16.</b> Εναλλάξ Τοιχώματα -1-.....	28
<b>Εικόνα 17.</b> Εναλλάξ Τοιχώματα -2-.....	28
<b>Εικόνα 18.</b> Ορισμός σκυροδέματος.....	29
<b>Εικόνα 19.</b> Ορισμός χάλυβα οπλισμών.....	30
<b>Εικόνα 20.</b> Ορισμός δοκών .....	31
<b>Εικόνα 21.</b> Ορισμός υποστηλωμάτων .....	31
<b>Εικόνα 22.</b> Ορισμός Τοιχωμάτων.....	32

<b>Εικόνα 23.</b> Ακαμπτες περιοχές κόμβων.....	33
<b>Εικόνα 24.</b> Δοκοί με μειωμένο ελαστικό μήκος .....	34
<b>Εικόνα 25.</b> Κίνηση Διαφράγματος.....	35
<b>Εικόνα 26.</b> Ανάλυση της κίνησης του διαφράγματος σε : (A) Μεταφορική + (B) Στροφική .....	35
<b>Εικόνα 27.</b> Εισαγωγή στηρίξεων κπιρίου στο έδαφος.....	36
<b>Εικόνα 28.</b> Ομαδοποίηση φορτίων σε Load Patterns.....	38
<b>Εικόνα 29.</b> Καθορισμός καμπύλης M-θ και παραμορφώσεων σχεδιασμού για τα υποστηλώματα .....	40
<b>Εικόνα 30.</b> Καθορισμός καμπύλης M-θ και παραμορφώσεων σχεδιασμού για δοκούς .....	41
<b>Εικόνα 31.</b> Δεδομένα $m_i$ , $z_i$ , $F_b$ και ζητούμενα $F_i$ .....	42
<b>Εικόνα 32.</b> Καθορισμός σεισμικών δράσεων καθ΄ως των φορέων.....	43
<b>Εικόνα 33.</b> Ορισμός του Load Case "PUSHOVERX" .....	44
<b>Εικόνα 34.</b> Ιδεατή καμπύλη M-θ δομικών στοιχείων.....	47
<b>Εικόνα 35.</b> Παράδειγμα απεικόνισης καμπύλης Pushover και των τριών χαρακτηριστικών σημείων της καμπύλης .....	48
<b>Εικόνα 36.</b> Επιλογή του πίνακα Frame Hinge States .....	49
<b>Εικόνα 37.</b> Εύρεση απομειωμένων E σε κάθε στοιχείο και σε κάθε βήμα της ανάλυσης .....	50
<b>Εικόνα 38.</b> Συγκέντρωση και πινακοποίηση των νέων διατομών του φορέα .....	51
<b>Εικόνα 39.</b> Δημιουργία νέου υλικού με απομειωμένο E .....	52
<b>Εικόνα 40.</b> Εισαγωγή νέων Sections με απομειωμένο E.....	52
<b>Εικόνα 41.</b> Εφαρμογή ροπής στο διάφραγμα του ανώτερου ορόφου.....	53
<b>Εικόνα 42.</b> Προσδιορισμός κέντρου στροφής διαφράγματος ως σημείο τομής των μεσοκαθέτων.....	54
<b>Εικόνα 43.</b> Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	55
<b>Εικόνα 44.</b> Απομειωμένα E διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 17).....	57

<b>Εικόνα 45.</b> Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 17).....	58
<b>Εικόνα 46.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ62) .....	59
<b>Εικόνα 47.</b> Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 62).....	59
<b>Εικόνα 48.</b> Θέσεις Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία χαρακτηριστικά βήματα .....	60
<b>Εικόνα 49.</b> Συντεταγμένες Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία χαρακτηριστικά βήματα .....	61
<b>Εικόνα 50.</b> Συνολική και ποσοστιαία μείωση δυσκαμψίας κατακόρυφων στοιχείων στα τρία βήματα ενδιαφέροντος.....	61
<b>Εικόνα 51</b> Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα .....	62
<b>Εικόνα 52.</b> Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο .....	62
<b>Εικόνα 53.</b> Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ .....	64
<b>Εικόνα 54.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 20).....	65
<b>Εικόνα 55.</b> Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 20).....	65
<b>Εικόνα 56.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 58) .....	66
<b>Εικόνα 57.</b> Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 58).....	66
<b>Εικόνα 58.</b> Θέσεις Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία χαρακτηριστικά βήματα .....	67
<b>Εικόνα 59.</b> Συντεταγμένες Κέντρου Στροφής στα τρία χαρακτηριστικά βήματα.....	68
<b>Εικόνα 60.</b> Συνολική και ποσοστιαία μείωση δυσκαμψίας κατακόρυφων στοιχείων στα τρία βήματα ενδιαφέροντος.....	68
<b>Εικόνα 61.</b> Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα .....	69
<b>Εικόνα 62.</b> Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο .....	69
<b>Εικόνα 63.</b> Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	71
<b>Εικόνα 64.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 18).....	72
<b>Εικόνα 65.</b> Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 18).....	72

<b>Εικόνα 66.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ47) .....	73
<b>Εικόνα 67.</b> Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 47).....	73
<b>Εικόνα 68.</b> Σημείο επιτελεστικότητας και σημείο εμφάνισης του τοπικού φαινομένου .....	75
<b>Εικόνα 69.</b> Θέσεις Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία βήματα ενδιαφέροντος .....	76
<b>Εικόνα 70.</b> Συντεταγμένες Κέντρου Στροφής στα τρία βήματα ενδιαφέροντος.....	77
<b>Εικόνα 71.</b> Συνολική και ποσοστιαία μείωση δυσκαμψίας κατακόρυφων στοιχείων στα τρία βήματα ενδιαφέροντος .....	77
<b>Εικόνα 72.</b> Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα .....	78
<b>Εικόνα 73.</b> Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο .....	78
<b>Εικόνα 74.</b> Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	80
<b>Εικόνα 75.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 28).....	80
<b>Εικόνα 76.</b> Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 28).....	81
<b>Εικόνα 77.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 57) .....	81
<b>Εικόνα 78.</b> Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση(ΒΗΜΑ 57) .....	82
<b>Εικόνα 79.</b> Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.....	83
<b>Εικόνα 80.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ22).....	83
<b>Εικόνα 81.</b> Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 22).....	84
<b>Εικόνα 82.</b> Απομειωμένα Ε διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ70) .....	84
<b>Εικόνα 83.</b> Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 70).....	85
<b>Εικόνα 84.</b> Μέγιστη και Ελάχιστη καμπύλη PUSHOVER .....	86
<b>Εικόνα 85.</b> Ενιαίο διάγραμμα απεικονίσεις καμπυλών PUSHOVER.....	87
<b>Εικόνα 86.</b> Ανάλυση της συνολικής μετακίνησης σημείου σε : (Α) Μεταφορική + (Β) Στροφική .....	89
<b>Εικόνα 87.</b> Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση .....	90

<b>Εικόνα 88.</b> Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση .....	91
<b>Εικόνα 89.</b> Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση .....	92
<b>Εικόνα 90.</b> Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση .....	93
<b>Εικόνα 91.</b> Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση .....	94
<b>Εικόνα 92.</b> Βήμα μέγιστης τέμνουσας βάσης για κάθε μοντέλο.....	96
<b>Εικόνα 93.</b> Μετακινήσεις σημείων διαφραγμάτων με τη μέγιστη μετατόπιση στο βήμα της μέγιστης τέμνουσας βάσης .....	96
<b>Εικόνα 94.</b> Εύρεση τέμνουσας βάσης για κοινή μετατόπιση .....	97
<b>Εικόνα 95.</b> Συγκέντρωση δεδομένων που εισέρχονται στον τύπο $U_{\Sigma, x} = U_0, x - \theta * Y_{\Sigma}$ .....	100
<b>Εικόνα 96.</b> Εύρεση μεταφορικού και στροφικού όρου.....	101
<b>Εικόνα 97.</b> Συγκέντρωση δεδομένων που εισέρχονται στον τύπο $U_{\Sigma, x} = U_0, x - \theta * Y_{\Sigma}$ .....	102
<b>Εικόνα 98.</b> Εύρεση μεταφορικού και στροφικού όρου.....	103
<b>Εικόνα 99.</b> Συγκέντρωση δεδομένων που εισέρχονται στον τύπο $U_{\Sigma, x} = U_0, x - \theta * Y_{\Sigma}$ .....	104
<b>Εικόνα 100.</b> Εύρεση μεταφορικού και στροφικού όρου .....	105
<b>Εικόνα 101.</b> Βήμα μέγιστης τέμνουσας βάσης για κάθε μοντέλο.....	107
<b>Εικόνα 102.</b> Μετακινήσεις σημείων διαφραγμάτων με τη μέγιστη μετατόπιση στο βήμα της μέγιστης τέμνουσας βάσης .....	107
<b>Εικόνα 103.</b> Εύρεση μετατοπίσεων για κοινή Τέμνουσα Βάσης.....	108

**ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<b>Πίνακας 1.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=3\text{ m}$ .....	113
<b>Πίνακας 2</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=6\text{ m}$ .....	114
<b>Πίνακας 3.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=9\text{ m}$ .....	114
<b>Πίνακας 4.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=12\text{ m}$ .....	115
<b>Πίνακας 5.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=3\text{ m}$ .....	116
<b>Πίνακας 6.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=6\text{ m}$ .....	116
<b>Πίνακας 7.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=9\text{ m}$ .....	117
<b>Πίνακας 8.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=12\text{ m}$ .....	117
<b>Πίνακας 9.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=3\text{ m}$ .....	118
<b>Πίνακας 10.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=6\text{ m}$ .....	118
<b>Πίνακας 11.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=9\text{ m}$ .....	119
<b>Πίνακας 12.</b> Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, $Z=12\text{ m}$ .....	119



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
ABSTRACT .....	v
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	vi
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	xi
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ .....	1
1. Εισαγωγή .....	1
Αντικείμενο και στόχοι.....	1
Δομή εργασίας .....	2
2. Βασικές διατάξεις αντισεισμικών κανονισμών για την εκτίμηση στρέψης των κτιρίων.....	3
Κανονικότητα.....	3
Κανονικότητα σε κάτοψη .....	3
Κανονικότητα σε όψη.....	7
Τυχηματικές Στρεπτικές Επιδράσεις .....	10
Στρεπτικά Εύκαμπτα Συστήματα.....	11
Συσχέτιση στρεπτικής ευαισθησίας με θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους κατασκευής.....	12
3. Ορισμοί χαρακτηριστικών σημείων.....	13
Κέντρο δυσκαμψίας.....	13
Κέντρο στροφής.....	13
Ελαστικός άξονας .....	13
Πλασματικός Ελαστικός Άξονας σε Πολυώροφα Κτίρια.....	14
4. Θεμελιώδεις έννοιες αντισεισμικού σχεδιασμού .....	16
Πλαστιμότητα.....	16
Πλαστικές αρθρώσεις.....	16
Καμπύλη ικανότητας κατασκευής (capacity curve) .....	17
Καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου .....	18
5. Διατάξεις ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover).....	20
Προϋποθέσεις εφαρμογής .....	20
Καθορισμός κόμβου ελέγχου .....	20

Κατανομή σεισμικών φορτίων .....	21
Εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης .....	22
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ.....	23
Περιγραφή και προσομοίωση φορέων-εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα .....	23
ΜΟΝΤΕΛΟ 1 - ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	23
ΜΟΝΤΕΛΟ 2 - ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	24
ΜΟΝΤΕΛΟ 3 - ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.....	25
ΜΟΝΤΕΛΟ 4 - ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ .....	26
ΜΟΝΤΕΛΟ 5 - ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	27
Καθορισμός Υλικών .....	29
Ορισμός φερόντων στοιχείων .....	30
Απομείωση δυσκαμψιών .....	32
Άκαμπτα τμήματα.....	33
Καθορισμός διαφράγματος.....	35
Κατακόρυφες δράσεις επί των φορέων .....	37
Προσομοίωση πλαστικών αρθρώσεων.....	38
Σεισμικές δράσεις E.....	42
Καθορισμός κόμβου ελέγχου .....	44
ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ .....	46
Εύρεση Κέντρου Στροφής με τη μέθοδο των μεσοκαθέτων.....	47
Αποτελέσματα αναλύσεων και συγκρίσεις αποτελεσμάτων .....	55
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	55
ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 17).....	57
ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 62).....	59
Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	63
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ .....	64
ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 20) .....	65

ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 58).....	66
Μεταβολή θέσης και πορεία Κέντρου Στροφής στην Ανελαστική Ανάλυση.....	67
Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	70
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	71
ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 18).....	71
ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 47).....	73
Μεταβολή θέσης και πορεία Κέντρου Στροφής στην Ανελαστική Ανάλυση.....	76
Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	79
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	80
ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 28) .....	80
ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 57).....	81
ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ .....	83
ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 22) .....	83
ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 70).....	84
Συγκεντρωτική αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων περί το Κέντρο Στροφής.....	86
Αποτελέσματα και συγκρίσεις μετακινήσεων .....	89
Σύγκριση της τέμνουσας βάσης με κριτήριο την κοινή μετατόπιση.....	95
Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	97
Εύρεση μεταφορικών και στροφικών όρων συνολικής μετακίνησης.....	98
Σύγκριση της μετατόπισης με κριτήριο την κοινή τέμνουσα βάσης.....	107
Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	109
Επίλογος .....	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	113

## **ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ**

### **1. Εισαγωγή**

#### Αντικείμενο και στόχοι

Όπως και το αντικείμενο του πολιτικού μηχανικού, έτσι και οι Αντισεισμικοί Κανονισμοί οι οποίοι το πλαισιώνουν εξελίσσονται και συνεχώς αναθεωρούνται με σκοπό την επικαιροποίηση και τον εκσυγχρονισμό τους όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο. Ο ΕΑΚ2000 στο κεφάλαιο 4 και ο Ευρωκώδικας 8, οι οποίοι είναι οι ισχύοντες Αντισεισμικοί Κανονισμοί στη χώρα μας, περιλαμβάνουν ένα σύνολο διατάξεων και κριτηρίων σχεδιασμού με σκοπό τη βέλτιστη διάταξη τοιχωμάτων κατά τη διαμόρφωση του στατικού συστήματος σε κάτοψη και όψη. Οι διατάξεις αυτές δεν αποτελούν ένα αυστηρό κανονιστικό πλαίσιο αλλά λειτουργούν ως συστάσεις με σκοπό την ελαχιστοποίηση των αβεβαιωτήτων σεισμικής συμπεριφοράς, αφήνοντας σε μεγάλο βαθμό την τελική διάταξη στην κρίση του μηχανικού. Στην παρούσα εργασία αρχικά δημιουργείται στο περιβάλλον SAP2000 ένα σύνολο μοντέλων με έκκεντρη και ως προς τους κανονισμούς "ακατάλληλη" προσθήκη τοιχωμάτων σε μια συμμετρική κάτοψη αναφοράς. Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής στατικών αναλύσεων στους παραπάνω φορείς μελετάται η επίδραση της προσθήκης εκκεντρότητας στις μετακινήσεις των διαφόρων στοιχείων, εστιάζοντας στην εύκαμπτη πλευρά που δημιουργείται και στα ακραία στοιχεία αυτής που επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από την εκκεντρότητα και από την επιπρόσθετη στροφή που αυτή δημιουργεί στα διαφράγματα. Επίσης επιχειρείται αναζήτηση του Πόλου Στροφής στο πέρας των βημάτων της ανελαστικής στατικής ανάλυσης και εξάγονται συμπεράσματα για τη μεταβολή της θέσης του. Τέλος λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω δίνονται απαντήσεις σχετικά με το αν μια ακατάλληλη, μη ευνοϊκή, ακόμα και σε τυχαίες θέσεις ενίσχυση ενός κτιρίου με προσθήκη τοιχωμάτων, έχει τελικώς αρνητική ή θετική επίδραση στο συνολικό στατικό σύστημα.

## Δομή εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από Τρία Μέρη και το Παράρτημα.

- Το Μέρος Πρώτο, το οποίο αποτελεί και το θεωρητικό μέρος της εργασίας, είναι χωρισμένο σε 5 Κεφάλαια.
  - Το **Κεφάλαιο 1** περιλαμβάνει την Εισαγωγή, στην οποία παρουσιάζονται ο σκοπός και η δομή της εργασίας.
  - Στο **Κεφάλαιο 2** αναφέρονται ορισμένες χρήσιμες διατάξεις του ΕΚ8 και του ΕΑΚ 2000 που αφορούν στην εκτίμηση της στρεπτικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Επιπλέον, προσδιορίζεται η έννοια του ελαστικού άξονα, με τον οποίο καθορίζονται η στατική εκκεντρότητα και η ακτίνα δυστρεψίας.
  - Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται βασικοί ορισμοί χαρακτηριστικών σημείων ενός πολυώροφου κτιρίου και των διαφραγμάτων αυτού.
  - Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται ορισμένες θεμελιώδεις έννοιες του αντισεισμικού σχεδιασμού, που αποτελούν απαραίτητα εργαλεία μιας ανελαστικής ανάλυσης και εξαγωγής ορθών αποτελεσμάτων από αυτήν.
  - Στο **Κεφάλαιο 5** αναφέρονται διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ για την ανελαστική ανάλυση (Pushover), οι οποίες τηρήθηκαν και αποτέλεσαν οδηγό στην εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα.
- Το Μέρος Δεύτερο περιγράφει τους φορείς που προσομοιώθηκαν στο πρόγραμμα καθώς και τα απαραίτητα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την ανάλυση των φορέων αυτών.
- Το Μέρος Τρίτο παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των μοντέλων, τις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων αυτών καθώς και τα συμπεράσματα και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
- Το Παράρτημα περιγράφει την πορεία υπολογισμού των συντεταγμένων του Κέντρου Στροφής σύμφωνα με τους τύπους του ΕΑΚ2000.

## 2. Βασικές διατάξεις αντισεισμικών κανονισμών για την εκτίμηση στρέψης των κτιρίων

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται διατάξεις του ΕΚ 8 και του ΕΑΚ 2000, που αφορούν την εκτίμηση της στρεπτικής συμπεριφοράς των κτιρίων και τη διαμόρφωση του στατικού συστήματος, προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής στρεπτική αντοχή και δυσκαμψία. Για την εκτίμηση της στρεπτικής συμπεριφοράς των κτιρίων, εισάγεται στους κανονισμούς η έννοια της στατικής εκκεντρότητας και της ακτίνας δυσστρεψίας. Επιπλέον, εισάγεται η έννοια της τυχηματικής εκκεντρότητας για την αντιμετώπιση στρεπτικών καταπονήσεων οφειλομένων σε παράγοντες που δεν είναι πρακτικά εφικτό να προσομοιωθούν.

### Κανονικότητα

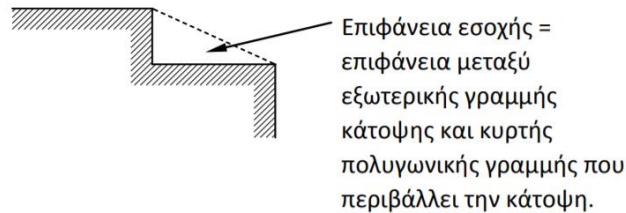
Η κανονικότητα ενός κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο, αφού επηρεάζει άμεσα την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που θα ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό των σεισμικών φορτίων σχεδιασμού. Διακρίνονται δύο τύποι κανονικότητας: η κανονικότητα σε κάτοψη και η κανονικότητα σε όψη (καθ' ύψος).

### Κανονικότητα σε κάτοψη

Η κανονικότητα σε κάτοψη επηρεάζει έμμεσα το συντελεστή σύμπεριφοράς (μέσω του συντελεστή  $a_u/a_1$ ). Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε κάτοψη θα πρέπει να ικανοποιεί όλες τις παρακάτω προϋποθέσεις :

- Το κτίριο πρέπει να είναι κατά προσέγγιση συμμετρικό σε κάτοψη, σε σχέση με δύο ορθογώνιους άξονες. Η συμμετρία αφορά
  - την αντοχή σε οριζόντια φορτία και
  - την κατανομή της μάζας.
- Κάθε πλάκα ορόφου θα οριοθετείται από κυρτή πολυγωνική γραμμή. Εάν υπάρχουν ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές στην περίμετρο):

- οι ανωμαλίες αυτές δεν πρέπει να έχουν επιπτώσεις στη δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδό της
- σε κάθε ανωμαλία, η περιοχή μεταξύ του περιγράμματος της πλάκας και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής που περιβάλλει την πλάκα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% της επιφάνειας του ορόφου.



**Εικόνα 1.** Καθορισμός επιφάνειας εσοχής ορόφου

- Η δυσκαμψία των πλακών των ορόφων μέσα στο επίπεδό τους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στην κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων (διαφραγματική λειτουργία). Από την άποψη αυτή, κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι, και Χ πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.

- Η λυγηρότητα του κτιρίου σε κάτοψη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 4, δηλαδή:  $\lambda \leq 4$ , όπου:

$$\lambda = L_{\max}/L_{\min}$$

$L_{\max}$  και  $L_{\min}$  είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη διάσταση του κτιρίου σε κάτοψη, μετρούμενη σε ορθογώνιες διευθύνσεις.

- Σε κάθε επίπεδο και για κάθε διεύθυνση της ανάλυσης x και y, η στατική εκκεντρότητα  $e_0$  και η ακτίνα δυστρεψιάς r πρέπει να ικανοποιούν τις δύο παρακάτω συνθήκες:

- Διεύθυνση ανάλυσης y

$$e_{0x} \leq 0,30 \cdot r_x$$

$$r_x \geq \ell_s$$

– Διεύθυνση ανάλυσης x

$$e_{oy} \leq 0,30 \cdot r_y$$

$$r_y \geq \ell_s$$

όπου:

$e_{ox}$  = η απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας (στατική εκκεντρότητα) που μετράται κατά την διεύθυνση x, κάθετα στην εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης (ανάλογα ορίζεται η  $e_{oy}$ ).

$r_x$  = ακτίνα δυστρεψίας που ορίζεται ως (ανάλογα ορίζεται η  $r_y$ ):

$$r_x = \sqrt{\frac{\text{στροφική δυσκαμψία}}{\text{μεταφορική δυσκαμψία στη διεύθυνση y}}}$$

Η στροφική δυσκαμψία ορίζεται ως προς το κέντρο της μεταφορικής δυσκαμψίας. Επειδή για πολυόροφα κτίρια δεν υπάρχει σαφής ορισμός του κέντρου δυσκαμψίας, το Εθνικό Προσάρτημα παραπέμπει στην Παρ. 3.3.3 του ΕΑΚ2000, όπου υπάρχει αντίστοιχος ορισμός της ακτίνας δυστρεψίας ως προς το σημείο Ρο κάθε ορόφου, που αντιστοιχεί στον πλασματικό ελαστικό άξονα.

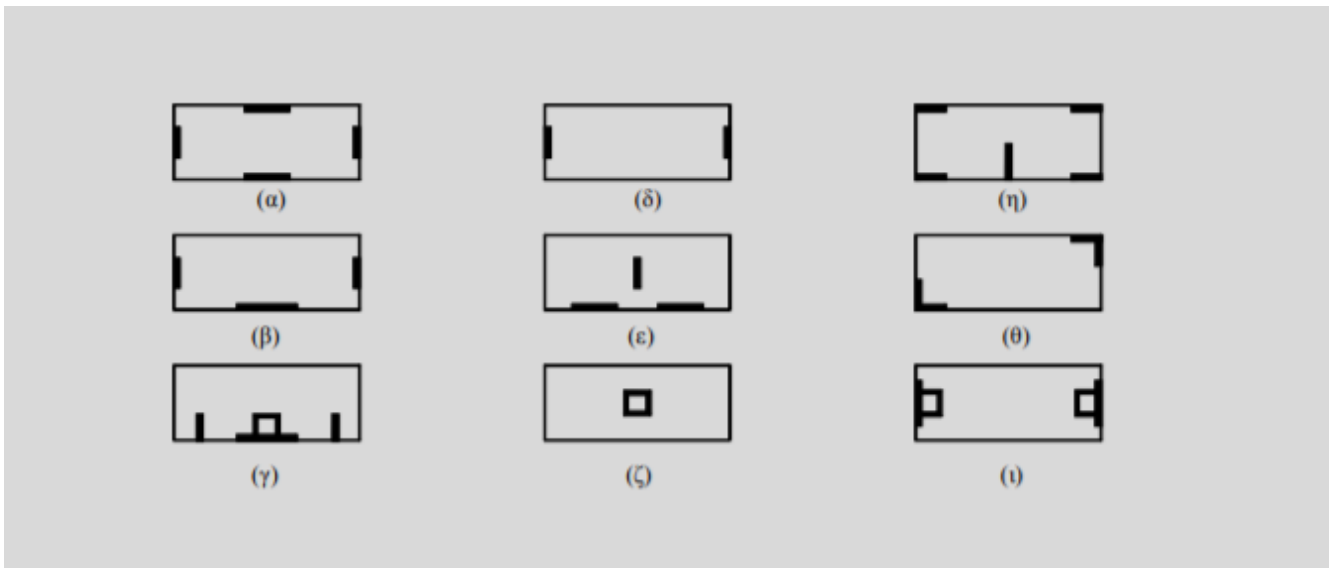
$\ell_s$ =ακτίνα αδρανείας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη που ορίζεται ως:

$$\ell_s = \sqrt{\frac{\text{πολική ροπή αδράνειας πλάκας ως προς το κέντρο μάζας}}{\text{μάζα ορόφου}}}$$

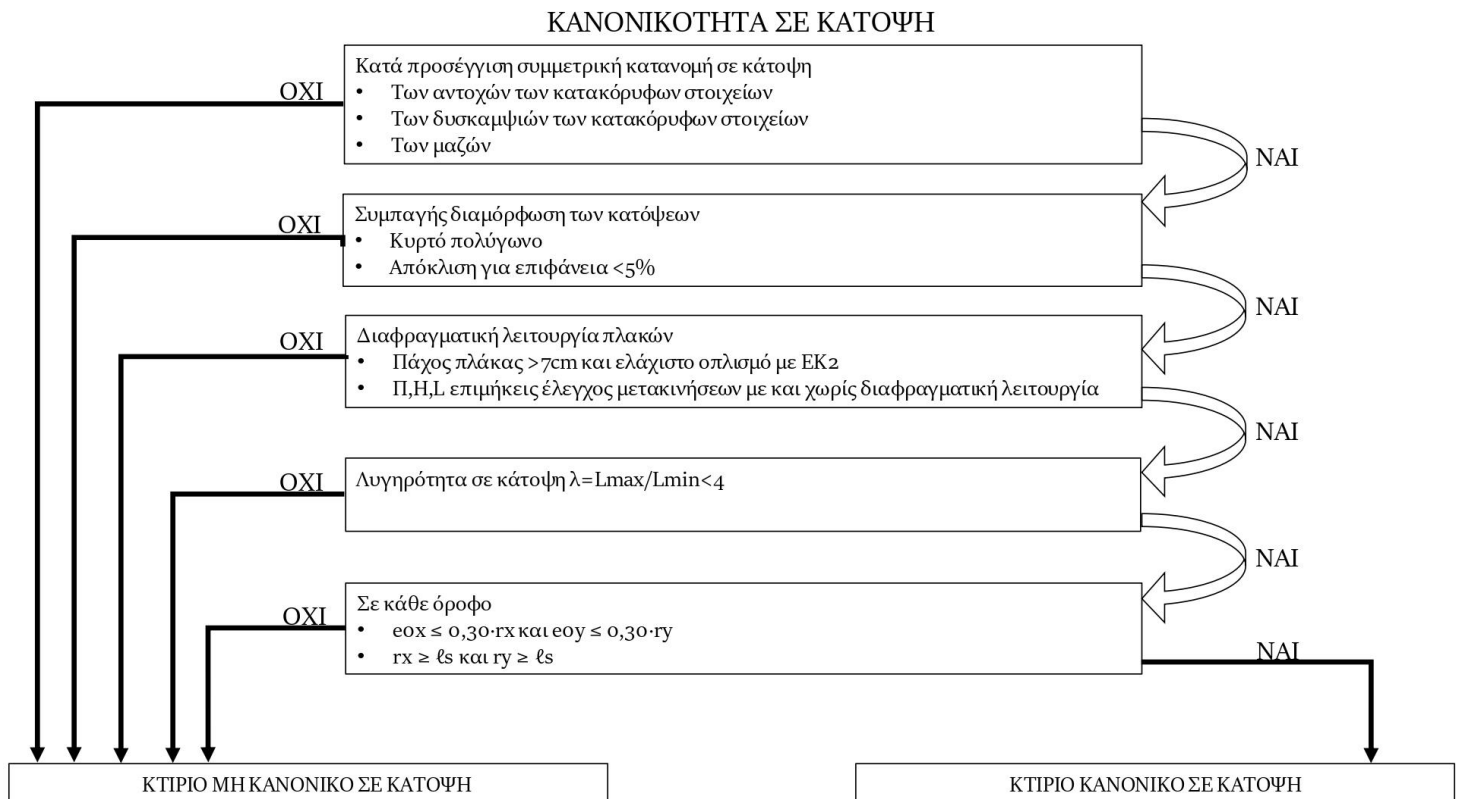
Σχετικά με την στρεπτική αντοχή και δυσκαμψία, προκειμένου να περιορίζεται η ανάπτυξη των στρεπτικών κινήσεων που οδηγούν τα διάφορα φέροντα στοιχεία σε ανομοιόμορφη καταπόνηση, σαφή πλεονεκτήματα παρουσιάζουν διατάξεις, στις οποίες τα κύρια στοιχεία που αναλαμβάνουν την σεισμική δράση είναι



κατανεμημένα κοντά στην περίμετρο του κτιρίου. Όπως ορίζει ο ΕΑΚ 2000, η ελαχιστοποίηση της στρεπτικής παραμόρφωσης του κτιρίου επιτυγχάνεται με τη συμμετρική διάταξη των πιο άκαμπτων κατακόρυφων στοιχείων κοντά στην περίμετρο, ή όπου αυτό δεν είναι δυνατόν, με τη διάταξη τοιχωμάτων παράλληλα και κοντά σε τρεις τουλάχιστον πλευρές της περιμέτρου. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται παραδείγματα κατάλληλων, ανεπαρκών και ακατάλληλων διατάξεων τοιχωμάτων. Οι διατάξεις (α), (β) και (γ) είναι κατάλληλες, τόσο από σεισμική, όσο και από γενικότερη, στατική άποψη. Οι διατάξεις (δ), (ε) και (ζ) είναι ανεπαρκείς από σεισμική άποψη και επομένως, ακατάλληλες. Οι (η), (θ) και (ι), παρέχουν σημαντική αστρεψία και είναι σεισμικά επαρκείς, αλλά σε περίπτωση επιμήκων κτιρίων απαιτείται έλεγχος της έντασης καταναγκασμού, λόγω έμμεσων δράσεων.



*Εικόνα 2. Διατάξεις Τοιχωμάτων*



**Πίνακας 1.** Κριτήρια καθορισμού κανονικότητας κτιρίου σε κάτοψη

### Κανονικότητα σε όψη

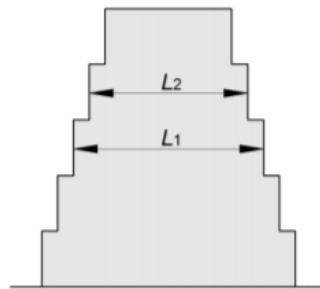
Η κανονικότητα σε όψη επηρεάζει άμεσα την αντισεισμική ανάλυση, αφού κτίρια χωρίς κατακόρυφη κανονικότητα επιβαρύνονται με 25% αύξηση των σεισμικών φορτίων (σχεδιάζονται αντισεισμικά για 20% μικρότερο συντελεστή συμπεριφοράς). Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε όψη πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παρακάτω όρους:

- Όλα τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτίων, όπως πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, πρέπει να είναι συνεχή χωρίς διακοπή από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτιρίου, ή, εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου.
- Η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων θα παραμένουν σταθερές ή θα μειώνονται βαθμιαία, χωρίς απότομες αλλαγές. Δεν δίνεται σαφής ποσοτικός καθορισμός του όρου

“βαθμιαία μείωση”, αλλά αφήνεται στην κρίση του μηχανικού. Υπενθυμίζεται ότι αντίστοιχη διάταξη υπήρχε και στον ΕΑΚ για τον καθορισμό ενός κτιρίου ως κανονικού, στην οποία η βαθμιαία μείωση της μάζας και της δυσκαμψίας δεν έπρεπε να είναι μεγαλύτερη του 50% από όροφο σε όροφο.

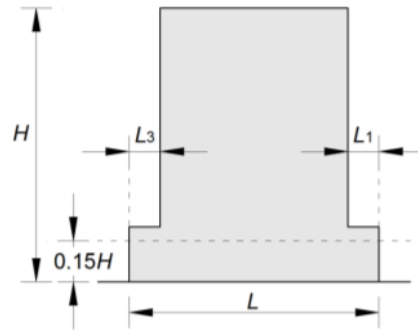
- Σε κτίρια με πλαισιωτό σύστημα, ο λόγος της πραγματικής αντοχής ορόφων προς την αντοχή που απαιτείται από την ανάλυση δεν πρέπει να διαφέρει δυσανάλογα μεταξύ συνεχόμενων ορόφων. Επειδή οι τοίχοι πλήρωσης συμμετέχουν στην πραγματική αντοχή των ορόφων ενώ δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της αντοχής που απαιτείται από την ανάλυση, κτίρια με pilotis δεν ικανοποιούν αυτή τη συνθήκη και επομένως είναι μη-κανονικά σε όψη.
- Όταν υπάρχουν εσοχές καθ’ ύψος, πρέπει να ικανοποιούνται και οι ακόλουθες πρόσθετες συνθήκες:
  - Περίπτωση (α) Για βαθμιδωτές εσοχές που διατηρούν την αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 20% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη, στη διεύθυνση της εσοχής:

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,20$$



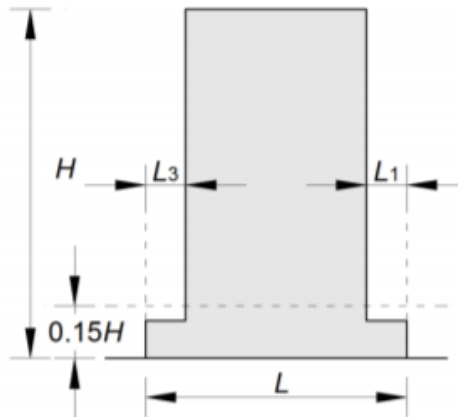
- Περίπτωση (β) Για μεμονωμένη εσοχή σε ύψος μεγαλύτερο του 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος:

$$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,20$$



- Περίπτωση (γ) Για μια μεμονωμένη εσοχή σε ύψος μικρότερο του 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος η εσοχή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 50% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη:

$$\frac{L3+L1}{L} \leq 0,50$$

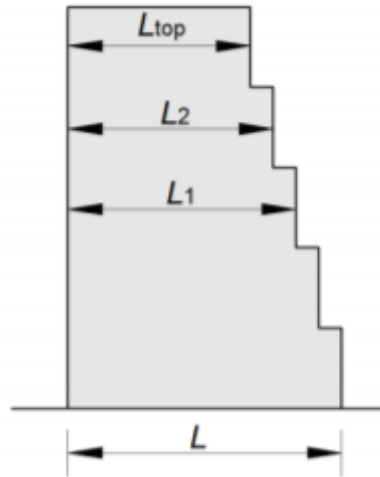


Απαίτηση πρόσθετου ελέγχου Στην περίπτωση (γ), το κάτω μέρος της κατασκευής, που περιλαμβάνεται μέσα στην κατακόρυφη προβολή της περιμέτρου των ανώτερων ορόφων, πρέπει να μελετηθεί ώστε να αναλαμβάνει τουλάχιστον το 75% των οριζόντιων τεμνουσών δυνάμεων που θα αναπτύσσονταν στην ίδια ζώνη σε παρόμοιο κτίριο χωρίς τη διεύρυνση του κάτω μέρους. Η διάταξη αυτή επιβάλλει διπλή επίλυση του κτιρίου, με και χωρίς την επέκταση του ισογείου.

- Περίπτωση (δ) Εάν οι εσοχές δεν διατηρούν τη συμμετρία του φορέα, το άθροισμα των εσοχών όλων των ορόφων σε κάθε όψη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 30% της διάστασης της κάτοψης στο ισόγειο επάνω από την θεμελίωση ή επάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου

υπογείου, και κάθε επιμέρους εσοχή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 10% της προηγούμενης διάστασης κάτοψης:

$$\frac{L-L_{top}}{L} \leq 0,30 \quad \text{και} \quad \frac{L_1-L_2}{L_1} \leq 0,30$$



### Τυχηματικές Στρεπτικές Επιδράσεις

Βάσει του ΕΚ 8, προκειμένου να ληφθούν υπόψη αβεβαιότητες στη θέση των μαζών και στη χωρική μεταβολή της σεισμικής κίνησης, το υπολογιζόμενο κέντρο μάζας σε κάθε όροφο θεωρείται ως μετατοπισμένο από την ονομαστική θέση του σε κάθε διεύθυνση κατά την ακόλουθη τυχηματική εκκεντρότητα:

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i$$

όπου:

- $e_{ai}$  είναι η τυχηματική εκκεντρότητα του κέντρου μάζας ορόφου  $i$  από την ονομαστική θέση του, εφαρμοζόμενη στην ίδια διεύθυνση σε όλους τους ορόφους και
- $L_i$  είναι η διάσταση του ορόφου, κάθετη προς την διεύθυνση της σεισμικής δράσης.

## Στρεπτικά Εύκαμπτα Συστήματα

Όπως προβλέπει ο ΕΚ 8, πλαισιωτά συστήματα, διπλά συστήματα και συστήματα τοιχωμάτων χωρίς την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία που ικανοποιεί την παραπάνω εξίσωση και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, κατατάσσονται στα στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα. Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000, ένα κτίριο θεωρείται στρεπτικά ευαίσθητο, όταν κατά τη μία τουλάχιστον κύρια διεύθυνση (x ή y) η ακτίνα δυστρεψίας  $\rho_{m,i}$  ως προς το κέντρο μάζας  $M_i$  κάθε διαφράγματος είναι μικρότερη ή ίση από την ακτίνα αδράνειας  $r_i$  του διαφράγματος ( $\rho_{m,i} \leq r_i$ ). Οι ακτίνες δυστρεψίας  $\rho_{mx,i}$  και  $\rho_{my,i}$  κατά τις κύριες διευθύνσεις x και y του κτιρίου δίνονται από τις σχέσεις:

$$\rho_{mx,i} = \sqrt{\rho_x^2 + e_{ox,i}^2}$$

$$\rho_{my,i} = \sqrt{\rho_y^2 + e_{oy,i}^2}$$

όπου:

- $e_{ox,i}$  και  $e_{oy,i}$  οι στατικές εκκεντρότητες κατά τις διευθύνσεις των κύριων αξόνων x, y
- $\rho_x$  και  $\rho_y$  οι αντίστοιχες ακτίνες δυστρεψίας ως προς τον ελαστικό άξονα, υπολογιζόμενες από τις σχέσεις:

$$\rho_x = \sqrt{\frac{c \cdot u_y}{\theta_z}}$$

$$\rho_y = \sqrt{\frac{c \cdot u_x}{\theta_z}}$$

όπου:

- $u_x$  και  $u_y$  μετατοπίσεις του σημείου  $P_0$  για φόρτιση του κτιρίου με τις σεισμικές δυνάμεις  $F_i$  κατά τις κύριες διευθύνσεις x και y αντίστοιχα,
- $\theta_z$  γωνία στροφής στο διάφραγμα ( $i_0$ ) για τη στρεπτική φόρτιση με τις ομόσημες στρεπτικές ροπές  $M_z i = +c \cdot F_i$  και
- c αυθαίρετος μοχλοβραχίονας των δυνάμεων  $F_i$  (π.χ.  $c = 1$ )

Συσχέτιση στρεπτικής ευαισθησίας με θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους κατασκευής

Σύμφωνα με την παρακάτω διπλή σχέση, για να μην είναι ένα κτίριο στρεπτικά εύκαμπτο πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική δυστρεψία σε όλους τους ορόφους, δηλαδή σε κάθε όροφο πρέπει να ικανοποιείται η διπλή σχέση:

$$\frac{r_x}{l_s} \geq 1 \quad \text{και} \quad \frac{r_y}{l_s} \geq 1$$

Εάν, αντί για τις ακτίνες δυστρεψίας ως προς το κέντρο δυσκαμψίας του ορόφου χρησιμοποιήσουμε τις αντίστοιχες ακτίνες ως προς το κέντρο μάζας,  $r_{mx}$  και  $r_{my}$ , όπως συμβαίνει στον ΕΑΚ 2000, προκύπτει ότι πρέπει να ισχύει:

$$\frac{\sqrt{K_{\theta, KM} / I_{KM}}}{\sqrt{K_y / m}} \geq 1 \quad \text{και} \quad \frac{\sqrt{K_{\theta, KM} / I_{KM}}}{\sqrt{K_x / m}} \geq 1$$

Για μονώροφες κατασκευές, οι μεταφορικές ιδιοσυχνότητες  $\omega_x$  και  $\omega_y$  και η στροφική ιδιοσυχνότητα  $\omega_{\theta}$  είναι:

$$\omega_x = \sqrt{\frac{K_x}{m}}, \quad \omega_y = \sqrt{\frac{K_y}{m}}, \quad \omega_{\theta} = \sqrt{\frac{K_{\theta, KM}}{m}}$$

Επομένως, για να μην είναι ένα μονώροφο κτίριο στρεπτικά εύκαμπτο, πρέπει :

$$\omega_{\theta} \geq \omega_x, \quad \omega_{\theta} \geq \omega_y$$

ή αντίστοιχα :

$$T_x \geq T_{\theta}, \quad T_y \geq T_{\theta}$$

Επεκτείνοντας αυτές τις σχέσεις σε πολυώροφα κτίρια, ο έλεγχος της στρεπτικής ευκαμψίας θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής:

Ένα κτίριο δεν είναι στρεπτικά εύκαμπτο, εάν οι θεμελιώδεις μεταφορικές ιδιοπεριόδοι  $T_x$  και  $T_y$  στις δύο κύριες διευθύνσεις είναι μεγαλύτερες από τη στροφική ιδιοπερίοδο  $T_{\theta}$ .

### 3. Ορισμοί χαρακτηριστικών σημείων

Θεωρώντας πολυώροφο κτίριο με διαφράγματα στις θέσεις των ορόφων, μπορούν να οριστούν δύο χαρακτηριστικά σημεία, το Κέντρο Δυσκαμψίας και το Κέντρο Στροφής, τα οποία είναι πολύ σημαντικά στη δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής στο χώρο.

#### Κέντρο δυσκαμψίας

Σε κάθε διάφραγμα μπορεί να οριστεί ένα κέντρο δυσκαμψίας (center of rigidity ή center of stiffness) με την εξής ιδιότητα:

Εάν στα διαφράγματα εξασκήσουμε οριζόντιες δυνάμεις οποιουδήποτε μεγέθους και οποιασδήποτε διεύθυνσης που διέρχονται από τα κέντρα δυσκαμψίας, τα διαφράγματα θα μετακινηθούν κατά  $x$  και  $y$  χωρίς στροφή γύρω από κατακόρυφο άξονα ( $\theta = 0$ ).

#### Κέντρο στροφής

Σε κάθε διάφραγμα μπορεί να οριστεί ένα κέντρο στροφής (center of twist) με την εξής ιδιότητα:

Εάν στα διαφράγματα εξασκήσουμε στρεπτικές ροπές γύρω από κατακόρυφο άξονα οποιουδήποτε μεγέθους, τα διαφράγματα θα στραφούν γύρω από τα Κέντρα Στροφής τους (Πόλοι Στροφής).

#### Ελαστικός άξονας

Η έννοια του ελαστικού άξονα κατέχει δεσπόζουσα θέση μέσα στο πλαίσιο των "ισοδύναμων" στατικών μεθόδων αντισεισμικού υπολογισμού, που προβλέπουν οι κανονισμοί για τα κανονικά ή τα μέσης κανονικότητας πολυώροφα κτίρια. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών προϋποθέτει την ύπαρξη δύο κατακόρυφων κάθετων κύριων επιπέδων κάμψης, δηλαδή δύο επιπέδων μέσα στα οποία η οριζόντια εξωτερική φόρτιση προκαλεί συνελίπεδη μετατόπιση του συστήματος. Η τομή των υπόψη επιπέδων -εφόσον υπάρχουν- αποτελεί τον ελαστικό άξονα του συστήματος, διότι διαθέτει ταυτόχρονα τις ιδιότητες του άξονα κάμψης, διάτμησης και στρέψης.



Ενώ στα μονώροφα κτίρια το ελαστικό κέντρο ορίζεται πάντοτε και έχει καθορισμένες στατικές ιδιότητες, στα πολυώροφα κτίρια δεν επανευρίσκονται, γενικά, οι υπόψη ιδιότητες και ο ορισμός του ελαστικού άξονα είναι τις περισσότερες φορές αδύνατος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, εισάγεται η έννοια του πλασματικού ελαστικού άξονα των πολυώροφων κτιρίων. Ο πλασματικός αυτός άξονας χρησιμοποιείται όπως ακριβώς και ο πραγματικός ελαστικός άξονας και επιτρέπει την απρόσκοπτη εφαρμογή της "ισοδύναμης" στατικής μεθόδου σε κάθε περίπτωση κανονικού κατά το ύψος πολυώροφου κτιρίου.

### Πλασματικός Ελαστικός Άξονας σε Πολυώροφα Κτίρια

Ελαστικό άξονα και κύρια επίπεδα κάμψης διαθέτουν τα κτίρια των οποίων τα κατακόρυφα στοιχεία δυσκαμψίας είναι ομότροπα. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται τα κατακόρυφα στοιχεία (πλαίσια, τοιχώματα, κλπ) που εμφανίζουν τον ίδιο νόμο πλαστικής παραμόρφωσης για οριζόντια φόρτιση, οπότε τα μητρώα οριζόντιας δυσκαμψίας των υπόψη στοιχείων θα είναι ανάλογα. Όταν η παραπάνω ομοτροπία είναι κοινή για όλα τα στοιχεία δυσκαμψίας, το σύστημα θα λέγεται ισότροπο, ενώ στην περίπτωση διαφορετικής ομοτροπίας κατά τις διευθύνσεις των κάθετων αξόνων  $X$  και  $Y$  το σύστημα θα λέγεται ορθο-ισότροπο (ΜΑΚΑΡΙΟΣ, ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ, 1997).

Ωστόσο, τα περισσότερα πολυώροφα κτίρια δεν διαθέτουν ελαστικό άξονα, διότι κατά κανόνα τα κατακόρυφα στοιχεία δυσκαμψίας δεν είναι ισότροπα ή ορθοισότροπα. Προκύπτει λοιπόν, αδυναμία καθορισμού της στατικής εκκεντρότητας στα πολυώροφα κτίρια. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, είναι δυνατόν να ορισθεί ένας άξονας "βέλτιστης στρέψης", που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλασματικός ελαστικός άξονας, καθώς επίσης και ένα ζεύγος κάθετων επιπέδων "βέλτιστης κάμψης", που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πλασματικά κύρια επίπεδα κάμψης. Με τα παραπάνω στοιχεία καθορίζονται οι στατικές εκκεντρότητες και οι ακτίνες δυστροπίας σε κάθε περίπτωση κανονικού κατά το ύψος πολυώροφου κτιρίου. Οι ελαστικές ιδιότητες του άξονα βέλτιστης στρέψης αποτελούν γενίκευση των ιδιοτήτων του πραγματικού ελαστικού άξονα και διατυπώνονται ως ακολούθως:

- Επιλέγεται η κατανομή των σεισμικών φορτίων  $F$  καθ' ύψος. Σημειώνεται ότι δεν έχει σημασία το μέγεθος των φορτίων που θα ληφθούν υπόψη αλλά το πώς μεταβάλλονται από όροφο σε όροφο.

