



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Ω.Σ.**

Διπλωματική Εργασία

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**  
**ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ**  
**ΠΟΛΥΩΡΟΦΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ**

**Μπουγάς Απόστολος**

**Επιβλέπων: Κ. Γ. Τρέζος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Μάρτιος 2015



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Κωνσταντίνου Τρέζου, τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερος για την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση που παρείχε και την αξιοσημείωτη διάθεσή του να βοηθήσει καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Εξίσου οφείλω να ευχαριστήσω την εταιρία προγραμμάτων LH Logismiki, η οποία μου παρείχε το επαγγελματικό πρόγραμμα ανάλυσης FESPA 10R, το οποίο αποτέλεσε τη βάση για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ειδικότερα το Τμήμα Υποστήριξης Λογισμικού της εταιρείας για τη βοήθεια που μου παρέσχε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας σε θέματα σχετικά με χρήση του επαγγελματικού προγράμματος.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

Μπουγάς Απόστολος



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διαστασιολόγηση και την αποτίμηση φέρουσας ικανότητας ενός νέου πολυώροφου κτηρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα που υπόκειται σε σεισμική διέγερση. Πραγματοποιούνται συγκριτικές μελέτες για τη συγκεκριμένη κατασκευή για αλλαγή της Κατηγορίας Πλαστιμότητας, για αλλαγή των διαστάσεων των κατακόρυφων δομικών στοιχείων, για αλλαγή των εγκάρσιων οπλισμών των κατακόρυφων δομικών στοιχείων (υποστυλωμάτων), καθώς και των οριζόντιων (δοκών). Επίσης πραγματοποιείται συγκριτική διερεύνηση για αλλαγή του αριθμού ορόφων της κατασκευής.

Το κτήριο είναι μια νέα κατασκευή από ωπλισμένο σκυρόδεμα η οποία διαστασιολογείται και οπλίζεται σύμφωνα με τις διατάξεις των Ευρωπαϊκών Κανονισμών του EC2, και του EC8 – Μέρος 1. Για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της νέας κατασκευής και τη διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς της πραγματοποιείται ανελαστική στατική ανάλυση σύμφωνα με τις διατάξεις τόσο των Ελληνικών όσο και των Ευρωπαϊκών Κανονισμών ( ΚΑΝ.ΕΠΕ., EC8 – Μέρος 3). Οι υπολογισμοί στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνονται με τη βοήθεια του στατικού προγράμματος ανάλυσης και διαστασιολόγησης κατασκευών FESPA 10R.

Στο Κεφάλαιο 1 παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο και οι βασικές διατάξεις του EC8 – Μέρος 1 σύμφωνα με τις οποίες κατασκευάζονται τα έργα πολιτικού μηχανικού σε σεισμικές περιοχές.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στο πλαίσιο ελέγχου των Ελληνικών και Ευρωπαϊκών Κανονισμών ( ΚΑΝ.ΕΠΕ., EC8 – Μέρος 3), όσον αφορά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής το οποίο και εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Στα Κεφάλαια 3 και 4 γίνεται παρουσίαση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης και του αντισεισμικού σχεδιασμού με στάθμες επιτελεστικότητας.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η παρουσίαση του υπό μελέτη κτηρίου, καθώς και ο προσδιορισμός των παραδοχών υπολογισμού του. Επίσης γίνεται μια αναφορά στο λογισμικό FESPA 10R που χρησιμοποιήθηκε για τις μελέτες που ακολούθησαν.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η πρώτη συγκριτική διερεύνηση της εργασίας, η οποία εξετάζει την επίδραση της αλλαγής Κατηγορίας Πλαστιμότητας από Μέση σε Υψηλή, όσον αφορά τη διαστασιολόγηση και όπλιση της κατασκευής, αλλά και τη σεισμική συμπεριφορά του υπό εξέταση κτηρίου με χρήση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης.

Στα Κεφάλαια 7 και 8 ακολουθεί η δεύτερη συγκριτική μελέτη που εξετάζει την επίδραση που προκαλεί στη σεισμική συμπεριφορά του κτηρίου η αλλαγή του εγκάρσιου οπλισμού στα υποστυλώματα και στις δοκούς. Στο κεφάλαιο 7 εξετάζεται η επίδραση της αλλαγής του εγκάρσιου οπλισμού στα υποστυλώματα και στο κεφάλαιο 8 στις δοκούς. Οι συγκριτικές μελέτες στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιούνται για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ).

Στο Κεφάλαιο 9 γίνεται σύγκριση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής για αλλαγή του πλήθους ορόφων του κτηρίου.

Στο Κεφάλαιο 10 γίνεται αλλαγή των διαστάσεων των κατακόρυφων δομικών στοιχείων της κατασκευής. Παρουσιάζονται τρεις νέοι φορείς για τρία (3) διαφορετικά σενάρια κατασκευής τοιχωμάτων. Ακολουθεί η διαστασιολόγηση και όπλιση καθ' έναν από τους τρεις (3) διαφορετικούς φορείς, καθώς και η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας τους με ανελαστική στατική ανάλυση. Τέλος γίνεται σύγκριση της σεισμικής συμπεριφοράς των τριών νέων φορέων και του αρχικού φορέα του Κεφαλαίου 3.