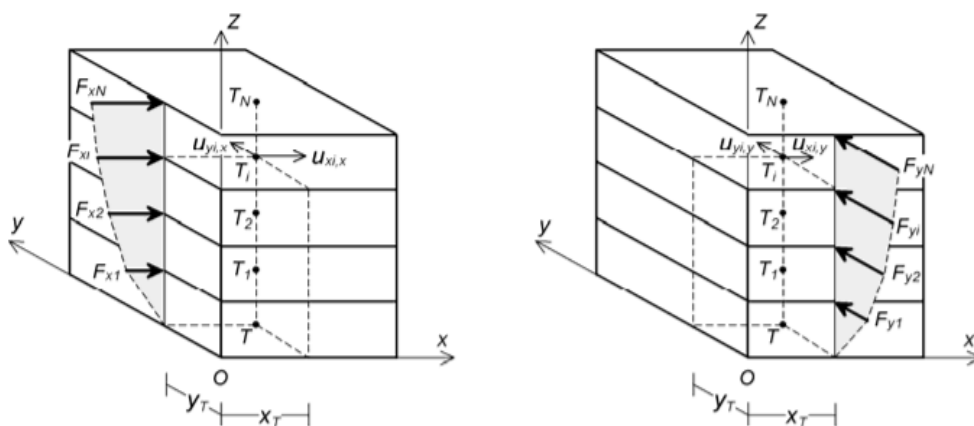
Συνήθως χρησιμοποιείται η κατανομή της μεθόδου οριζόντιας φόρτισης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμη και εάν γίνεται ιδιομορφική ανάλυση για την επίλυση της κατασκευής.

- Εφαρμόζονται στην κατασκευή στρεπτικά ζεύγη  $M = c \cdot F$  και πραγματοποιείται στατική επίλυση, από την οποία προκύπτουν οι μετακινήσεις και οι στροφές στα ΚΜ των ορόφων.
- Επιλέγεται ο όροφος που βρίσκεται πλησιέστερα στο  $0.80 \cdot H$  (έστω ότι είναι ο όροφος  $i$ ) και υπολογίζεται ο πόλος στροφής του,  $P_O$ . Οι μετακινήσεις  $u_{P_O,x}$  και  $u_{P_O,y}$  του πόλου  $P_O$  είναι εξ ορισμού μηδέν, επομένως χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις για να υπολογιστούν οι συντεταγμένες  $x_{P_O}$  και  $y_{P_O}$  του σημείου  $P_O$  ως προς σύστημα αξόνων από το ΚΜ του ορόφου  $i$ . Εάν  $u_{i,x}$  και  $u_{i,y}$  είναι οι μετακινήσεις του ΚΜ και  $\theta_i$  η στρόφη του ορόφου  $i$  που προέκυψαν από την επίλυση, τότε θα έχω τους εξής τύπους :

$$x_{P_O} = -\frac{u_{i,y}}{\theta_i}$$

$$y_{P_O} = -\frac{u_{i,x}}{\theta_i}$$

- Ορίζεται ο πλασματικό άξονας ως ο κατακόρυφος άξονας που διέρχεται από το σημείο  $P_O$ . Η τομή αυτού του άξονα με τα διαφράγματα των ορόφων ορίζει προσεγγιστικά τη θέση των ΚΔ των ορόφων.



**Εικόνα 3.** Καθορισμός Πλασματικού Άξονα

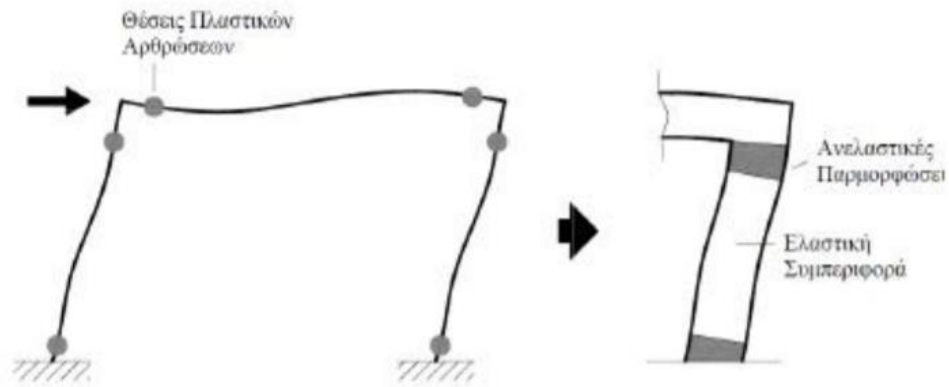
#### 4. Θεμελιώδεις έννοιες αντισεισμικού σχεδιασμού

##### Πλαστιμότητα

Ο όρος πλαστιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα μια κατασκευής, μέλους η υλικού να υποστεί πλαστικές παραμορφώσεις, χωρίς απώλεια ή μείωση της φέρουσας ικανότητας αυτού. Η πλαστιμότητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τις αντισεισμικές κατασκευές, καθώς καθορίζει αν μια κατασκευή καταρρεύσει ή όχι στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού. Αυτό οφείλεται στο ότι οι περισσότεροι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στους κανονισμούς προϋποθέτουν ότι ένα μέρος της σεισμικής ενέργειας θα καταναλωθεί στην κατασκευή σαν έργο πλαστικών παραμορφώσεων. Ο ακριβής υπολογισμός ακόμα και μια εκτίμηση της πλαστιμότητας μιας πραγματικής κατασκευής είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν καθιερωμένες μέθοδοι ή κανονισμοί στους οποίους εισάγεται άμεσα σαν φυσικό μέγεθος. Σε επίπεδο κατασκευής η πλαστιμότητα εξασφαλίζεται μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των μελών τα οποία συνθέτουν την κατασκευή. Ένα μέλος λέμε ότι έχει πλάστιμη συμπεριφορά, όταν για μονότονη φόρτιση παρατηρείται αύξηση των παραμορφώσεων χωρίς σημαντική μείωση της αντοχής του μέλους αυτού.

##### Πλαστικές αρθρώσεις

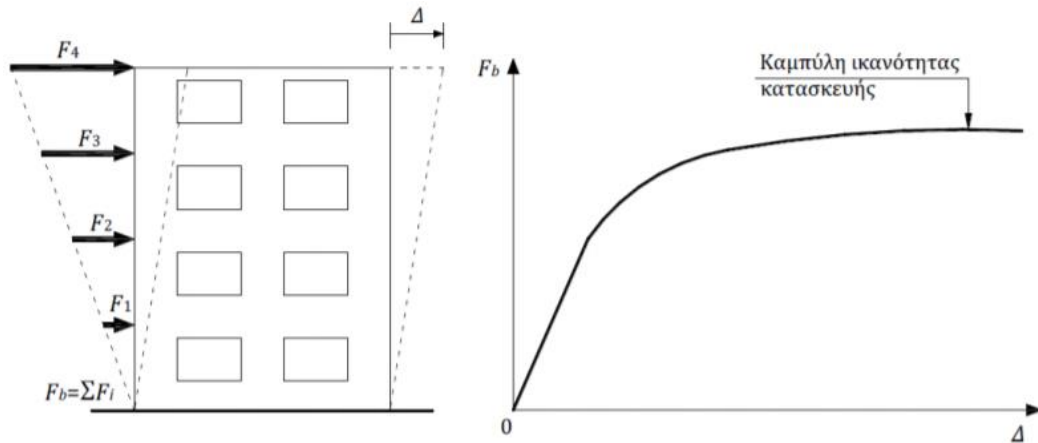
Η συμπεριφορά μιας κατασκευής που αποκρίνεται ελαστικά σε μια δράση περιγράφεται από την ελαστική θεωρία. Ωστόσο οι κατασκευές σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συμπεριφερθούν πλαστικά για σεισμικές φορτίσεις. Επομένως, προϋπόθεση του σχεδιασμού είναι η ανάπτυξη σημαντικών ανελαστικών παραμορφώσεων στα μέλη, οι οποίες συμβάλουν στην κατανάλωση της ενέργειας που εισάγεται στον φορέα μέσω του σεισμού. Κατά την εφαρμογή ανελαστικών αναλύσεων απαιτείται η άμεση προσομοίωση της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων σε όλο το φάσμα της απόκρισης τους. Κατά την επιβολή μιας αυξανόμενης έντασης σε μια κατασκευή, τα μέλη της σταδιακά διαρρέουν και αναπτύσσουν ανελαστικές παραμορφώσεις. Οι θέσεις αυτές εντοπίζονται στα άκρα των δοκών και στην κορυφή και βάση των υποστυλωμάτων.



Τα παραπάνω αποτυπώνονται και στο σχεδιασμό νέων κατασκευών με την ύπαρξη κρίσιμων περιοχών σε δοκούς και υποστυλώματα ώστε να αντιμετωπιστούν οι αντίστοιχα αυξημένες απαιτήσεις παραμόρφωσης σε περίπτωση σεισμικής έντασης. Κατά συνέπεια, τα μέλη μιας κατασκευής αναμένεται να αναπτύξουν ανελαστικές παραμορφώσεις σε περιοχές πεπερασμένου μήκους οι οποίες αναφέρονται με τον όρο πλαστικές αρθρώσεις.

#### Καμπύλη ικανότητας κατασκευής (capacity curve)

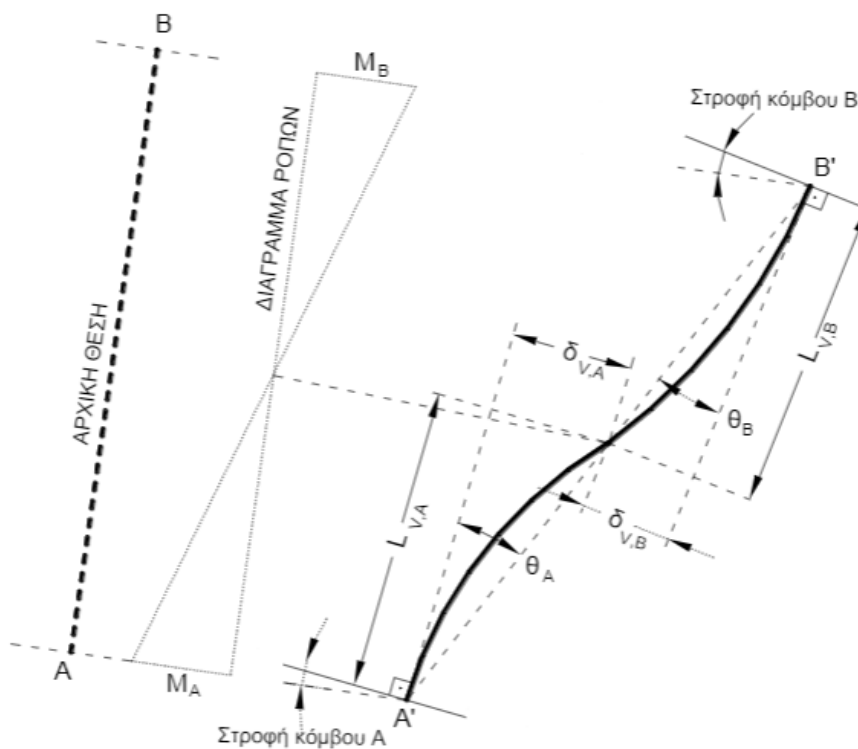
Η κατασκευή της καμπύλης ικανότητας γίνεται με υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής για διάφορες τιμές του οριζόντιου φορτίου, με δεδομένη κατανομή φορτίων στους ορόφους όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 4. Ως κατανομή των φορτίων καθ' ύψος της κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τριγωνική, η πρώτη ιδιομορφή η ακόμα και συνδυασμοί με συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών. Για την κατασκευή αυτής της καμπύλης γίνονται πολλές στατικές επιλύσεις, με σταδιακή αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό της μετακίνησης στην κορυφή σε κάθε βήμα, λαμβάνοντας υπόψη την μειωμένη δυσκαμψία των μελών που έχουν διαρρεύσει.



**Εικόνα 4.** Καμπύλη Ικανότητας Κατασκευής

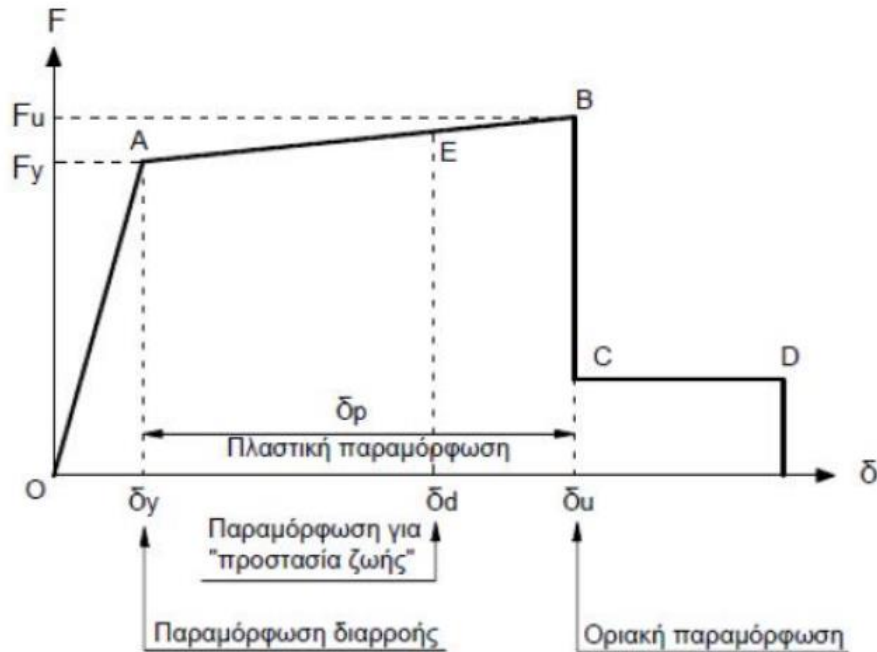
### Καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου

Το πρώτο βήμα για να μορφώσουμε την καμπύλη ικανότητας της κατασκευής μας είναι ο καθορισμός των νόμων που διέπουν την ανελαστική συμπεριφορά των μελών αυτής, οι οποίοι περιγράφονται μέσω διαγραμμάτων F-δ (ένταση- μετακίνηση). Σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα συγκεκριμένα επιλέγουμε ως ένταση τη ροπή κάμψης  $M$  και ως μετακίνηση την στρόφιξη χορδής  $\theta = \delta v / L_v$ , όπου  $L_v = M/V$ .



**Εικόνα 5.** Ορισμός γωνίας στρόφιξης χορδής,  $\theta$

Η γενική μορφή των διαγραμμάτων  $F-\delta$  λαμβάνεται όπως στην Εικόνα 6.



**Εικόνα 6.** Ιδεατή καμπύλη  $F-\delta$  δομικών στοιχείων

- Τμήμα OA:

Αντιπροσωπεύει την ελαστική συμπεριφορά μέχρι το θεωρητικό σημείο διαρροής. Η κλίση της ευθείας ορίζει την τέμνουσα δυσκαμψία που λαμβάνεται στην ελαστική ανάλυση.

- Τμήμα AB

Αντιπροσωπεύει τη μετελαστική συμπεριφορά του στοιχείου μέχρι τη θεωρητική αστοχία (σημείο B). Το σημείο B καθορίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας  $\delta_u$  που ορίζεται ως η παραμόρφωση για την οποία έχει συμβεί ουσιαστική μείωση της ικανότητας παραλαβής φορτίων. Συνήθως, στη σπονδυλωτή καμπύλη το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε μείωση της αντοχής (δηλαδή του μεγέθους  $F$ ) κατά 20% σε σύγκριση με τη μέγιστη τιμή της. Πολλές φορές, η κλίση του κλάδου AB λαμβάνεται οριζόντια. Σε αυτή την περίπτωση, η αντίσταση διαρροής  $F_y$  μπορεί να ληφθεί ίση με την οριακή αντίσταση  $F_u$  για τον κρίσιμο τρόπο αστοχίας. Η παραμόρφωση  $\delta_p = \delta_u - \delta_y$ , η οποία ορίζεται από το μετελαστικό τμήμα της παραμόρφωσης μέχρι την αστοχία, καθορίζει την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης της διατομής.

- Τμήμα CD

Αντιπροσωπεύει την απομένουσα ικανότητα του στοιχείου. Συνήθως, μετά την παραμόρφωση αστοχίας  $\mu$ , η ικανότητα ενός μέλους να παραλάβει σεισμικά φορτία μειώνεται σημαντικά αλλά δεν μηδενίζεται και έτσι το στοιχείο μπορεί να εξακολουθήσει να παραλαμβάνει κατακόρυφα φορτία. Στο σημείο D, θεωρούμε ότι το στοιχείο χάνει την ικανότητα να παραλαμβάνει και κατακόρυφα φορτία. Η τιμή της απομένουσας αντοχής είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Συνήθως λαμβάνεται ίση με το 20-25% της οριακής αντοχής (ΚΑΝΕΠΕ 2013).

## 5. Διατάξεις ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover)

### Προϋποθέσεις εφαρμογής

- Η στατική ανελαστική μέθοδος εφαρμόζεται σε κτίρια στα οποία η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική.
- Όταν η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική, επιτρέπεται να εφαρμόζεται η στατική ανελαστική ανάλυση, υπό τον όρο ότι θα εφαρμόζεται σε συνδυασμό με μια συμπληρωματική δυναμική ελαστική ανάλυση. Στην περίπτωση αυτή, διεξάγονται όλοι οι έλεγχοι και με τις δύο μεθόδους, ενώ επιτρέπεται μια αύξηση κατά 25 % των τιμών των παραμέτρων που υπεισέρχονται στα κριτήρια ελέγχου και των δύο μεθόδων.

### Καθορισμός κόμβου ελέγχου

Ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης λαμβάνεται εν γένει στο κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου. Για τα κτίρια με σοφίτες ή μικρούς οικίσκους στο δώμα ο κόμβος ελέγχου λαμβάνεται στην οροφή του πλήρους υποκείμενου ορόφου. Η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου υπολογίζεται από την ανάλυση του προσομοιώματος για τα οριζόντια στατικά φορτία.

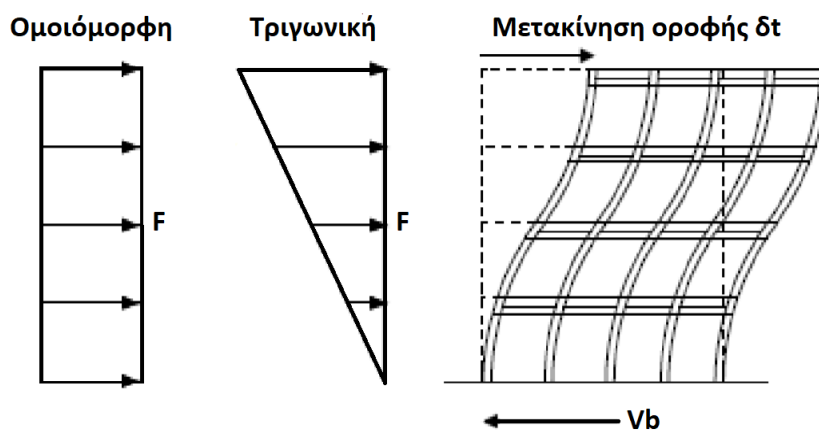
## Κατανομή σεισμικών φορτίων

Τα οριζόντια στατικά φορτία εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος, σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών φορτίων του σεισμού. Για όλες τις αναλύσεις απαιτείται η εφαρμογή τουλάχιστον δύο διαφορετικών καθ' ύψος κατανομών, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς ορισμένων περιοχών του φορέα, αλλά και λόγω της επιρροής ανώτερων ιδιομορφών. Σύμφωνα με τον ΕΚ8-1, μπορούν να εφαρμοστούν οι εξής κατανομές:

- «Ομοιόμορφη», βασισμένη σε οριζόντια φορτία ανάλογα ως προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξάρτητα από τη στάθμη του (ομοιόμορφη επιτάχυνση απόκρισης).
- «Ιδιομορφική», ανάλογη προς οριζόντια φορτία συμβατά προς την κατανομή οριζόντιων φορτίων στην υπό εξέταση διεύθυνση, όπως προκύπτει από ελαστική ανάλυση.

Στην κατηγορία σταθερής κατανομής φορτίων διακρίνονται ακόμα οι εξής τύποι φόρτισης:

- Τριγωνική κατανομή φόρτισης, όπου γίνεται η θεώρηση γραμμικού προφίλ επιταχύνσεων καθ' ύψους του κτιρίου. Η τριγωνική φόρτιση προτείνεται από τους Κανονισμούς κατά την εφαρμογή της ισοδύναμης στατικής ανάλυσης.
- Γενικευμένη τριγωνική κατανομή, όπου αποτελεί την ανάστροφη τριγωνική κατανομή. Λαμβάνει υπ' όψιν την ανομοιόμορφη μεταβολή των επιταχύνσεων καθ' ύψους, προσεγγίζοντας έτσι καλύτερα το σχήμα ταλάντωσης του κτιρίου.

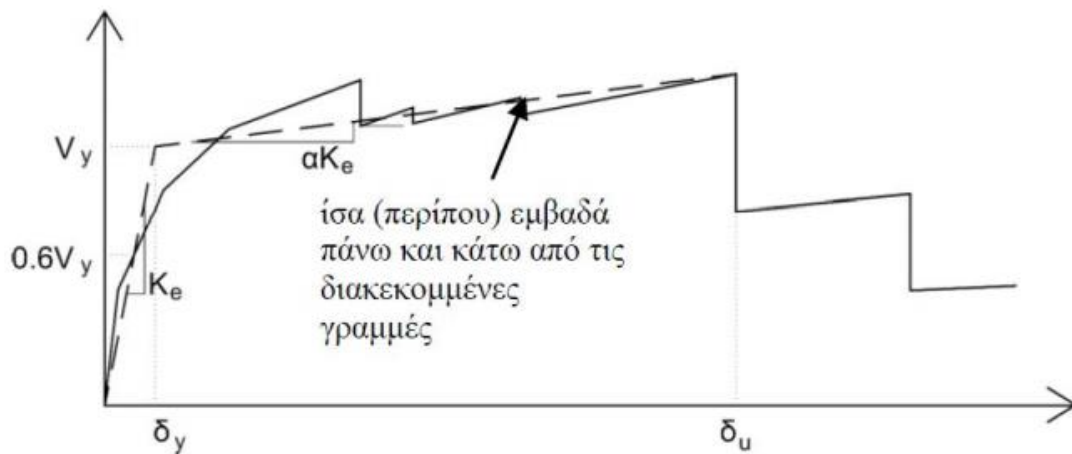


*Εικόνα 7. Μετακίνηση οροφής υπό ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή*



Εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης

Η μη-γραμμική σχέση δύναμης μετακίνησης που συνδέει την τέμνουσα βάσεως και τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου, μετατρέπεται σε μια εξιδανικευμένη καμπύλη για τον υπολογισμό της ισοδύναμης πλευρικής δυσκαμψίας  $K_e$  και της αντίστοιχης δύναμης διαρροής του κτιρίου. Η εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης συνίσταται να είναι διγραμμική με κλίση πρώτου κλάδου  $K_e$  και κλίση δεύτερου κλάδου ίση με  $\alpha K_e$ . Οι δύο ευθείες που συνθέτουν τη διγραμμική καμπύλη μπορεί να προσδιορίζεται γραφικά με κριτήριο την ισότητα των εμβαδών των χωρίων που προκύπτουν εκατέρωθεν της εξιδανικευμένης καμπύλης.



*Εικόνα 8. Διγραμμικοποίηση καμπύλης ικανότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ*

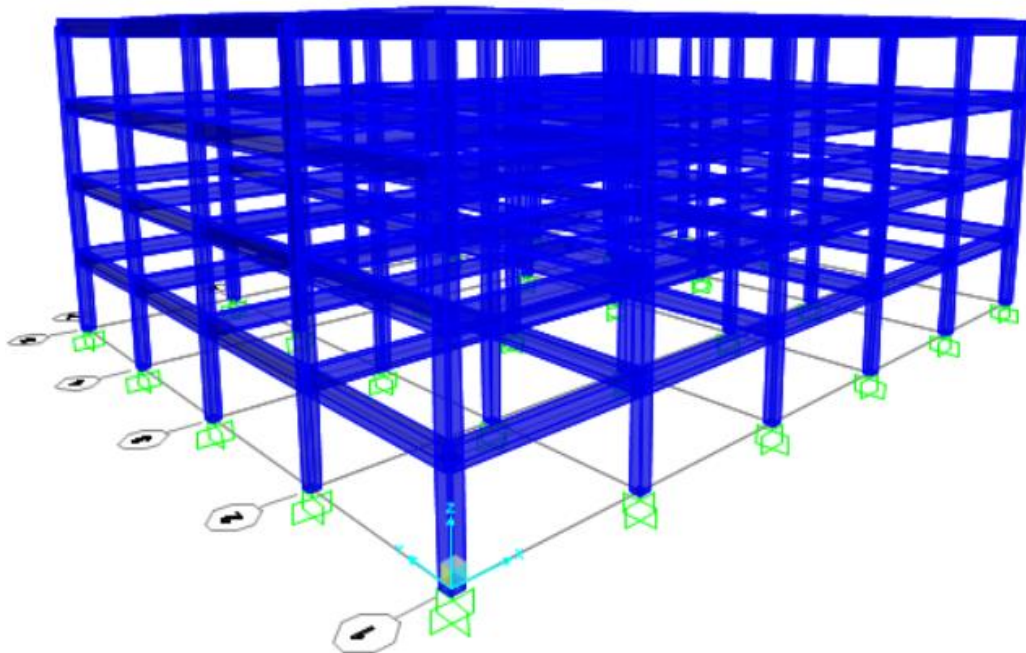
## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Περιγραφή και προσομοίωση φορέων - Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα

Η προσομοίωση των φορέων πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα SAP2000. Μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα 5 μοντέλων τα οποία προέκυψαν προσθέτοντας τοιχώματα με σκοπό την ενίσχυση ενός αρχικού φορέα αναφοράς. Το σκεπτικό που οδήγησε στα συγκεκριμένα μοντέλα είναι η εμφάνιση διαφόρων ακραίων, σχεδόν ακατάλληλων ως προς τους κανονισμούς, εκκεντροτήτων με την προσθήκη δυσκαμψιών σε διάφορα σημεία του αρχικού φορέα αναφοράς.

### ΜΟΝΤΕΛΟ 1 - ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

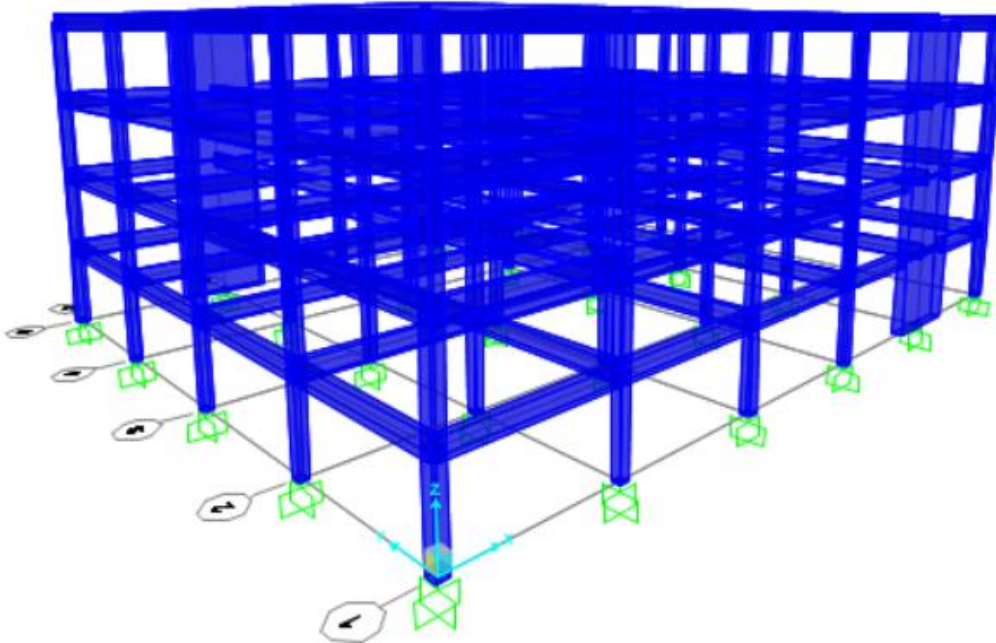
Ο φορέας αναφοράς αποτελείται από 5 ανοίγματα των 6 m κατά X, 4 ανοίγματα των 6 m κατά Y και 4 ορόφους των 3 m κατά Z. Ο φορέας αναφοράς στο εξής θα αναφέρεται ως ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.



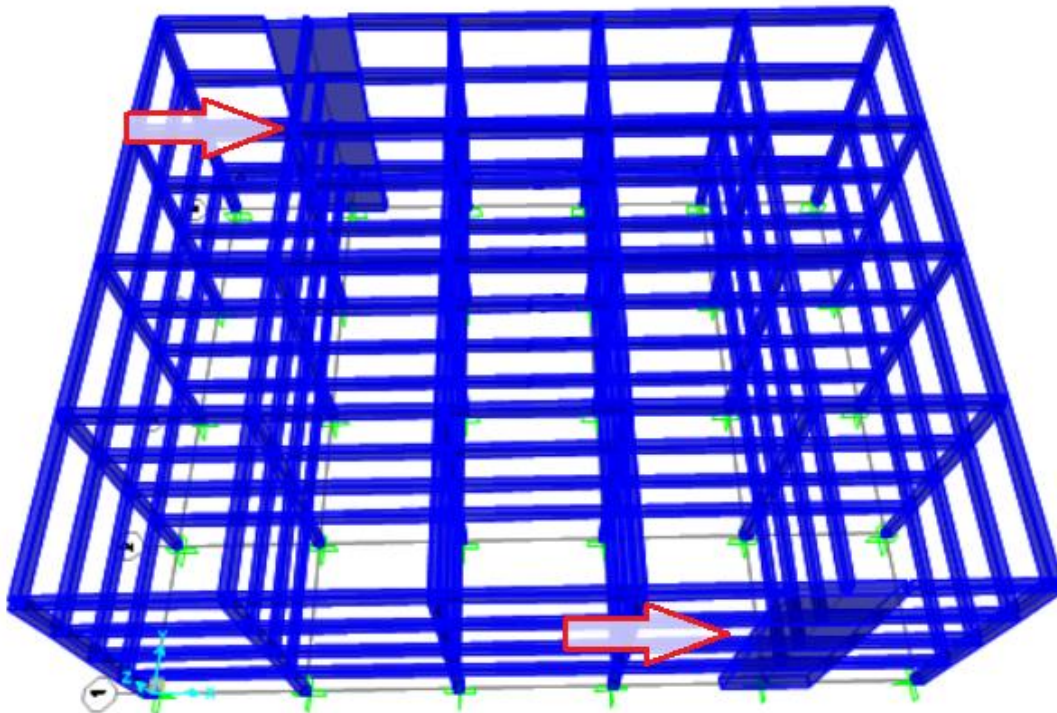
*Εικόνα 9. Κάτοψη Αναφοράς*

ΜΟΝΤΕΛΟ 2 - ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Το 2<sup>ο</sup> μοντέλο προέκυψε προσθέτοντας 2 τοιχώματα συμμετρικά του κτιρίου κατά X και στους 4 ορόφους, το πρώτο στη θέση  $Y=0$  και το δεύτερο στη θέση  $Y=12$ .



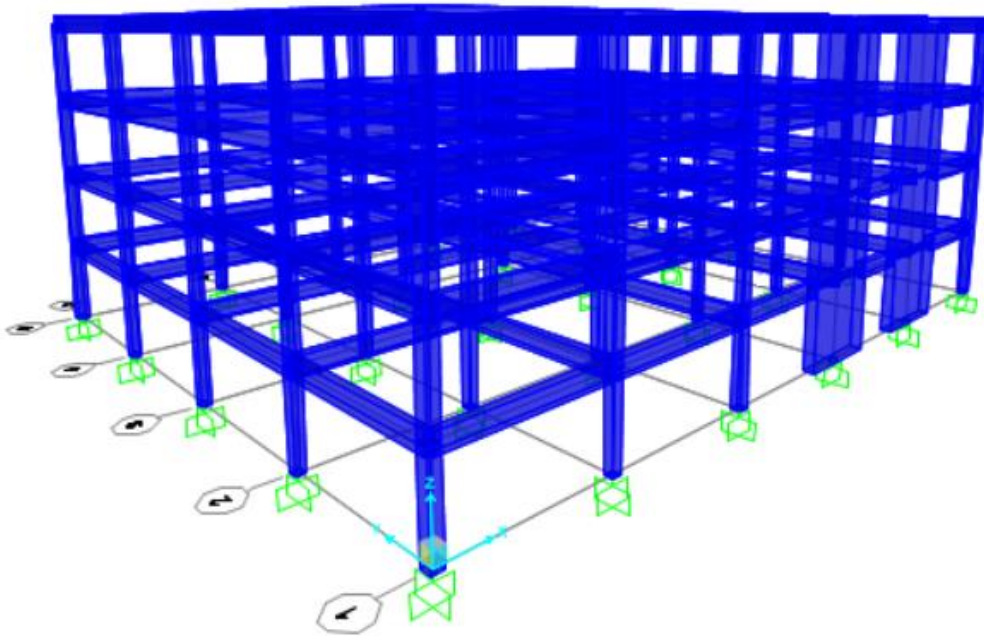
*Εικόνα 10. Συμμετρικά Τοιχώματα -1-*



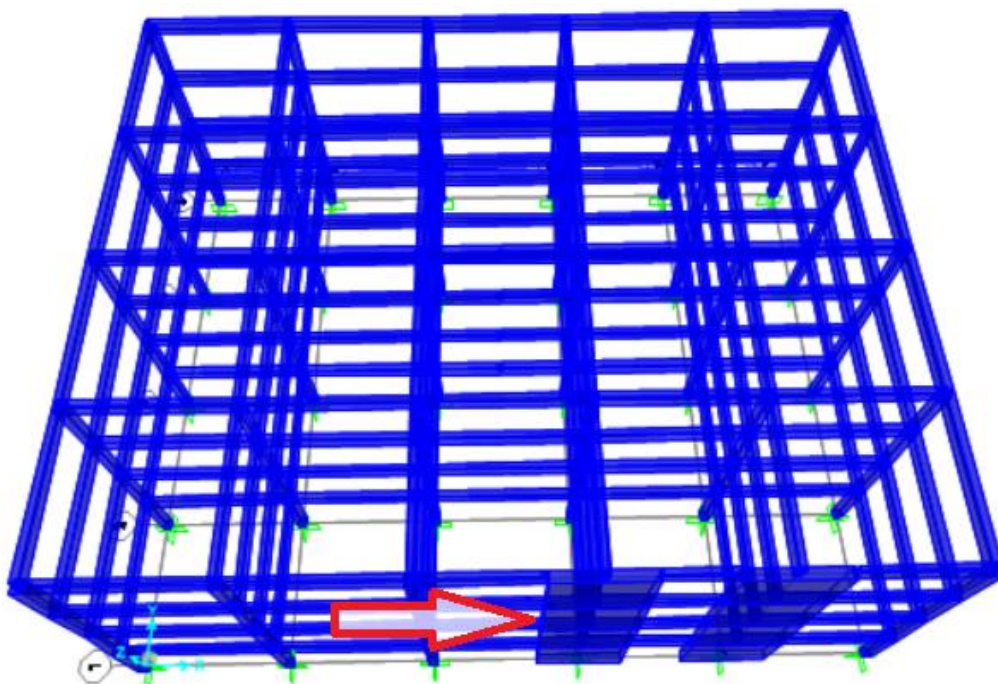
*Εικόνα 11. Συμμετρικά Τοιχώματα -2-*

ΜΟΝΤΕΛΟ 3 – ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Το 3<sup>ο</sup> μοντέλο προέκυψε προσθέτοντας 2 τοιχώματα στην ίδια πλευρά του κτιρίου κατά τη διεύθυνση X και στους 4 ορόφους, και τα δύο στη θέση  $Y=0$ . Η συγκεκριμένη τοποθέτηση θεωρείται ακατάλληλη από τους κανονισμούς καθώς δημιουργεί μια δύσκαμτη και μια εύκαμπτη πλευρά με αυξημένες μετακινήσεις.



*Εικόνα 12. Ασύμμετρα Τοιχώματα -1-*

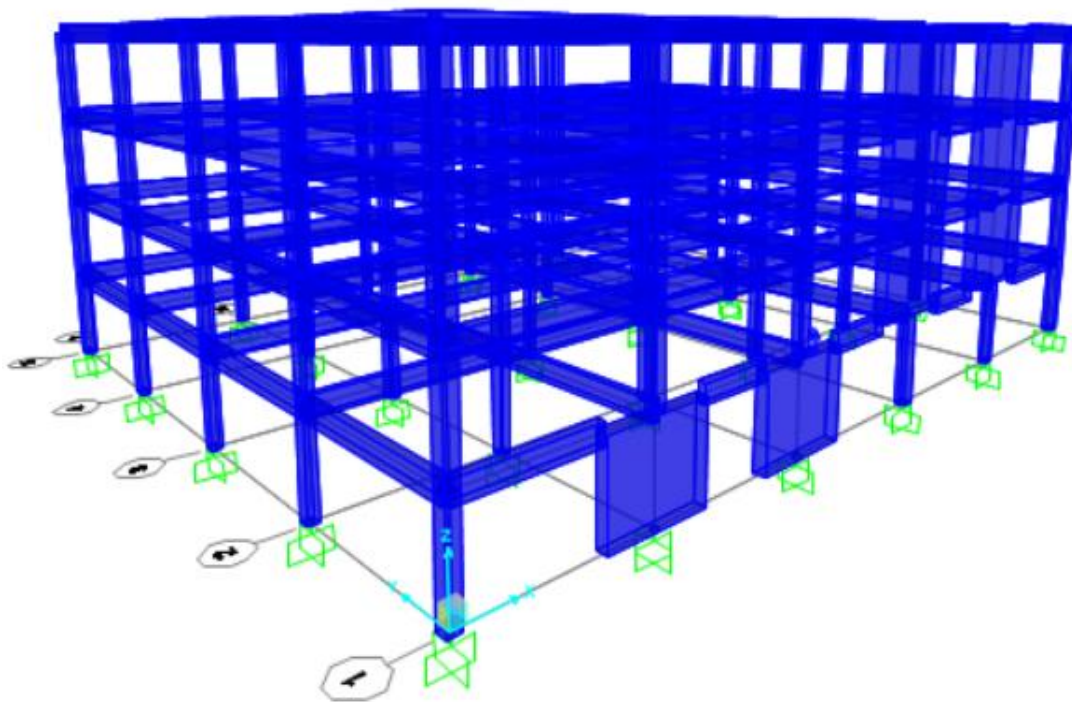


*Εικόνα 13. Ασύμμετρα Τοιχώματα -2-*

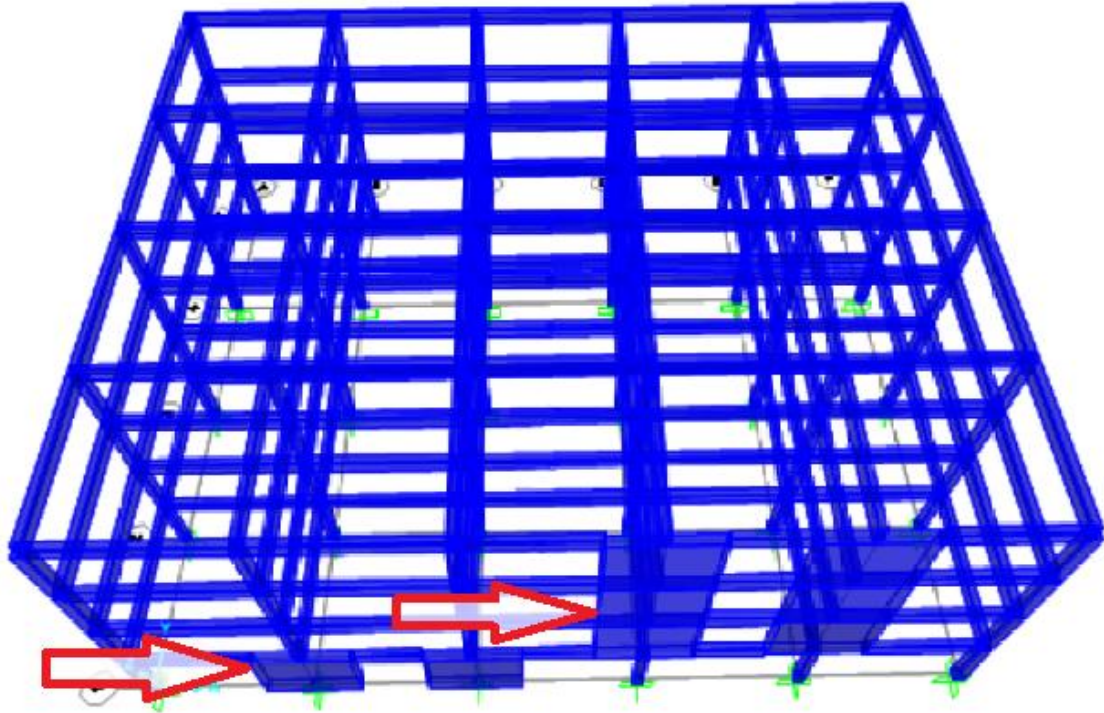


#### ΜΟΝΤΕΛΟ 4 - ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ

Το 4<sup>ο</sup> μοντέλο προέκυψε προσθέτοντας τοιχώματα στην ίδια πλευρά του κτιρίου κατά τη διεύθυνση X και στους 4 ορόφους. Η διαφορά του μοντέλου αυτού με το 3<sup>ο</sup> μοντέλο εντοπίζεται στην αφαίρεση των τοιχωμάτων του 1<sup>ου</sup> ορόφου από τις θέσεις X=18 και X=24 και την επανατοποθέτησή τους στις θέσεις X=6 και X=12, δημιουργώντας έτσι ασυμμετρία και καθύψος στο μοντέλο. Το μοντέλο 4 στο εξής θα αναφέρεται ως ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ



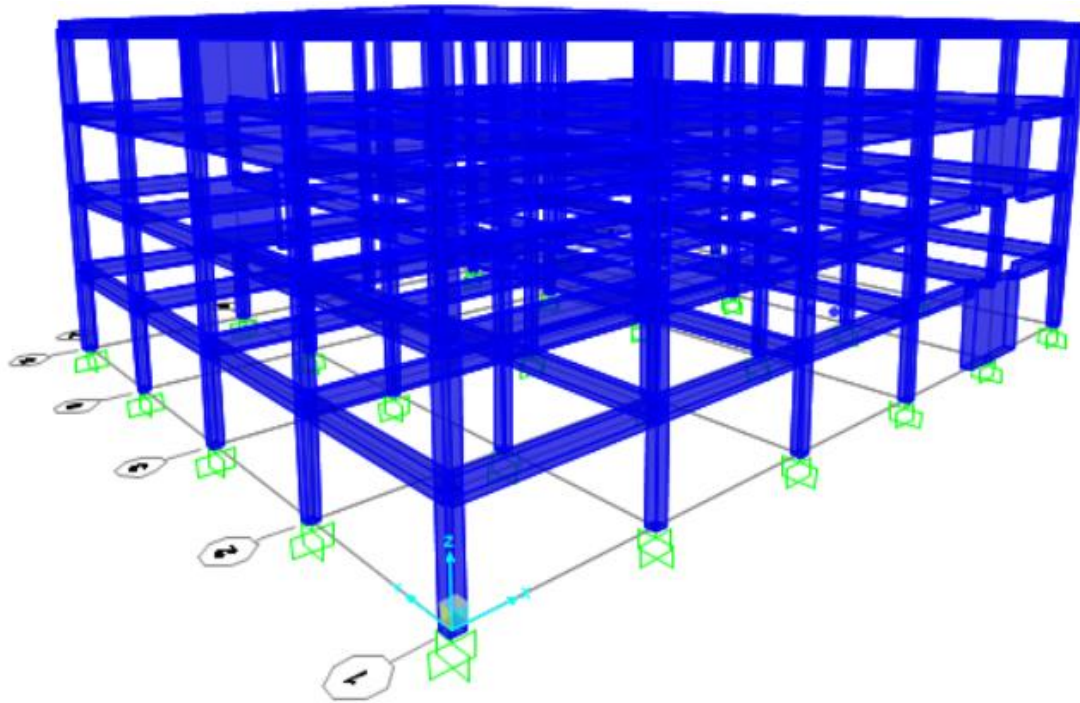
**Εικόνα 14.** Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα καθύψος -1-



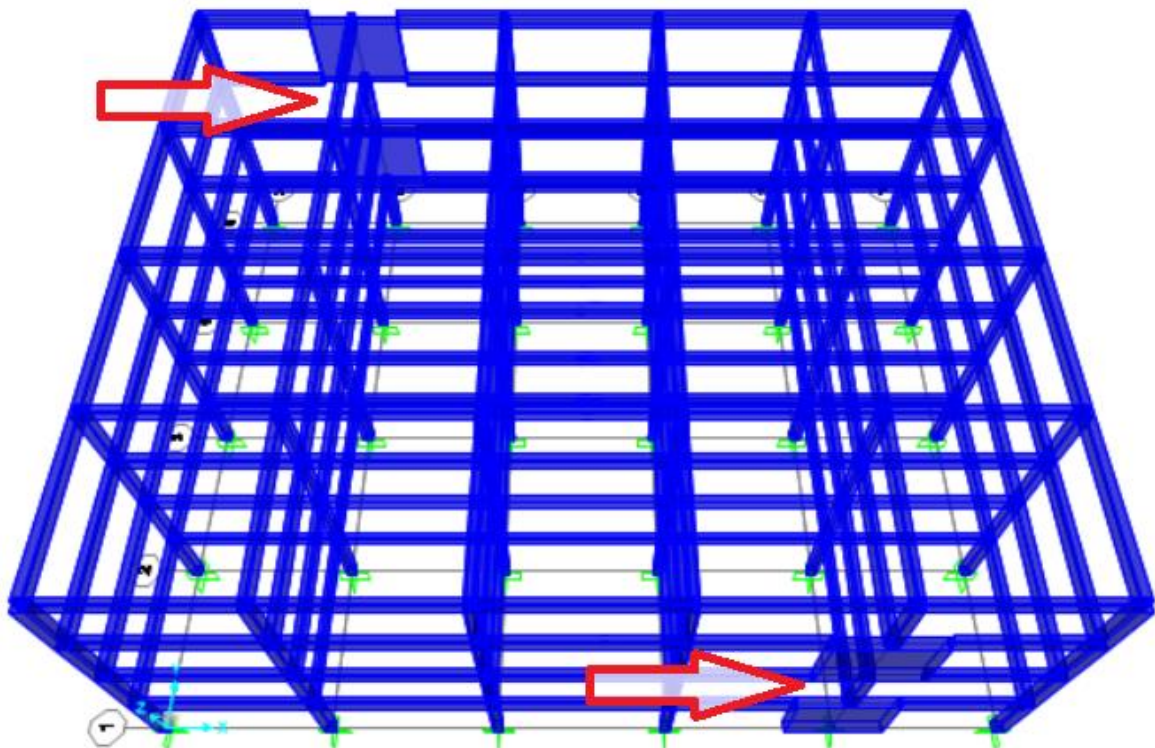
*Εικόνα 15. Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα καθύψος -2-*

#### ΜΟΝΤΕΛΟ 5 - ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Το 5<sup>ο</sup> μοντέλο προέκυψε προσθέτοντας τοιχώματα συμμετρικά του κτιρίου κατά τη διεύθυνση X και στους 4 ορόφους, αφαιρώντας από το μοντέλο 2 (ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ) τα τοιχώματα του 2<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου από την θέση  $Y=0$  και τα τοιχώματα του 1<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> ορόφου από τη θέση  $Y=24$ . Αυτό που θέλουμε να επιτύχουμε είναι η εναλλαγή των τοιχωμάτων ανά όροφο. Το μοντέλο 5 στο εξής θα αναφέρεται ως ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.



*Εικόνα 16. Εναλλάξ Τοιχώματα -1-*



*Εικόνα 17. Εναλλάξ Τοιχώματα -2-*

## Καθορισμός Υλικών

Για τον φέροντα οργανισμό χρησιμοποιήθηκε οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B225 (ή C16/20), ενώ για τον οπλισμό δοκών και υποστυλωμάτων χρησιμοποιήθηκε χάλυβας S400 τόσο για τους διαμήκεις οπλισμούς όσο και για τους εγκάρσιους.

### Σκυρόδεμα

- ειδικό βάρος:  $25\text{kN/m}^3$
- μέτρο ελαστικότητας:  $E_{cm} = 29\text{GPa}$
- θλιπτική αντοχή:  $f'_c = 16\text{MPa}$

### Χάλυβας οπλισμού

- μέση τιμή πυκνότητας:  $78,5\text{kN/m}^3$
- μέτρο ελαστικότητας:  $E_s = 200\text{GPa}$
- τάση διαρροής:  $f_y = 400\text{MPa}$
- εφελκυστική αντοχή:  $f_t = 1,15 \cdot 400 = 460\text{MPa}$

**Εικόνα 18.** Ορισμός σκυροδέματος



**Material Property Data**

**General Data**

Material Name and Display Color: S400

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 78,5

Mass per Unit Volume: 8,0048

Units: KN, m, C

**Uniaxial Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 2,000E+08

Poisson, U: 0,

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G:

**Other Properties For Rebar Materials**

Minimum Yield Stress, Fy: 400000,

Minimum Tensile Stress, Fu: 460000,

Expected Yield Stress, Fye: 303369,35

Expected Tensile Stress, Fue: 455054,

Switch To Advanced Property Display

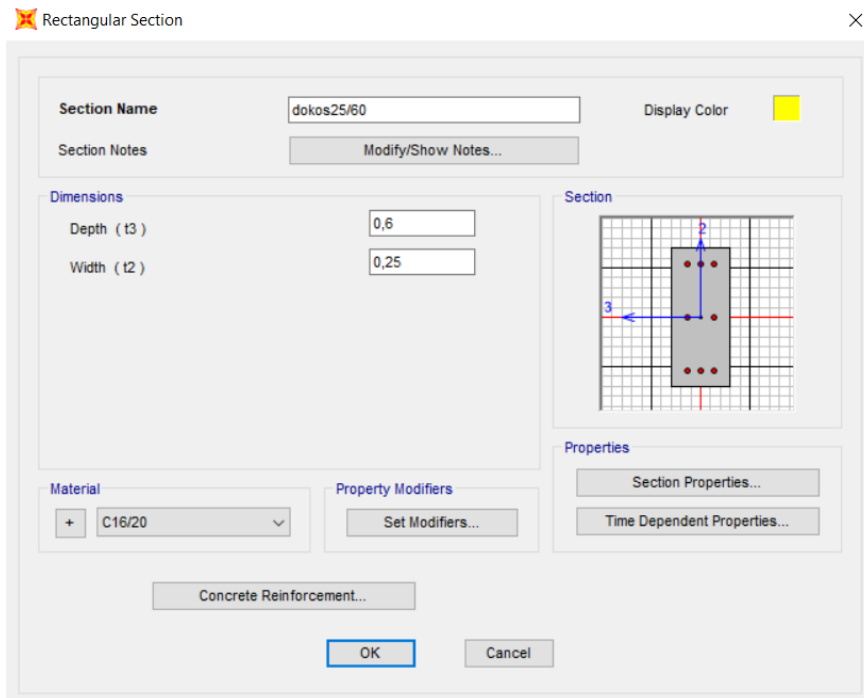
OK Cancel

**Εικόνα 19.** Ορισμός χάλυβα οπλισμών

Ορισμός φερόντων στοιχείων

Δοκοί

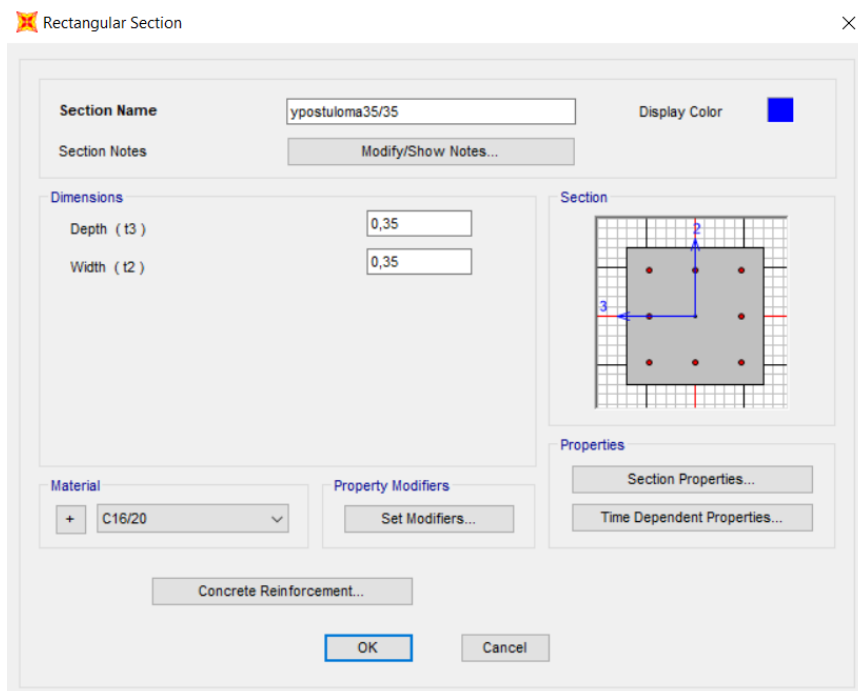
Οι διαστάσεις των δοκών είναι  $0,25 \times 0,60$  (m) και ο οπλισμός τους είναι 8Φ16. Η ενεργός δυσκαμψία κατά μήκος των δοκών είναι μεταβλητή, λόγω μεταβλητής ρηγματώσης. Η συνιστώμενη μέση τιμή για ολόκληρο το μήκος είναι  $0,60E \cdot I_g$ .



*Εικόνα 20. Ορισμός δοκών*

### Υποστηλώματα

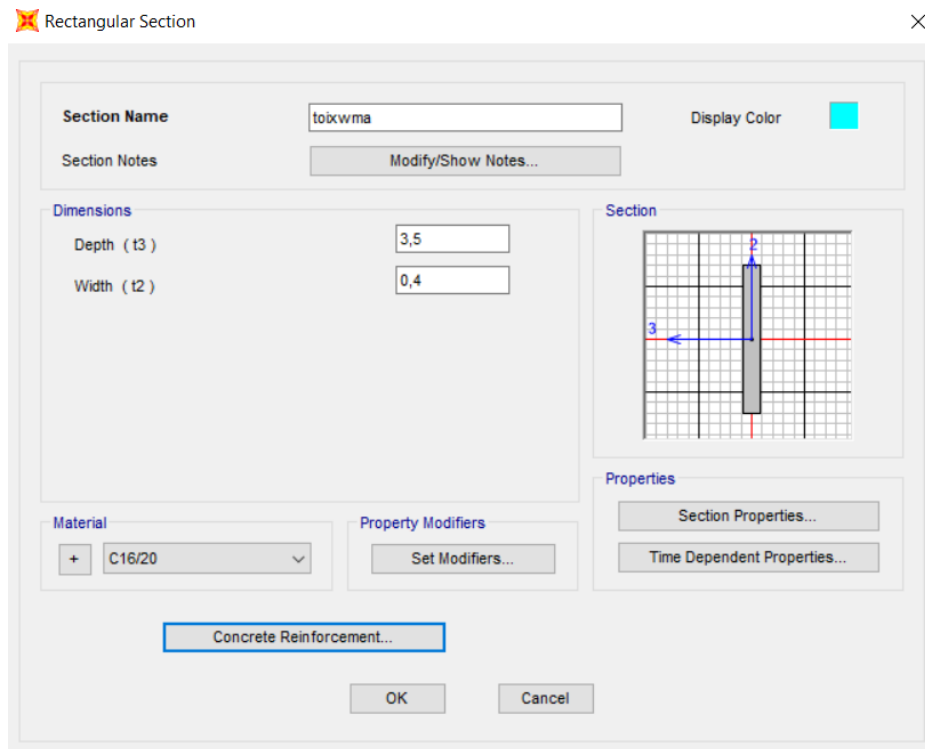
Οι διαστάσεις των τεσσάρων γωνιακών υποστηλωμάτων είναι  $0,40 \times 0,40$  (m) και των υπολοίπων είναι  $0,35 \times 0,35$  (m). Ο διαμήκης σπλισμός τους είναι 8Φ16 και ο εγκάρσιος σπλισμός τους είναι Φ8/15.



*Εικόνα 21. Ορισμός υποστηλωμάτων*

## Τοιχώματα

Οι διαστάσεις των τοιχωμάτων είναι  $3,5 \times 0,40$  (m) και ο διαμήκης οπλισμός τους είναι  $\Phi 20/25$ .



**Εικόνα 22.** Ορισμός Τοιχωμάτων

## Απομείωση δυσκαμψιών

Σε φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα για τον υπολογισμό των δυσκαμψιών των δομικών στοιχείων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι μέρος της διατομής τους ρηγματώνεται και δεν λειτουργεί, καθώς και ότι συνυπάρχουν φαινόμενα διάτμησης και εξόλκευσης οπλισμών. Για το λόγο αυτό, οι κανονισμοί προτείνουν την απομείωση των δυσκαμψιών των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ η δυσκαμψία των δοκών θα ισούται με το 40% της δυσκαμψίας της αρηγμάτωτης διατομής, και των υποστυλωμάτων με το 60% εάν αυτό είναι περιμετρικό και 80% εάν αυτό είναι εσωτερικό. Η στρεπτική δυσκαμψία όλων των στοιχείων (εφόσον δεν αγνοείται) μπορεί να λαμβάνεται ίση με το 10% της γεωμετρικής τιμής. Η δυστένεια  $EA$  δεν απομειώνεται σε κανένα δομικό στοιχείο, δεδομένου ότι τα μεν κατακόρυφα στοιχεία βρίσκονται γενικώς υπό μόνιμη θλίψη λόγω των φορτίων βαρύτητας, οι δε δοκοί είναι ενσωματωμένες στις θεωρούμενες ως απαραμόρφωτες εντός του επιπέδου τους πλάκες (διαφραγματική λειτουργία). Η απομείωση αυτή της δυσκαμψίας εισάγεται στο προσομοίωμα ως ένας μειωτικός συντελεστής  $I_{eff}/I_{el}$  για κάθε μέλος, μέσω των Property Modifiers. Ο λόγος αυτός προκύπτει ως το πηλίκο της ενεργού δυσκαμψίας

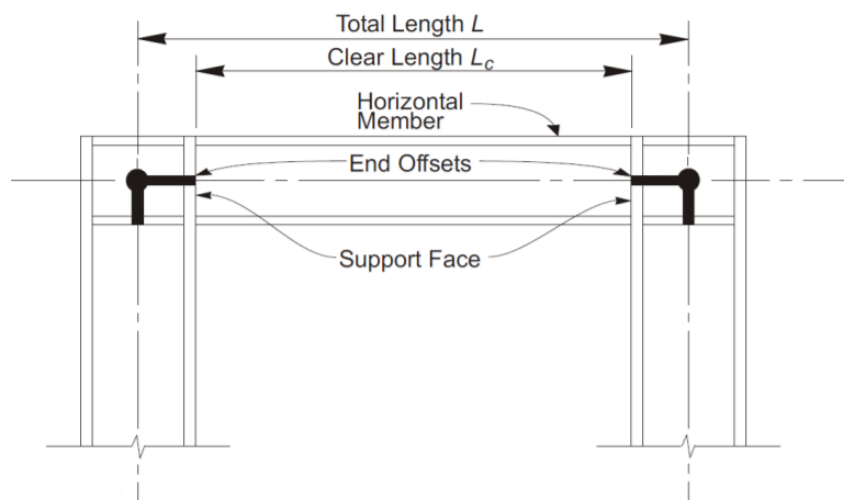
προς την ελαστική δυσκαμψία της αρηγμάτωτης διατομής  $(EI)_{eff}/(EI)_{el}$ . Στις δοκούς ο μειωτικός συντελεστής εισάγεται στη ροπή αδράνειας  $I_{33}$ , καθώς οι δοκοί κάμπτονται περί τον τοπικό άξονα 3, ενώ στα υποστυλώματα, τα οποία υπόκεινται σε διαξονική κάμψη υπό αξονική δύναμη, εισάγονται μειωτικοί συντελεστές στις ροπές αδράνειας  $I_{22}$  και  $I_{33}$ .

Δομικό στοιχείο	Δυσκαμψία
Υποστύλωμα εσωτερικό	$0,8(E_c I_g)$
Υποστύλωμα περιμετρικό	$0,6(E_c I_g)$
Τοίχωμα, μη – ρηγματωμένο	$0,7(E_c I_g)$
Τοίχωμα, ρηγματωμένο	$0,5(E_c I_g)$
Δοκός	$0,4(E_c I_g)$

**Πίνακας 2.** Τιμές δυσκαμψίας ρηγματωμένων διατομών κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ

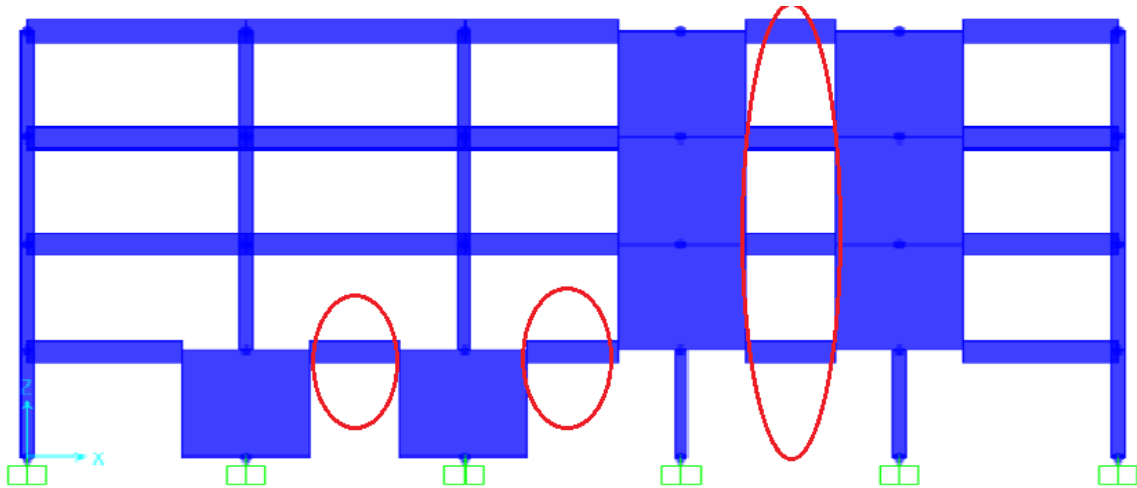
#### Άκαμπτα τμήματα

Στις περιοχές των κόμβων των πλαισίων, όπου συνδέονται οι δοκοί με τα υποστυλώματα υπάρχει ένα τμήμα σε κάθε στοιχείο το οποίο υπερκαλύπτεται από τη διατομή του άλλου. Αυτή η υπερκάλυψη συνεπάγεται τη μείωση του ελαστικού μήκους των στοιχείων, βάσει του οποίου υπολογίζεται η δυσκαμψία τους.



**Εικόνα 23.** Άκαμπτες περιοχές κόμβων

Το πλάτος των τοιχωμάτων, σε αντίθεση με αυτό των υποστηλωμάτων, που τοποθετήθηκαν στον φορέα είναι σημαντικό σε σύγκριση με το μήκος των δοκών με τις οποίες συνδέονται. Γι' αυτό καθορίστηκαν άκαμπτα στοιχεία μήκους όσο το μισό πλάτος των τοιχωμάτων (1,75m), στα τμήματα των δοκών που συνδέονται με τα τοιχώματα.

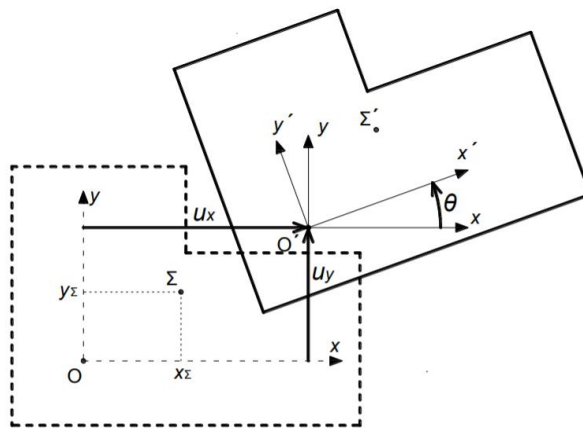


**Εικόνα 24.** Δοκοί με μειωμένο ελαστικό μήκος

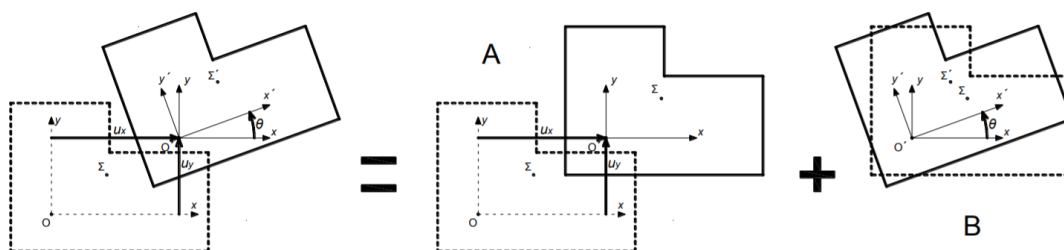
Διευκρινίζεται ότι, άκαμπτα τμήματα (End Length Offsets) ορίζονται μόνο στα άκρα των δοκών και όχι στα υποστυλώματα, καθώς γίνεται η παραδοχή ότι τα άκρα των δοκών παγιώνονται από τα υποστυλώματα, αλλά τα άκρα των υποστυλωμάτων δεν παγιώνονται από τις δοκούς. Τέλος με τον ορισμό άκαμπτων τμημάτων στις περιοχές των κόμβων τα εντατικά μεγέθη που εξάγονται από το λογισμικό εμφανίζονται από τις παρειές, αφορούν δηλαδή μόνο το καθαρό μήκος των στοιχείων.

## Καθορισμός διαφράγματος

Στους φορείς των παραδειγμάτων μας οι πλάκες δεν προσομοιώθηκαν στο πρόγραμμα, ωστόσο καθορίστηκε η διαφραγματική τους λειτουργία. Στις περισσότερες περιπτώσεις πλακών από Ω.Σ. μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάθε πλάκα αποτελεί ένα διαφραγματικό δίσκο που δεν παραμορφώνεται στο επίπεδό του, δηλαδή ότι σε κάθε όροφο υπάρχει διαφραγματική λειτουργία. Εάν οι πλάκες των ορόφων λειτουργούν ως διαφράγματα, υπάρχει συσχέτιση των μετακινήσεων όλων των σημείων του διαφράγματος, οι οποίες πρέπει να είναι συμβατές με την κίνηση του διαφράγματος ως απαραμόρφωτο σώμα. Επομένως, εάν είναι γνωστό το διάνυσμα των μετακινήσεων  $u_0 = \{u_{ox} \ u_{oy} \ \theta_0\}^T$  οποιουδήποτε σημείου αναφοράς  $O$ , μπορεί να υπολογιστεί το αντίστοιχο διάνυσμα μετακινήσεων και οποιουδήποτε άλλου σημείου  $\Sigma$  πάνω στο διάφραγμα. Πράγματι, έστω ότι το διάφραγμα έχει μετακινηθεί όπως φαίνεται στην Εικόνα 25, δηλαδή το σημείο  $O$  έχει μετακινηθεί κατά  $u_{Ox}$  και  $u_{Oy}$  κατά τους άξονες  $x$  και  $y$  (σημείο  $O'$ ), ενώ όλο το διάφραγμα έχει στραφεί και κατά γωνία  $\theta$ , η οποία είναι ίδια για όλα τα σημεία του διαφράγματος. Όπως φάνεται στην Εικόνα 26, η συνολική κίνηση μπορεί να αναλυθεί σε: (A) μία μεταφορική κίνηση χωρίς στροφή και (B) σε μία στροφή γύρω από το σημείο  $O'$ .



**Εικόνα 25.** Κίνηση Διαφράγματος



**Εικόνα 26.** Ανάλυση της κίνησης του διαφράγματος σε : (A) Μεταφορική + (B) Στροφική

Οι μετακινήσεις του τυχαίου σημείου Σ μπορούν να υπολογιστούν από τις μετακινήσεις του σημείου αναφοράς Ο και τη στροφή θ του διαφράγματος από τις σχέσεις:

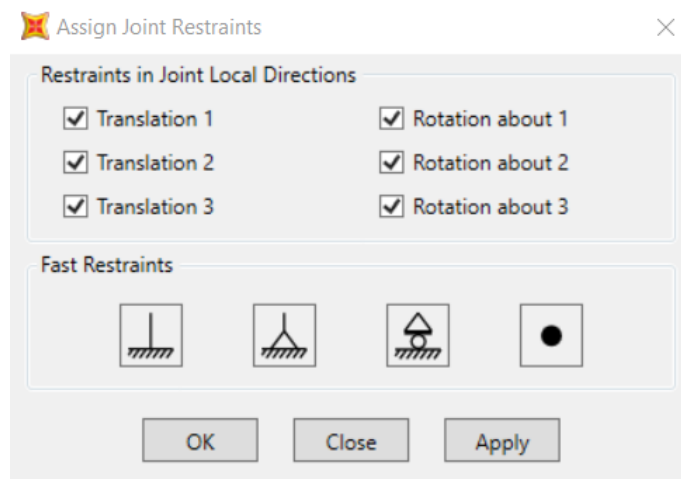
$$U_{\Sigma,x} = u_{o,x} - \theta \cdot y_{\Sigma}$$

$$U_{\Sigma,y} = u_{o,y} + \theta \cdot x_{\Sigma}$$

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν σε αρκετά σημεία των συγκρίσεων των αποτελεσμάτων των μετακινήσεων θέλοντας να εκφράσουμε τις μετακινήσεις ενός σημείου του διαφράγματος, συνήθως αυτού με τις μέγιστες μετακινήσεις συναρτήσει των μετακινήσεων του Κέντρου Στροφής.

### Στηρίξεις

Οι στηρίξεις του κτιρίου επί του εδάφους θεωρούνται πακτώσεις. Η εισαγωγή τους στο λογισμικό γίνεται δεσμεύοντας όλους τους βαθμούς ελευθερίας των κόμβων που βρίσκονται στη βάση των υποστυλωμάτων. (



**Εικόνα 27.** Εισαγωγή στηρίξεων κτιρίου στο έδαφος

## Κατακόρυφες δράσεις επί των φορέων

Τα κατακόρυφα φορτία ανάλογα με τις διακυμάνσεις τους στο χρόνο διακρίνονται σε:

- Μόνιμα (G): ίδιο βάρος φορέα, επικαλύψεις, τοίχοι πληρώσεως
- Κινητά (Q): επιβαλλόμενα φορτία σε πατώματα (ωφέλιμα)

Μόνιμα (G) :

- Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος  $25.00 \text{ kN/m}^3$
- Επικαλύψεις δαπέδων  $2.00 \text{ kN/m}^2$
- Φορτία τοιχοποιίας  $3.50 \text{ kN/m}^2$

Κινητά (Q) :

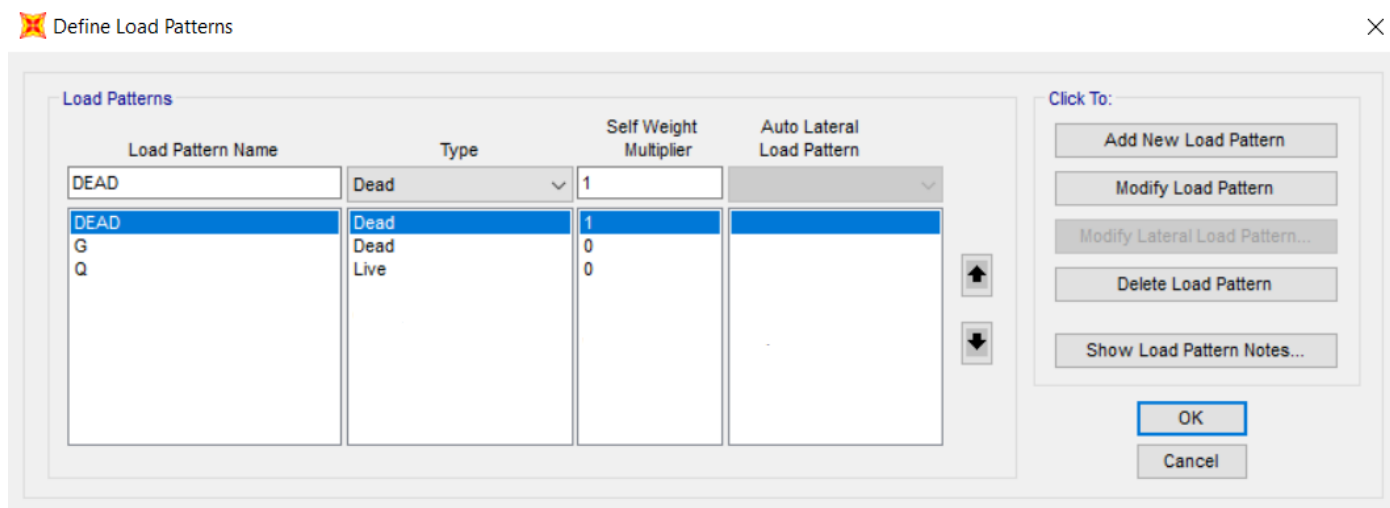
Περιλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία που προκύπτουν από τη χρήση του κτιρίου και προέρχονται από την παρουσία ανθρώπων, επίπλων, κινητού εξοπλισμού κλπ. Λόγω της φύσεως των φορτίων αυτών δεν είναι επακριβές το βάρος και η θέση τους, γι' αυτό προσδιορίζονται στατιστικά. Οι τιμές εφαρμογής τους δίνονται από τους κανονισμούς.

- Δαπέδων  $2.00 \text{ kN/m}^2$

Επειδή τα φορτία λαμβάνουν διαφορετικούς συντελεστές στους συνδυασμούς φόρτισης, ανάλογα με το είδος τους, ομαδοποιούνται στο λογισμικό σε Load Patterns. Τα Load Patterns που ορίζονται είναι:

- DEAD: περιλαμβάνει τα μόνιμα φορτία λόγω του ίδιου βάρους του φορέα.
- G: περιλαμβάνει τα μόνιμα φορτία λόγω επικαλύψεων και τοιχοπληρώσεων.
- Q: περιλαμβάνει τα κινητά φορτία των δαπέδων.





**Εικόνα 28.** Ομαδοποίηση φορτίων σε Load Patterns

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο "Καθορισμός Διαφράγματος" οι πλάκες δεν προσομοιώθηκαν στα μοντέλα, για αυτό και τα κατακόρυφα φορτία δεν επιβάλλονται ως επιφανειακά ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία επί των πλακών, τα οποία και στη συνέχεια το πρόγραμμα θα μοίραζε αυτόματα στις δοκούς μέσω των δυσκαμψιών των στοιχείων. Αντιθέτως τα φορτία επιβάλλονται απευθείας στις δοκούς ως γραμμικά ομοιόμορφα κατανεμημένα.

Προσομοίωση πλαστικών αρθρώσεων

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.2.2) υπολογίζεται για κάθε διατομή της κατασκευής η γωνία στροφής διαρροής  $\theta_y$ , η ροπή διαρροής  $M_y$  και η γωνία στροφής κατά την αστοχία  $\theta_u$ . Η γωνία στροφής χορδής  $\theta_y$  στην καμπτική διαρροή στοιχείων μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη έκφραση σύμφωνα με τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. :

- Για δοκούς ή υποστυλώματα:

$$\theta_y = (1/r)y \frac{Ls + av \cdot z}{3} + 0,0014 \left( 1 + 1,5 \frac{h}{Ls} \right) + \frac{(1/r)y \cdot db \cdot fy}{8\sqrt{fc}}$$

- Για τοιχώματα:

$$\theta y = (1/r)y \frac{Ls + av \cdot z}{3} + 0,0013 + \frac{(1/r)y \cdot db \cdot fy}{8\sqrt{fc}}$$

Ο 1ος όρος εκφράζει την συμβολή των καμπτικών παραμορφώσεων.

Ο 2ος όρος τις μέσες διατμητικές παραμορφώσεις στο μήκος  $Ls$ , όπου  $Ls$  είναι ο λόγος  $M/V$  στην ακραία διατομή του στοιχείου, δηλαδή η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών.

Ο 3ος όρος εκφράζει την επιρροή της εξόλκευσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου.

Στην συνέχεια ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας των μελών:

- AX (Άμεση Χρήση) ορίζεται να είναι στο σημείο διαρροής της διατομής ( $\theta y$ ,  $M_y$ )
- ΠΖ (Προστασία Ζωής) ορίζεται στο σημείο ( $\frac{\theta y + \theta u}{2\gamma r d}$ ,  $M_y$ )
- ΟΚ (Οιονεί κατάρρευση) στο σημείο ( $\frac{\theta u}{\gamma r d}$ ,  $M_y$ )

Στην περίπτωση των υποστυλωμάτων επιλέχθηκε "Interacting P-M2-M3", καθώς κρίσιμη για την αστοχία τους είναι η αλληλεπίδραση της αξονικής δύναμης και των ροπών κάμψης ως προς τους άξονες 2 και 3. Όσον αφορά στις δοκούς, κρίσιμη είναι η αστοχία σε κάμψη, οπότε επιλέχθηκε "Moment M3". Επίσης στα υποστυλώματα θεωρήθηκε σταθερή αξονική δύναμη η οποία προέκυψε από την φόρτιση G+o,3Q.

✘ Moment Rotation Data for FH1 - Interacting P-M2-M3



Edit

Select Curve  
 Axial Force: -629, Angle: 0, Curve #1: [Navigation Buttons]  
 Units: KN, m, C

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0,	0,
B	1,	8,045E-03
C	1,	0,0238
D	0,2	0,0238
E	0,2	0,0288

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

- Immediate Occupancy: 8,045E-03
- Life Safety: 0,0106
- Collapse Prevention: 0,0159

Show Acceptance Points on Current Curve

3D View  
 Plan: 315, Elevation: 35, Aperture: 0, Axial Force: -629  
 Hide Backbone Lines  
 Show Acceptance Criteria  
 Show Thickened Lines  
 Highlight Current Curve

Moment Rotation Information  
 Symmetry Condition: Double  
 Number of Axial Force Values: 1  
 Number of Angles: 2  
 Total Number of Curves: 2

Angle Is Moment About  
 0 degrees = About Positive M2 Axis  
 90 degrees = About Positive M3 Axis  
 180 degrees = About Negative M2 Axis  
 270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Εικόνα 29. Καθορισμός καμπύλης M-θ και παραμορφώσεων σχεδιασμού για τα υποστηλώματα

Frame Hinge Property Data for FH2 - Moment M3



**Edit**

**Displacement Control Parameters**

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0,2	-0,0436
D-	-0,2	-0,0386
C-	-1	-0,0386
B-	-1	-0,007179
A	0	0
B	1,	7,179E-03
C	1,	0,0386
D	0,2	0,0386
E	0,2	0,0436

Symmetric

**Type**

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

**Hysteresis Type And Parameters**

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

**Load Carrying Capacity Beyond Point E**

Drops To Zero

Is Extrapolated

**Scaling for Moment and Rotation**

Use Yield Moment    Moment SF    Positive:     Negative:

Use Yield Rotation    Rotation SF    Positive:     Negative:

(Steel Objects Only)

**Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)**

Immediate Occupancy    Positive:     Negative:

Life Safety    Positive:     Negative:

Collapse Prevention    Positive:     Negative:

Show Acceptance Criteria on Plot

Εικόνα 30. Καθορισμός καμπύλης M-θ και παραμορφώσεων σχεδιασμού για δοκούς

Τέλος ως πιθανές θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων ορίστηκαν τα άκρα όλων των δομικών στοιχείων. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκε καθένα από αυτά όπου και εφαρμόστηκαν στα άκρα τους τα "Hinges".

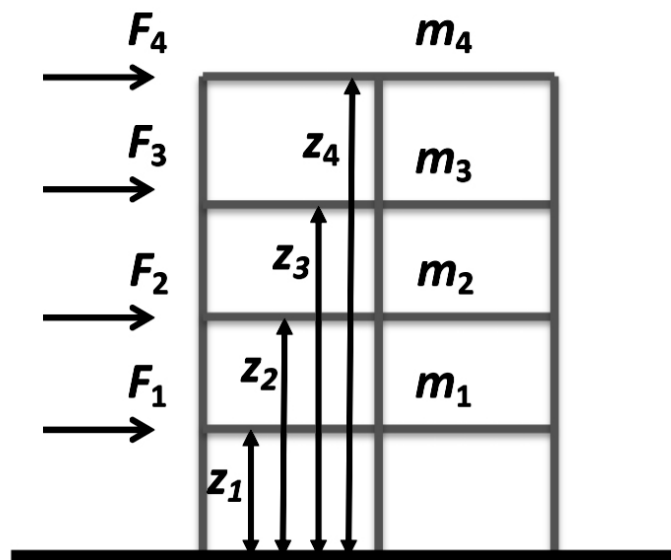
## Σεισμικές δράσεις E

Για την ανάγκη των ανελαστικών αναλύσεων ορίστηκε Load Pattern με το όνομα Ex. Οι σεισμικές δυνάμεις ακολουθούν την τριγωνική κατανομή κατά την διεύθυνση X και υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$F_i = F_b \frac{m_i \cdot z_i}{\sum_j m_j \cdot z_j}$$

όπου :

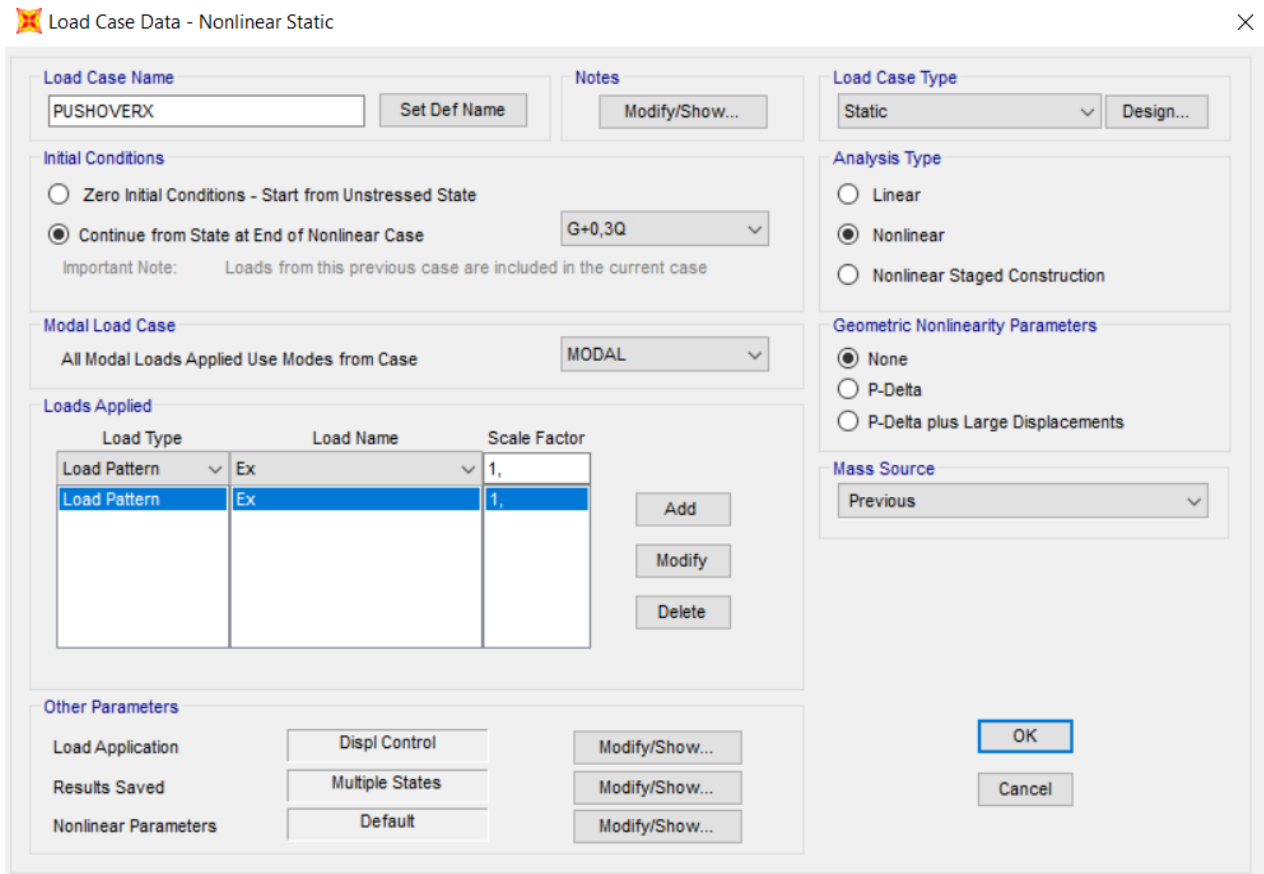
- $z_i$  η απόσταση του ορόφου  $i$  από το έδαφος
- $m_i$  η μάζα του ορόφου  $i$
- $F_b$  η σεισμική τέμνουσα βάσης ( $F_b = \sum F_i$ )



**Εικόνα 31.** Δεδομένα  $m_i$ ,  $z_i$ ,  $F_b$  και ζητούμενα  $F_i$

Αυτό που πραγματικά μας ενδιέφερε δεν ήταν οι αριθμητικές τιμές των δυνάμεων αυτών αλλά ο λόγος τους για αυτό και στον 1<sup>ο</sup> όροφο ορίστηκε μοναδιαία σεισμική δύναμη και με βάση αυτή ορίστηκαν και οι σεισμικές δυνάμεις των υπολοίπων ορόφων και εφαρμόστηκαν στο κέντρο μάζας κάθε διαφράγματος χωρίς τυχηματική εκκεντρότητα.





**Εικόνα 33.** Ορισμός του Load Case “PUSHOVERX”

### Καθορισμός κόμβου ελέγχου

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.7.1.2 ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ β) το προσομοίωμα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανομημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης – μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου), το οποίο εν γένει λαμβάνεται στην κορυφή του. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεσματικότητας. Ακολουθώντας τον κανονισμό, ως κόμβος ελέγχου των φορέων μας ορίστηκε στο Κέντρο Μάζας του ανώτερου ορόφου (4<sup>ος</sup> οροφος).

Πλέον οι φορείς είναι έτοιμοι προς ανάλυση καθώς έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα όλα τα απαιτούμενα δεδομένα (inputs). Ακολουθούν τα αποτελέσματα και οι συγκρίσεις αυτών, τα οποία προέκυψαν από στατική ανελαστική ανάλυση (PUSHOVERX) στους φορείς κατά X.



### **ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ**

Στο τρίτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων τα οποία και συγκρίνονται με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά χωρίζονται σε δύο μέρη με διαφορετικό αντικείμενο το καθένα:

- Το πρώτο μέρος αφορά την εύρεση του Κέντρου Στροφής και της μετακίνησης αυτού στο πέρας των βημάτων της ανελαστικής ανάλυσης. Συνοπτικά, αρχικά παρουσιάζεται η μέθοδος των μεσοκαθέτων, με βάση την οποία υπολογίζονται στα βήματα, στα οποία και αυτό απαιτείται, οι συντεταγμένες του Κέντρου Στροφής. Στη συνέχεια παρουσιάζεται για κάθε μοντέλο η καμπύλη pushover και η εικόνα του παραμορφωμένου φορέα στα βήματα όπου αυτό απαιτείται. Τέλος υπολογίζεται για κάθε μοντέλο η πορεία του Κέντρου Στροφής στο πέρας των βημάτων και η ποσοστιαία μετατόπισή του τόσο στο πέρας των βημάτων, αλλά και καθύψος από όροφο σε όροφο.
- Το δεύτερο μέρος αφορά την εύρεση και σύγκριση των μετατοπίσεων. Εστιάζοντας κυρίως στην εύκαμπτη πλευρά του φορέα, η ύπαρξη της οποίας οφείλεται στην προσθήκη εκκεντρότητας, η μέγιστη μετατόπιση κάθε διαφράγματος αναλύεται στον μετακινησιακό και στροφικό της όρο. Στη συνέχεια συγκρίνεται με τις αντίστοιχες μέγιστες μετατοπίσεις των υπολοίπων φορέων. Ως κριτήριο πέρα από την τιμή της μέγιστης μετατόπισης λαμβάνεται και η τέμνουσα βάσης του βήματος στο οποίο αυτή εμφανίζεται.

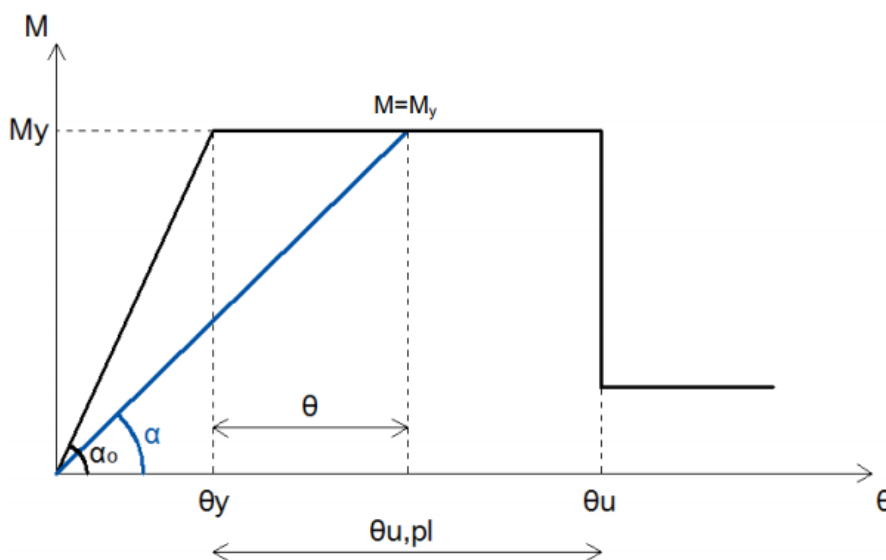
Εύρεση Κέντρου Στροφής με τη μέθοδο των μεσοκαθέτων

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαγράμματα ροπής - στροφής των δομικών στοιχείων και τα δεδομένα που προέκυψαν από την Pushover ανάλυση για τις γωνίες στροφής χορδής  $\theta$  στα άκρα τους, υπολογίστηκαν για ορισμένα βήματα της ανάλυσης, οι μειωμένες τιμές του μέτρου ελαστικότητας,  $E$  των τοιχωμάτων και υποστυλωμάτων που είχαν διαρρεύσει, μέσω της εξίσωσης :

$$E = E_o \cdot \frac{\tan a}{\tan a\theta} = E_o \cdot \frac{\left(\frac{M}{\theta y + \theta}\right)}{\left(\frac{My}{\theta y}\right)} = E_o \cdot \frac{M \cdot \theta y}{My \cdot (\theta y + \theta)} \quad (E \leq E_o)$$

όπου  $E_o=29$  GPa είναι το μέτρο ελαστικότητας στην περίπτωση ελαστικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων. Στην ειδική περίπτωση, όπου  $M=My$ , η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται :

$$E = E_o \cdot \frac{\theta y}{\theta y + \theta}$$



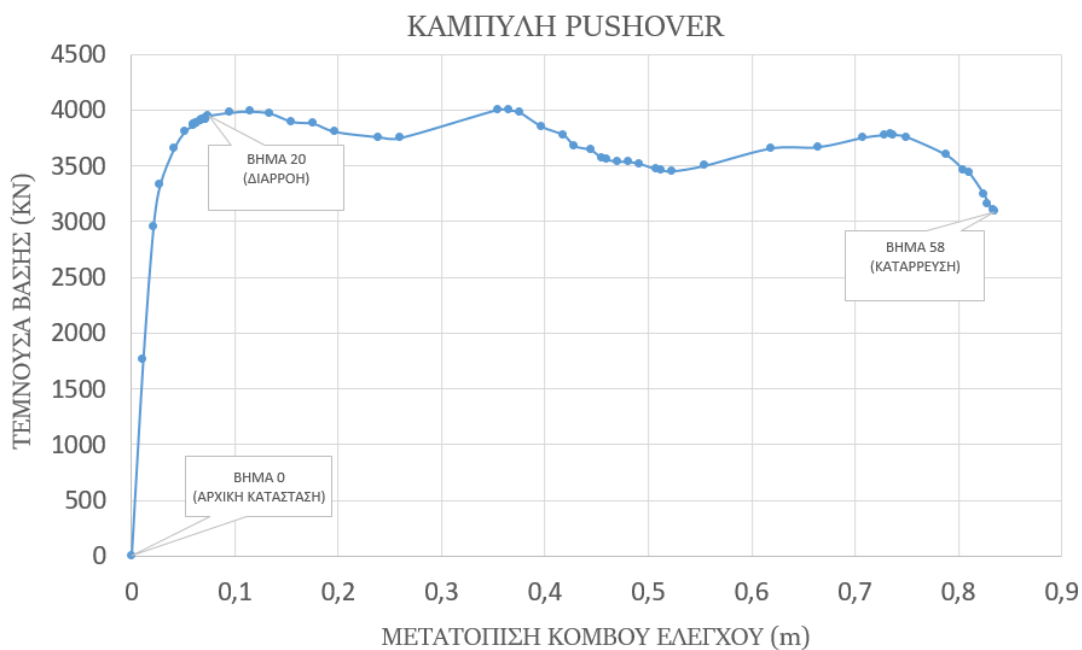
**Εικόνα 34.** Ιδεατή καμπύλη  $M-\theta$  δομικών στοιχείων

Αφού υπολογίστηκαν οι τιμές των μέτρων ελαστικότητας,  $E$  των κατακόρυφων δομικών στοιχείων για όλα τα βήματα της Pushover ανάλυσης, εφαρμόστηκαν στα αντίστοιχα υποστυλώματα και τοιχώματα, προκειμένου να προσομοιωθεί η μειωμένη τους αντοχή στην ανελαστική κατάσταση σε τρία χαρακτηριστικά βήματα της κάθε καμπύλης. Τα τρία αυτά χαρακτηριστικά βήματα είναι :

- ο φορέας στην αρχική του κατάσταση ή ΒΗΜΑ 0
- το βήμα της διαρροής
- το βήμα της κατάρρευσης

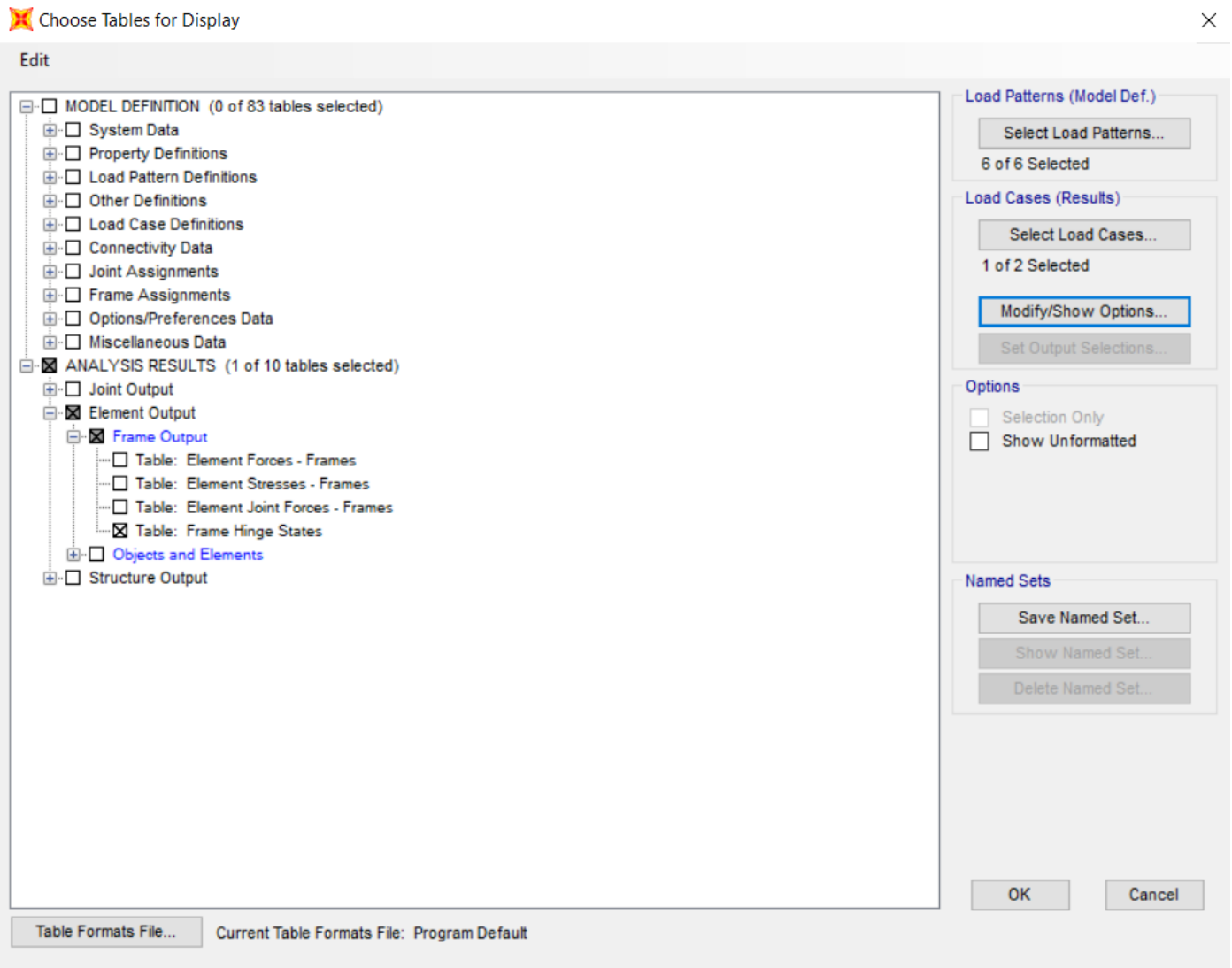
Ακολουθεί παράδειγμα με την σειρά των ενεργειών που απαιτούνται σύμφωνα με τη μέθοδο των μεσοκαθέτων έως ότου φτάσουμε στο ζητούμενο, δηλαδή στην εύρεση των συντεταγμένων του Κέντρου Στροφής. Έστω ότι στο παράδειγμα μας ζητούμενο είναι οι συντεταγμένες του Κέντρου στροφής στο βήμα της Διαρροής για το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ. Οι ενέργειες που απαιτείται να επαναληφθούν για κάθε διατομή, για την ανάγκη του παραδείγματος πραγματοποιούνται για τη διατομή 5 (FRAME 5). Ακριβώς η ίδια διαδικασία θα επαναληφθεί και στις υπόλοιπες διατομές.