Τέλος στο Κεφάλαιο 11 απαριθμούνται βασικά συμπεράσματα με βάση όλες τις παραπάνω συγκριτικές διερευνήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

# ABSTRACT

The present thesis deals with the dimensioning and assessment of the load bearing capacity of one new multi-storey building of reinforced concrete when a remarkable seismic action takes place. Comparative studies are presented for this specific structure, taking into account change in Class of Ductility, change of vertical supporting elements' dimensions, change of transverse reinforcements of vertical supporting elements (columns), as well as of horizontal beams.

The present thesis includes as well a comparative evaluation, taking into consideration a change in the number of the building's floors.

The building in subject is considered as a new structure made of reinforced concrete, sized and reinforced according to the instructions of Eurocode EC2 and EC8-Part 1. In order to assess the load bearing capacity and evaluate the structure's "behavior" when seismic action takes place, a fully detailed inelastic static analysis is presented, according to the instructions of the Greek and as well as of the European Codes (KAN.EIIE., EC8 – Part 3).

In present thesis the calculations derive by using the FESPA 10R Program, (software).

Chapter 1 includes the theoretical basis and the basic instructions of Eurocode EC8-Part 1 according to which Civil Works exhibiting sufficient seismic response are realized.

Chapter 2 includes an introductive description, according to the Greek and European Codes (KAN.EIIE. EC8-Part 3), of the method used to evaluate the load bearing capacity of an existing structure. This particular method has been applied in present thesis.

Chapters 3 and 4 include a presentation of inelastic static analysis and performance based seismic assessments of buildings.

Chapter 5 includes a presentation of the building in subject and of the definition of calculations assumptions. In this Chapter reference to FESPA 10R Program (Software) used, is included as well.

Chapter 6 includes a first comparative approach examining the resulting impact because of a change in Category: i.e. Ductility Class Medium (DCM) to Ductility Class High (DCH), dealing with the structure's dimensioning and reinforcement and as well as with its behavior when a remarkable seismic action takes place, by implementing inelastic static analysis.

Chapters 7 and 8 include a second comparative approach, (study), examining the impact caused in the building's seismic "behavior" because of a change in transverse reinforcement in columns, and beams. In Chapter 7 is examined the impact caused because of a change in transverse reinforcement in columns, and in Chapter 8 is presented the impact caused because of a change in transverse reinforcement in

beams. These comparative approaches refer to Category: Ductility Class Medium (DCM).

Chapter 9 includes comparison of structure's seismic "behavior" in case of a change in the number of the building's floors.

In Chapter 10 a change in dimensions of columns is applied. First, three scenarios dealing with walls' different "structuring" are presented. Then for each of above mentioned structures follows dimensioning, reinforcement and an evaluation of their load bearing capacity by using inelastic static analysis. Finally a comparative analysis is presented, dealing with the seismic "behavior" of above mentioned three "new" structures compared to the initial structure presented in Chapter 3.

Finally in Chapter 11 basic conclusions based on all above mentioned stages are drawn.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ EC8 – ΜΕΡΟΣ 1</b> .....	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Ορισμοί.....	6
1.3 Σεισμικές δράσεις σχεδιασμού .....	7
1.3.1 Κατηγορία Εδάφους .....	7
1.3.2 Σεισμικές ζώνες.....	8
1.3.3 Οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης.....	9
1.3.4 Φάσμα κατακόρυφης ελαστικής απόκρισης.....	11
1.3.5 Εδαφική μετακίνηση σχεδιασμού.....	12
1.3.6 Φάσμα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση .....	12
1.3.7 Υπολογισμός Μαζών.....	13
1.3.8 Υπολογισμός μετακινήσεων (EC8-1 4.3.4).....	14
1.4 Βασικές διατάξεις για κτήρια .....	15
1.4.1 Κανονικότητα.....	15
1.4.2 Κανονικότητα σε κάτοψη.....	15
1.4.3 Κανονικότητα σε όψη (EC8-1 4.2.3.3).....	16
1.5 Κατάταξη κτηρίων από Ω.Σ.(EC8-1 5.1.2) .....	18
1.6 Διαστασιολόγηση κτηρίων από Ω.Σ.....	20
1.6.1 Κατηγορίες Πλαστιμότητας.....	20
1.6.2 Συντελεστής συμπεριφοράς.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b> .....	23
2.1 Έλεγχος ασφαλείας (ΚΑΝΕΠΕ 4.1).....	23
2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών.....	23
2.2.1 Αντοχή σκυροδέματος και χάλυβα.....	24
2.2.2 Περίσφιγξη .....	24
2.3 Επίπεδο γνώσης - Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) σκυροδέματος & χάλυβα οπλισμού (ΚΑΝΕΠΕ 3.6 & 3.7 και EC8-3 3.3 & 3.4.3) .....	26
2.4 Συντελεστές εμπιστοσύνης και συντελεστές ασφαλείας.....	28
2.5 Εντατικό μέγεθος αντίστασης διαρροής (ΚΑΝΕΠΕ 7.2.1).....	28
2.6 Παραμόρφωση διαρροής στοιχείου (ΚΑΝΕΠΕ 7.2.2).....	29
2.7 Καμπυλότητα Διαρροής .....	30
2.8 Ενεργός δυσκαμψία στοιχείων Ω.Σ.....	31
2.9 Παραμορφώσεις αστοχίας στοιχείων Ω.Σ.(ΚΑΝΕΠΕ 7.2.1) (EC8-3, A.3.2.2) .....	31