1. Από την ΚΑΜΠΥΛΗ PUSHOVER διαβάζω πως το βήμα της διαρροής για το συγκεκριμένο μοντέλο αντιστοιχεί στο ΒΗΜΑ20.



**Εικόνα 35.** Παράδειγμα απεικόνισης καμπύλης Pushover και των τριών χαρακτηριστικών σημείων της καμπύλης

2. Πηγαίνω στα αποτελέσματα της ανάλυσης PUSHOVERX και από τους πίνακες Element Output-Frame Output επιλέγω αυτόν με τα αποτελέσματα των πλαστικών αρθρώσεων (hinges) των στοιχείων. Στην επιλογή Modify/Show Options επιλέγω την προβολή όλων των βημάτων και όχι του τελικού βήματος μόνο που είναι και η προεπιλογή του προγράμματος.



*Εικόνα 36. Επιλογή του πίνακα Frame Hinge States*

3. Κάνοντας χρήση του τύπου προσθέτω στα εξαγόμενα από το πρόγραμμα αποτελέσματα μια νέα στήλη στην οποία προκύπτουν τα Απομειωμένα E. Συγκεκριμένα στην παρακάτω εικόνα με κίτρινο διακρίνονται τα τρία χαρακτηριστικά σημεία του στοιχείου 5. Αυτό που με ενδιαφέρει, είναι η τιμή του Απομειωμένου E του στοιχείου 5 για το βήμα που αντιστοιχεί στη διαρροή (ΒΗΜΑ20).

Frame	OutputCase	CaseType	StepNum	U1Plastic	U2Plastic	U3Plastic	R1Plastic	R2Plastic	R3Plastic	HingeState	HingeStatus	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E
Text	Text	Text	Unitless	m	m	m	Radians	Radians	Radians	Text	Text	
5	PUSHOVERX	NonStatic	0	0	0	0	0	0	0	0 A to B	A to IO	29
5	PUSHOVERX	NonStatic	1	0	0	0	0	0	0	A to B	A to IO	29
5	PUSHOVERX	NonStatic	2	0	0	0	0	0,000883	0,001234	B to C	A to IO	26,11229402
5	PUSHOVERX	NonStatic	3	0	0	0	0	0,001542	0,002558	B to C	A to IO	22,64380517
5	PUSHOVERX	NonStatic	4	0	0	0	0	0,002372	0,006005	B to C	A to IO	16,78278681
5	PUSHOVERX	NonStatic	5	0	0	0	0	0,003304	0,008732	B to C	IO to LS	14,01783086
5	PUSHOVERX	NonStatic	6	0	0	0	0	0,004223	0,01104	B to C	LS to CP	12,28239211
5	PUSHOVERX	NonStatic	7	0	0	0	0	0,004223	0,011199	B to C	LS to CP	12,18139543
5	PUSHOVERX	NonStatic	8	0	0	0	0	0,004223	0,011633	B to C	LS to CP	11,91024636
5	PUSHOVERX	NonStatic	9	0	0	0	0	0,004359	0,011889	B to C	LS to CP	11,75659826
5	PUSHOVERX	NonStatic	10	0	0	0	0	0,004744	0,012617	B to C	LS to CP	11,33306478
5	PUSHOVERX	NonStatic	11	0	0	0	0	0,004862	0,013592	B to C	>CP	10,82285166
5	PUSHOVERX	NonStatic	12	0	0	0	0	0,005005	0,013862	B to C	>CP	10,68896936
5	PUSHOVERX	NonStatic	13	0	0	0	0	0,005005	0,014257	B to C	>CP	10,50325239
5	PUSHOVERX	NonStatic	14	0	0	0	0	0,005203	0,014693	B to C	>CP	10,28756778
5	PUSHOVERX	NonStatic	15	0	0	0	0	0,005204	0,014875	C to D	>CP	10,19894135
5	PUSHOVERX	NonStatic	16	0	0	0	0	0,005243	0,015383	C to D	>CP	9,972663592
5	PUSHOVERX	NonStatic	17	0	0	0	0	0,0053	0,015828	C to D	>CP	9,798889497
5	PUSHOVERX	NonStatic	18	0	0	0	0	0,005312	0,015931	C to D	>CP	9,756271298
5	PUSHOVERX	NonStatic	19	0	0	0	0	0,00533	0,016075	C to D	>CP	9,69787279
5	PUSHOVERX	NonStatic	20	0	0	0	0	0,005443	0,016839	C to D	>CP	9,400131979
5	PUSHOVERX	NonStatic	21	0	0	0	0	0,007789	0,026321	C to D	>CP	6,792985507
5	PUSHOVERX	NonStatic	22	0	0	0	0	0,010751	0,035614	C to D	>CP	5,324480168
5	PUSHOVERX	NonStatic	23	0	0	0	0	0,013941	0,047593	C to D	>CP	4,180234853
5	PUSHOVERX	NonStatic	24	0	0	0	0	0,017334	0,061756	C to D	>CP	3,332482206
5	PUSHOVERX	NonStatic	25	0	0	0	0	0,021109	0,075938	C to D	>CP	2,770092698
5	PUSHOVERX	NonStatic	26	0	0	0	0	0,024578	0,090245	C to D	>CP	2,366426455
5	PUSHOVERX	NonStatic	27	0	0	0	0	0,031634	0,118447	>E	>CP	1,839342345
5	PUSHOVERX	NonStatic	28	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	29	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	30	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	31	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	32	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	33	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	34	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	35	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	36	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	37	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	38	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	39	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	40	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	41	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	42	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	43	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	44	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	45	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	46	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	47	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	48	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	49	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	50	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	51	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	52	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	53	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	54	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	55	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	56	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	57	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
5	PUSHOVERX	NonStatic	58	0	0	0	0	0,033056	0,124388	>E	>CP	1,757565544
6	PUSHOVERX	NonStatic	0	0	0	0	0	0	0	0 A to B	A to IO	29
6	PUSHOVERX	NonStatic	1	0	0	0	0	0	0	0 A to B	A to IO	29
6	PUSHOVERX	NonStatic	2	0	0	0	0	0,000538	0,000987	B to C	A to IO	25,79670619
6	PUSHOVERX	NonStatic	3	0	0	0	0	0,001262	0,002355	B to C	A to IO	22,52341023

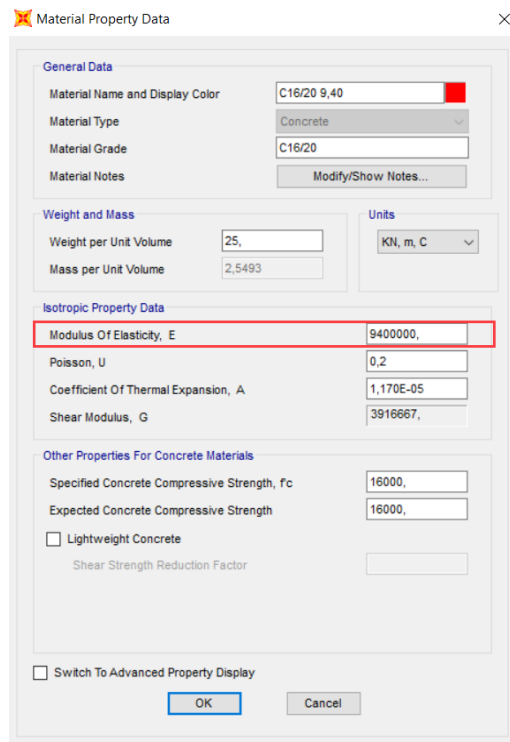
Εικόνα 37. Εύρεση απομειωμένων E σε κάθε στοιχείο και σε κάθε βήμα της ανάλυσης

4. Συγκεντρώνω και πινακοποιώ τις τιμές των Απομειωμένων Ε του βήματος της διαρροής (ΒΗΜΑ2ο) για όλα τα στοιχεία του φορέα.

STEP 2ο (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)							
Z=3		Z=6		Z=9		Z=12	
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)
28	27,67	27	26,13	26	29	25	29
29	28,79	30	26,67	31	29	32	28,49
33	29,00	34	25,34	35	25,41	36	24,55
37	26,59	46	29	47	29,00	48	29
45	26,14	38	29	39	29,00	40	29
44	26,54	43	22,65	42	26,22	41	25,86
49	19,22	50	20,09	51	28,47	52	29
53	19,73	54	19,12	55	26,63	56	28,81
57	22,54	58	21,93	59	28,32	60	29
61	21,05	62	22,30	63	28,16	64	29
65	19,23	66	20,57	67	26,96	68	29
69	17,89	70	18,74	71	26,21	72	28,84
73	15,16	74	17,53	75	27,87	76	29
77	14,88	78	16,13	79	24,91	80	28,85
81	15,80	82	17,52	83	26,25	84	29
85	15,58	86	17,45	87	26,18	88	29
89	14,53	90	16,74	91	25,13	92	29
93	14,08	94	16,26	95	25,60	96	29
296	12,16	297	15,07	298	26,75	299	29
300	11,63	301	13,42	302	23,20	303	28,87
304	12,25	305	14,42	306	24,27	307	29
308	12,00	309	14,13	310	24,08	311	29
312	11,57	313	13,77	314	23,34	315	29
316	11,56	317	14,36	318	24,45	319	29
320	9,96	174	13,13	132	25,56	108	29
5	9,40	6	11,29	7	20,87	8	28,30
9	9,60	10	11,89	11	22,14	12	28,62
13	9,64	14	11,72	15	21,97	16	28,66
17	9,45	18	11,67	19	21,72	20	28,29
324	10,78	323	14,96	322	25,78	321	28,67

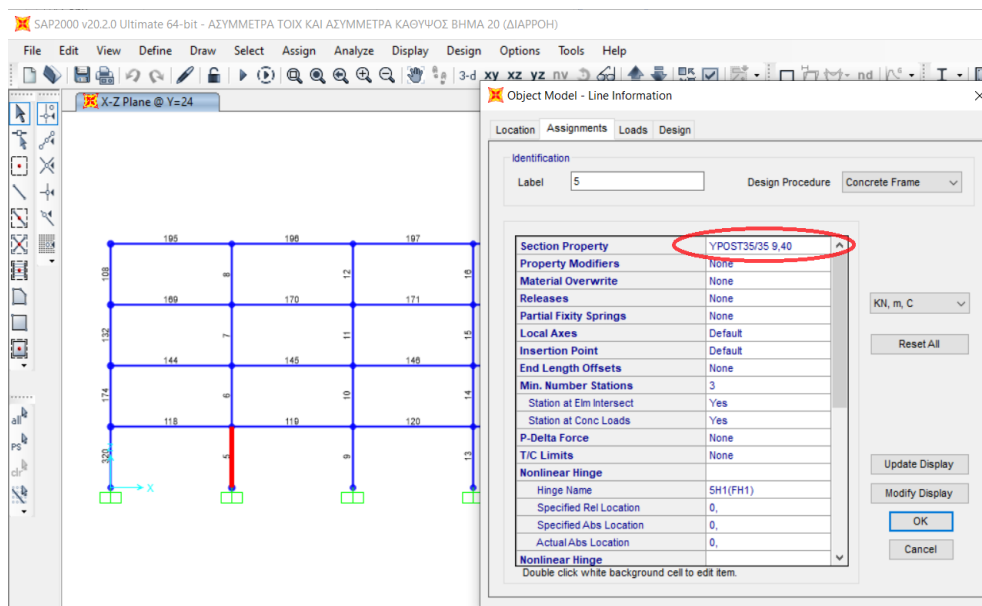
Εικόνα 38. Συγκέντρωση και πινακοποίηση των νέων διατομών του φορέα

5. Με την επιλογή Edit-Materials δημιουργώ στο πρόγραμμα τα καινούργια υλικά σκυροδέματος C16/20 εισάγωντας στο καθένα την τιμή του Απομειωμένου E.



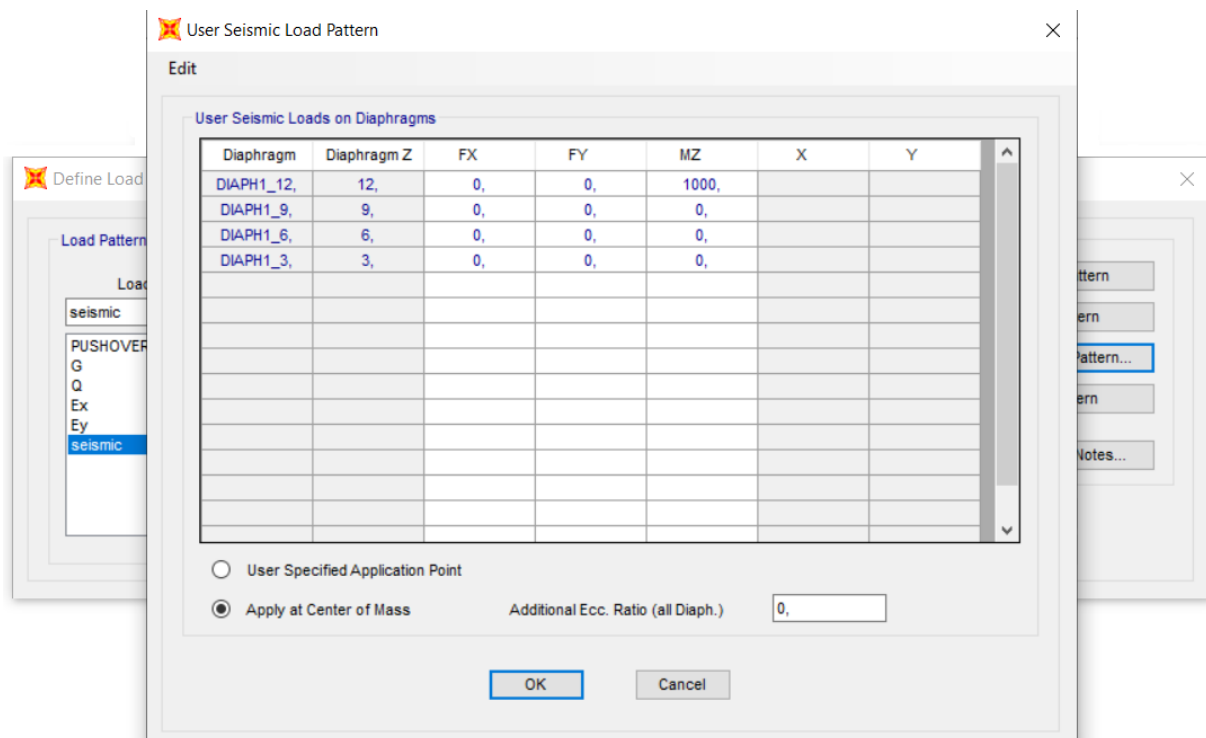
Εικόνα 39. Δημιουργία νέου υλικού με απομειωμένο E

6. Αντικαθιστώ τα κατακόρυφα στοιχεία που έχουν περάσει στη διαρροή με τα καινούργια πλέον Sections τα οποία αποτελούνται από τα καινούργια υλικά με τα Απομειωμένα E.



Εικόνα 40. Εισαγωγή νέων Sections με απομειωμένο E

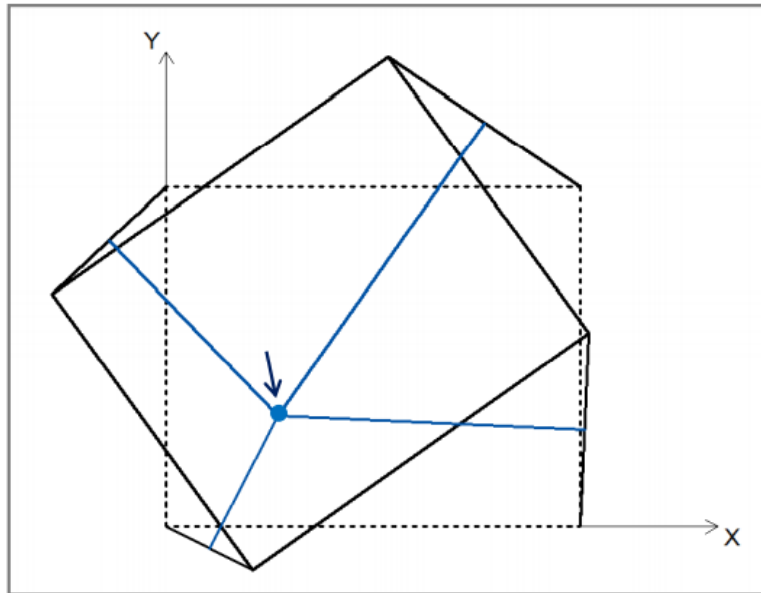
7. Ο φορέας που αντιπροσωπεύει το βήμα της διαρροής (ΒΗΜΑ20) είναι έτοιμος. Δημιουργώ Load Pattern με το όνομα seismic που αντιστοιχεί σε μοναδιαία ροπή περί τον κατακόρυφο άξονα Z στο διάφραγμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου. Με το σκεπτικό ότι το Κέντρο Στροφής είναι ανεξάρτητο τόσο από το μέγεθος της ροπής που ασκείται, όσο και από το σημείο εφαρμογής της, τελικώς ορίσθηκε ροπή ίση με 1000 KNm ώστε να αποφευχθούν πολύ μικρές μετατοπίσεις των σημείων των διαφραγμάτων που τείνουν στο 0 και θα δυσκόλευαν τους υπολογισμούς για την εύρεση του σημείου τομής των μεσοκαθέτων.



**Εικόνα 41.** Εφαρμογή ροπής στο διάφραγμα του ανώτερου ορόφου



8. Προσδιορίζω το κέντρο στροφής των διαφραγμάτων λόγω της ροπής περί τον κατακόρυφο άξονα Z, από το σημείο τομής των μεσοκαθέτων των ευθειών που συνδέουν τα σημεία της τελικής τους θέσης (μετατοπισμένο διάφραγμα λόγω εφαρμογής ροπής κατά Z), με τα αντίστοιχα σημεία της αρχικής θέσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα (οι μεσοκάθετοι απεικονίζονται με μπλε γραμμή).



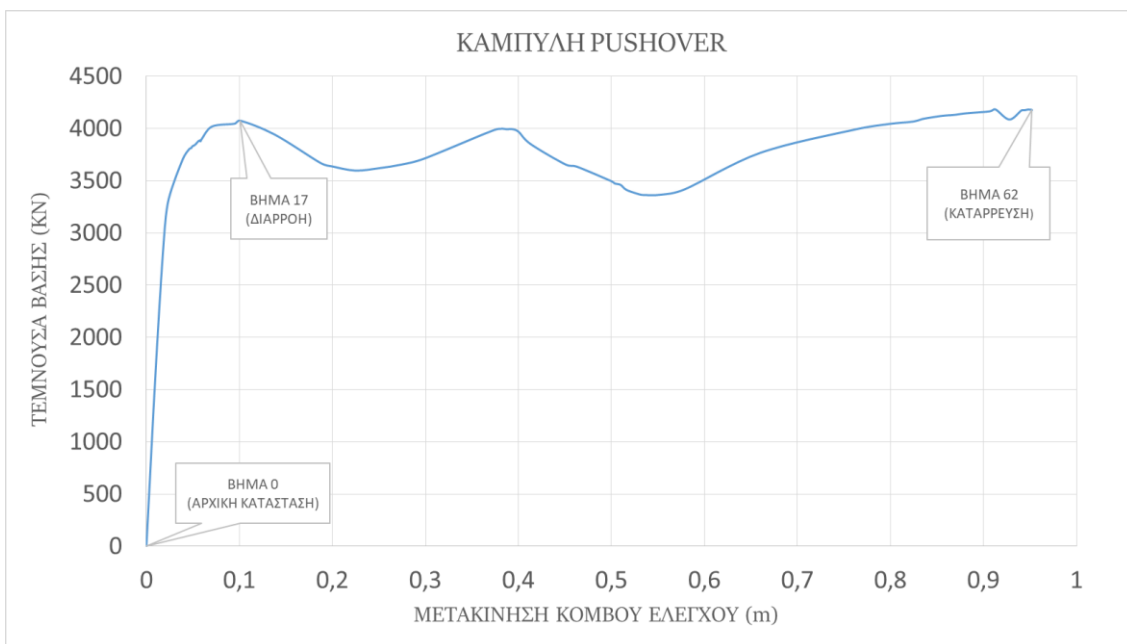
**Εικόνα 42.** Προσδιορισμός κέντρου στροφής διαφράγματος ως σημείο τομής των μεσοκαθέτων

## Αποτελέσματα αναλύσεων και συγκρίσεις αποτελεσμάτων

Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μοντέλων. Στα μοντέλα όπου προστέθηκε εκκεντρότητα (ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ, ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ, ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και των τριών χαρακτηριστικών βημάτων. Στα μοντέλα ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ και ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ δεν προσδιορίστηκε το Κέντρο Στροφής και στα τρία βήματα καθώς ο φορέας είναι ή παραμένει συμμετρικός έπειτα από την ενίσχυσή του. Το Κέντρο Στροφής βρίσκεται στο κέντρο γεωμετρίας του κάθε διαφράγματος και παραμένει αμετακίνητο στο πέρας των βημάτων καθώς τα στοιχεία διαρρέουν συμμετρικώς. Για λόγους πληρότητας για τα δύο αυτά μοντέλα παρουσιάζονται η Καμπύλη Pushover και ο συγκεντρωτικός πίνακας των απομειωμένων  $E$  των νέων διατομών, στοιχεία που στο πρώτο μέρος των αναλύσεων δεν παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον και δεν χρήζουν ιδιαίτερων σχολίων, αλλά είναι απαραίτητα εργαλεία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων στο δεύτερο μέρος των αναλύσεων, σχετικά με τις μέγιστες μετακινήσεις.

## ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Η Καμπύλη Pushover που προέκυψε ακολουθεί την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 43. Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Η παραπάνω καμπύλη δεν αποτελεί μια συνηθισμένη μορφή καμπύλης, δηλαδή με έναν αύξοντα και έναν φθίνοντα κλάδο, αλλά παρατηρούμε δύο ενδιάμεσους φθίνοντες και δύο αύξοντες κλάδους. Η συγκεκριμένη μορφή καμπύλης παρουσιάζεται μόνο στα δύο μοντέλα όπου υπάρχει ασυμμετρία σε κάτοψη (ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ, ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ) παρατήρηση που συνέβαλλε στην άμεση αντίληψη και εξήγηση του φαινομένου αυτού.

Τα τοιχώματα του 2<sup>ου</sup> ορόφου και μερικά από τα γειτονικά κατακόρυφα στοιχεία αργούν να ενεργοποιηθούν και όταν τελικά ενεργοποιούνται παραμένουν για συγκεκριμένο αριθμό βημάτων στον ελαστικό κλάδο (τμήμα A-B στην καμπύλη του στοιχείου). Στα βήματα αυτά η αύξηση της τέμνουσας βάσης που προκαλείται από την παραμονή των στοιχείων αυτών στον ελαστικό κλάδο υπερισχύει της μείωσης που προκαλεί η απομείωση όσων στοιχείων έχουν εισέλθει στον πλαστικό τους κλάδο για αυτό και η τελική τιμή της καμπύλης παρουσιάζει αύξηση στα συγκεκριμένα βήματα.

Ανάλογη συμπεριφορά του 3<sup>ου</sup> ορόφου έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία του δεύτερου αυξητικού κλάδου. Όπως θα παρατηρήσουμε και παρακάτω στην Εικόνα46 από τα δύο τοιχώματα του 3<sup>ου</sup> ορόφου (FRAME47, FRAME39) μόνο το ένα εισέρχεται στον πλαστικό κλάδο και αρχίζει η απομείωση του. Αν δεν είχε προηγηθεί η εξάντληση της αντοχής των στοιχείων του 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> ορόφου που οδηγούν στην κατάρρευση του κτιρίου στο ΒΗΜΑ62, ο αυξητικός κλάδος της καμπύλης θα συνέχιζε έως ότου μπει στον πλαστικό κλάδο και το δεύτερο τοίχωμα του ορόφου (FRAME47).

ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 17)

Αρχικά παρουσιάζεται η συγκέντρωση και πινακοποίηση των απομειωμένων Ε των στοιχείων του φορέα στο βήμα της διαρροής (ΒΗΜΑ 17). Η διαφοροποίηση στον χρωματισμό γίνεται ανάλογα με τον κλάδο (HingeState) που βρίσκεται το στοιχείο στην ιδεατή του καμπύλη.

STEP 17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)								A TO B	
Z=3		Z=6		Z=9		Z=12		B TO C	
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	C TO D	
28	25,78	27	27,81	26	29	25	29	D TO E	
29	24,07	30	25,20	31	29	32	29	>E	
33	24,53	34	26,14	35	27,05	36	26,37		
37	27,00	46	29	47	29	48	29		
45	26,93	38	28,97	39	29	40	29		
44	24,05	43	25,09	42	27,02	41	27,52		
49	15,01	50	17,85	51	27,73	52	29		
53	14,54	54	17,19	55	26,93	56	29		
57	15,90	58	19,26	59	28,81	60	29		
61	16,53	62	20,35	63	28,53	64	29		
65	15,52	66	18,23	67	26,57	68	29		
69	14,06	70	16,34	71	25,60	72	29		
73	10,76	74	14,00	75	26,92	76	29		
77	10,44	78	13,25	79	24,68	80	29		
81	11,36	82	14,26	83	26,13	84	29		
85	11,23	86	14,32	87	26,17	88	29		
89	10,89	90	13,72	91	24,87	92	29		
93	10,52	94	13,33	95	24,41	96	29		
296	8,30	297	11,50	298	25,52	299	29		
300	7,97	301	10,40	302	22,58	303	29		
304	8,53	305	11,19	306	23,56	307	29		
308	8,54	309	11,13	310	23,52	311	29		
312	8,29	313	10,70	314	22,56	315	29		
316	8,29	317	11,06	318	22,95	319	29		
320	6,69	174	9,44	132	23,90	108	29		
5	6,47	6	8,44	7	19,99	8	28,28		
9	6,62	10	8,85	11	21,06	12	28,58		
13	6,58	14	8,73	15	20,85	16	28,76		
17	6,61	18	8,79	19	20,78	20	28,43		
324	7,62	323	11,38	322	25,06	321	28,95		

Εικόνα 44. Απομειωμένα Ε διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ17)

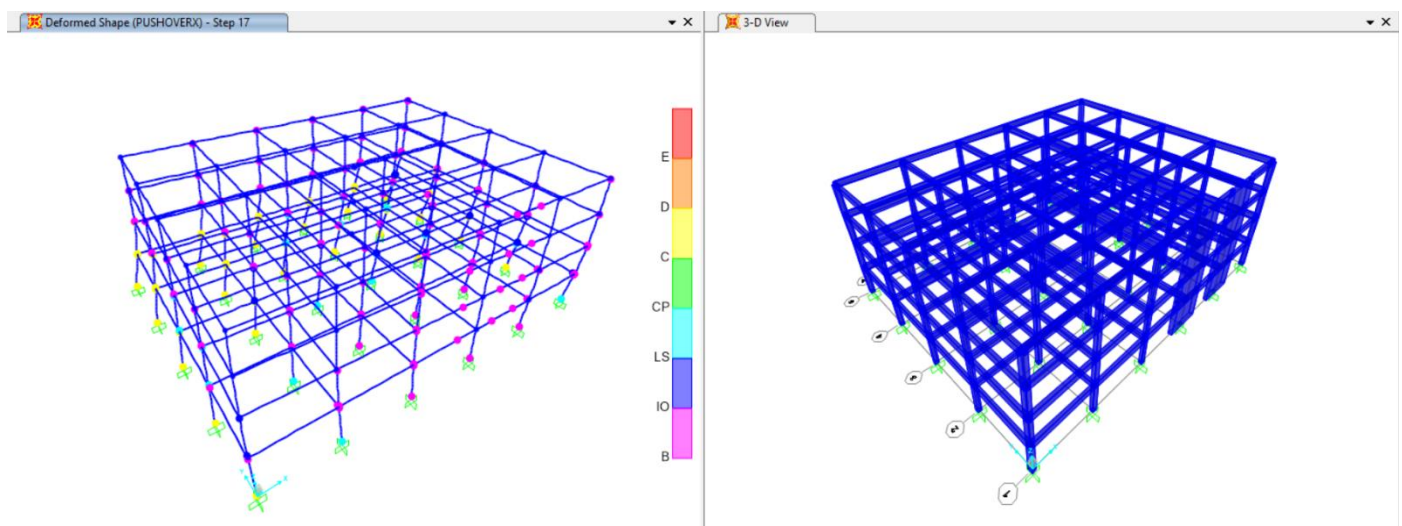
Στη συνέχεια απεικονίζεται η παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα στο συγκεκριμένο βήμα. Σημειώνεται πως όπως φαίνεται και στην Εικόνα μέρος των οριζόντιων στοιχείων έχει επίσης εισέρθει στη διαρροή, κάτι που δεν αναλύεται περαιτέρω στην παρούσα εργασία καθώς ασχοληθήκαμε αποκλειστικά με τη συμπεριφορά των κατακόρυφων στοιχείων.

Οι ενδείξεις IO LS CP στην κατακόρυφη μπάρα αφορούν τις στάθμες επιτελεστικότητας :

IO : Άμεση Χρήση (Immediate Occupancy)

LS : Προστασία Ζωής (Life Safety)

CP : Οιονεί Κατάρρευση (Collapse Prevention)



**Εικόνα 45.** Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 17)

Παρατηρεί κανείς πως :

- οι χαμηλότεροι όροφοι καταπονούνται περισσότερο και είναι οι πρώτοι που εισέρχονται στη διαρροή.
- ήδη από τη διαρροή παρατηρείται έντονα ο σχηματισμός εύκαμπτης πλευράς καθώς τα στοιχεία που είναι απομακρυσμένα από τα τοιχώματα εισέρχονται πρώτα στη διαρροή.

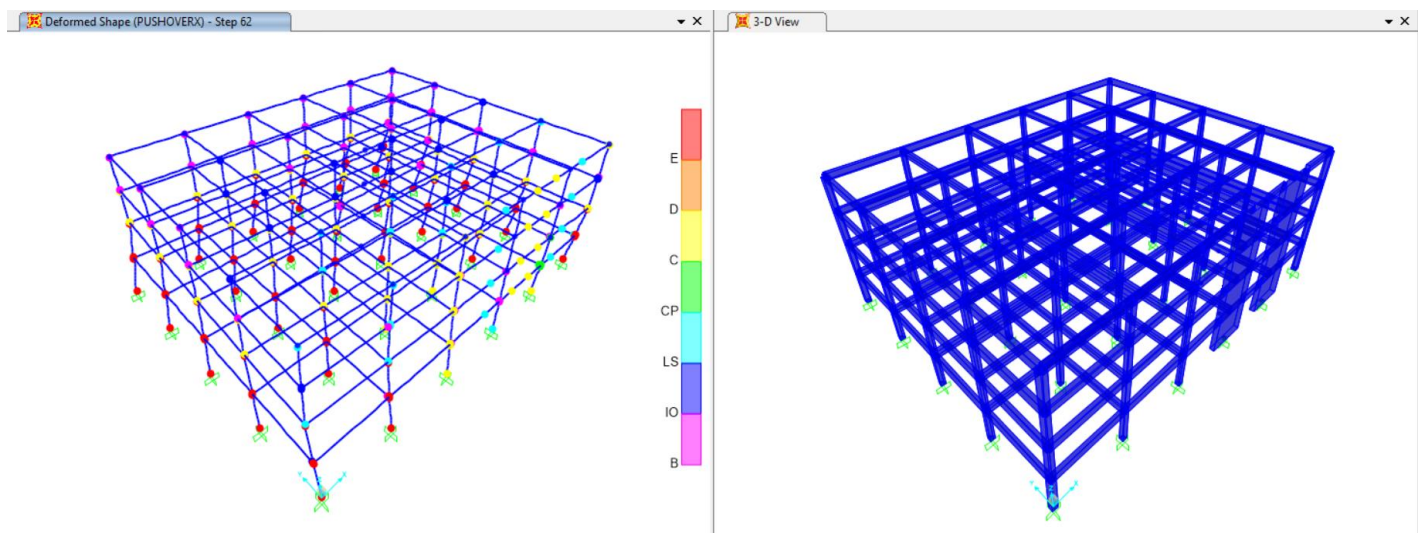
ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 62)

Σε αντιχτοιχία με το βήμα της διαρροής, στην Εικόνα46 παρουσιάζεται η συγκέντρωση και πινακοποίηση των απομειωμένων E των στοιχείων του φορέα στο βήμα της κατάρρευσης (ΒΗΜΑ62).

STEP 62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)								A TO B			
								B TO C			
								C TO D			
								D TO E			
								>E			
Z=3	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=6	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=9	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=12	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)
28		24,33	27		23,86	26		13,30	25		13,41
29		10,69	30		14,05	31		12,47	32		12,50
33		10,28	34		9,28	35		9,93	36		9,88
37		19,64	46		28,07	47		29	48		29
45		19,70	38		26,54	39		28,97	40		29
44		16,13	43		13,08	42		12,89	41		13,16
49		4,85	50		4,91	51		11,85	52		14,93
53		3,36	54		3,49	55		10,51	56		12,92
57		2,77	58		2,64	59		10,60	60		12,85
61		2,80	62		2,69	63		11,04	64		13,52
65		2,78	66		2,66	67		10,87	68		13,51
69		3,51	70		3,40	71		11,74	72		14,78
73		3,00	74		3,03	75		10,50	76		16,51
77		2,36	78		2,34	79		9,28	80		13,91
81		1,85	82		1,88	83		9,64	84		14,48
85		1,68	86		1,69	87		9,59	88		14,45
89		1,90	90		1,87	91		9,47	92		14,19
93		2,36	94		2,33	95		10,11	96		15,62
296		2,40	297		2,42	298		9,43	299		18,02
300		2,02	301		2,01	302		8,37	303		15,12
304		1,77	305		1,77	306		8,73	307		16,06
308		1,68	309		1,68	310		8,65	311		15,89
312		1,78	313		1,77	314		8,53	315		15,57
316		2,04	317		2,03	318		9,15	319		17,32
320		2,53	174		2,22	132		8,45	108		20,57
5		1,89	6		1,89	7		7,60	8		16,61
9		1,74	10		1,75	11		7,85	12		17,59
13		1,67	14		1,68	15		7,85	16		17,68
17		1,73	18		1,72	19		7,81	20		17,26
324		2,26	323		2,24	322		9,09	321		20,48

Εικόνα 46. Απομειωμένα E διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ62)

Ακολουθεί η παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα στο βήμα της κατάρρευσης (ΒΗΜΑ62)



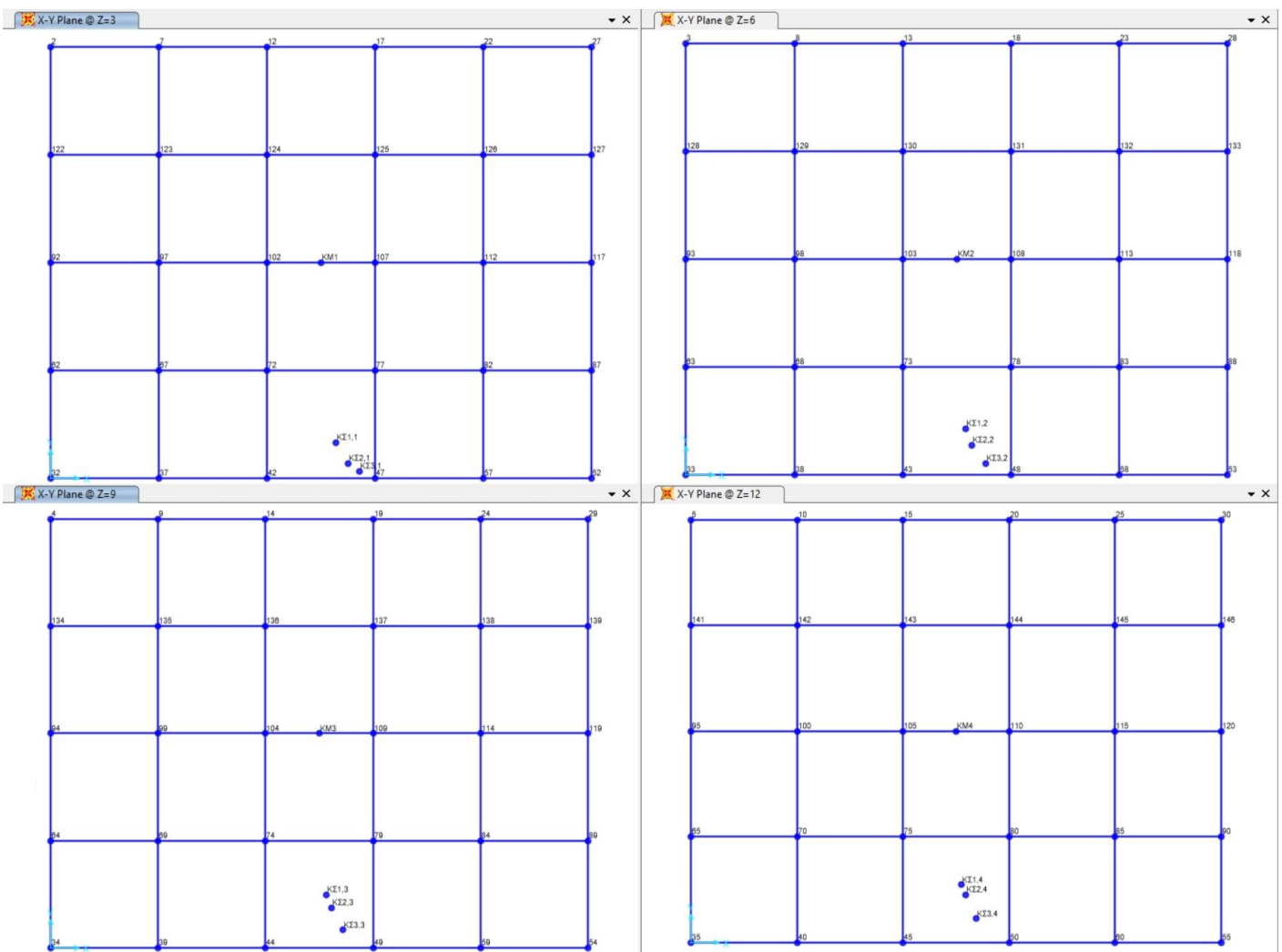
Εικόνα 47. Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 62)

## Μεταβολή θέσης και πορεία Κέντρου Στροφής στην Ανελαστική Ανάλυση

Στην Εικόνα 48 παρατηρούμε τις θέσεις του Κέντρου Στροφής στα τρία βήματα ενδιαφέροντος. Οι θέσεις αυτές προδίδουν και την πορεία της μετακίνησης του Κέντρου Στροφής στο πέρασμα των βημάτων της ανελαστικής ανάλυσης. Η ονοματολογία των σημείων των κέντρων στροφής γίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω:

ΚΣ<sub>x,y</sub> όπου :

- x είναι ο αριθμός του ορόφου
- y είναι το χαρακτηριστικό βήμα όπου
  - 1=ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
  - 2=ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
  - 3=ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ



**Εικόνα 48.** Θέσεις Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία χαρακτηριστικά βήματα

Στην Εικόνα 49 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συντεταγμένες των Κέντρων Στροφής ανά όροφο.

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.	Z=3	Κ.Σ.	
		X(m)	Y(m)
	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	15,84	1,98
	STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	16,52	0,83
	STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	16,93	0,42
	Z=6	Κ.Σ.	
		X(m)	Y(m)
	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	15,50	2,54
	STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	15,85	1,62
	STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	16,49	0,61
	Z=9	Κ.Σ.	
		X(m)	Y(m)
	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	15,38	2,95
	STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	15,66	2,25
	STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	16,16	0,92
	Z=12	Κ.Σ.	
		X(m)	Y(m)
	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	15,32	3,27
	STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	15,55	2,71
	STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	16,01	1,20

**Εικόνα 49.** Συντεταγμένες Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία χαρακτηρισικά βήματα

Στην Εικόνα 50 παρατηρούμε τη μείωση της δυσκαμψίας των κατακόρυφων στοιχείων ανα όροφο στα τρία βήματα ενδιαφέροντος. Τα κατακόρυφα στοιχεία έχουν ομαδοποιηθεί με δύο τρόπους σύμφωνα με τη θέση τους ως προς τη θέση του Κέντρου Στροφής κατά Y (ΑΝΩ-ΚΑΤΩ) και κατά X (ΔΕΞΙΑ-ΑΡΙΣΤΕΡΑ). Με πράσινο χρώμα είναι σημειωμένη η κατεύθυνση όπου τελικά κινήθηκε το Κέντρο Στροφής.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΙΩΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ (Ei/h)						
	ΘΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ Κ.Σ.	ΑΡΧΙΚΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ (ΑΡΧΙΚΗ-ΦΑΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ (ΑΡΧΙΚΗ-ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)
Z=3	ΑΝΩ	307188,54	107279,48	25055,15	65,08%	91,84%
	ΚΑΤΩ	27695976,74	25749863,76	18779723,17	7,03%	32,19%
	ΔΕΞΙΑ	27804772,05	25765480,96	18765273,58	7,33%	32,51%
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	198393,23	91662,27	39504,75	53,80%	80,09%
Z=6	ΑΝΩ	307188,54	136892,87	24705,21	55,44%	91,96%
	ΚΑΤΩ	27695976,74	27673298,22	26051895,57	0,08%	5,94%
	ΔΕΞΙΑ	27804772,05	27701370,32	26036598,03	0,37%	6,36%
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	198393,23	108820,77	40002,74	45,15%	79,84%
Z=9	ΑΝΩ	307188,54	260214,41	99667,68	15,29%	67,55%
	ΚΑΤΩ	27695976,74	27693755,89	27643098,08	0,01%	0,19%
	ΔΕΞΙΑ	27804772,05	27778809,77	27674454,96	0,09%	0,47%
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	198393,23	175160,53	68310,80	11,71%	65,57%
Z=12	ΑΝΩ	307188,54	306345,92	170405,38	0,27%	44,53%
	ΚΑΤΩ	27695976,74	27693829,00	27658777,68	0,01%	0,13%
	ΔΕΞΙΑ	27804772,05	27803351,40	27725245,37	0,01%	0,29%
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	198393,23	196823,52	103937,69	0,79%	47,61%

**Εικόνα 50.** Συνολική και ποσοστιαία μείωση δυσκαμψίας κατακόρυφων στοιχείων στα τρία βήματα ενδιαφέροντος



Στην Εικόνα51 βρίσκονται πινακοποιημένα τα ποσοστά μεταβολής των θέσεων του Κέντρου Στροφής μεταξύ των βημάτων και για κάθε όροφο ξεχωριστά, ενώ στην Εικόνα52 παρατηρούμε τα ποσοστά μεταβολής των θέσεων του κέντρου στροφής μεταξύ των ορόφων για κάθε βήμα ξεχωριστά.

	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Χ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Υ	
	ΒΗΜΑ 0-ΔΙΑΡΡΟΗ	ΒΗΜΑ 0-ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	ΒΗΜΑ 0-ΔΙΑΡΡΟΗ	ΒΗΜΑ 0-ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ
Z=3	2,256%	3,633%	4,8100%	6,500%
Z=6	1,181%	3,300%	3,846%	8,042%
Z=9	0,923%	2,600%	2,938%	8,458%
Z=12	0,780%	2,300%	2,314%	8,625%

**Εικόνα 51** Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα

	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Χ ΑΠΟ ΟΡΟΦΟ ΣΕ ΟΡΟΦΟ			ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Υ ΑΠΟ ΟΡΟΦΟ ΣΕ ΟΡΟΦΟ		
	ΒΗΜΑ 0	ΔΙΑΡΡΟΗ	ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	ΒΗΜΑ 0	ΔΙΑΡΡΟΗ	ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=3 ΜΕ Z=6	1,133%	2,208%	1,467%	2,333%	3,298%	0,792%
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=6 ΜΕ Z=9	0,400%	0,658%	1,100%	1,708%	2,617%	1,292%
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=9 ΜΕ Z=12	0,200%	0,343%	0,500%	1,333%	1,957%	1,167%

**Εικόνα 52.** Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο

## Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

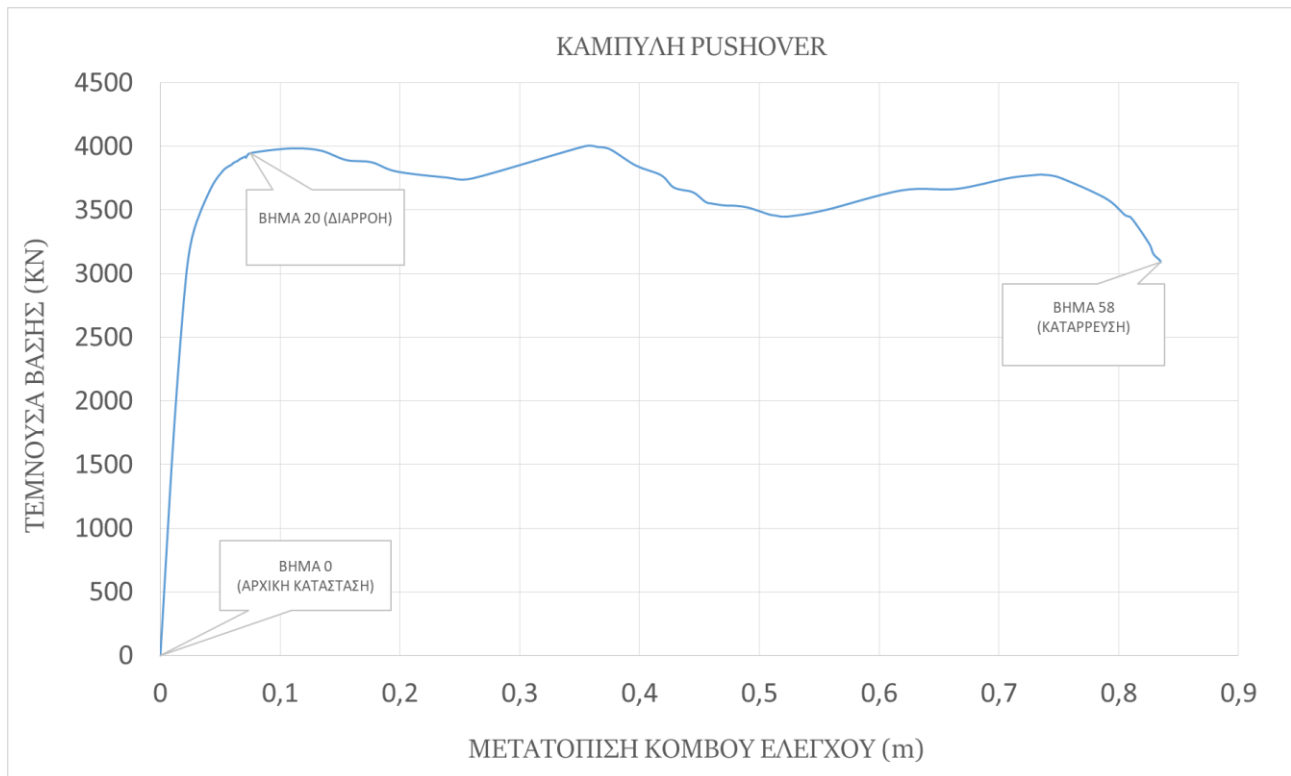
Στην Εικόνα46 και Εικόνα47 διακρίνουμε τόσο από τις τιμές των πινάκων όσο και από τη χρωματοποίηση τη δημιουργία εύκαμπτης και δύσκαμπτης πλευράς στον φορέα. Τα κατακόρυφα στοιχεία που είναι απομακρυσμένα από τα τοιχώματα εισέρχονται πρώτα στη διαρροή και διαρρέουν ταχύτερα στο πέρας της ανάλυσης καθώς η δυσκαμψία είναι συγκεντρωμένη στα τοιχώματα τα οποία και διαρρέουν στη βάση τους αργότερα. Μόνο όταν πλέον τα στοιχεία της εύκαμπτης πλευράς έχουν χάσει το μεγαλύτερο μέρος της δυσκαμψίας τους (σημείο E στην ιδεατή καμπύλη της διατομής τους), τότε και η διαρροή των τοιχωμάτων και γενικότερα των στοιχείων της δύσκαμπτης πλευράς γίνεται ταχύτερη και οδηγεί τελικά στην κατάρρευση του φορέα.

Στην Εικόνα48 και Εικόνα49 παρατηρούμε την πορεία του Κέντρου Στροφής στο πέρας των βημάτων. Ήδη η αρχική του θέση στο ΒΗΜΑ 0 βρίσκεται ελαφρώς πλησιέστερα στο μισό των τοιχωμάτων κατά X, καθώς τα τοιχώματα παρέχουν και στην ασθενή τους διεύθυνση ελαφρώς μεγαλύτερη δυσκαμψία. Κατά τη διεύθυνση Y όπου η δυσκαμψία των τοιχωμάτων είναι τάξης μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή των υποστηλωμάτων, η θέση του Κέντρου Στροφής είναι πολύ κοντά, σχεδόν κολλητά, στην στάθμη των τοιχωμάτων στους κατώτερους ορόφους, ενώ όσο ανεβαίνουμε τους ορόφους το Κέντρο Στροφής παραμένει κοντά στα τοιχώματα, ελαφρώς πιο απομακρυσμένο. Σχετικά με την μετακίνηση του Κέντρου Στροφής παρατηρούμε πως αυτή είναι προς τη δύσκαμπτη πλευρά του φορέα, καθώς το ποσοστό μείωσης της δυσκαμψίας των κατακόρυφων στοιχείων είναι μικρότερο λόγω της ύπαρξης των τοιχωμάτων και η αριθμητική τιμή της δυσκαμψίας της πλευράς αυτής παραμένει μεγαλύτερη. Η μεταβολή των τιμών κατά X διαμορφώνεται σε μικρότερες τιμές συγκριτικά με των Y όπως εύκολα διακρίνουμε στην Εικόνα50 και κυρίως στην Εικόνα51, πράγμα που επίσης οφείλεται στην εκμετάλλευση των τοιχωμάτων στην ισχυρή τους διεύθυνση.

Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει πως το Κέντρο Στροφής στην πλειοψηφία των περιπτώσεων υπόκειται σε μεγαλύτερη μετακίνηση στους κατώτερους ορόφους “ελκόμενο” εντονότερα από τη δύσκαμπτη πλευρά, από ότι στους ανώτερους ορόφους όπου η κίνηση γίνεται με πιο βραδείς ρυθμούς. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα (συμπέρασμα που αποδείχθηκε με μεγαλύτερη σαφήνεια σε αποτελέσματα των επόμενων μοντέλων) πως η θέση των τοιχωμάτων στους κατώτερους ορόφους και κυρίως στον 1<sup>ο</sup> όροφο επηρεάζει και καθορίζει σε μεγαλύτερο βαθμό την εικόνα και συμπεριφορά του συνολικού φορέα.

## ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ

Η Καμπύλη Pushover που προέκυψε ακολουθεί την παρακάτω μορφή.



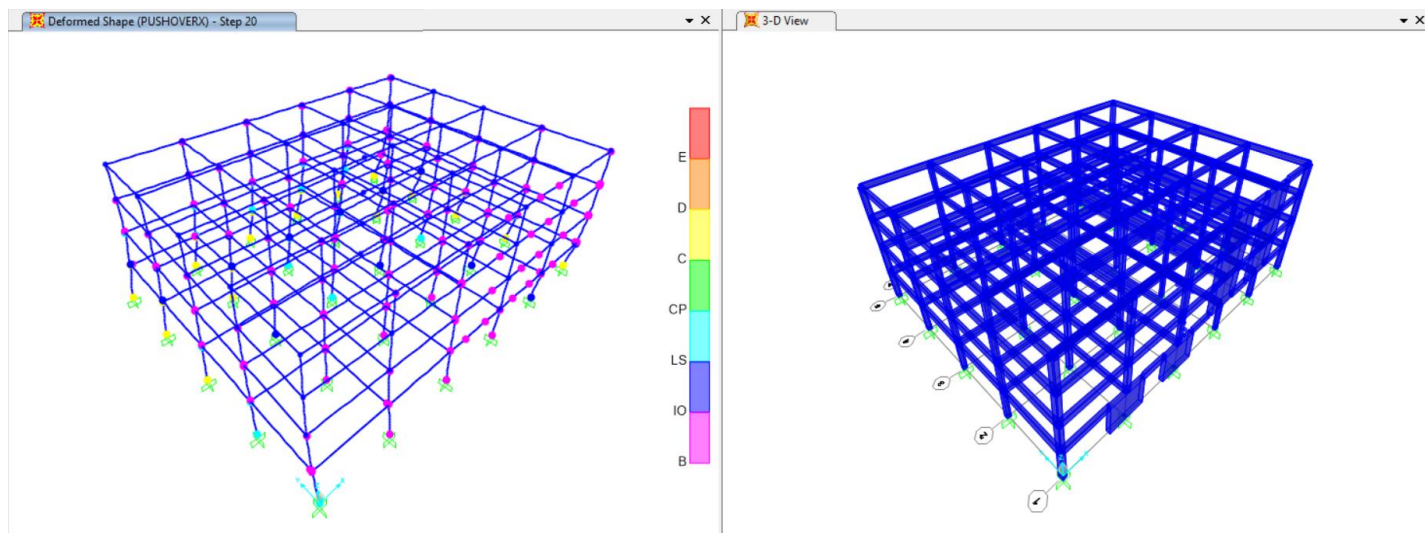
**Εικόνα 53.** Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ

Η μορφή της καμπύλης είναι παρόμοια με την καμπύλη του μοντέλου ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ, δηλαδή παρατηρούμε και πάλι δύο ενδιάμεσους φθίνοντες και δύο αύξοντες κλάδους. Οι δύο αυξητικοί αυτοί κλάδοι δημιουργούνται ακριβώς για τους ίδιους λόγους που αναλύθηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο του μοντέλου ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.

ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 20)

STEP 20 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)								A TO B	
								B TO C	
								C TO D	
								D TO E	
								>E	
Z=3		Z=6		Z=9		Z=12			
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)		
28	27,67	27	26,13	26	29	25	29		
29	28,79	30	26,67	31	29	32	28,49		
33	29	34	25,34	35	25,41	36	24,55		
37	26,59	46	29	47	29	48	29		
45	26,14	38	29	39	29	40	29		
44	26,54	43	22,65	42	26,22	41	25,86		
49	19,22	50	20,09	51	28,47	52	29		
53	19,73	54	19,12	55	26,63	56	28,81		
57	22,54	58	21,93	59	28,32	60	29		
61	21,05	62	22,30	63	28,16	64	29		
65	19,23	66	20,57	67	26,96	68	29		
69	17,89	70	18,74	71	26,21	72	28,84		
73	15,16	74	17,53	75	27,87	76	29		
77	14,88	78	16,13	79	24,91	80	28,85		
81	15,80	82	17,52	83	26,25	84	29		
85	15,58	86	17,45	87	26,18	88	29		
89	14,53	90	16,74	91	25,13	92	29		
93	14,08	94	16,26	95	25,60	96	29		
296	12,16	297	15,07	298	26,75	299	29		
300	11,63	301	13,42	302	23,20	303	28,87		
304	12,25	305	14,42	306	24,27	307	29		
308	12,00	309	14,13	310	24,08	311	29		
312	11,57	313	13,77	314	23,34	315	29		
316	11,56	317	14,36	318	24,45	319	29		
320	9,96	174	13,13	132	25,56	108	29		
5	9,40	6	11,29	7	20,87	8	28,30		
9	9,60	10	11,89	11	22,14	12	28,62		
13	9,64	14	11,72	15	21,97	16	28,66		
17	9,45	18	11,67	19	21,72	20	28,29		
324	10,78	323	14,96	322	25,78	321	28,67		

Εικόνα 54. Απομειωμένα Ε διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 20)

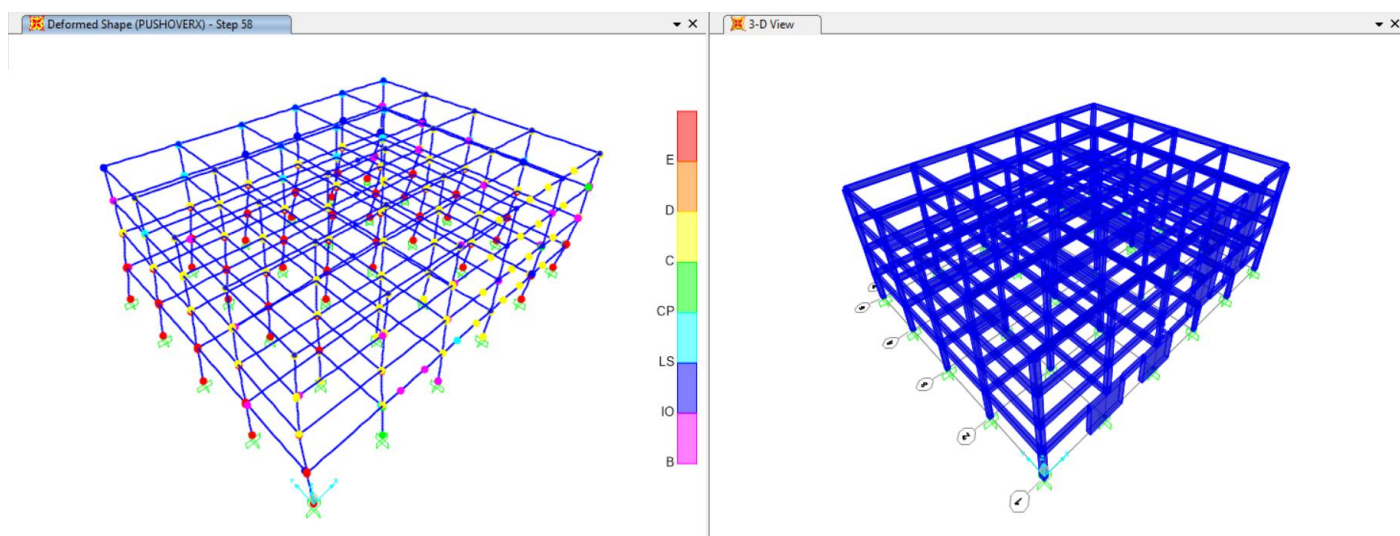


Εικόνα 55. Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 20)

ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 58)

STEP 58 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)								A TO B
								B TO C
								C TO D
								D TO E
								>E
Z=3	Z=6		Z=9		Z=12			
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	
28	24,51	27	20,43	26	6,11	25	6,09	
29	26,76	30	5,56	31	5,93	32	5,91	
33	27,45	34	5,32	35	5,21	36	5,18	
37	16,17	46	28,19	47	29	48	29	
45	15,83	38	27,51	39	28,97	40	28,92	
44	24,35	43	4,94	42	8,45	41	8,42	
49	4,40	50	4,71	51	5,96	52	7,01	
53	4,23	54	2,66	55	5,57	56	6,55	
57	4,27	58	2,67	59	5,55	60	6,55	
61	4,30	62	2,72	63	5,80	64	6,84	
65	4,40	66	2,74	67	5,81	68	6,89	
69	4,80	70	2,64	71	6,62	72	7,99	
73	2,45	74	2,95	75	5,73	76	8,16	
77	2,35	78	2,27	79	5,33	80	7,47	
81	2,34	82	1,82	83	5,44	84	7,65	
85	2,36	86	1,78	87	5,42	88	7,68	
89	2,36	90	1,83	91	5,38	92	7,60	
93	2,95	94	2,33	95	5,71	96	8,17	
296	2,10	297	2,38	298	5,54	299	9,73	
300	1,80	301	1,99	302	5,14	303	8,78	
304	1,68	305	1,76	306	5,27	307	9,11	
308	1,77	309	1,68	310	5,25	311	9,14	
312	2,01	313	1,78	314	5,18	315	8,97	
316	2,37	317	2,03	318	5,35	319	9,21	
320	2,31	174	2,52	132	5,33	108	12,06	
5	1,76	6	1,88	7	5,00	8	10,72	
9	1,68	10	1,74	11	5,07	12	11,13	
13	1,72	14	1,68	15	5,06	16	11,15	
17	1,85	18	1,72	19	5,03	20	11,00	
324	2,50	323	2,23	322	5,45	321	11,57	

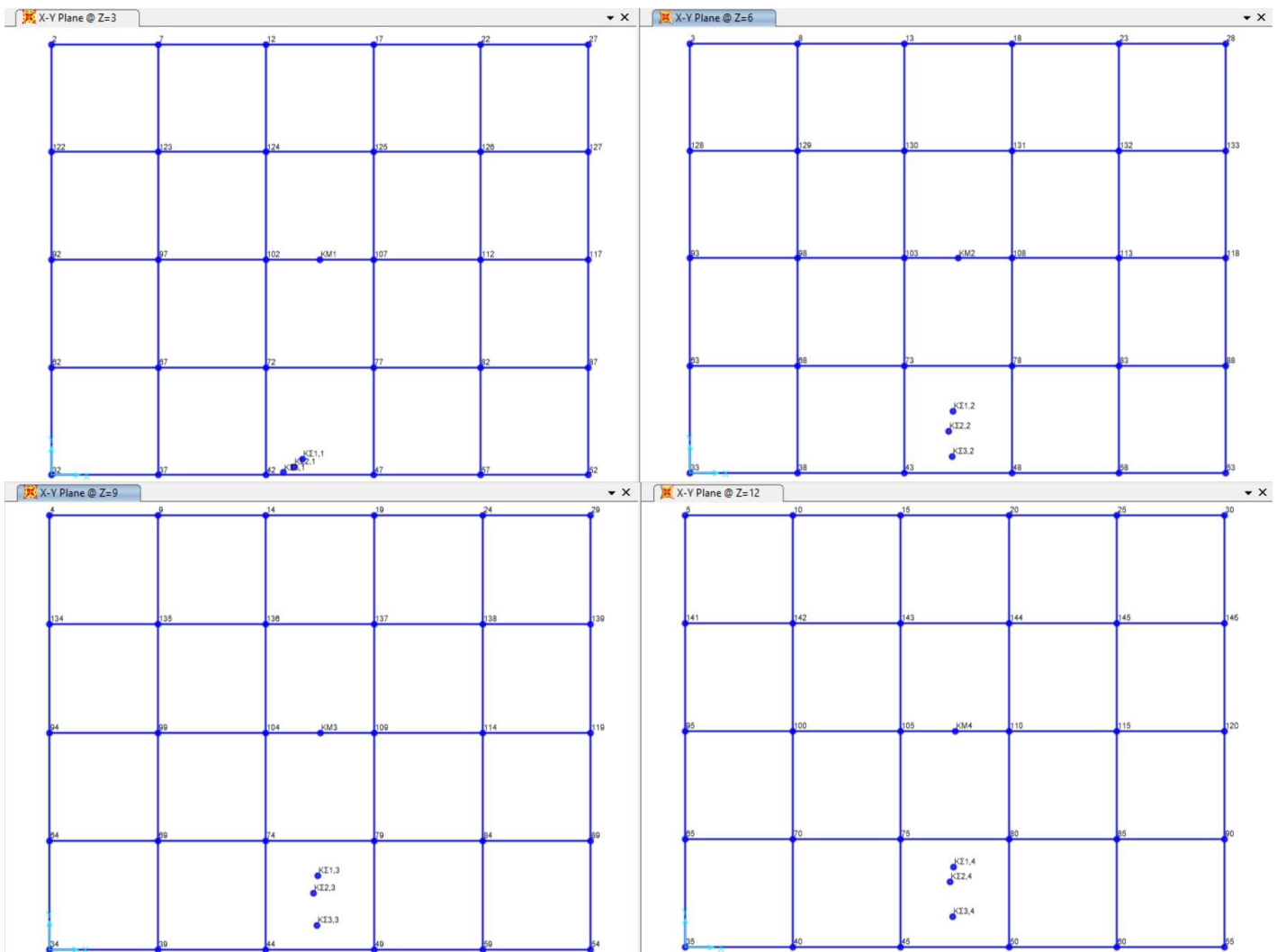
Εικόνα 56. Απομειωμένα Ε διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 58)



Εικόνα 57. Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 58)

Μεταβολή θέσης και πορεία Κέντρου Στροφής στην Ανελαστική Ανάλυση

Στην Εικόνα 58 ακολουθούν οι θέσεις και οι συντεταγμένες του Κέντρου Στροφής στα τρία βήματα ενδιαφέροντος.



*Εικόνα 58. Θέσεις Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία χαρακτηρισικά βήματα*



Στην Εικόνα61 βρίσκονται πινακοποιημένα τα ποσοστά μεταβολής των θέσεων του Κέντρου Στροφής μεταξύ των βημάτων και για κάθε όροφο ξεχωριστά, ενώ στην Εικόνα62 παρατηρούμε τα ποσοστά μεταβολής των θέσεων του κέντρου στροφής μεταξύ των ορόφων για κάθε βήμα ξεχωριστά.

ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤ'Α Χ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤ'Α Υ		
ΒΗΜΑ 0-ΔΙΑΡΡΟΗ	ΒΗΜΑ 0-ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	ΒΗΜΑ 0-ΔΙΑΡΡΟΗ	ΒΗΜΑ 0-ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	
Z=3	1,633%	3,433%	1,8333%	3,208%
Z=6	0,822%	0,055%	4,760%	10,552%
Z=9	0,846%	0,113%	4,068%	11,401%
Z=12	0,753%	0,219%	3,505%	11,463%

**Εικόνα 61.** Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα

	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤ'Α Χ ΑΠΟ ΟΡΟΦΟ ΣΕ ΟΡΟΦΟ			ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤ'Α Υ ΑΠΟ ΟΡΟΦΟ ΣΕ ΟΡΟΦΟ		
	ΒΗΜΑ 0	ΔΙΑΡΡΟΗ	ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	ΒΗΜΑ 0	ΔΙΑΡΡΟΗ	ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=3 ΜΕ Z=6	2,255%	3,067%	5,633%	10,677%	7,750%	3,333%
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=6 ΜΕ Z=9	0,591%	0,567%	0,533%	2,558%	3,250%	1,708%
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=9 ΜΕ Z=12	0,240%	0,333%	0,133%	1,562%	2,125%	1,500%

**Εικόνα 62.** Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο



## Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

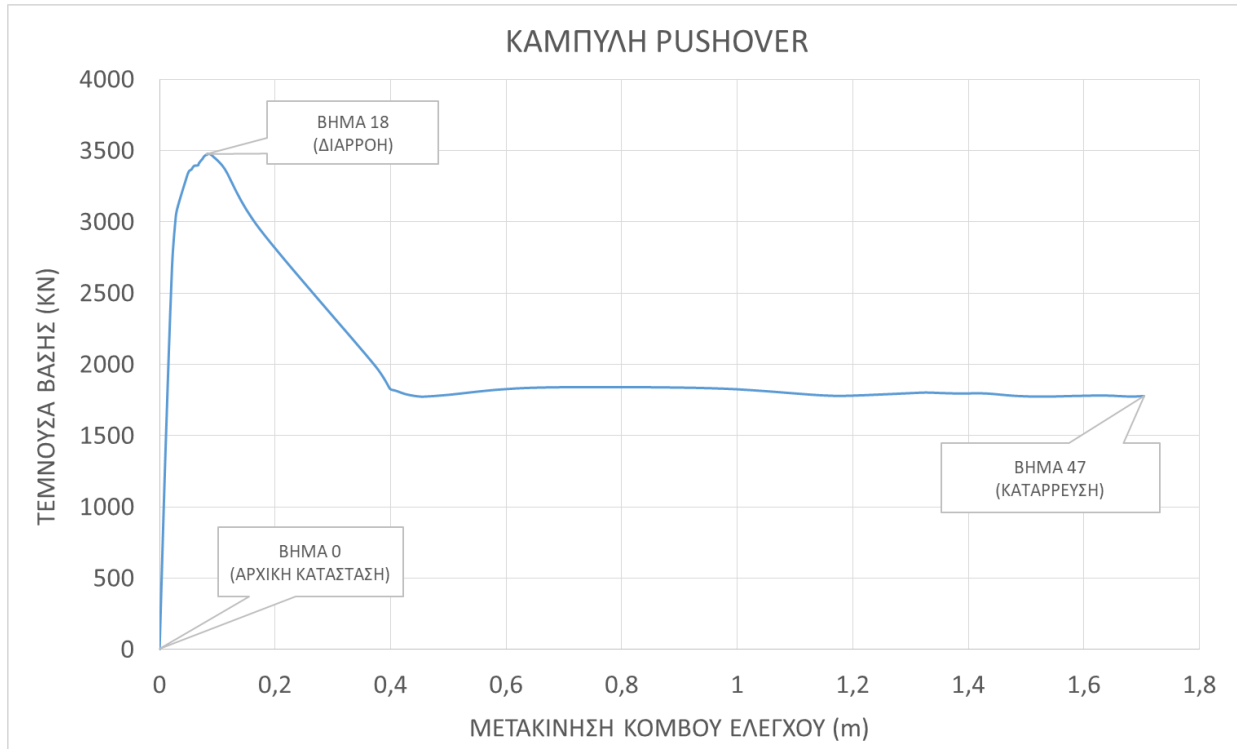
Όπως και στο μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ έτσι και εδώ παρατηρούμε τη δημιουργία εύκαμπτης και δύσκαμπτης πλευράς στον φορέα. Τα κατακόρυφα στοιχεία που είναι απομακρυσμένα από τα τοιχώματα εισέρχονται πρώτα στη διαρροή και διαρρέουν ταχύτερα στο πέρασ της ανάλυσης καθώς η δυσκαμψία είναι συγκεντρωμένη στα τοιχώματα τα οποία και διαρρέουν στη βάση τους αργότερα. Μόνο όταν πλέον τα στοιχεία της εύκαμπτης πλευράς έχουν χάσει το μεγαλύτερο μέρος της δυσκαμψίας τους (σημείο E στην ιδεατή καμπύλη της διατομής τους), τότε και η διαρροή των τοιχωμάτων και γενικότερα των στοιχείων της δύσκαμπτης πλευράς γίνεται ταχύτερη και οδηγεί τελικά στην κατάρρευση του φορέα.

Στην Εικόνα58 και Εικόνα59 παρατηρούμε πως η πορεία των Κέντρων Στροφής είναι παρόμοια με του προηγούμενου παραδείγματος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως κατά τη διεύθυνση X τα Κέντρα Στροφής βρίσκονται στο πρώτο μισό ( $< 15$  m) καθώς έλκονται εντονότερα από τα τοιχώματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου παράλο που στο δεύτερο μισό της διεύθυνσης X υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα τοιχωμάτων συνολικά στον φορέα. Μάλιστα όπως φαίνεται και στην Εικόνα60 στη μετάβαση από την Αρχική Φάση στη Φάση Διαρροής το Κέντρο Στροφής στις στάθμες  $Z=3$  m,  $Z=6$  m,  $Z=9$  m κινείται προς τα αριστερά ενώ το μικρότερο ποσοστό μείωσης των δυσκαμψιών παρατηρείται προς τα δεξιά.

Τέλος στην Εικόνα62 παρατηρούμε πως η μεταβολή της θέσης του Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο είναι μεγαλύτερη στους κατώτερους ορόφους, συμπέρασμα που επίσης προκύπτει και από την Εικόνα52 του προηγούμενου παραδείγματος. Πράγματι η θέση του Κέντρου Στροφής των κατώτερων ορόφων μεταβάλλεται με μεγαλύτερη ευκολία ενώ στους ανώτερους ορόφους η θέση αυτή τείνει να σταθεροποιηθεί, μένοντας ανεπηρέαστη από αιτίες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τη μετακίνησή του.

## ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Η Καμπύλη Pushover που προέκυψε ακολουθεί την παρακάτω μορφή.



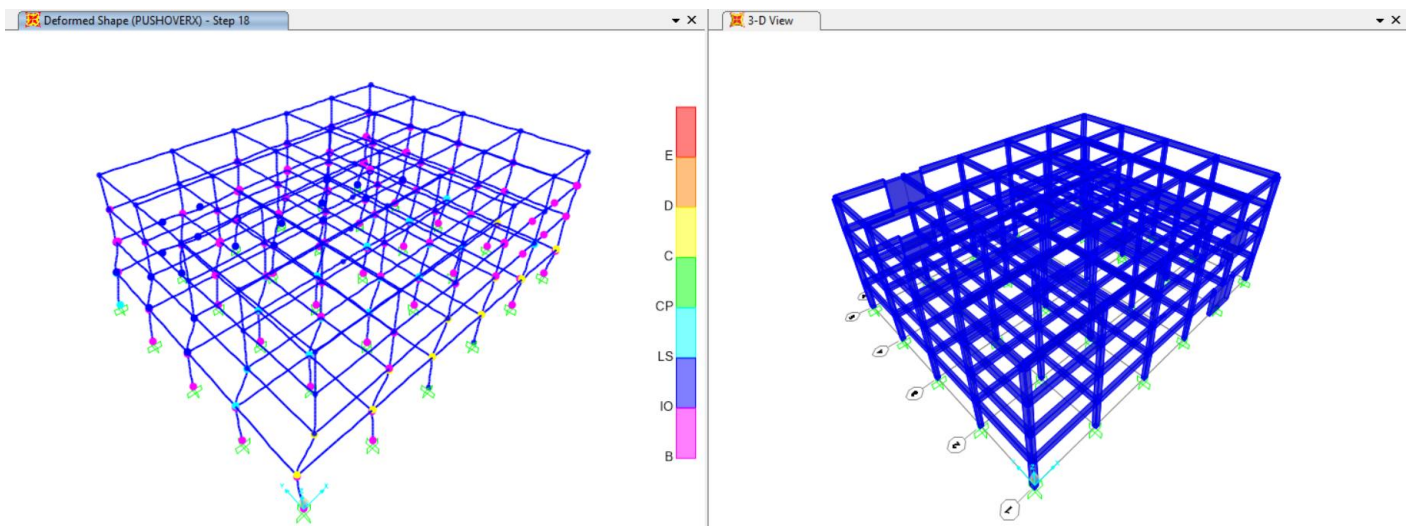
**Εικόνα 63.** Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

### ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 18)

Στην Εικόνα 64 και Εικόνα 66 παρουσιάζονται τα απομειωμένα  $E$  των στοιχείων του φορέα στα βήματα διαρροής και κατάρρευσης αντίστοιχα και στη συνέχεια στην Εικόνα 65 και Εικόνα 67 η παραμορφωσιακή του κατάσταση στα βήματα αυτά.

STEP 18 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)								A TO B			
								B TO C			
								C TO D			
								D TO E			
								>E			
Z=3	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=6	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=9	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=12	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)
	28	25,03		27	9,87		26	29		25	29
	29	26,79		30	9,23		31	27,00		32	29
	33	29		34	9,52		35	28,46		36	29
	37	29		46	9,19		47	23,65		48	27,87
	45	27,75		38	9,84		39	29		40	29
	44	26,91		43	9,45		42	27,71		41	29
	49	23,63		50	11,29		51	29		52	29
	53	21,83		54	10,32		55	26,61		56	29
	57	24,49		58	10,59		59	27,56		60	29
	61	25,22		62	10,72		63	27,32		64	29
	65	22,73		66	10,54		67	27,20		68	29
	69	21,39		70	10,66		71	28,25		72	29
	73	19,55		74	12,74		75	29		76	29
	77	18,52		78	11,47		79	25,75		80	29
	81	19,92		82	11,80		83	26,66		84	29
	85	20,13		86	11,89		87	26,67		88	29
	89	19,15		90	11,66		91	26,16		92	29
	93	18,54		94	11,87		95	27,67		96	29
	296	16,47		297	14,32		298	28,44		299	29
	300	15,88		301	13,20		302	25,72		303	29
	304	16,39		305	13,08		306	25,55		307	29
	308	16,55		309	13,30		310	25,86		311	29
	312	15,90		313	12,99		314	25,23		315	29
	316	15,90		317	13,47		318	27,10		319	29
	320	12,15		174	12,81		132	21,82		108	29
	5	18,09		6	29		7	24,99		8	29
	9	13,56		10	14,13		11	22,99		12	29
	13	13,66		14	14,95		15	24,85		16	29
	17	13,49		18	14,26		19	23,96		20	29
	324	14,39		323	16,40		322	26,62		321	29

Εικόνα 64. Απομειωμένα E διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ18)

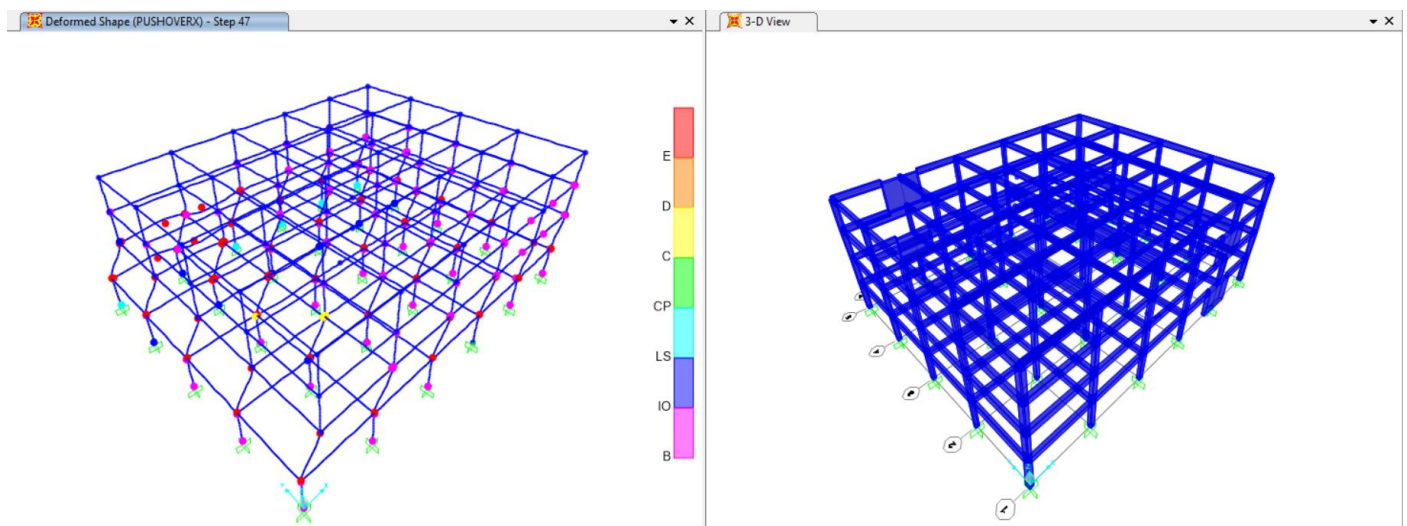


Εικόνα 65. Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 18)

ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 47)

STEP 47 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)								A TO B			
								B TO C			
								C TO D			
								D TO E			
								>E			
Z=3	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=6	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=9	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=12	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)
28		24,50	27		2,09	26		29	25		29
29		26,73	30		1,70	31		27,49	32		29
33		28,75	34		1,69	35		27,57	36		29
37		29	46		1,69	47		23,57	48		27,86
45		27,62	38		1,72	39		29	40		29
44		26,19	43		2,09	42		27,63	41		29
49		22,30	50		1,72	51		29	52		29
53		12,02	54		1,68	55		14,10	56		29
57		22,30	58		1,67	59		27,25	60		29
61		24,07	62		1,68	63		27,22	64		29
65		21,69	66		1,70	67		26,91	68		29
69		20,24	70		1,75	71		28,02	72		29
73		18,03	74		1,72	75		29	76		29
77		9,28	78		1,68	79		13,44	80		29
81		17,86	82		1,68	83		26,51	84		29
85		18,62	86		1,68	87		26,55	88		29
89		17,74	90		1,69	91		25,77	92		29
93		17,31	94		1,72	95		27,61	96		29
296		14,94	297		1,73	298		28,33	299		29
300		7,82	301		1,69	302		13,03	303		29
304		14,68	305		1,68	306		25,15	307		29
308		14,96	309		1,68	310		25,57	311		29
312		14,54	313		1,69	314		25,00	315		29
316		14,65	317		1,72	318		27,08	319		29
320		11,08	174		2,02	132		20,00	108		29
5		7,49	6		29	7		15,38	8		29
9		12,32	10		1,68	11		22,85	12		29
13		12,39	14		1,70	15		24,53	16		29
17		12,30	18		1,71	19		23,70	20		29
324		13,62	323		2,15	322		26,60	321		29

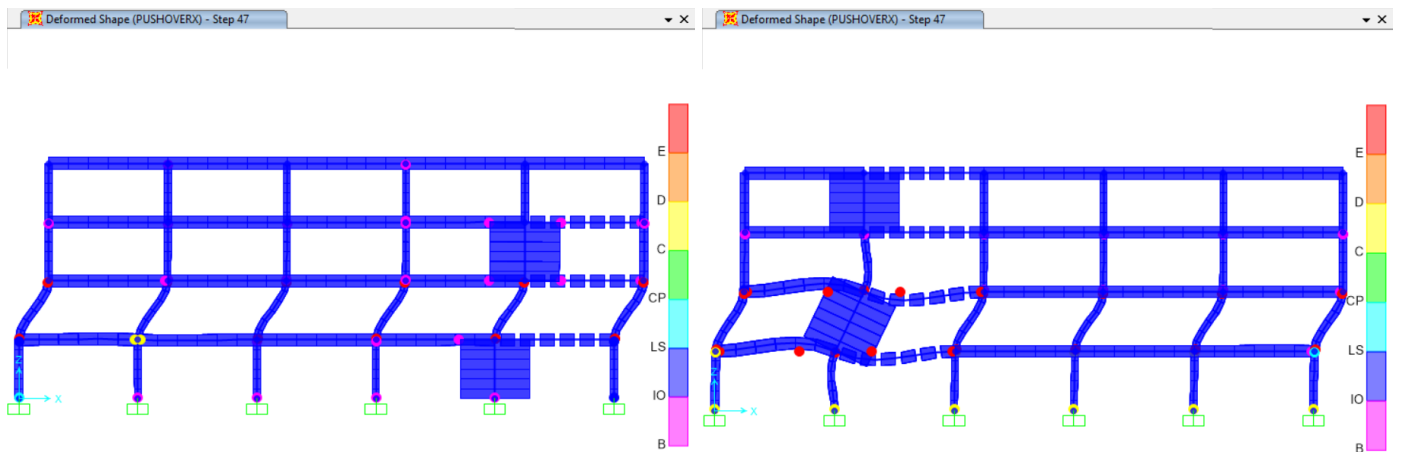
Εικόνα 66. Απομειωμένα E διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ47)



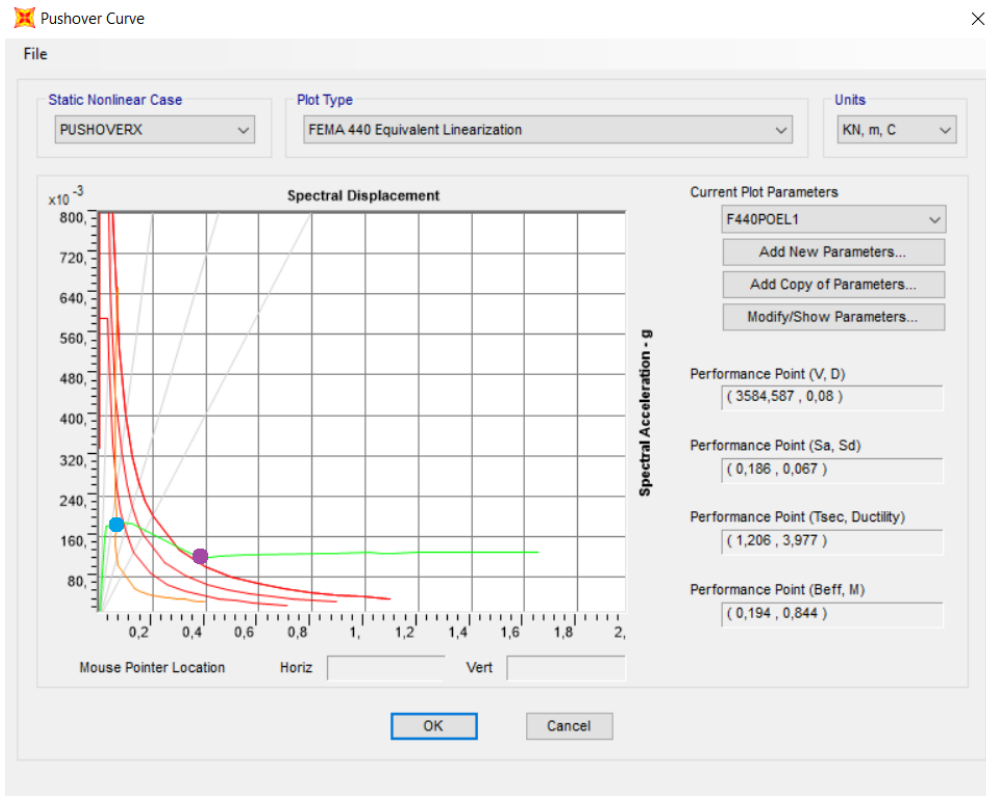
Εικόνα 67. Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 47)

Στην Εικόνα66 παρατηρούμε την εξάντληση της δυσκαμψίας των στοιχείων του δευτέρου ορόφου. Πρόκειται για σχηματισμό μαλακού ορόφου, κάτι που γίνεται εύκολα αντιληπτό στην Εικόνα67 και από τη σχετική μετακίνηση του δευτέρου ορόφου ως προς τον πρώτο. Το ερώτημα που αμέσως γεννάται είναι γιατί το

φαινόμενο αυτό εμφανίζεται στον δεύτερο όροφο και όχι στον κατώτερο όροφο όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των περιπτώσεων εμφάνισης μαλακού ορόφου. Η εικόνα του παραμορφωμένου φορέα που παίρνουμε στη βήμα της κατάρρευσης (ΒΗΜΑ 47) στις στάθμες  $Y=0$  και  $Y=24$  όπου εμφανίζονται και τα τοιχώματα είναι η παρακάτω.



Παρατηρούμε πως στην περιοχή γύρω από το τοίχωμα του δεύτερου ορόφου και συγκεκριμένα στις γειτονικές δοκούς έχει αναπτυχθεί έντονη στροφή περί τον άξονα Z και η δυσκαμψία τους έχει εξαντληθεί. Η σύνδεση μέσω πάκτωσης που υπάρχει μεταξύ του τοιχώματος του πρώτου ορόφου και του εδάφους απαγορεύει στο τοίχωμα αυτό να στρίψει, γεγονός που οδηγεί την εμφάνιση του παραπάνω τοπικού φαινομένου στο τοίχωμα του δεύτερου ορόφου. Σε αυτό το σημείο να υπογραμμίσουμε πως το παραπάνω φαινόμενο εμφανίζεται σε προχωρημένο στάδιο της καμπύλης pushover (ΒΗΜΑ 23) όταν πλέον έχουμε εντοπίσει το σημείο επιτελεσματικότητας σε προηγούμενο βήμα (ΒΗΜΑ 15). Επίσης έχουμε εξασφαλίσει πως η τέμνουσα βάσης ξεπερνά την τιμή του μη ενισχυμένου φορέα και όπως θα δούμε και σε επόμενη παράγραφο η παραμορφωσιακή κατάσταση του μοντέλου είναι ευμενέστερη από του μη ενισχυμένου φορέα.



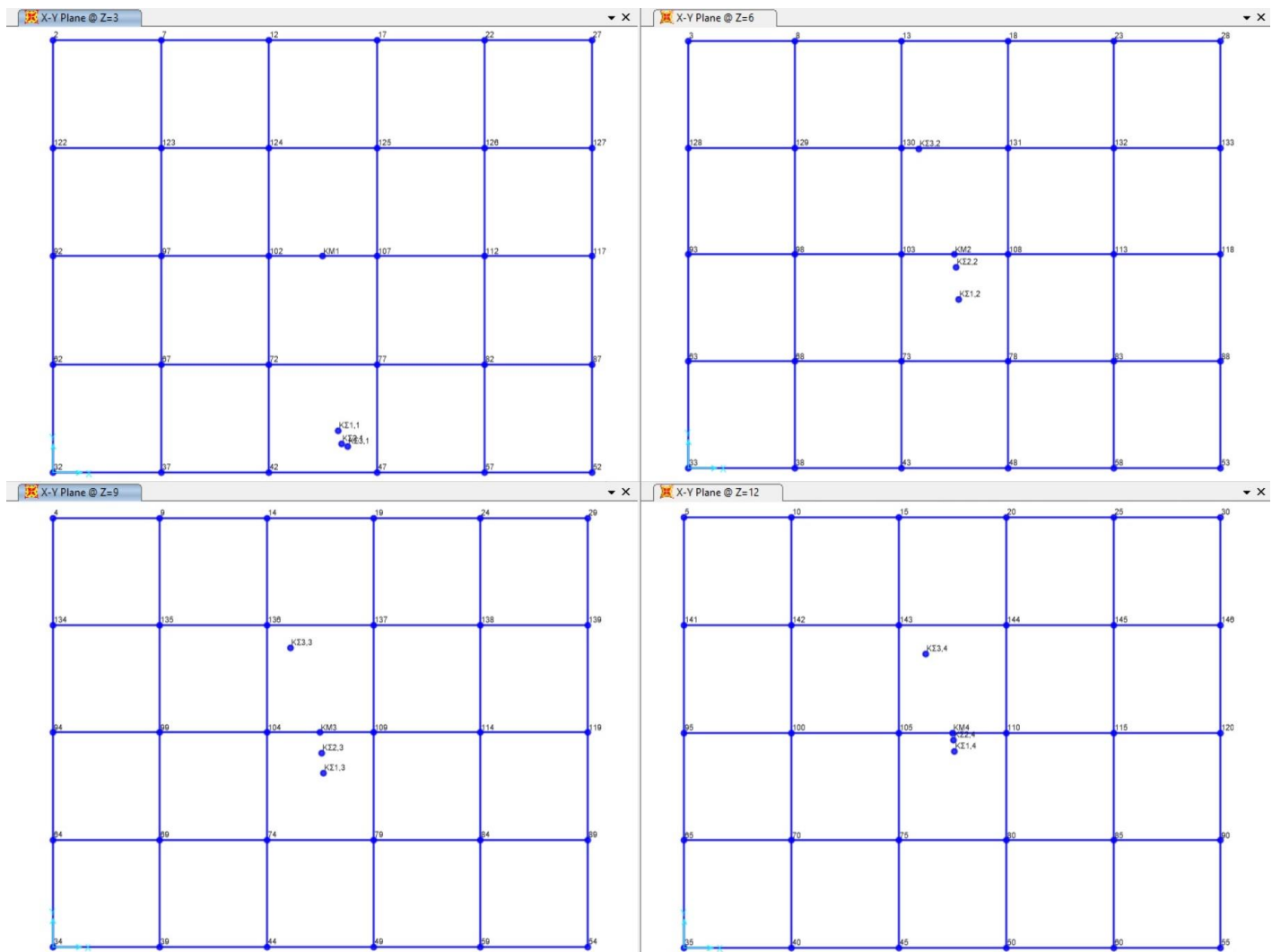
**Εικόνα 68.** Σημείο επιτελεστικότητας και σημείο εμφάνισης του τοπικού φαινομένου

Σημείο επιτελεστικότητας : ●

Σημείο εμφάνισης τοπικού φαινομένου : ●

Ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού θα ήταν μια αυξημένη διατομή δοκού στις γειτονικές δοκούς του τοιχώματος και ο αύξηση του διαμήκη σπλισμού τους.

Μεταβολή θέσης και πορεία Κέντρου Στροφής στην Ανελαστική Ανάλυση



**Εικόνα 69.** Θέσεις Κέντρου Στροφής ανά όροφο στα τρία βήματα ενδιαφέροντος





Στην Εικόνα71 βρίσκονται πινακοποιημένα τα ποσοστά μεταβολής των θέσεων του Κέντρου Στροφής μεταξύ των βημάτων και για κάθε όροφο ξεχωριστά, ενώ στην Εικόνα72 παρατηρούμε τα ποσοστά μεταβολής των θέσεων του κέντρου στροφής μεταξύ των ορόφων για κάθε βήμα ξεχωριστά.

	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Χ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Υ	
	ΒΗΜΑ 0-ΔΙΑΡΡΟΗ	ΒΗΜΑ 0-ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	ΒΗΜΑ 0-ΔΙΑΡΡΟΗ	ΒΗΜΑ 0-ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ
Z=3	0,667%	1,900%	3,0417%	3,667%
Z=6	0,500%	7,500%	3,042%	35,292%
Z=9	0,367%	6,133%	4,708%	29,208%
Z=12	0,233%	5,267%	2,542%	22,625%

**Εικόνα 72.** Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα

	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Χ ΑΠΟ ΟΡΟΦΟ ΣΕ ΟΡΟΦΟ			ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΣΗΣ Κ.Σ. ΚΑΤΑ Υ ΑΠΟ ΟΡΟΦΟ ΣΕ ΟΡΟΦΟ		
	ΒΗΜΑ 0	ΔΙΑΡΡΟΗ	ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	ΒΗΜΑ 0	ΔΙΑΡΡΟΗ	ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=3 ΜΕ Z=6	2,033%	3,200%	11,433%	29,667%	40,292%	68,625%
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=6 ΜΕ Z=9	0,100%	0,033%	1,267%	1,125%	1,750%	4,958%
ΣΥΓΚΡΙΣΗ Z=9 ΜΕ Z=12	0,300%	0,167%	0,567%	5,125%	2,958%	1,458%

**Εικόνα 73.** Ποσοστό μεταβολής θέσης Κέντρου Στροφής από όροφο σε όροφο

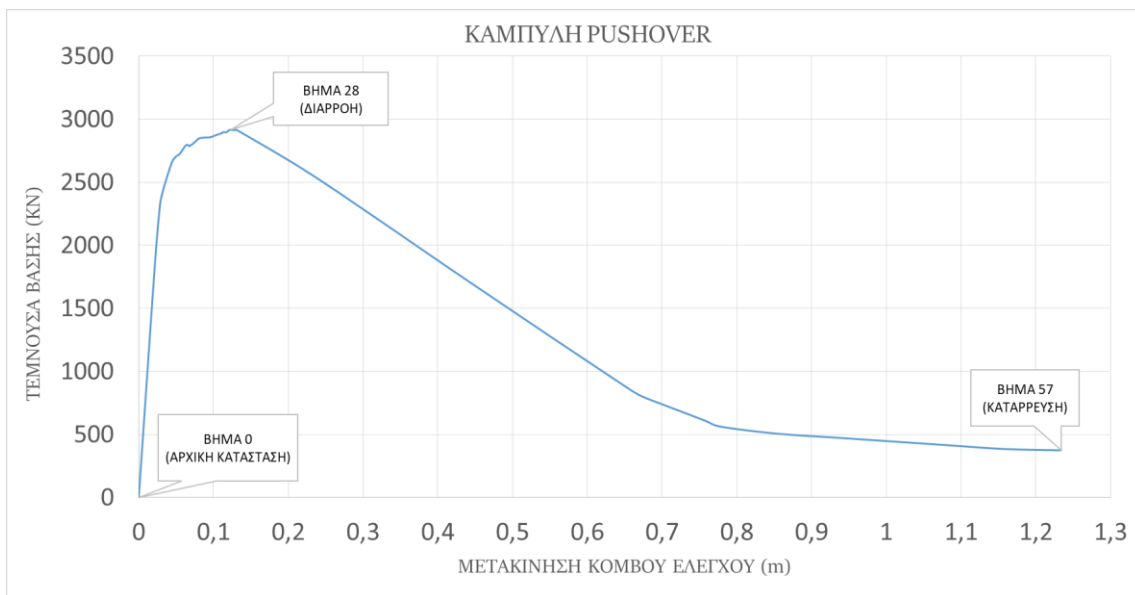
## Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία του Κέντρου Στροφής ανά όροφο στην Εικόνα69. Στον 1<sup>ο</sup> όροφο η πορεία είναι αναμενόμενη καθώς η δημιουργία εύκαμπτης πλευράς έναντι του τοιχώματος οδηγεί στην «έλξη» του Κέντρου Στροφής από τη δύσκαμπτη πλευρά. Στον 2<sup>ο</sup> όροφο παρατηρούμε πως οι δυσκαμψίες των εναλλάξ τοιχωμάτων σε 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> όροφο «αλληλοεξουδετερώνονται» και οδηγούν τα σημεία ΚΣ1,2 και ΚΣ2,2 στο κέντρο του κτιρίου. Η ισόποση όμως εξάντληση των δυσκαμψιών όλων των κατακόρυφων στοιχείων του 2<sup>ου</sup> ορόφου από το βήμα της διαρροής και έπειτα οδηγεί στην έντονη έλξη του ΚΣ3,2 από το τοίχωμα καθώς είναι το μόνο κατακόρυφο στοιχείο του ορόφου όπως διακρίνουμε και στην Εικόνα66 που διατηρεί τη δυσκαμψία του μέχρι την κατάρρευση. Στον 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> όροφο παρατηρούμε παρόμοια πορεία του Κέντρου Στροφής με αυτή του 2<sup>ου</sup> καθώς το γεγονός της εξάντλησης της δυσκαμψίας των στοιχείων του 2<sup>ου</sup> ορόφου (εκτός του τοιχώματος) έχει δημιουργήσει μια απόλυτα δύσκαμπτη πλευρά και μια απόλυτα εύκαμπτη πλευρά και υπερτερεί οποιασδήποτε εμφάνισης μικρής ανισομερής απομόιωσης των διατομών 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου. Η ιδιαίτερη αυτή πορεία του Κέντρου Στροφής 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου επιβεβαιώνεται και στην Εικόνα71 καθώς στη στάθμη Z=9 το Κέντρο Στροφής κινείται άνω αριστερά παρόλο που στις κατευθύνσεις αυτές (ΑΝΩ και ΑΡΙΣΤΕΡΑ) παρατηρούμε τα μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης. Στην Εικόνα 72 και Εικόνα 73 παρατηρούμε την εμφάνιση μεγάλων ποσοστών μεταβολής της θέσης του Κέντρου Στροφής από βήμα σε βήμα αλλά και από όροφο σε όροφο.

Βλέποντας τη γενικότερη εικόνα των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου μοντέλου διαπιστώνουμε πως η έρεση του Κέντρου Στροφής και η μεταβολή της θέσης του είναι ένα πρόβλημα πολυδιάστατο, εξαρτάται από πολλαπλούς και σύνθετους παράγοντες και δεν μπορούμε να προδικάσουμε το αποτέλεσμα ακόμα και αν γνωρίζουμε τον τρόπο που κατανέμεται η δυσκαμψία στον φορέα και τη θέση που αυτή είναι συγκεντρωμένη σε κάθε όροφο. Το συμπέρασμα αυτό έρχεται σε σύγκρουση με τον τρόπο που υιοθετεί ο ελληνικός κανονισμός (Παρ 3.3.3 ΕΑΚ) περί εύρεσης ενός βέλτιστου άξονα στρέψης ο οποίος αποκαλείται «Πλασματικός Ελαστικός Άξονας». Και αυτό γιατί ο συγκεκριμένος τρόπος προσέγγισης του προβλήματος δεν λαμβάνει υπόψιν του τα πιθανά τοπικά φαινόμενα ή πιθανές σύνθετες αιτίες από τις οποίες θα προκύψει πιθανώς μια τελείως διαφορετική θέση και πορεία του Κέντρου Στροφής.

ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Η Καμπύλη Pushover που προέκυψε ακολουθεί την παρακάτω μορφή.

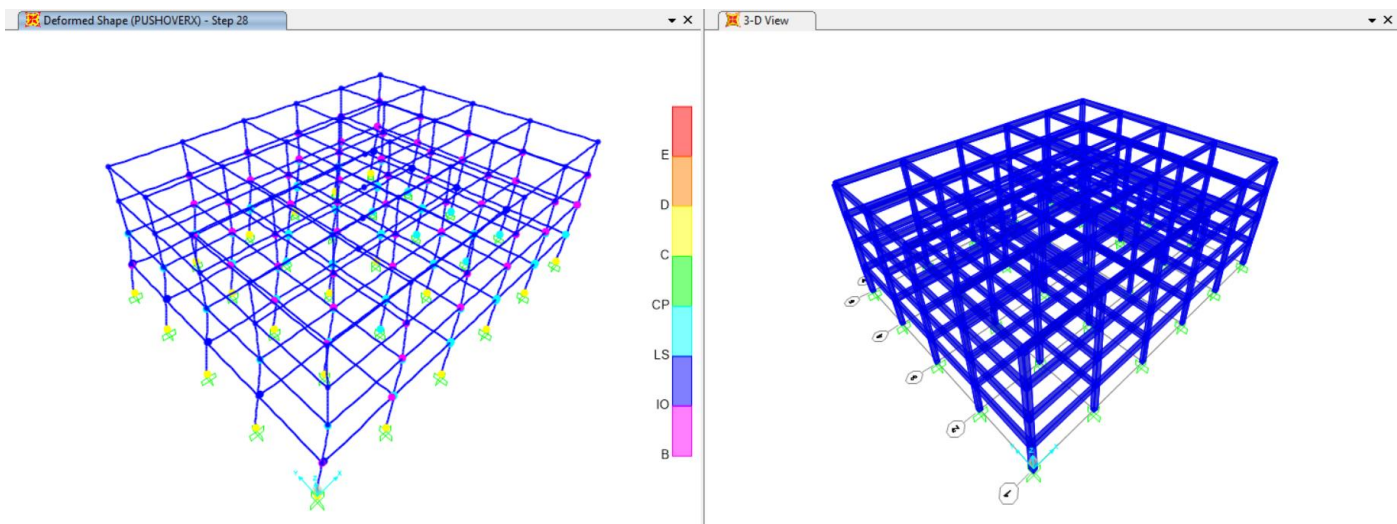


Εικόνα 74. Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 28)

STEP 28 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)								A TO B	
Z=3		Z=6		Z=9		Z=12		B TO C	
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	C TO D	
28	19,31	27	20,10	26	29	25	29	D TO E	
29	9,91	30	10,03	31	25,47	32	29	>E	
33	10,02	34	10,28	35	26,33	36	29		
37	10,00	46	10,00	47	26,34	48	29		
45	9,95	38	10,13	39	25,62	40	29		
44	19,33	43	20,19	42	28,62	41	29		
49	19,36	50	20,20	51	29	52	29		
53	10,05	54	10,28	55	26,28	56	29		
57	10,44	58	10,59	59	27,16	60	29		
61	10,24	62	10,24	63	27,13	64	29		
65	10,23	66	10,23	67	26,54	68	29		
69	19,58	70	19,58	71	28,85	72	29		
73	19,37	74	20,24	75	29	76	29		
77	10,20	78	10,36	79	26,35	80	29		
81	10,22	82	10,46	83	27,15	84	29		
85	10,23	86	10,43	87	27,10	88	29		
89	10,37	90	10,51	91	26,73	92	29		
93	19,49	94	20,11	95	28,87	96	29		
296	19,39	297	20,25	298	29	299	29		
300	10,11	301	10,31	302	26,45	303	29		
304	10,33	305	10,57	306	27,26	307	29		
308	10,29	309	10,48	310	27,22	311	29		
312	10,38	313	10,50	314	26,66	315	29		
316	19,55	317	20,14	318	28,91	319	29		
320	19,27	174	20,20	132	29	108	29		
5	9,98	6	10,16	7	25,69	8	29		
9	10,10	10	10,45	11	26,62	12	29		
13	10,11	14	10,44	15	26,57	16	29		
17	10,06	18	10,32	19	25,88	20	29		
324	19,37	323	20,25	322	28,64	321	29		

Εικόνα 75. Απομειωμένα E διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 28)

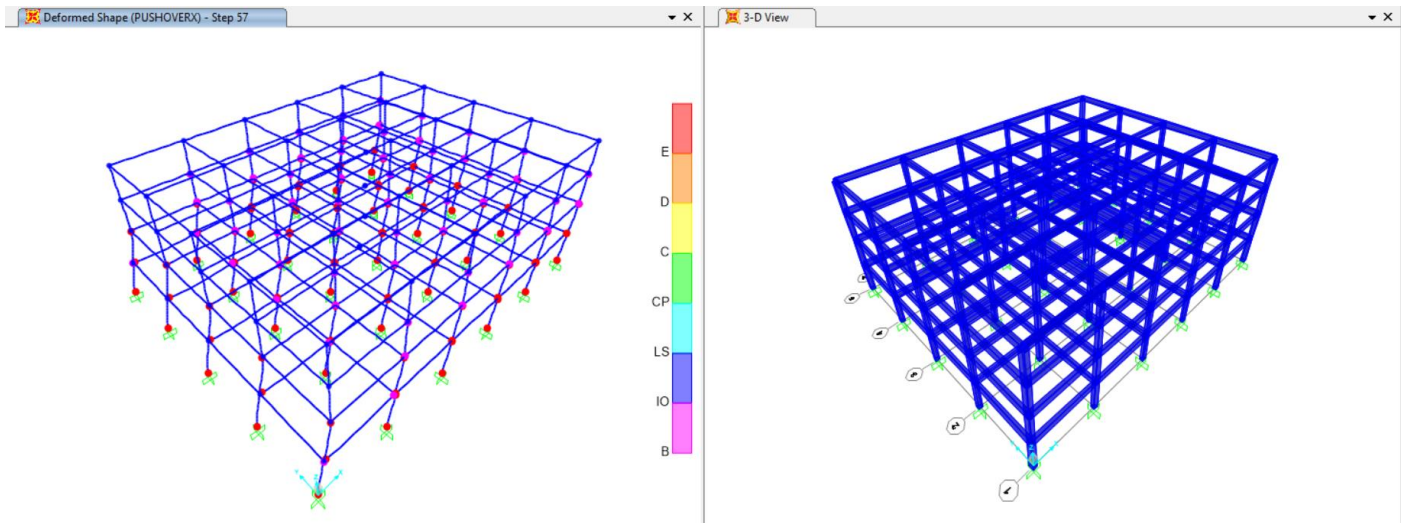


Εικόνα 76. Αλεκόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 28)

ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 57)

STEP 57 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)								A TO B				
Z=3	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=6	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=9	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Z=12	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	B TO C
	28	15,24		27	15,51		26	29		25	29	C TO D
	29	1,68		30	1,69		31	25,43		32	29	D TO E
	33	1,68		34	1,69		35	26,32		36	29	>E
	37	1,68		46	1,68		47	26,32		48	29	
	45	1,68		38	1,69		39	25,60		40	29	
	44	15,50		43	15,51		42	28,62		41	29	
	49	15,33		50	15,33		51	29		52	29	
	53	1,67		54	1,67		55	26,26		56	29	
	57	1,68		58	1,68		59	27,15		60	29	
	61	1,68		62	1,68		63	27,12		64	29	
	65	1,67		66	1,67		67	26,53		68	29	
	69	15,34		70	15,34		71	28,85		72	29	
	73	15,33		74	15,34		75	29		76	29	
	77	1,68		78	1,67		79	26,33		80	29	
	81	1,67		82	1,68		83	27,15		84	29	
	85	1,68		86	1,68		87	27,09		88	29	
	89	1,67		90	1,67		91	26,72		92	29	
	93	15,33		94	15,33		95	28,87		96	29	
	296	15,34		297	15,33		298	29		299	29	
	300	1,67		301	1,67		302	26,44		303	29	
	304	1,67		305	1,67		306	27,25		307	29	
	308	1,68		309	1,67		310	27,21		311	29	
	312	1,67		313	1,67		314	26,66		315	29	
	316	15,34		317	15,34		318	28,91		319	29	
	320	15,29		174	15,51		132	29		108	29	
	5	1,68		6	1,69		7	25,67		8	29	
	9	1,67		10	1,69		11	26,61		12	29	
	13	1,68		14	1,69		15	26,56		16	29	
	17	1,69		18	1,69		19	25,87		20	29	
	324	15,50		323	15,51		322	28,63		321	29	

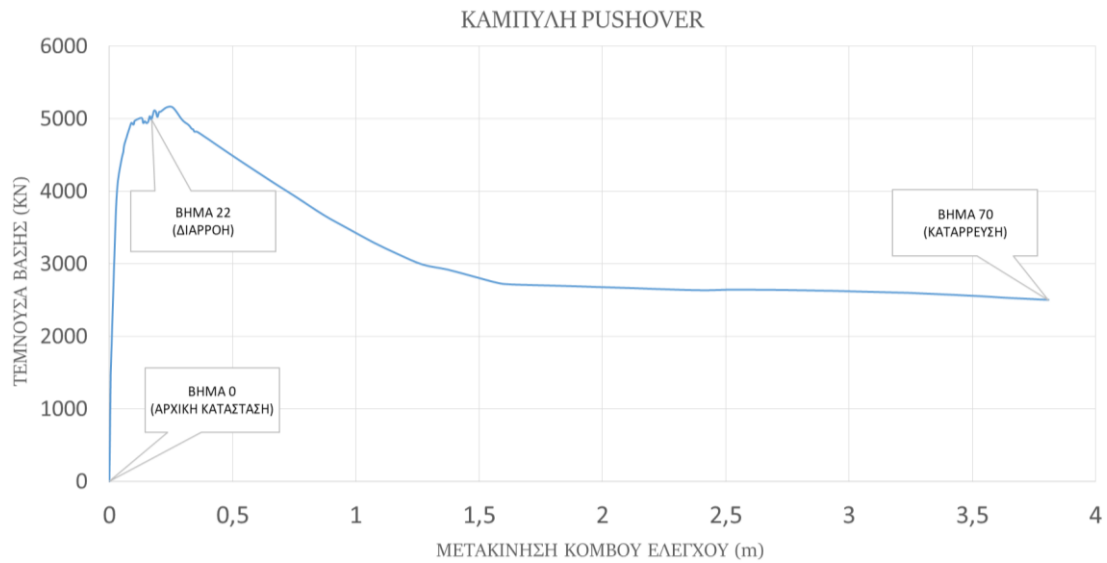
Εικόνα 77. Απομειωμένα E διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 57)



*Εικόνα 78. Αλεκόνιση φορέα στην Κατάρρευση(ΒΗΜΑ 57)*

ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Η Καμπύλη Pushover που προέκυψε ακολουθεί την παρακάτω μορφή.

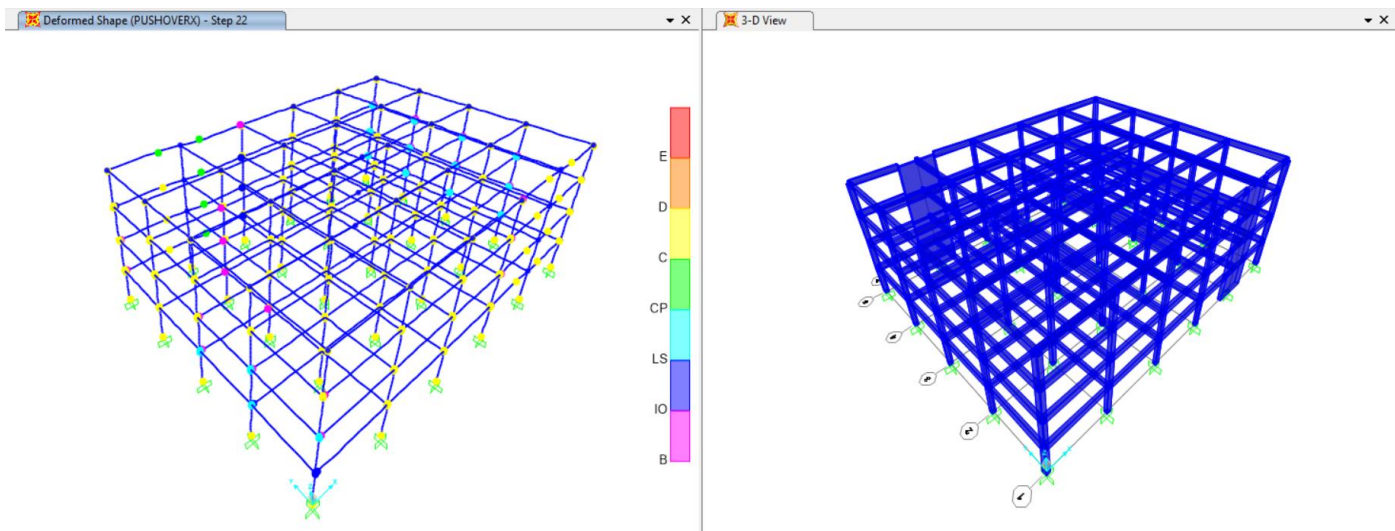


Εικόνα 79. Καμπύλη PUSHOVER για το μοντέλο ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (ΒΗΜΑ 22)

STEP 22 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)							
Z=3		Z=6		Z=9		Z=12	
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ Ε (Gpa)
28	13,14	27	15,13	26	14,47	25	13,28
29	11,25	30	11,27	31	11,32	32	11,02
33	11,95	34	12,54	35	12,53	36	12,11
37	10,34	46	9,65	47	9,62	48	9,44
45	19,69	38	29	39	29	40	29
44	20,09	43	29	42	29	41	18,77
49	13,42	50	14,76	51	14,08	52	13,38
53	11,82	54	11,68	55	11,60	56	11,48
57	12,00	58	12,26	59	12,39	60	11,93
61	11,82	62	11,86	63	11,93	64	11,51
65	12,05	66	12,42	67	12,67	68	12,20
69	20,36	70	29	71	26,46	72	17,62
73	12,97	74	14,20	75	14,15	76	13,50
77	12,16	78	12,04	79	11,90	80	11,73
81	12,15	82	12,42	83	12,68	84	12,06
85	12,32	86	12,35	87	12,41	88	11,95
89	12,01	90	12,23	91	12,44	92	11,90
93	20,43	94	28,84	95	25,58	96	17,24
296	13,05	297	14,05	298	14,12	299	13,37
300	12,81	301	12,92	302	12,54	303	12,39
304	12,38	305	12,52	306	12,53	307	12,18
308	12,60	309	12,68	310	12,62	311	12,25
312	12,31	313	12,40	314	12,56	315	12,09
316	20,59	317	29	318	26,20	319	17,85
320	11,00	174	11,02	132	11,97	108	10,94
5	20,06	6	29	7	29	8	29
9	12,46	10	12,25	11	11,98	12	11,31
13	12,59	14	12,93	15	12,79	16	12,62
17	12,44	18	12,61	19	12,40	20	12,09
324	20,62	323	29	322	29	321	20,52

Εικόνα 80. Απομειωμένα E διατομών στη Διαρροή (ΒΗΜΑ22)

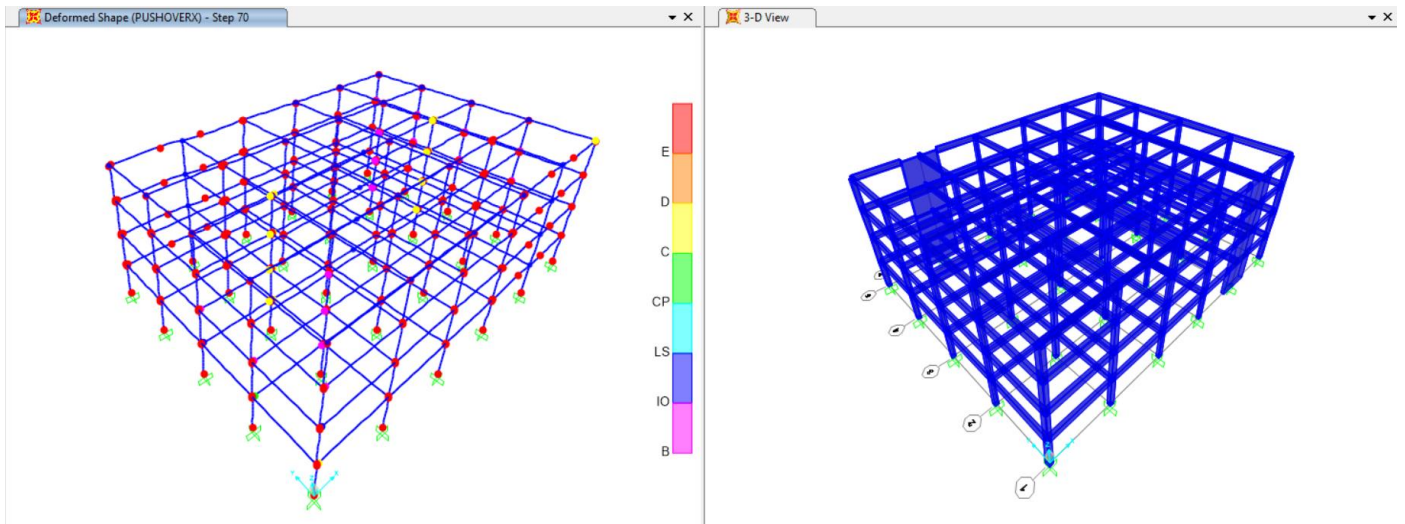


Εικόνα 81. Απεικόνιση φορέα στη Διαρροή (ΒΗΜΑ 22)

ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (ΒΗΜΑ 70)

STEP 70 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)								A TO B
								B TO C
								C TO D
								D TO E
								>E
Z=3		Z=6		Z=9		Z=12		
Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	Frame	ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΟ E (Gpa)	
28	2,01	27	2,02	26	2,02	25	2,02	
29	1,68	30	1,68	31	1,69	32	1,69	
33	1,67	34	1,68	35	1,68	36	1,69	
37	1,68	46	1,69	47	1,68	48	1,69	
45	17,65	38	29	39	29	40	29	
44	15,50	43	29	42	29	41	15,51	
49	1,67	50	1,68	51	1,68	52	1,68	
53	1,67	54	1,68	55	1,68	56	1,67	
57	1,67	58	1,67	59	1,67	60	1,67	
61	1,67	62	1,68	63	1,68	64	1,67	
65	1,73	66	1,80	67	1,83	68	1,75	
69	15,34	70	29	71	26,20	72	12,73	
73	1,68	74	1,68	75	1,68	76	1,68	
77	1,67	78	1,68	79	1,67	80	1,67	
81	1,67	82	1,67	83	1,67	84	1,68	
85	1,67	86	1,67	87	1,67	88	1,67	
89	1,67	90	1,68	91	1,67	92	1,67	
93	15,34	94	28,71	95	25,18	96	11,93	
296	1,68	297	1,69	298	1,69	299	1,68	
300	1,73	301	1,72	302	1,67	303	1,67	
304	1,67	305	1,68	306	1,68	307	1,68	
308	1,67	309	1,67	310	1,67	311	1,68	
312	1,67	313	1,67	314	1,67	315	1,68	
316	15,34	317	29	318	25,95	319	12,45	
320	2,00	174	2,01	132	2,01	108	2,01	
5	17,67	6	29	7	29	8	29	
9	1,67	10	1,69	11	1,69	12	1,68	
13	1,69	14	1,69	15	1,68	16	1,69	
17	1,68	18	1,69	19	1,69	20	1,69	
324	15,50	323	29	322	29	321	15,26	

Εικόνα 82. Απομειωμένα E διατομών στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ70)

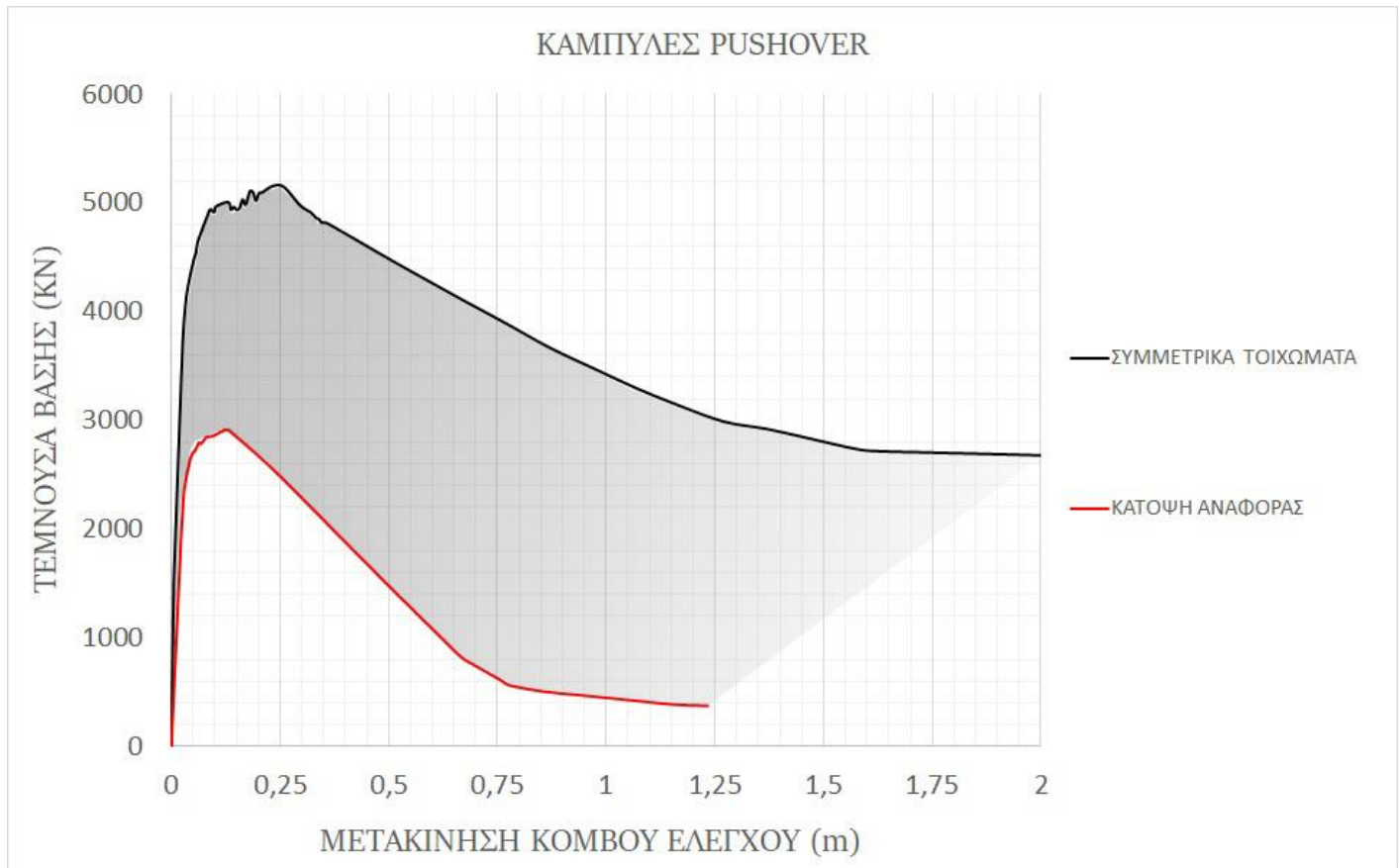


**Εικόνα 83.** Απεικόνιση φορέα στην Κατάρρευση (ΒΗΜΑ 70)



Συγκεντρωτική αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων περί το Κέντρο Στροφής

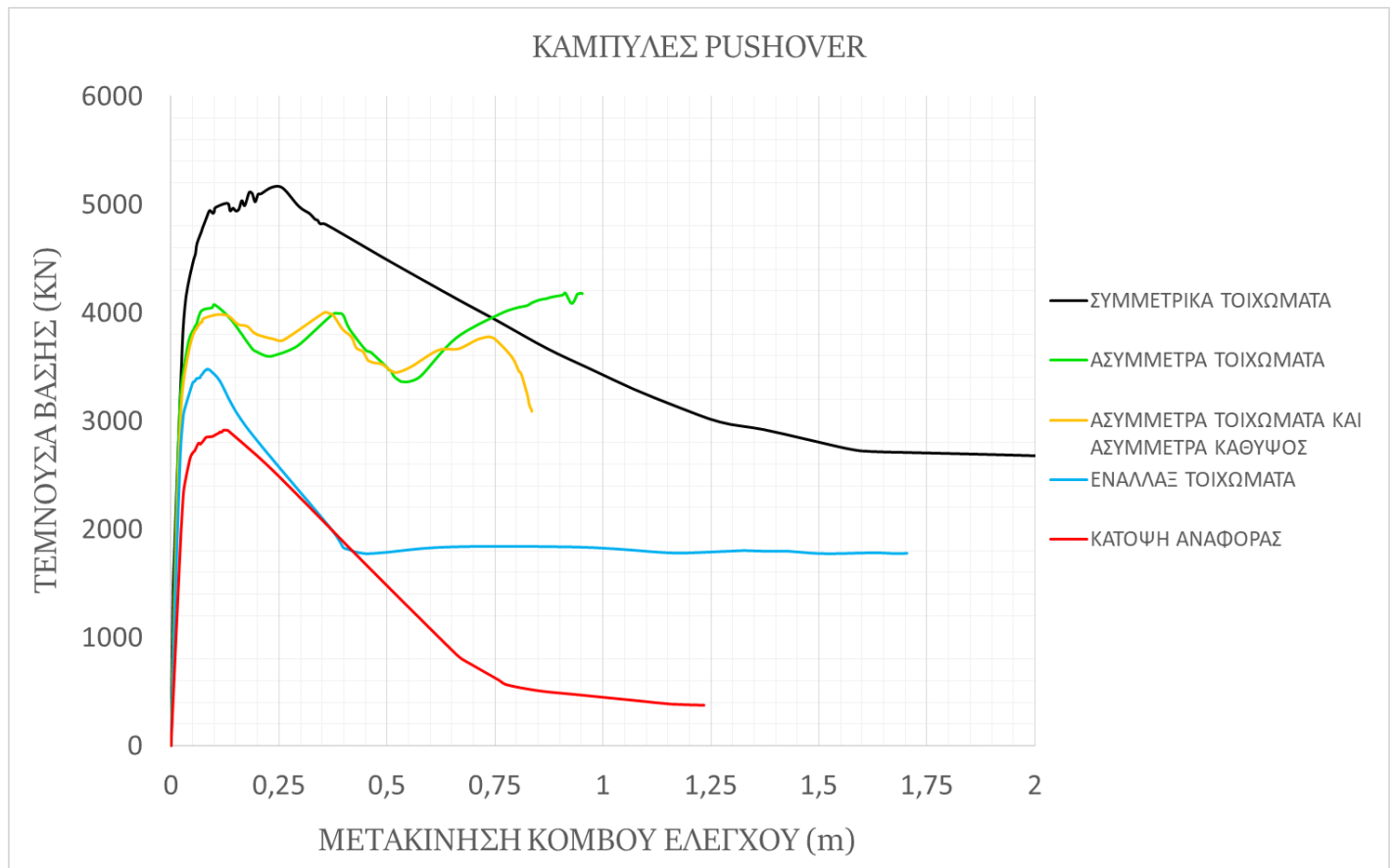
Στην Εικόνα 84 παρατηρούμε ότι η μέγιστη καμπύλη ανήκει στο μοντέλο ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ και η ελάχιστη καμπύλη στο μοντέλο ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ δημιουργώντας μια εικονική «περιβάλλουσα» στα όρια της οποίας αναμένεται να κινούνται οι καμπύλες των ασύμμετρα ενισχυμένων μοντέλων.



**Εικόνα 84.** Μέγιστη και Ελάχιστη καμπύλη PUSHOVER

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 85) όπου και παρουσιάζονται σε ένα ενιαίο διάγραμμα οι καμπύλες και των πέντε μοντέλων που εξετάστηκαν παρατηρούμε πως ο παραπάνω ισχυρισμός μας είναι αληθής καθώς οι καμπύλες των ασύμμετρα ενισχυμένων μοντέλων όντως κινούνται στα όρια της σκιασμένης ζώνης. Η εικόνα αυτή έρχεται να επιβεβαιώσει τις αρχικές μας σκέψεις πως ακραίες περιπτώσεις μη συμμετρικής ενίσχυσης ενός μοντέλου δεν μπορούν να παρουσιάσουν δυσμενέστερα αποτελέσματα από το αρχικό μη ενισχυμένο μοντέλο (ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ) αλλά και καλύτερα αποτελέσματα από το συμμετρικώς ενισχυμένο μοντέλο (ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ). Έτσι μπορούμε να ισχυριστούμε με βεβαιότητα πως η καμπύλη pushover οποιουδήποτε μοντέλου προκύπτει έπειτα από μη συμμετρική ενίσχυση του αρχικού φορέα θα κινείται στην

περιοχή που οριοθετείται από τις καμπύλες του αρχικού μη ενισχυμένου φορέα και του συμμετρικά ενισχυμένου φορέα (γραμμοσκιασμένη περιοχή Εικόνα 84). Τέλος όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρούμε διαβάθμιση των καμπυλών των ασυμμετρα ενισχυμένων μοντέλων, ανάλογη με τη διαβάθμιση της εκκεντρότητας που προστέθηκε σε κάθε μοντέλο.



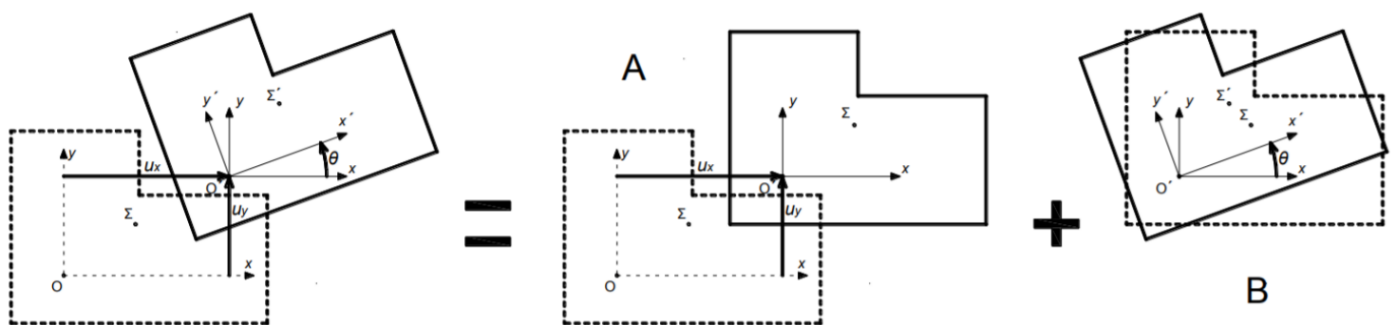
**Εικόνα 85.** Ενιαίο διάγραμμα απεικονίσεις καμπυλών PUSHOVER

Όσον αφορά το κύριο αντικείμενο των παραπάνω αποτελεσμάτων, που είναι η θέση και η πορεία του Κέντρου Στροφής, συμπεραίνουμε πως αποτελεί ένα πρόβλημα πολυσύνθετο. Αρκετά δεδομένα όπως τοπικά φαινόμενα στροφής, ή η αυξημένη σημασία της θέσης όπου είναι συγκεντρωμένη η δυσκαμψία στους κατώτερους ορόφους τα οποία και φαντάζουν δευτερεύουσας σημασίας, απόδεικνύεται πως μπορούν να έχουν καθοριστική επίδραση στη θέση του Κέντρου Στροφής και να υπερισχύσουν έναντι άλλων "πρωτεύοντων" δεδομένων όπως η κατανομή της δυσκαμψίας στον φορέα και η θέση όπου αυτή είναι πιθανώς συγκεντρωμένη.

Τα συμπεράσματα αυτά μας οδηγούν σε σκέψεις του κατά πόσον είναι αξιόπιστη η μεθοδολογία εύρεσης του Πλασματικού Ελαστικού Άξονα ως άξονα βέλτιστης στρέψης από τη στιγμή που δεν λαμβάνει υπόψιν του κανένα από τα “δευτερεύοντα” ζητήματα που αναλύονται στα αποτελέσματα των μοντέλων. Επίσης στα ασύμμετρα μοντέλα και κυρίως στο μοντέλο ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ όπου η δυσκαμψιάς εναλλάσσεται στις δύο πλευρές του φορέα, παρατηρούμε σε αρκετές περιπτώσεις τον Πόλο Στροφής να υπόκειται σε μεγάλες μετακινήσεις από όροφο σε όροφο. Αν θελήσουμε να βρούμε στο μοντέλο αυτό τον Πλασματικό Ελαστικό Άξονα θα οδηγηθούμε σε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα από αυτά που προέκυψαν από τη μέθοδο των μεσοκαθέτων όπου το Κέντρο Στροφής κάθε ορόφου δεν εντοπίζεται προσεγγιστικά αλλά βρίσκεται με ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν οποιαδήποτε αλλαγή της θέσης του.

## Αποτελέσματα και συγκρίσεις μετακινήσεων

Στο δεύτερο και τελευταίο μέρος παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των μετακινήσεων των φορέων. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο περί διαφραγματικής λειτουργίας, οι πλάκες των ορόφων λειτουργούν ως διαφράγματα και για αυτόν το λόγο υπάρχει συσχέτιση των μετακινήσεων όλων των σημείων του διαφράγματος, οι οποίες πρέπει να είναι συμβατές με την κίνηση του διαφράγματος ως απαραμόρφωτο σώμα. Η συνολική μετακίνηση ενός σημείου μπορεί να αναλυθεί σε: (A) μία μεταφορική κίνηση χωρίς στροφή και (B) σε μία στροφή γύρω από το σημείο O.



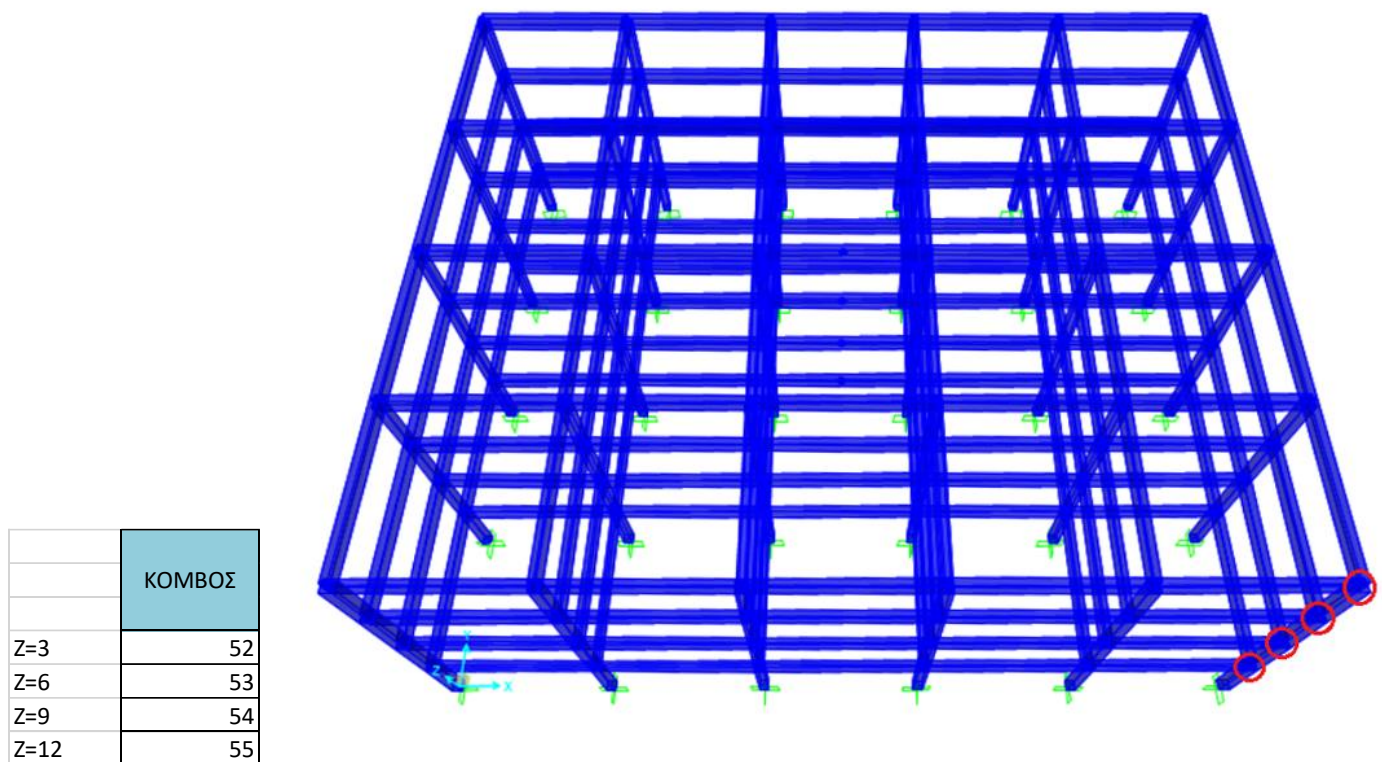
**Εικόνα 86.** Ανάλυση της συνολικής μετακίνησης σημείου σε : (A) Μεταφορική + (B) Στροφική

Με την προσθήκη δυσκαμψίας και την ενίσχυση της Κάτοψης Αναφοράς επιτυγχάνουμε να μειώσουμε την μεταφορική μετατόπιση (A) όλων των σημείων. Με την προσθήκη εκκεντρότητας αυξάνεται η στροφική μετατόπιση (B) των σημείων της εύκαμπτης πλευράς καθώς η δύσκαμπτη πλευρά έλκει το Κέντρο Στροφής και η απόσταση του από τα σημεία αυτά αυξάνεται. Καθώς ο όρος (A) μειώνεται και ο όρος (B) αυξάνεται δεν μπορούμε να προδικάσουμε αν τελικά θα αυξηθεί ή θα μειωθεί η συνολική μετατόπιση.

Είναι προφανές πως σε φορείς όπου η ενίσχυση γίνεται με συμμετρικό τρόπο, οι μετακινήσεις είναι ευμενέστερες από αντίστοιχες περιπτώσεις όπου η ενίσχυση γίνεται με έκκεντρο τρόπο. Για αυτό και ζητούμενο στην παρούσα φάση δεν είναι η σύγκριση δύο τέτοιων φορέων (π.χ. ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ-ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ), αλλά η σύγκριση του φορέα προ της ενίσχυσης (ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ) με τους φορείς όπου η ενίσχυση έγινε ασύμμετρα (ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ, ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ, ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ). Για να το επιτύχουμε αυτό επιλέξαμε την ακόλουθη μέθοδο, τα βήματα και η συλλογιστική πορεία της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω.

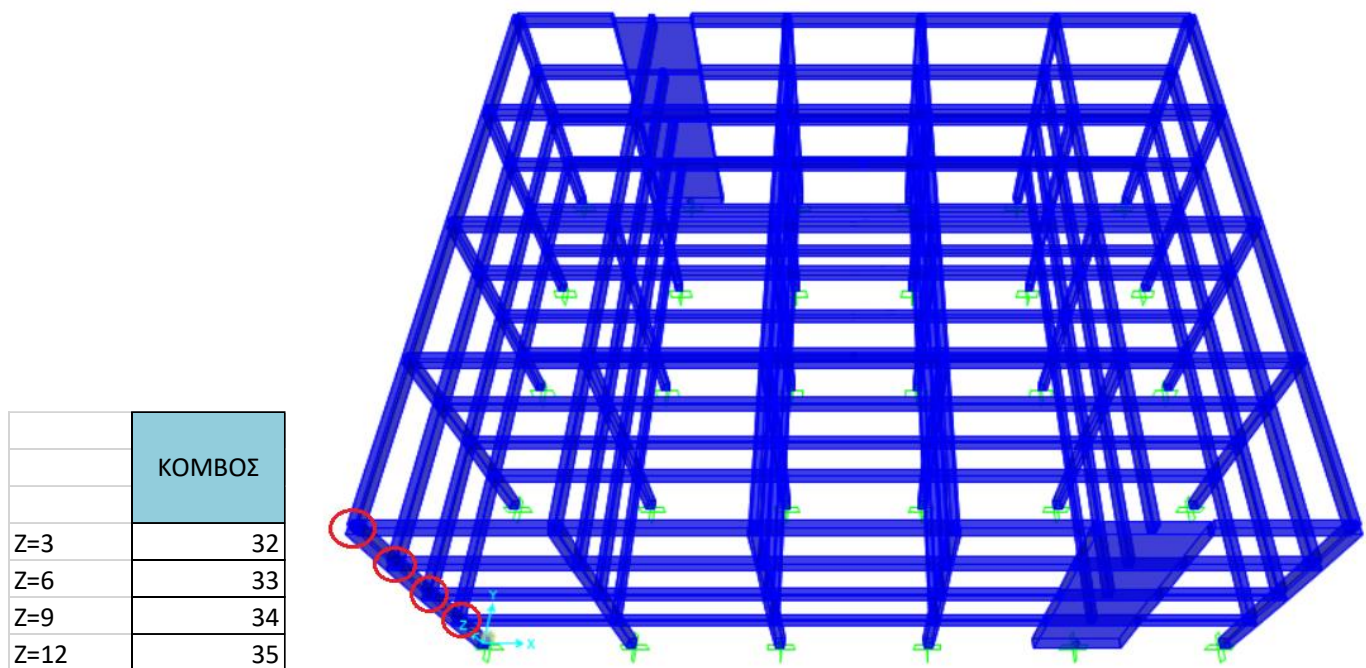
Σε κάθε μοντέλο έγινε εύρεση του σημείου του κάθε διαφράγματος που υπόκειται στη μεγαλύτερη μετατόπιση στο τελικό βήμα της ανάλυσης (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ). Για τα μοντέλα ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ και ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ το σημείο αυτό, όπως και ήταν λογικό, εντοπίστηκε σε έναν από τους τέσσερις γωνιακούς κόμβους.

#### ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ



**Εικόνα 87.** Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση

ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

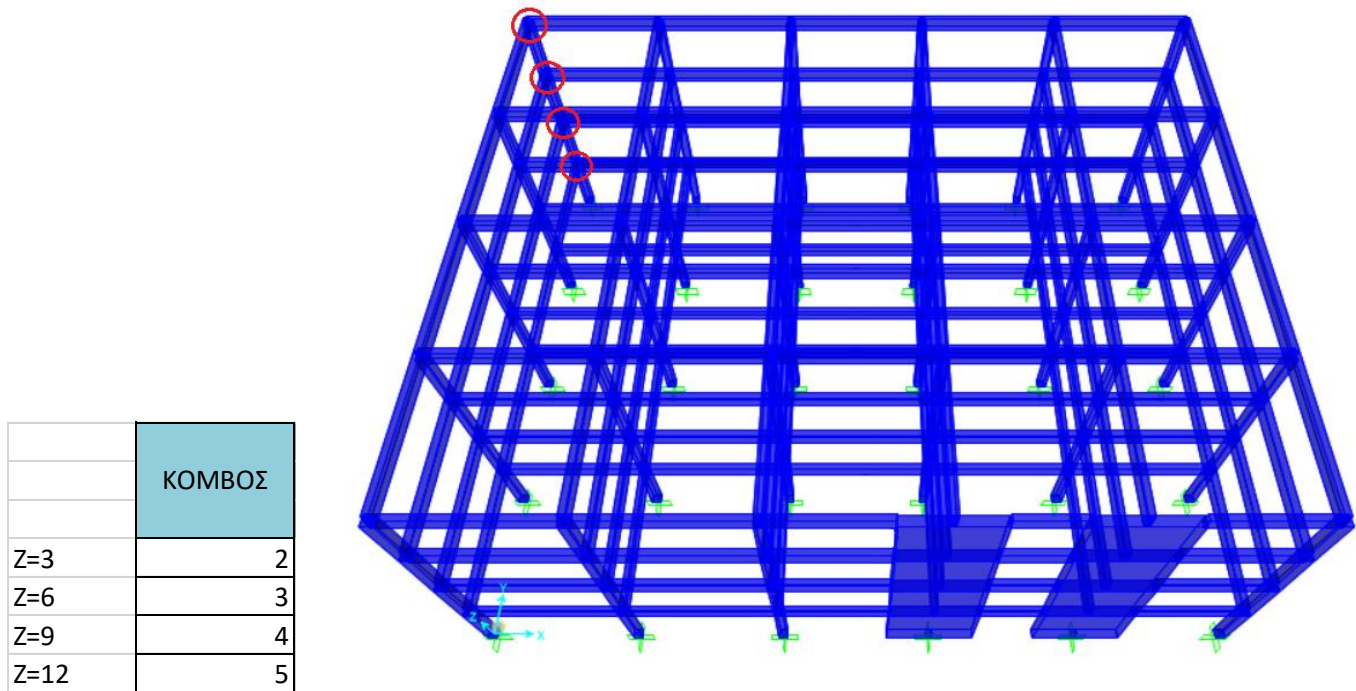


**Εικόνα 88.** Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση

Για τα μοντέλα στα οποία η ενίσχυση προσέθεσε και εκκεντρότητα, το σημείο αυτό εντοπίστηκε στον πλέον απομακρυσμένο γωνιακό κόμβο της εύκαμπτης πλευράς του διαφράγματος, από το τοίχωμα και συνεπώς και από το Κέντρο Στροφής.



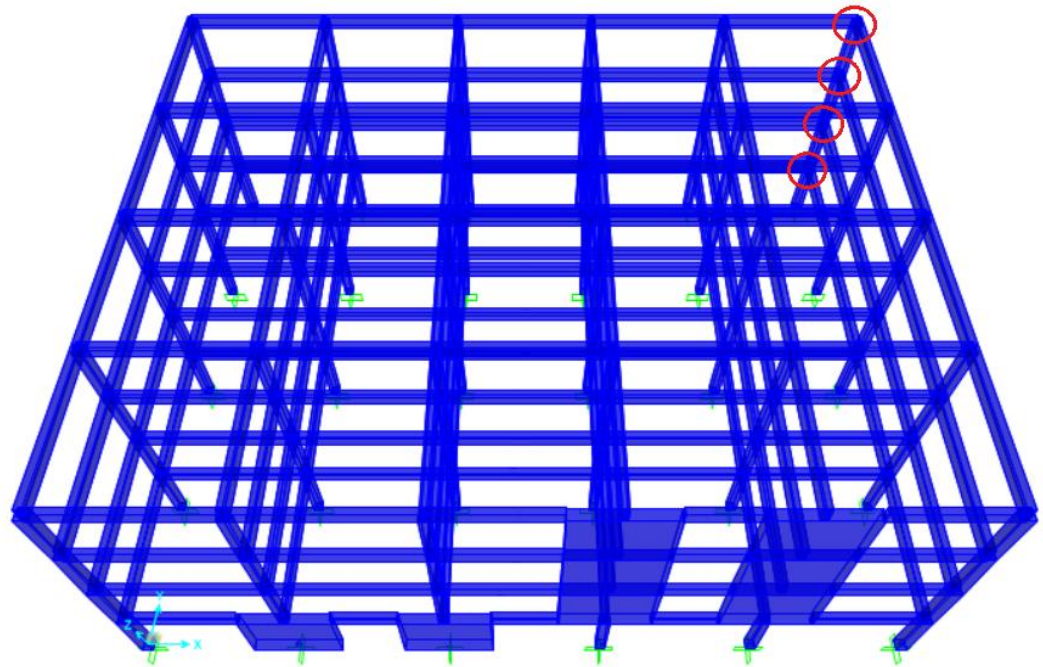
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



*Εικόνα 89.* Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση

ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ

	ΚΟΜΒΟΣ
Z=3	27
Z=6	28
Z=9	29
Z=12	30

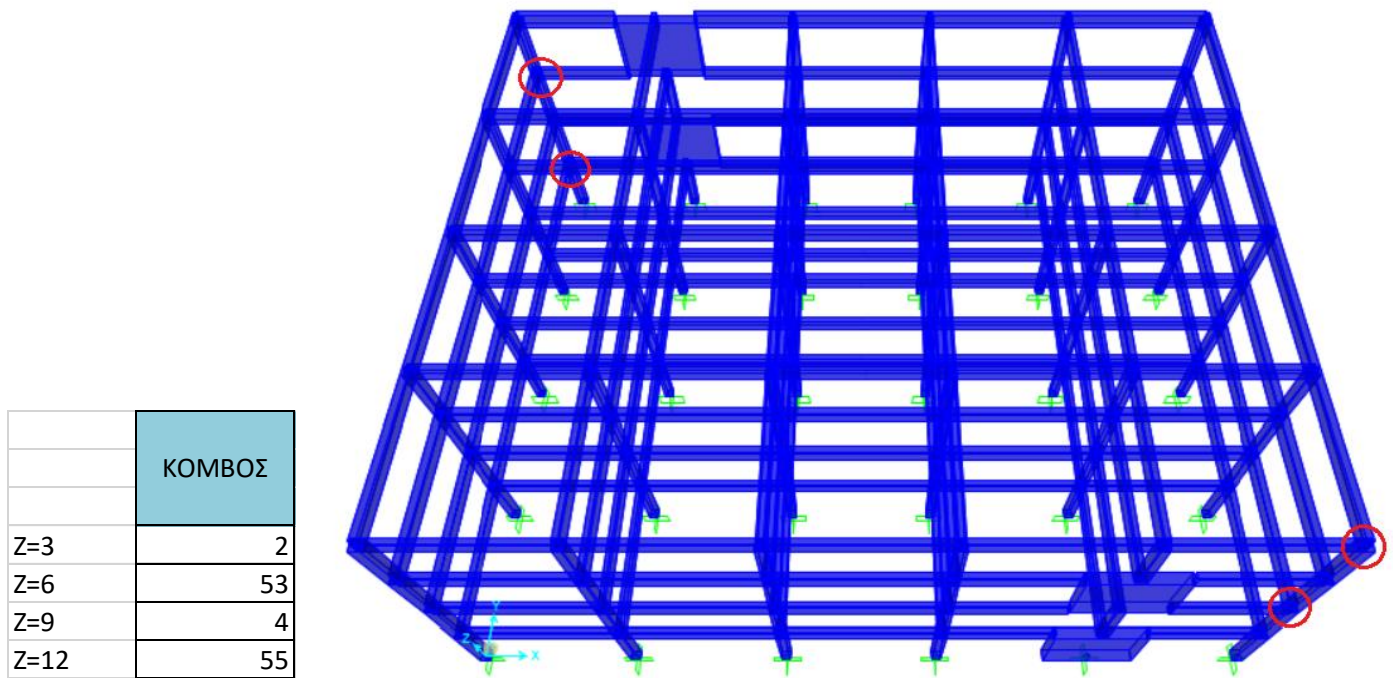


**Εικόνα 90.** Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση

Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως στα διαφράγματα 2<sup>ου</sup>, 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου το σημείο με τη μεγαλύτερη συνολική μετακίνηση δεν είναι το πλέον απομακρυσμένο από το τοίχωμα του αντίστοιχου ορόφου, δηλαδή οι κόμβοι 3,4,5 της άνω αριστερής γωνίας του φορέα, αλλά είναι το πλέον απομακρυσμένο από το τοίχωμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου. Αυτό αποτελεί ακόμη ένα δείγμα και ενισχύει το συμπέρασμα που περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο σχετικά με την αυξημένη σημασία της θέσης των τοιχωμάτων στον 1<sup>ο</sup> όροφο έναντι αυτών των ανώτερων ορόφων.



ΕΝΑΛΛΑΞΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



*Εικόνα 91. Σημεία διαφραγμάτων με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση*

Όπως ήταν αναμενόμενο τα σημεία με τη μέγιστη μετακίνηση εναλλάσσονται από όροφο σε όροφο κατά πλήρη αντιστοιχία με την εναλλαγή των τοιχωμάτων, πληρώντας πάντα το κριτήριο της μέγιστης δυνατής απόστασης από αυτά και από το Κέντρο Στροφής.

Γνωρίζοντας πλέον τα σημεία των διαφραγμάτων που εμφανίζονται οι μέγιστες μετακινήσεις, αλλά και τις τιμές αυτών, έπρεπε να βρεθεί μια συνθήκη ώστε οι μετακινήσεις αυτές να συγκριθούν επί ίσοις όροις. Το σκεπτικό να συγκρίνουμε τις μετατοπίσεις στο τελικό βήμα ή να συγκρίνουμε ζεύγη μετατοπίσεων σε κοινά βήματα δεν θα έδινε αντιπροσωπευτικά και ορθά αποτελέσματα καθώς οι μετακινήσεις αυτές αναπτύσσονται σε διαφορετική τέμνουσα βάσης. Μια αυξημένη παραμορφωσιακή κατάσταση που έχει προκύψει αντίστοιχα από αυξημένη τέμνουσα βάσης δεν μπορεί να κριθεί χειρότερη ή δυσμενέστερη χωρίς περαιτέρω υπολογισμούς.

Αυτό οδήγησε και στην απόφαση να λάβουμε σαν κριτήριο όχι μόνο την τιμή της μετατόπισης, αλλά και την τέμνουσα βάσης στο βήμα της Καμπύλης Pushover όπου αυτή εμφανίζεται. Συγκεκριμένα υιοθετήκαν οι εξής δύο τρόποι σύγκρισης :

- Σύγκριση της τέμνουσας βάσης με κριτήριο την κοινή μετατόπιση
- Σύγκριση της μετατόπισης με κριτήριο την κοινή τέμνουσα βάσης

οι οποίοι και παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι δύο τρόποι αυτοί οδηγούν στα ίδια αποτελέσματα εκφρασμένα με διαφορετικό τρόπο, όμως κρίθηκε αναγκαίο να συμπεριληφθούν για να δώσουν πιο καθαρή εικόνα των αποτελεσμάτων στον αναγνώστη.

Μεταξύ των δύο αυτών τρόπων παρεμβάλλεται μια πρόσθετη παράγραφος με το όνομα «Εύρεση μεταφορικών και στροφικών όρων συνολικής μετακίνησης» η οποία δίνει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τις κοινές μετατοπίσεις που παρουσιάζονται στον 1<sup>ο</sup> τρόπο σύγκρισης.

Σύγκριση της τέμνουσας βάσης με κριτήριο την κοινή μετατόπιση

Από τα αποτελέσματα των ανελαστικών αναλύσεων εντοπίζω για κάθε μοντέλο το βήμα της καμπύλης PUSHOVER που αναπτύσσεται στον κόμβο ελέγχου η μέγιστη τέμνουσα βάσης.

	TABLE: Pushover Capacity Curve			
	LoadCase	Step	Displacement	BaseForce
	Text	Unitless	m	KN
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PUSHOVERX	28	0,123936	2915,965
ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	PUSHOVERX	33	0,204777	5626,496
ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	PUSHOVERX	17	0,101009	4074,329
ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	PUSHOVERX	22	0,114673	3984,546
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	PUSHOVERX	20	0,082811	3478,284

**Εικόνα 92.** Βήμα μέγιστης τέμνουσας βάσης για κάθε μοντέλο

Θέλοντας να συγκρίνω την ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ με όλα τα υπόλοιπα μοντέλα, παίρνω σαν βάση την μετακίνηση του κόμβου ελέγχου του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (0,123936 m) και επιχειρώ με κάποιον τρόπο να ανάγω τα αποτελέσματα των υπολοίπων μοντέλων σε αυτό, δηλαδή να βρω σε ποια τέμνουσα βάσης στα υπόλοιπα μοντέλα αναπτύσσεται η ίδια μετατόπιση.

Πιο συγκεκριμένα στο Βήμα 28 όπου αναπτύσσεται η μέγιστη τέμνουσα βάσης στο μοντέλο ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ βρίσκω τις μετακινήσεις των σημείων του κάθε διαφράγματος με τις μέγιστες μετατοπίσεις.

ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΟΜΒΟΣ	ΒΗΜΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Υ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ
Z=3	52	28	0,05448	0,00051	0,05449	2915,965
Z=6	53	28	0,10902	0,00124	0,10903	2915,965
Z=9	54	28	0,11999	0,00142	0,12000	2915,965
Z=12	55	28	0,12507	0,00155	0,12508	2915,965

**Εικόνα 93.** Μετακινήσεις σημείων διαφραγμάτων με τη μέγιστη μετατόπιση στο βήμα της μέγιστης τέμνουσας βάσης

Για τα σημεία των υπολοίπων μοντέλων που ήδη έχω εντοπίσει σαν σημεία ανάπτυξης μέγιστων μετατοπίσεων των διαφραγμάτων, εντοπίζω για το καθένα ξεχωριστά το βήμα της καμπύλης PUSHOVER όπου αναπτύσσουν συνολική μετατόπιση ίση με τη μέγιστη συνολική μετατόπιση των αντίστοιχων σημείων του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (πράσινη στήλη). Σημειώνεται πως το βήμα αυτό διαφέρει από σημείο σε σημείο. Αυτό που μένει είναι να συγκρίνουμε τις τέμνουσες βάσης του βήματος που εντοπίστηκε η ζητούμενη μετατόπιση με τη μέγιστη τέμνουσα βάσης του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (2915,97 KN).

ΟΡΟΦΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΚΟΜΒΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Υ (m)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ (m)	ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ (KN)
Z=3	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	28	0,05448	0,00051	0,05449	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	32	33-34	0,05422	-0,00346	0,05433	5603,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	4-5	0,04539	0,02992	0,05436	3696,28
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	27	9-10	0,04515	-0,03044	0,05446	3880,53
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	23-24	0,04663	0,02819	0,05449	3223,76
Z=6	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	28	0,10902	0,00124	0,10903	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	33	33-34	0,10785	-0,00711	0,10808	5608,48
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	4-5	0,09182	0,05928	0,10929	3762,98
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	28	13	0,09425	-0,05469	0,10896	3912,25
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	53	23-24	0,10860	0,01150	0,10921	3327,16
Z=9	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	28	0,11999	0,00142	0,12000	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	34	26-27	0,11972	-0,00915	0,12007	5462,54
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	4-5	0,10201	0,06314	0,11997	3727,06
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	29	10-11	0,10529	-0,05759	0,12001	3905,00
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	23-24	0,11928	-0,00110	0,11928	3229,26
Z=12	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	28	0,12507	0,00155	0,12508	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	35	21-22	0,12470	-0,00967	0,12507	5479,50
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	5	4-5	0,10731	0,06426	0,12508	3727,06
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	30	10-11	0,11112	-0,05745	0,12510	3896,17
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	55	23-24	0,12447	0,01126	0,12498	3296,24

**Εικόνα 94.** Εύρεση τέμνουσας βάσης για κοινή μετατόπιση

Σημειώνεται πως σε περιπτώσεις όπου η ζητούμενη μετατόπιση δεν συμπύπτει με τη μετατόπιση ενός συγκεκριμένου βήματος, εντοπίζονται τα βήματα όπου η μετατόπιση βρίσκεται ανάμεσά τους και γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των βημάτων αυτών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως διακρίνουμε και στην Εικόνα94, στη στήλη ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ αναγράφονται τα δύο βήματα στα οποία έγινε η γραμμική παρεμβολή.

#### Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από την Εικόνα94 και από τη στήλη ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ εξάγουμε τα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των φορέων. Παρατηρούμε πως η τέμνουσα βάσης σε όλα τα διαφράγματα των μοντέλων είναι αυξημένη σε σύγκριση με την τέμνουσα βάσης της ΚΑΤΟΨΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (2915,965 KN). Αυτό συνεπάγεται πως πρέπει να ασκηθεί μεγαλύτερη δύναμη στους ενισχυμένους φορείς προκειμένου να φτάσουμε στις ίδιες

μετακινήσεις με αυτές της ΚΑΤΟΨΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ. Για το μοντέλο ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς με την ενίσχυση χωρίς προσθήκη εκκεντρότητας ήταν δεδομένο πως οι μετακινήσεις θα μειωθούν καθώς ο μεταφορικός όρος μειώνεται και ο στροφικός όρος μένει σταθερός. Για τον λόγο αυτόν η αυξημένη τέμνουσα βάσης ήταν η μεγαλύτερη από όλα τα μοντέλα, σχεδόν διπλασιασμένη (5603,97 KN, 5608,48 KN, 5462,54 KN, 5479,50 KN). Στα μοντέλα ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ, ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ, ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ η ενίσχυση με προσθήκη εκκεντρότητας οδήγησε σε μείωση του μεταφορικού όρου των μετακινήσεων, μεγαλύτερη από την αύξηση του στροφικού όρου για αυτό και η παραμορφωσιακή συμπεριφορά των φορέων ήταν ευμενέστερη. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως από τη στιγμή που η αύξηση των στροφικών όρων των μετακινήσεων ακόμα και στα ακραία σημεία μετακίνησης των διαφραγμάτων δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να υπερισχύσει της μείωσης των μεταφορικών όρων των μετακινήσεων, τότε η ενίσχυση με προσθήκη εκκεντρότητας όχι μόνο δεν μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα στον φορέα και στις μετακινήσεις που θα αναπτυχθούν, αλλά θα λειτουργήσει ευμενώς μειώνοντας τις μετακινήσεις. Τέλος παρατηρούμε διαβάθμιση των αποτελεσμάτων ανάλογη με τη διαβάθμιση των μορφών εκκεντρότητας στους φορείς. Συγκεκριμένα το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ στο οποίο προστέθηκε μόνο εκκεντρότητα σε κάτοψη παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ στο οποίο πέραν της εκκεντρότητα σε κάτοψη προστέθηκε και εκκεντρότητα καθύψος. Με τη σειρά του το μοντέλο ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από το μοντέλο ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ το οποίο έχει την πλέον δυσμενή μορφή εκκεντρότητας καθώς τα τοιχώματα εναλλάσσονται από όροφο σε όροφο.

Εύρεση μεταφορικών και στροφικών όρων συνολικής μετακίνησης

Στην προσπάθεια να εμβαθύνουμε περισσότερο στην εύρεση αποτελεσμάτων επιχειρούμε να βρούμε τις τιμές μείωσης των μεταφορικών όρων και τις τιμές αύξησης των στροφικών όρων με αναλυτικό τρόπο για να επιβεβαιώσουμε τα αποτελέσματα της προηγούμενης παραγράφου. Για να επιτευχθεί αυτό συγκρίνουμε την ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ξεχωριστά με κάθε ένα μοντέλο. Η διαδικασία έχει ως ακολούθως :

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διαδικασίας πρέπει οι μετακινήσεις κατά X και κατά Y των σημείων εμφάνισης των μέγιστων μετακινήσεων των διαφραγμάτων να εκφραστούν σαν άθροισμα δύο όρων, ενός μεταφορικού και ενός στροφικού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε τους τύπους εύρεσης των μετακινήσεων του τυχαίου σημείου Σ ενός διαφράγματος, οι οποίοι μπορούν να υπολογιστούν από τις μετακινήσεις του σημείου αναφοράς Ο και τη στροφή θ του διαφράγματος :

- $U_{\Sigma,x} = U_{O,x} - \theta * Y_{\Sigma}$
- $U_{\Sigma,y} = U_{O,y} + \theta * X_{\Sigma}$

λαμβάνοντας κάθε φορά σαν σημείο αναφοράς Ο με μετακινήσεις ( $U_{O,x}$  ,  $U_{O,y}$ ) το Κέντρο Στροφής του φορέα στο συγκεκριμένο βήμα.

Στις παραπάνω σχέσεις ο 1<sup>ος</sup> όρος που είναι και η οριζόντια μετακίνηση του Κέντρου Στροφής είναι ο μεταφορικός όρος και ο 2<sup>ος</sup> όρος που είναι το γινόμενο της στροφής του διαφράγματος με την τετμημένη του τυχαίου σημείου, είναι ο στροφικός όρος.

Για τη διαδικασία και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτήν την παράγραφο χρησιμοποιείται μόνο ο πρώτος τύπος που εκφράζει τις μετατοπίσεις κατά X καθώς αυτή είναι η ισχυρή διεύθυνση του τοιχώματος (στην ασθενή διεύθυνση το τοίχωμα δρα σαν υποστηλώματα εν σειρά) και είναι και η διεύθυνση δράσης του σεισμού, οπότε αποτελεί την διεύθυνση κύριου ενδιαφέροντος.

Για την εφαρμογή του παραπάνω τύπου θα χρειαστούμε τις μετακινήσεις του σημείου εμφάνισης των μέγιστων μετακινήσεων του διαφράγματος και του Κέντρου Στροφής του κάθε διαφράγματος. Τα τέσσερα αυτά σημεία του κάθε διαφράγματος (δύο για κάθε μοντέλο) εντοπίζονται και πινακοποιούνται.

		ΚΟΜΒΟΣ	ΒΗΜΑ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ X (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Y (m)	ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (rad)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ (m)
Z=3	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	28	0,05448	0,00051	0,00003	0,05449
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	4-5	0,04539	0,02992	-0,00185	0,05436
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,05415	0,00009	0,00003	0,05415
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	4-5	0,00246	0,00317	-0,00185	0,00401
Z=6	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	28	0,10902	0,00124	0,00005	0,10903
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	4-5	0,09182	0,05928	-0,00347	0,10929
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,10815	0,00015	0,00007	0,10815
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	4-5	0,01424	0,00603	-0,00347	0,01547
Z=9	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	28	0,11999	0,00142	0,00009	0,12000
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	4-5	0,10201	0,06314	-0,00389	0,11997
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,11896	0,00014	0,00009	0,11896
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	4-5	0,01739	0,00759	-0,00389	0,01897
Z=12	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	28	0,12507	0,00155	0,00009	0,12508
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	5	4-5	0,10731	0,06426	-0,00406	0,12508
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,12394	0,00014	0,00009	0,12394
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	4-5	0,02079	0,00815	-0,00406	0,02233

**Εικόνα 95.** Συγκέντρωση δεδομένων που εισέρχονται στον τύπο  $U_{\Sigma,x} = U_{0,x} - \theta * Y_{\Sigma}$

Ο τύπος  $U_{\Sigma,x} = U_{0,x} - \theta * Y_{\Sigma}$  περιέχει τέσσερις μεταβλητές όπου πλέον όλες είναι γνωστές καθώς :

- $U_{\Sigma,x}$  είναι τα δεδομένα της στήλης ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ X για τα σημεία μεγίστων μετακινήσεων των διαφραγμάτων
- $U_{0,x}$  είναι τα δεδομένα της στήλης ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ X για τα Κέντρα Στροφής
- $\theta$  είναι τα δεδομένα της στήλης ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- $Y_{\Sigma}$  είναι οι τετμημένες του Κέντρου Στροφής που αναγράφονται στην Εικόνα 49

Κάνοντας χρήση των δεδομένων αυτών και του τύπου καταλήγουμε στα ακόλουθα αποτελέσματα :

Z=3	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	0,05415	0,00003	-12	-0,00034	0,05448
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	0,00246	-0,00185	23,17	-0,04286	0,04532
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,05169			0,04252	
Z=6	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	0,10964	0,00005	-12	0,00061	0,10902
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	0,01424	-0,00347	22,38	-0,07757	0,09181
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,09539			0,07818	
Z=9	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	0,12101	0,00009	-12	0,00102	0,11999
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	0,01739	-0,00389	21,75	-0,08461	0,10200
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,10362			0,08563	
Z=12	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	0,12394	0,00009	-12	-0,00113	0,12506
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	5	0,02079	-0,00406	21,29	-0,08653	0,10732
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,10541			0,08766	

**Εικόνα 96.** Εύρεση μεταφορικού και στροφικού όρου

Η μείωση του μεταφορικού όρου βρίσκεται εύκολα από την διαφορά των μετατοπίσεων των Κέντρων Στροφών κατά Χ ( ΣΤΗΛΗ U<sub>0,x</sub> ). Για την αύξηση του στροφικού όρου καταγράφουμε τη γωνία στροφής του διαφράγματος ( ΣΤΗΛΗ θ ) και τη τετμημένη του Κέντρου Στροφής ( ΣΤΗΛΗ Υ,Σ ) και βρίσκουμε το γινόμενο τους το οποίο και αναγράφεται στη στήλη θ\*Υ,Σ. Η διαφορά των δύο αυτών γινομένων είναι η τιμή αύξησης του στροφικού όρου. Στη στήλη ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ προσθέτουμε τον μεταφορικό όρο και τον στροφικό όρο που βρήκαμε κάνοντας μιας μορφής επαλήθευσης καθώς ή τιμή που θα προκύψει πρέπει να είναι ίδια με την τιμή της στήλης ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ στην Εικόνα92. Πράγματι οι τιμές ήταν σχεδόν ίσες καθώς διέφεραν στο τρίτο ή τέταρτο δεκαδικό. Και στα τέσσερα διαφράγματα η μείωση



του μεταφορικού όρου είναι όντως μεγαλύτερη από την αύξηση του στροφικού όρου οπότε και τα αποτελέσματα της προηγούμενης παραγράφου επιβεβαιώνονται. Ακολουθούν οι συγκρίσεις ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ-ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ και ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ-ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ.

#### ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ - ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ

		ΚΟΜΒΟΣ	ΒΗΜΑ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Υ (m)	ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (rad)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ (m)
Z=3	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	28	0,05448	0,00051	0,00003	0,05449
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	27	9-10	0,04515	-0,03044	-0,00184	0,05446
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,05415	0,00009	0,00003	0,05415
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	9-10	0,00182	-0,00023	-0,00184	0,00183
Z=6	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	28	0,10902	0,00124	0,00007	0,10903
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	28	13	0,09425	-0,05469	-0,00354	0,10896
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,10815	0,00015	0,00007	0,10964
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	13	0,01752	0,00105	-0,00354	0,01755
Z=9	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	28	0,11999	0,00142	0,00009	0,12000
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	29	10-11	0,10536	-0,05763	-0,00373	0,12009
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,11896	0,00014	0,00009	0,11896
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	10-11	0,02749	0,00031	-0,00373	0,02749
Z=12	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	28	0,12507	0,00155	0,00009	0,12508
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	30	10-11	0,11112	-0,05745	-0,00374	0,12510
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,12394	0,00014	0,00009	0,12394
	ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	10-11	0,03549	-0,00017	-0,00374	0,03549

**Εικόνα 97.** Συγκέντρωση δεδομένων που εισέρχονται στον τύπο  $U_{S,x} = U_{0,x} - \theta * Y_S$

Ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με το προηγούμενο παράδειγμα και προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην Εικόνα98.

Z=3	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	0,05415	0,00003	-12	-0,00034	0,05448
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	27	0,00182	-0,00184	23,52	-0,04334	0,04515
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,05233			0,04367	
Z=6	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	0,10815	0,00007	-12	-0,00088	0,10902
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	28	0,01752	-0,00354	21,66	-0,07674	0,09426
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,09063			0,07762	
Z=9	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	0,11896	0,00009	-12	-0,00102	0,11998
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	29	0,02749	-0,00373	20,88	-0,07788	0,10537
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,09147			0,07890	
Z=12	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	0,12394	0,00009	-12	-0,00113	0,12506
ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΥΜΜ.ΚΑΘ.	30	0,03549	-0,00374	20,37	-0,07620	0,11169
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,08845			0,07733	

*Εικόνα 98. Εύρεση μεταφορικού και στροφικού όρου*

ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ-ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

		ΚΟΜΒΟΣ	ΒΗΜΑ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ X (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Y (m)	ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (rad)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ (m)
Z=3	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	28	0,05448	0,00051	0,00003	0,05449
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	23-24	0,04663	0,02819	-0,00177	0,05449
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,05415	0,00009	0,00003	0,05415
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	23-24	0,00697	-0,00022	-0,00177	0,00698
Z=6	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	28	0,10902	0,00124	0,00007	0,10903
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	23-24	0,10821	0,01399	-0,00047	0,10911
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,10815	0,00015	0,00007	0,10815
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	23-24	0,10225	0,00692	-0,00047	0,10248
Z=9	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	28	0,11999	0,00142	0,00009	0,12000
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	23-24	0,11825	0,01709	-0,00068	0,11948
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,11896	0,00014	0,00009	0,11896
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	23-24	0,10934	0,00685	-0,00068	0,10956
Z=12	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	28	0,12507	0,00155	0,00009	0,12508
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	5	23-24	0,12407	0,01598	-0,00060	0,12510
	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	28	0,12394	0,00014	0,00009	0,12394
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΟΦΗΣ	23-24	0,11667	0,00702	-0,00060	0,11688

**Εικόνα 99.** Συγκέντρωση δεδομένων που εισέρχονται στον τύπο  $U\Sigma, x=U_0, x-\theta*Y\Sigma$

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως όπως διακρίνουμε στην Εικόνα90 και Εικόνα93 στα διαφράγματα Z=6, Z=12 οι μέγιστες μετατοπίσεις στο τελικό βήμα της καμπύλης ( ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ) εμφανίζονται στους κόμβους που βρίσκονται στη μέγιστη απόσταση από το τοίχωμα του συγκεκριμένου ορόφου (ΚΟΜΒΟΣ 53, ΚΟΜΒΟΣ 55). Όμως στο ΒΗΜΑ23-24 το οποίο και είναι λίγο μετά τη διαρροή στην καμπύλη PUSHOVER, οι μέγιστες μετατοπίσεις στα διαφράγματα Z=6 και Z=12 εμφανίζονται στον Κόμβο 3 και Κόμβο 5 αντίστοιχα, οι οποίοι και είναι οι κόμβοι που βρίσκονται στη μέγιστη απόσταση από το τοίχωμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου.

Z=3	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	0,05415	0,00003	-12	-0,00034	0,05448
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	0,00697	-0,00177	22,39	-0,03967	0,04665
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,04717			0,03934	
Z=6	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	0,10815	0,00007	-12	-0,00088	0,10902
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	0,10225	-0,00047	12,71	-0,00596	0,10821
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,00590			0,00508	
Z=9	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	0,11896	0,00009	-12	-0,00102	0,11998
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	0,10934	-0,00068	13,13	-0,00891	0,11825
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,00962			0,00789	
Z=12	ΚΟΜΒΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΟΡΟΣ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ
			U <sub>0,x</sub>	θ*	Υ,Σ	
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	0,12394	0,00009	-12	-0,00113	0,12506
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	5	0,11667	-0,00060	12,42	-0,00740	0,12407
		ΜΕΙΩΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΡΟΥ			ΑΥΞΗΣΗ ΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΟΡΟΥ	
		-0,00727			0,00627	

Εικόνα 100. Εύρεση μεταφορικού και στροφικού όρου

### Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Το κύριο ερώτημα που μας απασχόλησε και τελικά απαντάται από τα αποτελέσματα της προηγούμενης παραγράφου είναι αν η συνολική μετακίνηση των σημείων θα παρουσιάσει αύξηση ή μείωση, κάτι που δεν μπορούσε να προδικαστεί από τη στιγμή που έλειπα από την έκκεντρη ενίσχυση και εκφράζοντας την μετατόπιση των σημείων σύμφωνα με την μετατόπιση του Κέντρου Στροφής και τη στροφή  $\theta$  του διαφράγματος, ο 1<sup>ος</sup> όρος παρουσιάζει μείωση και ο 2<sup>ος</sup> όρος παρουσιάζει αύξηση.

$U_{\Sigma, \chi}$	=	$U_{0, \chi}$	-	$\theta$	·	$Y, \Sigma$
?		↓		↑		↑

Από τα αποτελέσματα της Εικόνας 96, Εικόνας 98 και Εικόνας 100 παρατηρούμε πως ο μεταφορικός όρος είναι μειωμένος σε ποσοστό 20%-25% μεγαλύτερο από την αύξηση του στροφικού όρου, πράγμα που εγγυάται καλύτερη συμπεριφορά των ασύμμετρα ενισχυμένων φορέων. Αυτό συμβαίνει καθώς η απομάκρυνση του Κέντρου Στροφής από το δυσμενέστερο στοιχείο της εύκαμπτης πλευράς (μέγιστοποίηση όρου  $Y, \Sigma$ ) και η αυξημένη γωνία στροφής του διαφράγματος δεν είναι αρκετά για να αυξήσουν τον στροφικό όρο σε βαθμό τέτοιο ώστε να δημιουργηθεί δυσμενέστερη κατάσταση. Υπενθυμίζουμε πως η εκκεντρότητα που δημιουργήθηκε στα ενισχυμένα μοντέλα ήταν στην πιο ακραία της μορφή, πράγμα που μας οδηγεί στο λογικό συμπέρασμα πως σε περιπτώσεις ύπαρξης πιο ήπιας εκκεντρότητας η παραπάνω σχέση θα ικανοποιείται με μεγαλύτερη άνεση.

Σύγκριση της μετατόπισης με κριτήριο την κοινή τέμνουσα βάσης

Η μεθοδολογία αυτή έχει την παρόμοια συλλογιστική πορεία με την προηγούμενη. Ζητούμενο των συγκρίσεων είναι και πάλι να συγκρίνω την ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ με όλα τα υπόλοιπα μοντέλα. Αυτή τη φορά παίρνω σαν βάση την τέμνουσα βάσης στο ΒΗΜΑ28 του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ και επιχειρώ να ανάγω τα αποτελέσματα των υπολοίπων μοντέλων σε αυτό, δηλαδή να βρω ποιά η μετακίνηση που θα έχει αναπτυχθεί στα υπόλοιπα μοντέλα όταν ασκείται η συγκεκριμένη τέμνουσα βάσης

TABLE: Pushover Capacity Curve				
	LoadCase	Step	Displacement	BaseForce
	Text	Unitless	m	KN
ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	PUSHOVERX	28	0,123936	2915,965
ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	PUSHOVERX	33	0,204777	5626,496
ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	PUSHOVERX	17	0,101009	4074,329
ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ. ΚΑΘ.	PUSHOVERX	22	0,114673	3984,546
ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	PUSHOVERX	20	0,082811	3478,284

**Εικόνα 101.** Βήμα μέγιστης τέμνουσας βάσης για κάθε μοντέλο

Ενεργώ με την ίδια σειρά και στο ΒΗΜΑ28 όπου αναπτύσσεται η μέγιστη τέμνουσα βάσης στο μοντέλο ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ βρίσκω τις μετακινήσεις των σημείων του κάθε διαφράγματος με τις μέγιστες μετατοπίσεις.

ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΚΟΜΒΟΣ	ΒΗΜΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Υ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ
Z=3	52	28	0,05448	0,00051	0,05449	2915,965
Z=6	53	28	0,10902	0,00124	0,10903	2915,965
Z=9	54	28	0,11999	0,00142	0,12000	2915,965
Z=12	55	28	0,12507	0,00155	0,12508	2915,965

**Εικόνα 102.** Μετακινήσεις σημείων διαφραγμάτων με τη μέγιστη μετατόπιση στο βήμα της μέγιστης τέμνουσας βάσης

Η τελική ενέργεια που απαιτείται είναι ο εντοπισμός στις Καμπύλες PUSHOVER των υπολοίπων μοντέλων του βήματος εκείνου όπου η τέμνουσα βάσης παίρνει την τιμή 2915,97 KN (στον ανυψωτικό κλάδο) και η σύγκριση για το βήμα αυτό των συνολικών μετατοπίσεων των σημείων των διαφραγμάτων όπου ήδη έχουμε εντοπίσει ως σημεία εμφάνισης των μέγιστων μετατοπίσεων σε κάθε διάφραγμα, με τις συνολικές μετατοπίσεις των αντίστοιχων σημείων του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (πρασινή στήλη).

ΟΡΟΦΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΚΟΜΒΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Χ (m)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΤΑ Υ (m)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ (m)	ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ (KN)
Z=3	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	52	28	0,05448	0,00051	0,05449	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	32	1-2	0,00699	-0,00043	0,00701	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	2-3	0,01110	0,00714	0,01320	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	27	1-2	0,00910	-0,00578	0,01078	2915,97
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	2	2-3	0,00956	0,00563	0,01110	2915,97
Z=6	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	53	28	0,10902	0,00124	0,10903	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	33	1-2	0,01510	-0,00087	0,01513	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	2-3	0,02301	0,01391	0,02689	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	28	1-2	0,01968	-0,01019	0,02216	2915,97
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	53	2-3	0,01838	0,00450	0,01892	2915,97
Z=9	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	54	28	0,11999	0,00142	0,12000	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	34	1-2	0,02330	-0,00132	0,02334	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	2-3	0,03125	0,01810	0,03611	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	29	1-2	0,02760	-0,01304	0,03052	2915,97
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	4	2-3	0,02608	0,00545	0,02664	2915,97
Z=12	ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	55	28	0,12507	0,00155	0,12508	2915,97
	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	35	1-2	0,03108	-0,00178	0,03113	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	5	2-3	0,03576	0,01997	0,04095	2915,97
	ΑΣΣΥΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧ. Κ ΑΣΣΥΜ.ΚΑΘ.	30	1-2	0,03209	-0,01397	0,03500	2915,97
	ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	55	2-3	0,02918	0,00470	0,02956	2915,97

**Εικόνα 103.** Εύρεση μετατοπίσεων για κοινή Τέμνουσα Βάσης

Σημειώνεται πως σε περιπτώσεις όπου η ζητούμενη τέμνουσα βάσης δεν σύμπτει με τη τέμνουσα βάσης ενός συγκεκριμένου βήματος, εντοπίστηκαν τα βήματα όπου η αυτή βρίσκεται ανάμεσά τους και έγινε γραμμική παρεμβολή μεταξύ των βημάτων αυτών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως διακρίνουμε και στην Εικόνα96, στη στήλη ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ αναγράφονται τα δύο βήματα στα οποία έγινε η γραμμική παρεμβολή.

## Αξιολόγηση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τη στήλη ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ εξάγουμε τα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των φορέων. Παρατηρούμε πως η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ σε όλα τα διαφράγματα των μοντέλων είναι μειωμένη σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή της ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ. Αυτό συνεπάγεται πως οι ενισχυμένοι φορείς παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά καθώς όταν επιβληθεί τέμνουσα βάσης ίση με 2915,97 KN που αντιστοιχεί στην μέγιστη τέμνουσα βάσης του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ, οι μέγιστες μετακινήσεις των διαφραγμάτων οι οποίες συναντώνται σε αρχικά βήματα του ελαστικού κλάδου της καμπύλης είναι πολύ μικρότερες και οι φορείς έχουν ακόμα μεγάλα περιθώρια παραμόρφωσης υπό την επιβολή μεγαλύτερων τεμνουσών βάσης. Το πόρισμα αυτό όπως ήταν αναμενόμενο συμβαδίζει με το πόρισμα της προηγούμενης παραγράφου καθώς αν θέλούμε να φτάσουμε τις μετακινήσεις του μοντέλου ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ πρέπει να ασκήθει μεγαλύτερη δύναμη στους φορείς, αριθμητικά ίση με τις τιμές στην Εικόνα94. Παράλληλα η διαβάθμιση των αποτελεσμάτων ακολουθεί και πάλι την ίδια πορεία με τα αποτελέσματα της προηγούμενης παραγράφου και τον γενικό κανόνα πως δυσμενέστερη μορφή εκκεντρότητας οδηγεί σε δυσμενέστερες μετακινήσεις, οι οποίες δεν ξεπερνούν όμως αυτές του μη ενισχυμένου φορέα.



## Επίλογος

Έχοντας πλέον φτάσει στον επίλογο της εργασίας επιχειρούμε έναν τελικό απολογισμό αλλά και διάφορες σκέψεις σχετικά με όσα προηγήθηκαν αλλά και γενικότερες σχετικά με τον τρόπο που επιλέξαμε να προσεγγίσουμε το συγκεκριμένο θέμα.

Δύο από τις λέξεις κλειδιά αυτής της εργασίας, η εκκεντρότητα και η στροφή είναι λέξεις με αρνητική σημασία στο μυαλό κάθε μηχανικού καθώς γενικά και αόριστα προσδιορίζουν κάτι το σύνθετο και δυσμενές, κάτι που οφείλει να αντιμετωπιστεί με μεγαλύτερη προσοχή και αυστηρότητα και σε αρκετές περιπτώσεις κάτι που χρήζει αποφυγής. Παρόμοια στάση παρατηρούμε και από τους Κανονισμούς όποτε αυτοί καλούνται να έρθουν αντιμέτωποι με τους όρους αυτούς και τα φαινόμενα όπου αυτοί δημιουργούν.

Η συγκεκριμένη εργασία βασίζεται στους ενδιασμούς σχετικά με τον αυστηρό τρόπο αντιμετώπισης των όρων αυτών και έχει ως απώτερο σκοπό την «αποδαιμονοποίηση» τους. Από την αρχή της εργασίας έως ότου φτάσουμε στο σημείο να έχουμε μια καθαρή εικόνα των αποτελεσμάτων, δεν γνωρίζαμε αν και κατά πόσο οι ενδιασμοί αυτοί θα επιβεβαιώνονταν ή όχι. Πλέον έχοντας την συνολική εικόνα του αντικειμένου και των φαινομένων που επιλέξαμε να ασχοληθούμε και να εμβαθύνουμε μπορούμε να πούμε πως οι ενδιασμοί μας αυτοί είναι εύστοχοι.

Τα συμπεράσματα αυτά προκύπτουν αποκλειστικά για το αντικείμενο όπου και έχουμε ασχοληθεί, δηλαδή την προσθήκη εκκεντρότητας λόγω ασύμμετρης ενίσχυσης. Εκκεντρότητα όμως μπορεί να εμφανιστεί με αρκετούς άλλους τρόπους (ασύμμετρη κατανομή φορτίων, ασύμμετρη όπλιση στοιχείων) και θα μπορούσε κάλλιστα να αποτελέσει τη συνέχεια αυτής της εργασίας η μελέτη διαφορετικών μορφών εκκεντροτήτων με σκοπό τη δημιουργία μιας κοινής κατεύθυνσης και ενός κανονιστικού πλαισίου γύρω από τον όρο αυτόν. Το τελικό στάδιο σε μια τέτοια περίπτωση θα είναι η τροποποίηση των υπάρχοντων Κανονισμών, πράγμα που θα οδηγήσει στη σύλληψη και υλοποίηση καινούργιων και σύγχρονων κατασκευών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (ΕΑΚ 2000), Ο.Α.Σ.Π
- Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), 2<sup>η</sup> Αναθεώρηση 2017
- Ευρωκώδικας 8 (ΕΚ 8), «Αντισεισμικός Σχεδιασμός», Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, EN 1998-1:2004.
- ΜΑΚΑΡΙΟΣ Τ. και ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ Κ. (1997), «Πραγματικός και Πλασματικός Ελαστικός Άξονας Πολυώροφων Κτιρίων: Θεωρία», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ιανουάριος - Αύγουστος 1997
- ΜΑΚΑΡΙΟΣ Τ. και ΞΕΝΙΔΗΣ Χ. (1999), «ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΩΝ ΔΥΣΤΡΕΨΙΑΣ ΠΟΛΥΩΡΟΦΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου 2008.
- ΨΥΧΑΡΗΣ Ι. (2012), «ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8», Τομέας Δομοστατικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ΨΥΧΑΡΗΣ Ι. (2010), «ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ», Σημειώσεις για το Μάθημα του 9 ου Εξαμήνου «ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 2», Τομέας Δομοστατικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ Ε. «Το Κέντρο Στροφής στην Ανελαστική Ανάλυση», 21<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών, Πάτρα 2015
- Α. Αθανασοπούλου-Κυριακού, «Στρεπτική απόκριση κτιρίων και ΕΚ8», Α.Π.Θ. 2016
- Μεταπτυχιακή Εργασία «ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ - Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», Εμμανουήλ Αγορίτσα, Οκτώβριος 2014

- J. DE-LA-COLINA, EFFECTS OF TORSION FACTORS ON SIMPLE NON-LINEAR SYSTEMS USING FULLY-BIDIRECTIONAL ANALYSES, 1999
- Kyriakos G. Stathopoulos & Stavros A. Anagnostopoulos, « Accidental design eccentricity: Is it important for the inelastic response of buildings to strong earthquakes? », Patras 2009
- S.A. Anagnostopoulos, M.T. Kyrkos and K.G. Stathopoulos, «Earthquake induced torsion in buildings: critical review and state of the art», Patras 2014
- S.A. Anagnostopoulos, M.T. Kyrkos, A. Papalymperi and E. Plevri, « Should accidental eccentricity be eliminated from Eurocode 8?», Patras 2014

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τα Κέντρα Στροφής των φορέων ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ, ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ, ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ στα τρία χαρακτηριστικά βήματα υπολογίστηκαν ενδεικτικά και χωρίς να γίνεται περαιτέρω χρήση των αποτελεσμάτων αυτών σύμφωνα με τους τύπους του ΕΑΚ2000:

$$X_k = \frac{\sum X_i \cdot K_i}{\sum K_i}, Y_k = \frac{\sum Y_i \cdot K_i}{\sum K_i}$$

- $K_i$  είναι η σχετική δυσκαμψία του στοιχείου
- $X_i$  είναι η τεταγμένη του στοιχείου
- $Y_i$  είναι η τετμημένη του στοιχείου

ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=3	X(m)	Y(m)	ly(m4)	EI/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62
Y28	0	0	0,002133	20622,22	18333,55	17303,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	0,001251	12088,37	10032,65	4454,05	72530,21	60195,90	26724,28	0,00	0,00	0,00
Y33	12	0	0,001251	12088,37	10227,12	4270,65	145060,42	122725,40	51247,75	0,00	0,00	0,00
Y37	18	0	1,429167	13815277,78	12864542,62	9356035,82	248675000,00	231561767,07	168408644,72	0,00	0,00	0,00
Y45	24	0	1,429167	13815277,78	12829628,96	9386187,41	331566666,67	307911095,13	225268497,76	0,00	0,00	0,00
Y44	30	0	0,002133	20622,22	17098,86	11471,77	618666,67	512965,81	344152,99	0,00	0,00	0,00
Y49	0	6	0,001251	12088,37	6254,91	2022,86	0,00	0,00	0,00	72530,21	37529,43	12137,16
Y53	6	6	0,001251	12088,37	6060,44	1402,11	72530,21	36362,63	8412,68	72530,21	36362,63	8412,68
Y57	12	6	0,001251	12088,37	6628,66	1154,07	145060,42	79543,90	13848,89	72530,21	39771,95	6924,45
Y61	18	6	0,001251	12088,37	6889,62	1166,98	217590,63	124013,16	21005,68	72530,21	41337,72	7001,89
Y65	24	6	0,001251	12088,37	6468,02	1157,78	290120,83	155232,37	27786,78	72530,21	38808,09	6946,70
Y69	30	6	0,001251	12088,37	5862,11	1461,78	362651,04	175863,28	43853,48	72530,21	35172,66	8770,70
Y73	0	12	0,001251	12088,37	4484,06	1252,22	0,00	0,00	0,00	145060,42	53808,71	15026,62
Y77	6	12	0,001251	12088,37	4352,13	982,91	72530,21	26112,80	5897,48	145060,42	52225,60	11794,95
Y81	12	12	0,001251	12088,37	4733,78	770,14	145060,42	56805,31	9241,66	145060,42	56805,31	9241,66
Y85	18	12	0,001251	12088,37	4682,94	699,69	217590,63	84292,89	12594,40	145060,42	56195,26	8396,26
Y89	24	12	0,001251	12088,37	4537,63	792,02	290120,83	108903,12	19008,48	145060,42	54451,56	9504,24
Y93	30	12	0,001251	12088,37	4383,38	982,01	362651,04	131501,52	29460,16	145060,42	52600,61	11784,06
Y296	0	18	0,001251	12088,37	3460,19	1001,84	0,00	0,00	0,00	217590,63	62283,41	18033,18
Y300	6	18	0,001251	12088,37	3321,70	843,46	72530,21	19930,20	5060,78	217590,63	59790,61	15182,35
Y304	12	18	0,001251	12088,37	3556,42	739,76	145060,42	42677,04	8877,14	217590,63	64015,56	13315,71
Y308	18	18	0,001251	12088,37	3558,20	701,08	217590,63	64047,60	12619,48	217590,63	64047,60	12619,48
Y312	24	18	0,001251	12088,37	3456,04	742,93	290120,83	82945,05	17830,20	217590,63	62208,79	13372,65
Y316	30	18	0,001251	12088,37	3454,86	849,55	362651,04	103645,88	25486,63	217590,63	62187,53	15291,98
Y320	0	24	0,002133	20622,22	4759,06	1796,98	0,00	0,00	0,00	494933,33	114217,44	43127,54
Y5	6	24	0,001251	12088,37	2696,50	786,42	72530,21	16178,99	4718,50	290120,83	64715,96	18874,02
Y9	12	24	0,001251	12088,37	2761,12	723,78	145060,42	33133,40	8685,38	290120,83	66266,81	17370,76
Y13	18	24	0,001251	12088,37	2744,47	696,95	217590,63	49400,42	12545,19	290120,83	65867,23	16726,92
Y17	24	24	0,001251	12088,37	2755,04	720,02	290120,83	66121,03	17280,60	290120,83	66121,03	17280,60
Y324	30	24	0,002133	20622,22	5418,21	1607,79	618666,67	162546,26	48233,57	494933,33	130037,01	38586,86
			SUM	28003165,28	25857143,24	18804778,33	585685752,08	541788006,19	394451714,67	4761437,50	1436828,50	355723,41
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.	Z=3			Κ.Σ.								
		X(m)	Y(m)									
		ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	0,17003									
		STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	0,05557									
	STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	0,01892										

Πίνακας 1. Ασύμμετρα Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=3 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.															
Z=6	X(m)	Y(m)	ly(m4)	Ei/h(KNm)			X*ly			Y*ly					
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62			
Y28	0	0	0,002133	20622,22	19774,14	16967,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y29	6	0	0,001251	12088,37	10502,82	5857,99	72530,21	63016,92	35147,93	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y33	12	0	0,001251	12088,37	10896,28	3868,57	145060,42	130755,41	46422,82	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y37	18	0	1,429167	13815277,78	13815277,78	13370171,08	248675000,00	248675000,00	240663079,41	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y45	24	0	1,429167	13815277,78	13799002,34	12645728,08	331566666,67	331176056,13	303497473,99	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y44	30	0	0,002133	20622,22	17844,87	9302,22	618666,67	535346,00	279066,63	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y49	0	6	0,001251	12088,37	7440,43	2046,89	0,00	0,00	0,00	72530,21	44642,59	12281,33			
Y53	6	6	0,001251	12088,37	7166,38	1455,04	72530,21	42998,31	8730,24	72530,21	42998,31	8730,24			
Y57	12	6	0,001251	12088,37	8027,34	1100,79	145060,42	96328,10	13209,42	72530,21	48164,05	6604,71			
Y61	18	6	0,001251	12088,37	8484,71	1121,75	217590,63	152724,74	20191,48	72530,21	50908,25	6730,49			
Y65	24	6	0,001251	12088,37	7599,44	1109,99	290120,83	182386,63	26639,65	72530,21	45596,66	6659,91			
Y69	30	6	0,001251	12088,37	6811,68	1415,65	362651,04	204350,31	42469,61	72530,21	40870,06	8493,92			
Y73	0	12	0,001251	12088,37	5835,12	1263,27	0,00	0,00	0,00	145060,42	70021,48	15159,26			
Y77	6	12	0,001251	12088,37	5521,94	975,52	72530,21	33131,67	5853,14	145060,42	66263,34	11706,28			
Y81	12	12	0,001251	12088,37	5946,03	782,01	145060,42	71352,34	9384,13	145060,42	71352,34	9384,13			
Y85	18	12	0,001251	12088,37	5968,27	703,21	217590,63	107428,94	12657,82	145060,42	71619,30	8438,55			
Y89	24	12	0,001251	12088,37	5720,66	781,51	290120,83	137295,80	18756,22	145060,42	68647,90	9378,11			
Y93	30	12	0,001251	12088,37	5555,19	970,26	362651,04	166655,58	29107,80	145060,42	66662,23	11643,12			
Y296	0	18	0,001251	12088,37	4794,90	1010,04	0,00	0,00	0,00	217590,63	86308,17	18180,64			
Y300	6	18	0,001251	12088,37	4333,48	839,84	72530,21	26000,88	5039,04	217590,63	78002,63	15117,11			
Y304	12	18	0,001251	12088,37	4662,50	739,70	145060,42	55950,05	8876,46	217590,63	83925,08	13314,69			
Y308	18	18	0,001251	12088,37	4637,61	700,21	217590,63	83476,92	12603,76	217590,63	83476,92	12603,76			
Y312	24	18	0,001251	12088,37	4461,75	739,73	290120,83	107081,91	17753,48	217590,63	80311,43	13315,11			
Y316	30	18	0,001251	12088,37	4610,84	845,53	362651,04	138325,16	25366,03	217590,63	82995,10	15219,62			
Y320	0	24	0,002133	20622,22	6713,71	1580,77	0,00	0,00	0,00	494933,33	161129,11	37938,42			
Y5	6	24	0,001251	12088,37	3517,34	786,44	72530,21	21104,04	4718,65	290120,83	84416,17	18874,59			
Y9	12	24	0,001251	12088,37	3688,34	728,25	145060,42	44260,04	8739,00	290120,83	88520,09	17477,99			
Y13	18	24	0,001251	12088,37	3637,16	700,10	217590,63	65468,88	12601,76	290120,83	87291,84	16802,35			
Y17	24	24	0,001251	12088,37	3664,62	715,20	290120,83	87950,89	17164,83	290120,83	87950,89	17164,83			
Y324	30	24	0,002133	20622,22	8093,42	1593,51	618666,67	242802,65	47805,33	494933,33	194242,12	38244,26			
SUM				28003165,28	27810191,09	26076600,78	585685752,08	582647248,33	544868858,62		4761437,50	1886316,05	349463,42		
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.				Z=6			Κ.Σ.								
							X(m)	Y(m)							
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER			20,91498	0,17003							
				STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)			20,95085	0,06783							
STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)			20,89493	0,01340											

Πίνακας 2. Ασύμμετρα Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=6 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.															
Z=9	X(m)	Y(m)	ly(m4)	Ei/h(KNm)			X*ly			Y*ly					
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62			
Y28	0	0	0,002133	20622,22	20622,22	9459,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y29	6	0	0,001251	12088,37	12088,37	5196,23	72530,21	72530,21	31177,39	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y33	12	0	0,001251	12088,37	11275,14	4139,69	145060,42	135301,70	49676,27	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y37	18	0	1,429167	13815277,78	13815277,78	13815277,78	248675000,00	248675000,00	248675000,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y45	24	0	1,429167	13815277,78	13815277,78	13799857,03	331566666,67	331566666,67	331196568,69	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y44	30	0	0,002133	20622,22	19214,60	9167,66	618666,67	576438,00	275029,91	0,00	0,00	0,00	0,00		
Y49	0	6	0,001251	12088,37	11558,97	4938,18	0,00	0,00	0,00	72530,21	69353,85	29629,08			
Y53	6	6	0,001251	12088,37	11223,69	4382,92	72530,21	67342,17	26297,52	72530,21	67342,17	26297,52			
Y57	12	6	0,001251	12088,37	12010,50	4417,65	145060,42	144125,98	53011,79	72530,21	72062,99	26505,89			
Y61	18	6	0,001251	12088,37	11894,41	4601,00	217590,63	214099,30	82818,07	72530,21	71366,43	27606,02			
Y65	24	6	0,001251	12088,37	11076,48	4531,63	290120,83	265835,47	108759,15	72530,21	66458,87	27189,79			
Y69	30	6	0,001251	12088,37	10671,60	4893,44	362651,04	320148,05	146803,35	72530,21	64029,61	29360,67			
Y73	0	12	0,001251	12088,37	11219,71	4378,24	0,00	0,00	0,00	145060,42	134636,55	52538,82			
Y77	6	12	0,001251	12088,37	10289,21	3869,40	72530,21	61735,28	23216,40	145060,42	123470,56	46432,80			
Y81	12	12	0,001251	12088,37	10892,08	4019,07	145060,42	130705,01	48228,90	145060,42	130705,01	48228,90			
Y85	18	12	0,001251	12088,37	10908,08	3998,95	217590,63	196345,46	71981,01	145060,42	130896,97	47987,34			
Y89	24	12	0,001251	12088,37	10367,68	3947,35	290120,83	248824,38	94736,50	145060,42	124412,19	47368,25			
Y93	30	12	0,001251	12088,37	10176,31	4213,43	362651,04	305289,36	126403,04	145060,42	122115,74	50561,21			
Y296	0	18	0,001251	12088,37	10636,34	3929,84	0,00	0,00	0,00	217590,63	191454,07	70737,20			
Y300	6	18	0,001251	12088,37	9410,33	3486,90	72530,21	56461,96	20921,43	217590,63	169385,88	62764,28			
Y304	12	18	0,001251	12088,37	9822,47	3639,02	145060,42	117869,59	43668,25	217590,63	176804,39	65502,37			
Y308	18	18	0,001251	12088,37	9803,65	3604,39	217590,63	176465,64	64879,00	217590,63	176465,64	64879,00			
Y312	24	18	0,001251	12088,37	9402,45	3557,52	290120,83	225658,82	85380,39	217590,63	169244,11	64035,29			
Y316	30	18	0,001251	12088,37	9564,45	3814,88	362651,04	286933,58	114446,50	217590,63	172160,15	68667,90			
Y320	0	24	0,002133	20622,22	16998,86	6012,28	0,00	0,00	0,00	494933,33	407972,53	144294,65			
Y5	6	24	0,001251	12088,37	8333,13	3167,52	72530,21	49998,78	19005,09	290120,83	19995,12	76020,38			
Y9	12	24	0,001251	12088,37	8779,51	3274,17	145060,42	105354,07	39290,00	290120,83	210708,14	78580,00			
Y13	18	24	0,001251	12088,37	8691,28	3273,54	217590,63	156442,95	58923,79	290120,83	208590,60	78565,06			
Y17	24	24	0,001251	12088,37	8661,66	3255,26	290120,83	207879,96	78126,27	290120,83	207879,96	78126,27			
Y324	30	24	0,002133	20622,22	17821,56	6461,08	618666,67	534646,75	193832,46	494933,33	427717,40	155065,97			
SUM				28003165,28	27953970,30	27742765,76	585685752,08	584898099,14	581728181,16		4761437,50	3895228,92	1466944,66		
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.				Z=9			Κ.Σ.								
							X(m)	Y(m)							
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER			20,91498	0,17003							
				STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)			20,92361	0,13934							
STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)			20,96864	0,05288											

Πίνακας 3. Ασύμμετρα Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=9 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=12	X(m)	Y(m)	Iy(m <sup>4</sup> )	Ei/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP17	STEP62
Y28	0	0	0,002133	20622,22	20622,22	9538,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	0,001251	12088,37	12088,37	5209,27	72530,21	72530,21	31255,61	0,00	0,00	0,00
Y33	12	0	0,001251	12088,37	10991,54	4118,11	145060,42	131898,44	49417,28	0,00	0,00	0,00
Y37	18	0	1,429167	13815277,78	13815277,78	13815277,78	248675000,00	248675000,00	248675000,00	0,00	0,00	0,00
Y45	24	0	1,429167	13815277,78	13815277,78	13815277,78	331566666,67	331566666,67	331566666,67	0,00	0,00	0,00
Y44	30	0	0,002133	20622,22	19571,31	9355,94	618666,67	587139,39	280678,31	0,00	0,00	0,00
Y49	0	6	0,001251	12088,37	12088,37	6225,43	0,00	0,00	0,00	72530,21	72530,21	37352,60
Y53	6	6	0,001251	12088,37	12088,37	5384,66	72530,21	72530,21	32307,96	72530,21	72530,21	32307,96
Y57	12	6	0,001251	12088,37	12088,37	5355,48	145060,42	145060,42	64265,73	72530,21	72530,21	32132,87
Y61	18	6	0,001251	12088,37	12088,37	5633,94	217590,63	217590,63	101410,91	72530,21	72530,21	33803,64
Y65	24	6	0,001251	12088,37	12088,37	5630,21	290120,83	290120,83	135125,03	72530,21	72530,21	33781,26
Y69	30	6	0,001251	12088,37	12088,37	6160,37	362651,04	362651,04	184811,23	72530,21	72530,21	36962,25
Y73	0	12	0,001251	12088,37	12088,37	6881,16	0,00	0,00	0,00	145060,42	145060,42	82573,90
Y77	6	12	0,001251	12088,37	12088,37	5797,60	72530,21	72530,21	34785,58	145060,42	145060,42	69571,15
Y81	12	12	0,001251	12088,37	12088,37	6036,47	145060,42	145060,42	72437,69	145060,42	145060,42	72437,69
Y85	18	12	0,001251	12088,37	12088,37	6024,92	217590,63	217590,63	108448,56	145060,42	145060,42	72299,04
Y89	24	12	0,001251	12088,37	12088,37	5913,39	290120,83	290120,83	141921,43	145060,42	145060,42	70960,72
Y93	30	12	0,001251	12088,37	12088,37	6510,01	362651,04	362651,04	195300,28	145060,42	145060,42	78120,11
Y296	0	18	0,001251	12088,37	12088,37	7509,53	0,00	0,00	0,00	217590,63	217590,63	135171,58
Y300	6	18	0,001251	12088,37	12088,37	6302,07	72530,21	72530,21	37812,39	217590,63	217590,63	113437,18
Y304	12	18	0,001251	12088,37	12088,37	6692,92	145060,42	145060,42	80315,01	217590,63	217590,63	120472,51
Y308	18	18	0,001251	12088,37	12088,37	6624,01	217590,63	217590,63	119232,14	217590,63	217590,63	119232,14
Y312	24	18	0,001251	12088,37	12088,37	6488,71	290120,83	290120,83	155729,04	217590,63	217590,63	116796,78
Y316	30	18	0,001251	12088,37	12088,37	7220,90	362651,04	362651,04	216626,99	217590,63	217590,63	129976,19
Y320	0	24	0,002133	20622,22	20622,22	14627,56	0,00	0,00	0,00	494933,33	494933,33	351061,35
Y5	6	24	0,001251	12088,37	11789,16	6924,94	72530,21	70734,95	41549,63	290120,83	282939,79	166198,50
Y9	12	24	0,001251	12088,37	11914,70	7333,70	145060,42	142976,37	88004,41	290120,83	285952,73	176008,82
Y13	18	24	0,001251	12088,37	11988,62	7369,66	217590,63	215795,10	132653,85	290120,83	287726,80	176871,80
Y17	24	24	0,001251	12088,37	11851,60	7192,74	290120,83	284438,30	172625,69	290120,83	284438,30	172625,69
Y324	30	24	0,002133	20622,22	20589,01	14565,01	618666,67	617670,18	436950,29	494933,33	494136,14	349560,24
			SUM	28003165,28	28000174,92	27829183,06	585685752,08	585628708,98	583155331,72	4761437,50	4741214,61	2779715,96
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΟΣ Κ.Σ.	Z=12			Κ.Σ.								
				X(m)	Y(m)							
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	20,91498	0,17003						
				STEP17 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	20,91518	0,16933						
			STEP62 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	20,95481	0,09988							

Πίνακας 4. Ασύμμετρα Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=12 m

ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ ΚΑΘΥΨΟΣ

Z=3	X(m)	Y(m)	ly(m4)	ΕΙ/h(KNm)			X*y			Y*y						
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58				
				Y28	0	0	0,002133	20622,22	19678,60	17432,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	1,429167	13815277,78	13714590,73	12746174,49	82891666,67	82287544,40	76477046,91	0,00	0,00	0,00				
Y33	12	0	1,429167	13815277,78	13813449,39	13078186,84	165783333,33	165761392,68	156938242,10	0,00	0,00	0,00				
Y37	18	0	0,001251	12088,37	11085,19	6739,23	217590,63	199533,41	121306,14	0,00	0,00	0,00				
Y45	24	0	0,001251	12088,37	10896,81	6598,37	290120,83	261523,48	158360,97	0,00	0,00	0,00				
Y44	30	0	0,002133	20622,22	18872,02	17316,35	618666,67	566160,67	519490,50	0,00	0,00	0,00				
Y49	0	6	0,001251	12088,37	8010,04	1835,24	0,00	0,00	0,00	72530,21	48060,25	11011,41				
Y53	6	6	0,001251	12088,37	8223,07	1761,73	72530,21	49338,44	10570,38	72530,21	49338,44	10570,38				
Y57	12	6	0,001251	12088,37	9397,62	1778,64	145060,42	112771,46	21343,65	72530,21	56385,73	10671,83				
Y61	18	6	0,001251	12088,37	8775,48	1792,39	217590,63	157958,66	32263,10	72530,21	52652,89	10754,37				
Y65	24	6	0,001251	12088,37	8015,00	1836,05	290120,83	192359,96	44065,19	72530,21	48089,99	11016,30				
Y69	30	6	0,001251	12088,37	7458,77	2001,15	362651,04	223763,23	60034,54	72530,21	44752,65	12006,91				
Y73	0	12	0,001251	12088,37	6319,15	1022,54	0,00	0,00	0,00	145060,42	75829,74	12270,49				
Y77	6	12	0,001251	12088,37	6202,54	978,29	72530,21	37215,23	5869,76	145060,42	74430,46	11739,53				
Y81	12	12	0,001251	12088,37	6586,24	977,26	145060,42	79034,88	11727,08	145060,42	79034,88	11727,08				
Y85	18	12	0,001251	12088,37	6493,12	983,40	217590,63	116876,13	17701,16	145060,42	77917,42	11800,77				
Y89	24	12	0,001251	12088,37	6057,73	982,30	290120,83	145385,59	23575,29	145060,42	72692,79	11787,65				
Y93	30	12	0,001251	12088,37	5871,10	1231,06	362651,04	176132,85	36931,65	145060,42	70453,14	14772,66				
Y296	0	18	0,001251	12088,37	5070,22	873,32	0,00	0,00	0,00	217590,63	91263,89	15719,71				
Y300	6	18	0,001251	12088,37	4846,75	749,82	72530,21	29080,52	4498,91	217590,63	87241,57	13496,73				
Y304	12	18	0,001251	12088,37	5105,95	698,68	145060,42	61271,37	8384,11	217590,63	91907,05	12576,16				
Y308	18	18	0,001251	12088,37	5000,55	739,21	217590,63	90009,98	13305,71	217590,63	90009,98	13305,71				
Y312	24	18	0,001251	12088,37	4824,88	839,34	290120,83	115797,05	20144,16	217590,63	86847,78	15108,12				
Y316	30	18	0,001251	12088,37	4819,65	989,98	362651,04	144589,42	29699,37	217590,63	86753,65	17819,62				
Y320	0	24	0,002133	20622,22	7082,84	1640,19	0,00	0,00	0,00	494933,33	169988,06	39634,50				
Y5	6	24	0,001251	12088,37	3918,35	732,62	72530,21	23510,12	4395,74	290120,83	94040,49	17582,98				
Y9	12	24	0,001251	12088,37	4000,68	700,27	145060,42	48008,14	8403,30	290120,83	96016,27	16806,60				
Y13	18	24	0,001251	12088,37	4018,26	716,20	217590,63	72328,67	12891,66	290120,83	96438,23	17188,87				
Y17	24	24	0,001251	12088,37	3937,55	771,77	290120,83	94501,27	18522,60	290120,83	94501,27	18522,60				
Y324	30	24	0,002133	20622,22	7664,78	1780,31	618666,67	229943,26	53409,40	494933,33	183954,61	42727,52				
			SUM	28003165,28	27736273,06	25900859,49	254409206,25	251276030,86	234652183,39		4761437,50	2018601,23	380348,49			
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.				Z=3			ΚΔ									
				X(m)		Y(m)										
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER				9,085016059	0,170032118							
				STEP20 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)				9,059473504	0,072778388							
				STEP58 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)				9,059629217	0,014684783							

Πίνακας 5. Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα Καθύψος, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=3 m

Z=6	X(m)	Y(m)	ly(m4)	ΕΙ/h(KNm)			X*y			Y*y						
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58				
				Y28	0	0	0,002133	20622,22	18580,17	14528,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	1,429167	13815277,78	12707437,01	2646383,04	82891666,67	76244622,05	15878298,23	0,00	0,00	0,00				
Y33	12	0	1,429167	13815277,78	12070619,94	2532428,89	165783333,33	144847439,29	30389146,70	0,00	0,00	0,00				
Y37	18	0	0,001251	12088,37	12088,37	11750,06	217590,63	211501,05	211501,05	0,00	0,00	0,00				
Y45	24	0	0,001251	12088,37	12088,37	11467,50	290120,83	290120,83	275220,03	0,00	0,00	0,00				
Y44	30	0	0,002133	20622,22	16104,14	3509,48	618666,67	483124,05	105284,41	0,00	0,00	0,00				
Y49	0	6	0,001251	12088,37	8374,87	1963,45	0,00	0,00	0,00	72530,21	50249,23	11780,68				
Y53	6	6	0,001251	12088,37	7968,15	1110,70	72530,21	47808,90	6664,17	72530,21	47808,90	6664,17				
Y57	12	6	0,001251	12088,37	9142,84	1111,56	145060,42	109714,05	13338,68	72530,21	54857,03	6669,34				
Y61	18	6	0,001251	12088,37	9294,84	1132,58	217590,63	167307,08	20386,39	72530,21	55769,03	6795,46				
Y65	24	6	0,001251	12088,37	8573,31	1140,84	290120,83	205759,36	27380,26	72530,21	51439,84	6845,06				
Y69	30	6	0,001251	12088,37	7813,43	1102,24	362651,04	234403,02	33067,24	72530,21	46880,60	6613,45				
Y73	0	12	0,001251	12088,37	7306,35	1230,13	0,00	0,00	0,00	145060,42	87676,22	14761,51				
Y77	6	12	0,001251	12088,37	6723,03	946,34	72530,21	40338,17	5678,01	145060,42	80676,34	11356,02				
Y81	12	12	0,001251	12088,37	7304,20	757,83	145060,42	87650,44	9093,96	145060,42	87650,44	9093,96				
Y85	18	12	0,001251	12088,37	7274,85	740,19	217590,63	130947,24	13323,33	145060,42	87298,16	8882,22				
Y89	24	12	0,001251	12088,37	6978,40	763,00	290120,83	167481,62	18311,95	145060,42	83740,81	9155,97				
Y93	30	12	0,001251	12088,37	6776,52	971,07	362651,04	203295,69	29132,04	145060,42	81318,27	11652,82				
Y296	0	18	0,001251	12088,37	6279,88	990,70	0,00	0,00	0,00	217590,63	113037,91	17832,58				
Y300	6	18	0,001251	12088,37	5595,89	829,64	72530,21	33575,37	4977,85	217590,63	100726,10	14933,55				
Y304	12	18	0,001251	12088,37	6010,01	734,87	145060,42	72120,06	8818,42	217590,63	108180,09	13227,63				
Y308	18	18	0,001251	12088,37	5888,43	699,17	217590,63	105991,81	12585,00	217590,63	105991,81	12585,00				
Y312	24	18	0,001251	12088,37	5740,23	742,00	290120,83	137765,48	17807,96	217590,63	103324,11	13355,97				
Y316	30	18	0,001251	12088,37	5987,25	845,25	362651,04	179617,58	25357,50	217590,63	107770,55	15214,50				
Y320	0	24	0,002133	20622,22	9336,57	1789,82	0,00	0,00	0,00	494933,33	224077,67	42955,63				
Y5	6	24	0,001251	12088,37	4705,23	783,22	72530,21	28231,37	4699,31	290120,83	112925,50	18797,22				
Y9	12	24	0,001251	12088,37	4955,47	727,24	145060,42	59465,64	8726,88	290120,83	118931,28	17453,77				
Y13	18	24	0,001251	12088,37	4885,77	700,05	217590,63	87943,81	12600,85	290120,83	117258,41	16801,14				
Y17	24	24	0,001251	12088,37	4863,60	715,53	290120,83	116726,46	17172,73	290120,83	116726,46	17172,73				
Y324	30	24	0,002133	20622,22	10636,86	1586,58	618666,67	319105,65	47597,30	494933,33	255284,52	38077,84				
			SUM	28003165,28	25005333,97	5244181,85	254409206,25	224618145,66	47196170,24		4761437,50	2399599,29	348678,21			
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.				Z=6			ΚΔ									
				X(m)		Y(m)										
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER				9,085016059	0,170032118							
				STEP20 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)				8,982809264	0,095963497							
				STEP58 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)				8,999720369	0,066488582							

Πίνακας 6. Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα Καθύψος, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=6 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=9	X(m)	Y(m)	ly(m4)	Ει/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58
Y28	0	0	0,002133	20622,22	20622,22	4342,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	1,429167	13815277,78	13815277,78	2824729,76	82891666,67	82891666,67	16948378,53	0,00	0,00	0,00
Y33	12	0	1,429167	13815277,78	12105484,61	2482396,73	165783333,33	145265815,33	29788760,79	0,00	0,00	0,00
Y37	18	0	0,001251	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	0,00	0,00	0,00
Y45	24	0	0,001251	12088,37	12088,37	12076,37	290120,83	290120,83	289832,91	0,00	0,00	0,00
Y44	30	0	0,002133	20622,22	18643,19	6009,41	618666,67	559295,81	180282,16	0,00	0,00	0,00
Y49	0	6	0,001251	12088,37	11868,29	2486,41	0,00	0,00	0,00	72530,21	71209,74	14918,47
Y53	6	6	0,001251	12088,37	11098,56	2321,38	72530,21	66591,37	13928,31	72530,21	66591,37	13928,31
Y57	12	6	0,001251	12088,37	11805,15	2314,27	145060,42	141661,78	27771,25	72530,21	70830,89	13885,62
Y61	18	6	0,001251	12088,37	11736,74	2417,72	217590,63	211261,28	43518,98	72530,21	70420,43	14506,33
Y65	24	6	0,001251	12088,37	11236,64	2422,74	290120,83	269679,32	58145,78	72530,21	67419,83	14536,45
Y69	30	6	0,001251	12088,37	10924,61	2758,35	362651,04	327738,44	82750,62	72530,21	65547,69	16550,12
Y73	0	12	0,001251	12088,37	11616,66	2390,10	0,00	0,00	0,00	145060,42	139399,97	28681,17
Y77	6	12	0,001251	12088,37	10382,30	2222,29	72530,21	62293,80	13333,75	145060,42	124587,61	26667,50
Y81	12	12	0,001251	12088,37	10942,49	2266,51	145060,42	131309,88	27198,12	145060,42	131309,88	27198,12
Y85	18	12	0,001251	12088,37	10911,97	2258,57	217590,63	196415,77	40654,32	145060,42	130943,64	27102,88
Y89	24	12	0,001251	12088,37	10473,65	2241,22	290120,83	251367,70	53789,33	145060,42	125683,85	26894,66
Y93	30	12	0,001251	12088,37	10672,25	2380,83	362651,04	320167,62	71424,77	145060,42	128067,05	28569,91
Y296	0	18	0,001251	12088,37	11150,83	2310,29	0,00	0,00	0,00	217590,63	200714,97	41585,20
Y300	6	18	0,001251	12088,37	9672,03	2142,47	72530,21	58032,17	12854,80	217590,63	174096,50	38564,39
Y304	12	18	0,001251	12088,37	10118,79	2198,31	145060,42	121425,49	26379,68	217590,63	182138,23	39569,51
Y308	18	18	0,001251	12088,37	10038,18	2186,77	217590,63	180687,28	39361,82	217590,63	180687,28	39361,82
Y312	24	18	0,001251	12088,37	9728,03	2157,48	290120,83	233472,78	51779,55	217590,63	175104,58	38834,66
Y316	30	18	0,001251	12088,37	10192,15	2231,31	362651,04	305764,60	66939,27	217590,63	183458,76	40163,56
Y320	0	24	0,002133	20622,22	18178,39	3789,66	0,00	0,00	0,00	494933,33	436281,30	90951,76
Y5	6	24	0,001251	12088,37	8699,31	2082,56	72530,21	52195,84	12495,35	290120,83	208783,36	49981,41
Y9	12	24	0,001251	12088,37	9227,05	2114,58	145060,42	110724,65	25374,98	290120,83	221449,30	50749,95
Y13	18	24	0,001251	12088,37	9159,89	2109,50	217590,63	164878,04	37970,95	290120,83	219837,38	50627,94
Y17	24	24	0,001251	12088,37	9053,21	2097,11	290120,83	217277,00	50330,63	290120,83	217277,00	50330,63
Y324	30	24	0,002133	20622,22	18330,53	3877,68	618666,67	549915,96	116330,51	494933,33	439932,77	93064,40
SUM				28003165,28	26251422,26	5399421,68	254409206,25	233197349,72	48297177,75	4761437,50	4031773,37	877224,77
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.	Z=9			ΚΔ								
	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER			X(m)	Y(m)							
	STEP20 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)			9,085016059	0,170032118							
	STEP58 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)			8,883227255	0,153583045							
			8,944879766	0,162466431								

Πίνακας 7. Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα Καθύψος, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=9 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=12	X(m)	Y(m)	ly(m4)	Ει/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP20	STEP58
Y28	0	0	0,002133	20622,22	20622,22	4331,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	1,429167	13815277,78	13571741,88	2817579,31	82891666,67	81430451,29	16905475,85	0,00	0,00	0,00
Y33	12	0	1,429167	13815277,78	11694641,17	2468433,74	165783333,33	140335694,04	29621204,93	0,00	0,00	0,00
Y37	18	0	0,001251	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	0,00	0,00	0,00
Y45	24	0	0,001251	12088,37	12088,37	12056,23	290120,83	290120,83	289349,62	0,00	0,00	0,00
Y44	30	0	0,002133	20622,22	18387,93	5989,14	618666,67	551637,87	179674,10	0,00	0,00	0,00
Y49	0	6	0,001251	12088,37	12088,37	2923,38	0,00	0,00	0,00	72530,21	72530,21	17540,27
Y53	6	6	0,001251	12088,37	12009,77	2732,15	72530,21	72058,60	16392,88	72530,21	72058,60	16392,88
Y57	12	6	0,001251	12088,37	12088,37	2728,69	145060,42	145060,42	32744,27	72530,21	72530,21	16372,14
Y61	18	6	0,001251	12088,37	12088,37	2851,17	217590,63	217590,63	51320,97	72530,21	72530,21	17106,99
Y65	24	6	0,001251	12088,37	12088,37	2870,75	290120,83	290120,83	68898,03	72530,21	72530,21	17224,51
Y69	30	6	0,001251	12088,37	12020,76	3329,48	362651,04	360622,94	99884,30	72530,21	72124,59	19976,86
Y73	0	12	0,001251	12088,37	12088,37	3401,91	0,00	0,00	0,00	145060,42	145060,42	40822,86
Y77	6	12	0,001251	12088,37	12027,38	3112,20	72530,21	72164,30	18673,18	145060,42	144328,60	37346,35
Y81	12	12	0,001251	12088,37	12088,37	3190,79	145060,42	145060,42	38289,46	145060,42	145060,42	38289,46
Y85	18	12	0,001251	12088,37	12088,37	3201,95	217590,63	217590,63	57635,02	145060,42	145060,42	38423,35
Y89	24	12	0,001251	12088,37	12088,37	3169,20	290120,83	290120,83	70600,90	145060,42	145060,42	38030,45
Y93	30	12	0,001251	12088,37	12088,37	3405,08	362651,04	362651,04	102152,50	145060,42	145060,42	40861,00
Y296	0	18	0,001251	12088,37	12088,37	4056,84	0,00	0,00	0,00	217590,63	217590,63	73023,19
Y300	6	18	0,001251	12088,37	12034,75	3660,24	72530,21	72208,53	21961,42	217590,63	216625,58	65884,27
Y304	12	18	0,001251	12088,37	12088,37	3799,24	145060,42	145060,42	45590,88	217590,63	217590,63	68386,32
Y308	18	18	0,001251	12088,37	12088,37	3810,59	217590,63	217590,63	68590,70	217590,63	217590,63	68590,70
Y312	24	18	0,001251	12088,37	12088,37	3740,58	290120,83	290120,83	89773,80	217590,63	217590,63	67330,35
Y316	30	18	0,001251	12088,37	12088,37	3839,88	362651,04	362651,04	115196,39	217590,63	217590,63	69117,84
Y320	0	24	0,002133	20622,22	20622,22	8574,39	0,00	0,00	0,00	494933,33	494933,33	205785,46
Y5	6	24	0,001251	12088,37	11794,59	4467,92	72530,21	70767,56	26807,50	290120,83	283070,24	107229,98
Y9	12	24	0,001251	12088,37	11931,76	4640,97	145060,42	143181,08	55691,60	290120,83	286362,15	111383,19
Y13	18	24	0,001251	12088,37	11948,20	4645,91	217590,63	215067,57	83626,32	290120,83	286756,76	111501,76
Y17	24	24	0,001251	12088,37	11791,87	4584,82	290120,83	283004,99	110035,75	290120,83	283004,99	110035,75
Y324	30	24	0,002133	20622,22	20387,99	8226,92	618666,67	611639,78	246807,73	494933,33	489311,82	197446,18
SUM				28003165,28	25635376,40	5415443,79	254409206,25	227409827,71	48639428,72	4761437,50	4731952,70	1594102,11
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.	Z=12			ΚΔ								
	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER			X(m)	Y(m)							
	STEP20 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)			9,085016059	0,170032118							
	STEP58 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)			8,870937730	0,184586824							
			8,981614543	0,294362231								

Πίνακας 8. Ασύμμετρα Τοιχώματα και Ασύμμετρα Καθύψος, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=12 m



ΕΝΑΛΛΑΞ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=3	X(m)	Y(m)	ly(m4)	Ei/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47
Y28	0	0	0,002133	20622,22	17798,35	17423,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y29	6	0	0,001251	12088,37	11167,73	11143,16	72530,21	67006,36	66858,94	0,00	0,00	0,00
Y33	12	0	0,001251	12088,37	12088,37	11983,53	145060,42	145060,42	143802,41	0,00	0,00	0,00
Y37	18	0	0,001251	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	0,00	0,00	0,00
Y45	24	0	1,429167	13815277,78	13217614,46	13160109,06	331566666,67	317222747,06	315842617,39	0,00	0,00	0,00
Y44	30	0	0,002133	20622,22	19134,40	18626,81	618666,67	574031,89	558804,28	0,00	0,00	0,00
Y49	0	6	0,001251	12088,37	9850,53	9293,76	0,00	0,00	0,00	72530,21	59103,21	55762,58
Y53	6	6	0,001251	12088,37	9101,27	5009,16	72530,21	54607,65	30054,98	72530,21	54607,65	30054,98
Y57	12	6	0,001251	12088,37	10208,75	9296,00	145060,42	122504,95	111552,04	72530,21	61252,47	55776,02
Y61	18	6	0,001251	12088,37	10511,65	10032,21	217590,63	189209,62	180579,84	72530,21	63069,87	60193,28
Y65	24	6	0,001251	12088,37	9476,72	9042,44	290120,83	227441,18	217018,52	72530,21	56860,30	54254,63
Y69	30	6	0,001251	12088,37	8917,61	8435,22	362651,04	267528,40	253056,54	72530,21	53505,68	50611,31
Y73	0	12	0,001251	12088,37	8150,97	7516,94	0,00	0,00	0,00	145060,42	97811,64	90203,33
Y77	6	12	0,001251	12088,37	7721,73	3869,36	72530,21	46330,38	23216,15	145060,42	92660,76	46432,29
Y81	12	12	0,001251	12088,37	8303,11	7442,81	145060,42	99637,27	89313,69	145060,42	99637,27	89313,69
Y85	18	12	0,001251	12088,37	8389,23	7762,61	217590,63	151006,08	139727,04	145060,42	100670,72	93151,36
Y89	24	12	0,001251	12088,37	7982,64	7396,32	290120,83	191583,44	177511,56	145060,42	95791,72	88755,78
Y93	30	12	0,001251	12088,37	7729,61	7215,87	362651,04	231888,16	216476,24	145060,42	92755,26	86590,49
Y296	0	18	0,001251	12088,37	6864,26	6228,40	0,00	0,00	0,00	217590,63	123556,69	112111,13
Y300	6	18	0,001251	12088,37	6619,26	3257,71	72530,21	39715,55	19546,26	217590,63	119146,65	58638,78
Y304	12	18	0,001251	12088,37	6830,20	6119,92	145060,42	81962,44	73439,06	217590,63	122943,65	110158,59
Y308	18	18	0,001251	12088,37	6898,90	6234,11	217590,63	124180,13	112213,95	217590,63	124180,13	112213,95
Y312	24	18	0,001251	12088,37	6627,23	6058,90	290120,83	19053,50	145413,56	217590,63	119290,13	109060,17
Y316	30	18	0,001251	12088,37	6626,10	6107,46	362651,04	198782,89	183223,73	217590,63	119269,73	109934,24
Y320	0	24	0,002133	20622,22	8637,84	7880,90	0,00	0,00	0,00	494933,33	207308,16	189141,52
Y5	6	24	0,001251	12088,37	7540,58	3122,32	72530,21	45243,48	18733,92	290120,83	180973,91	74935,69
Y9	12	24	0,001251	12088,37	5651,32	5136,03	145060,42	67815,88	61632,31	290120,83	135631,76	123264,63
Y13	18	24	0,001251	12088,37	5694,53	5166,45	217590,63	102501,57	92996,13	290120,83	136668,76	123994,85
Y17	24	24	0,001251	12088,37	5623,08	5127,69	290120,83	134953,81	123064,62	290120,83	134953,81	123064,62
Y324	30	24	0,002133	20622,22	10234,39	9684,20	618666,67	307031,71	290525,89	494933,33	245625,37	232420,71
SUM				14199975,87	13480083,16	13393810,90	337228342,71	321069414,42	319388969,68	4761437,50	2697275,29	2280038,62
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.				Z=3			Κ.Σ.					
				X(m)			Y(m)					
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER			23,74852			0,33531		
				STEP18 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)			23,81806			0,20009		
				STEP47 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)			23,84601			0,17023		

Πίνακας 9. Εναλλάξ Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=3 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=6	X(m)	Y(m)	ly(m4)	Ei/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47
Y27	0	0	0,0021333	20622,22	7017,21	1489,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y30	6	0	0,0012505	12088,37	3846,49	710,50	72530,21	23078,91	4263,01	0,00	0,00	0,00
Y34	12	0	0,0012505	12088,37	3967,29	706,15	145060,42	47607,50	8473,75	0,00	0,00	0,00
Y46	18	0	0,0012505	12088,37	3830,64	704,88	217590,63	68951,54	12687,79	0,00	0,00	0,00
Y38	24	0	0,0012505	12088,37	4100,71	718,13	290120,83	98417,08	17235,17	0,00	0,00	0,00
Y43	30	0	0,0021333	20622,22	6719,34	1485,20	618666,67	201580,35	44556,14	0,00	0,00	0,00
Y50	0	6	0,0012505	12088,37	4707,12	715,51	0,00	0,00	0,00	72530,21	28242,72	4293,04
Y54	6	6	0,0012505	12088,37	4300,53	701,52	72530,21	25803,18	4209,13	72530,21	25803,18	4209,13
Y58	12	6	0,0012505	12088,37	4413,98	697,56	145060,42	52967,80	8370,69	72530,21	26483,90	4185,34
Y62	18	6	0,0012505	12088,37	4468,35	700,06	217590,63	80430,25	12601,14	72530,21	26810,08	4200,38
Y66	24	6	0,0012505	12088,37	4392,31	707,62	290120,83	105415,33	16982,87	72530,21	26353,83	4245,72
Y70	30	6	0,0012505	12088,37	4441,80	729,92	362651,04	133253,95	21897,59	72530,21	26650,79	4379,52
Y74	0	12	0,0012505	12088,37	5311,68	718,44	0,00	0,00	0,00	145060,42	63740,17	8621,25
Y78	6	12	0,0012505	12088,37	4780,31	701,78	72530,21	28681,86	4210,70	145060,42	57363,72	8421,40
Y82	12	12	0,0012505	12088,37	4918,35	701,18	145060,42	59020,15	8414,17	145060,42	59020,15	8414,17
Y86	18	12	0,0012505	12088,37	4955,62	701,17	217590,63	89201,21	12620,98	145060,42	59467,47	8413,99
Y90	24	12	0,0012505	12088,37	4860,73	706,35	290120,83	116657,56	16952,33	145060,42	58328,78	8476,16
Y94	30	12	0,0012505	12088,37	4949,85	718,66	362651,04	148495,41	21559,90	145060,42	59398,16	8623,96
Y297	0	18	0,0012505	12088,37	5970,17	720,01	0,00	0,00	0,00	217590,63	107463,01	12960,17
Y301	6	18	0,0012505	12088,37	5501,40	705,21	72530,21	33008,37	4231,26	217590,62	99025,12	12693,78
Y305	12	18	0,0012505	12088,37	5452,91	700,66	145060,42	65434,88	8407,92	217590,63	98152,32	12611,88
Y309	18	18	0,0012505	12088,37	5543,12	699,63	217590,63	99776,14	12593,39	217590,63	99776,14	12593,39
Y313	24	18	0,0012505	12088,37	5413,97	704,64	290120,83	129935,40	16911,37	217590,63	97451,55	12683,53
Y317	30	18	0,0012505	12088,37	5615,55	716,93	362651,04	168466,56	21507,77	217590,63	101079,94	12904,66
Y174	0	24	0,0021333	20622,22	9110,59	1433,71	0,00	0,00	0,00	494933,33	218654,23	34408,97
Y6	6	24	1,4291667	13815277,78	13815277,78	13815277,78	82891666,67	82891666,67	82891666,67	331566666,67	331566666,67	331566666,67
Y10	12	24	0,0012505	12088,37	5888,59	700,93	145060,42	70663,08	8411,21	290120,83	141326,16	16822,42
Y14	18	24	0,0012505	12088,37	6233,04	706,92	217590,63	112194,80	12724,51	290120,83	149593,06	16966,01
Y18	24	24	0,0012505	12088,37	5942,59	712,18	290120,83	142622,07	17092,26	290120,83	142622,07	17092,26
Y323	30	24	0,0021333	20622,22	11661,90	1528,60	618666,67	349857,12	45857,90	494933,33	279885,70	36686,32
SUM				14199975,87	13973593,92	13838921,44	88770933,33	85343187,16	83254439,60	336037983,33	333619358,92	331841574,13
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.				Z=6			Κ.Σ.					
				X(m)			Y(m)					
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER			6,251484802			23,66468693		
				STEP18 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)			6,107461519			23,87498598		
				STEP47 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)			6,015963018			23,97886104		

Πίνακας 10. Εναλλάξ Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=6 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=9	X(m)	Y(m)	ly(m <sup>4</sup> )	EI/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47
Y26	0	0	0,0021333	20622,22	20622,22	20622,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y31	6	0	0,0012505	12088,37	11254,53	11457,39	72530,21	67527,17	68744,32	0,00	0,00	0,00
Y35	12	0	0,0012505	12088,37	11862,71	11493,61	145060,42	142352,58	137923,27	0,00	0,00	0,00
Y47	18	0	0,0012505	12088,37	9857,32	9824,64	217590,63	177431,70	176843,57	0,00	0,00	0,00
Y39	24	0	1,4291667	13815277,78	13815277,78	13815277,78	331566666,67	331566666,67	331566666,67	0,00	0,00	0,00
Y42	30	0	0,0021333	20622,22	19706,61	19648,45	618666,67	591198,40	589453,40	0,00	0,00	0,00
Y51	0	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	0,00	0,00	0,00	72530,21	72530,21	72530,21
Y55	6	6	0,0012505	12088,37	11094,07	5875,51	72530,21	66564,39	35253,05	72530,21	66564,39	35253,05
Y59	12	6	0,0012505	12088,37	11489,76	11360,56	145060,42	137877,11	136326,68	72530,21	68938,55	68163,34
Y63	18	6	0,0012505	12088,37	11387,44	11347,93	217590,63	204973,90	204262,74	72530,21	68324,63	68087,58
Y67	24	6	0,0012505	12088,37	11339,62	11217,99	290120,83	272150,91	269231,74	72530,21	68037,73	67307,93
Y71	30	6	0,0012505	12088,37	11775,62	11678,65	362651,04	353268,45	350359,57	72530,21	70653,69	70071,91
Y75	0	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	0,00	0,00	0,00	145060,42	145060,42	145060,42
Y79	6	12	0,0012505	12088,37	10735,65	5603,78	72530,21	64413,88	33622,68	145060,42	128827,76	67245,35
Y83	12	12	0,0012505	12088,37	11112,37	11051,80	145060,42	133348,45	132621,56	145060,42	133348,45	132621,56
Y87	18	12	0,0012505	12088,37	11115,62	11068,34	217590,63	200081,12	199230,21	145060,42	133387,41	132820,14
Y91	24	12	0,0012505	12088,37	10905,47	10743,68	290120,83	261731,36	257848,21	145060,42	130865,68	128924,11
Y95	30	12	0,0012505	12088,37	11533,62	11510,18	362651,04	346008,72	345305,27	145060,42	138403,49	138122,11
Y298	0	18	0,0012505	12088,37	11853,68	11809,59	0,00	0,00	0,00	217590,63	213366,20	213366,20
Y302	6	18	0,0012505	12088,37	10720,77	5431,17	72530,21	64324,61	32587,02	217590,63	192973,84	97761,07
Y306	12	18	0,0012505	12088,37	10649,67	10481,74	145060,42	127795,98	125780,90	217590,63	191693,97	188671,35
Y310	18	18	0,0012505	12088,37	10780,93	10660,34	217590,63	194056,67	191886,09	217590,63	194056,67	191886,09
Y314	24	18	0,0012505	12088,37	10517,79	10422,96	290120,83	252427,05	250151,15	217590,63	189320,29	187613,36
Y318	30	18	0,0012505	12088,37	11295,58	11287,22	362651,04	338867,33	338616,61	217590,63	203320,40	203169,97
Y132	0	24	0,0021333	20622,22	15513,78	14221,42	0,00	0,00	0,00	494933,33	372330,68	341314,19
Y7	6	24	0,0012505	12088,37	10416,98	6409,49	72530,21	62501,86	38456,92	290120,83	250007,45	153827,68
Y11	12	24	0,0012505	12088,37	9583,26	9526,23	145060,42	114999,18	114314,79	290120,83	229998,35	228629,58
Y15	18	24	0,0012505	12088,37	10358,95	10223,27	217590,63	186461,19	184018,89	290120,83	248614,92	245358,52
Y19	24	24	0,0012505	12088,37	9985,51	9880,83	290120,83	239652,33	237139,84	290120,83	239652,33	237139,84
Y322	30	24	0,0021333	20622,22	18926,91	18917,97	618666,67	567807,23	567539,05	494933,33	454245,78	454031,24
				14199975,87	14165850,95	14143231,47	337228342,71	336734488,23	336584184,19	4761437,50	4204523,28	3868183,28
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.	Z=9			Κ.Σ.								
				X(m)	Y(m)							
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	23,7485152	0,3353131						
				STEP18 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	23,7708620	0,2968070						
			STEP47 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	23,7982518	0,2735007							

Πίνακας 11. Εναλλάξ Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=9 m

ΕΥΡΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.												
Z=12	X(m)	Y(m)	ly(m <sup>4</sup> )	EI/h(KNm)			X*ly			Y*ly		
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47	ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	STEP18	STEP47
Y25	0	0	0,0021333	20622,22	20622,22	20622,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y32	6	0	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	72530,21	72530,21	72530,21	0,00	0,00	0,00
Y36	12	0	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	145060,42	145060,42	145060,42	0,00	0,00	0,00
Y48	18	0	0,0012505	12088,37	11615,39	11614,75	217590,63	209076,97	209065,48	0,00	0,00	0,00
Y40	24	0	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	290120,83	290120,83	290120,83	0,00	0,00	0,00
Y41	30	0	0,0021333	20622,22	20622,22	20622,22	618666,67	618666,67	618666,67	0,00	0,00	0,00
Y52	0	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	0,00	0,00	0,00	72530,21	72530,21	72530,21
Y56	6	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	72530,21	72530,21	72530,21	72530,21	72530,21	72530,21
Y60	12	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	145060,42	145060,42	145060,42	72530,21	72530,21	72530,21
Y64	18	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	72530,21	72530,21	72530,21
Y68	24	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	290120,83	290120,83	290120,83	72530,21	72530,21	72530,21
Y72	30	6	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	362651,04	362651,04	362651,04	72530,21	72530,21	72530,21
Y76	0	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	0,00	0,00	0,00	145060,42	145060,42	145060,42
Y80	6	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	72530,21	72530,21	72530,21	145060,42	145060,42	145060,42
Y84	12	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	145060,42	145060,42	145060,42	145060,42	145060,42	145060,42
Y88	18	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	145060,42	145060,42	145060,42
Y92	24	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	290120,83	290120,83	290120,83	145060,42	145060,42	145060,42
Y96	30	12	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	362651,04	362651,04	362651,04	145060,42	145060,42	145060,42
Y299	0	18	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	0,00	0,00	0,00	217590,63	217590,63	217590,63
Y303	6	18	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	72530,21	72530,21	72530,21	217590,63	217590,63	217590,63
Y307	12	18	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	145060,42	145060,42	145060,42	217590,63	217590,63	217590,63
Y311	18	18	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	217590,63	217590,63	217590,63
Y315	24	18	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	290120,83	290120,83	290120,83	217590,63	217590,63	217590,63
Y319	30	18	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	362651,04	362651,04	362651,04	217590,63	217590,63	217590,63
Y108	0	24	0,0021333	20622,22	20622,22	20622,22	0,00	0,00	0,00	494933,33	494933,33	494933,33
Y8	6	24	1,4291667	13815277,78	13815277,78	13815277,78	82891666,67	82891666,67	82891666,67	331566666,67	331566666,67	331566666,67
Y12	12	24	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	145060,42	145060,42	145060,42	290120,83	290120,83	290120,83
Y16	18	24	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	217590,63	217590,63	217590,63	290120,83	290120,83	290120,83
Y20	24	24	0,0012505	12088,37	12088,37	12088,37	290120,83	290120,83	290120,83	290120,83	290120,83	290120,83
Y321	30	24	0,0021333	20622,22	20622,22	20622,22	618666,67	618666,67	618666,67	494933,33	494933,33	494933,33
				14199975,87	14199502,89	14199502,25	88770933,33	88762419,68	88762408,19	336037983,33	336037983,33	336037983,33
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Κ.Σ.	Z=12			Κ.Σ.								
				X(m)	Y(m)							
				ΑΡΧΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	6,251484802	23,66468693						
				STEP18 (ΒΗΜΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ)	6,251093463	23,66547519						
			STEP47 (ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ)	6,251092935	23,66547626							

Πίνακας 12. Εναλλάξ Τοιχώματα, Κέντρο Στροφής κατά ΕΑΚ2000, Z=12 m