2.9.1	Παραμορφώσεις κατά την αστοχία σε κάμψη.....	31
2.9.2	Παραμόρφωση κατά την αστοχία σε τέμνουσα (EC8-3 A3.3).....	33
2.9.3	Διατμητική αντοχή κορμού τοιχώματος υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε όρους σύνθλιψης άντυνας κορμού $V_{Rmax}$ EC8-3(A.15), ΚΑΝΕΠΕ(7Γ.4).....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....</b>		<b>35</b>
3.1	Εισαγωγή.....	35
3.1.1	Ορισμός και στόχοι ανελαστικής στατικής ανάλυσης.....	35
3.1.2	Διαγραμματική ροή ανελαστικής στατικής ανάλυσης.....	36
3.2	Προσομοίωση.....	37
3.2.1	Φορτία και μέλη κατασκευής.....	37
3.2.2	Κατανομή σεισμικών φορτίων.....	37
3.3	Ανάλυση.....	39
3.3.1	Καθορισμός κόμβου ελέγχου.....	39
3.3.2	Καμπύλη αντίστασης.....	39
3.3.3	Ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.....	40
3.3.4	Εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης.....	43
3.3.5	Στοχευόμενη μετακίνηση.....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....</b>		<b>46</b>
4.1	Εισαγωγή.....	46
4.2	Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού.....	46
4.2.1	Στόχοι αποτίμησης η ανασχεδιασμού σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ.....	47
4.2.2	Στόχοι σεισμικής ικανότητας κατά EC8-3.....	48
4.3	Στάθμες επιτελεστικότητας.....	49
4.4	Καθορισμός Σταθμών Επιτελεστικότητας.....	50
4.4.1	Καμπύλη αντίστασης.....	50
4.4.2	Καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου ή διατομής.....	51
4.4.3	Ιδεατή καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου ή διατομής.....	52
4.4.4	Στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευής.....	53
4.5	Πρωτεύοντα και δευτερεύοντα μέλη της κατασκευής.....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....</b>		<b>56</b>
5.1	Υπό μελέτη κατασκευή.....	56
5.1.1	Εισαγωγή.....	56
5.1.2	Παραδοχές.....	57
5.2	Λογισμικό.....	57
5.3	Φασματικά δεδομένα μελέτης.....	63

5.4	Θεμελίωση – έλεγχος φέρουσας ικανότητας.....	64
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ.....</b>		
		65
6.1	Εισαγωγή.....	65
6.2	Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση .....	65
6.2.1	Συντελεστής συμπεριφοράς και λόγος υπεραντοχής.....	65
6.2.2	Επίλυση και όπλιση του κτηρίου.....	66
6.2.3	Αποτελέσματα επίλυσης φορέα.....	68
6.2.4	Επίλυση και όπλιση κτηρίου .....	68
6.2.5	Ανελαστική στατική ανάλυση .....	72
6.2.6	Αποτελέσματα ανελαστικής στατικής ανάλυσης .....	74
6.3	Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή .....	79
6.3.1	Συντελεστής συμπεριφοράς και λόγος υπεραντοχής.....	79
6.3.2	Αποτελέσματα επίλυσης φορέα.....	80
6.3.3	Επίλυση και όπλιση κτηρίου .....	80
6.3.4	Ανελαστική στατική ανάλυση .....	86
6.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων ΚΠΜ και ΚΠΥ .....	91
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ .....</b>		
		96
7.1	Εισαγωγή.....	96
7.2	Ανελαστική στατική ανάλυση.....	99
7.3	Επίδραση της περίσφιγξης.....	106
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΟΚΩΝ.....</b>		
		108
8.1	Εισαγωγή.....	108
8.2	Ανελαστική στατική ανάλυση.....	109
8.2.1	Διαγράμματα απαίτησης ικανότητας.....	109
8.2.2	Καμπύλη αντίστασης κατασκευής .....	115
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΡΟΦΟΥ .....</b>		
		117
9.1	Εισαγωγή.....	117
9.2	Κατασκευή πέντε (5) ορόφων .....	118
9.2.1	Επίλυση και όπλιση κτηρίου .....	118
9.2.2	Ανελαστική στατική ανάλυση .....	120
9.3	Κατασκευή με δεκαπέντε (15) ορόφους.....	123
9.3.1	Επίλυση και όπλιση κτηρίου .....	123
9.3.2	Ανελαστική στατική ανάλυση .....	125
9.4	Σύγκριση καμπυλών ικανότητας .....	128

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	132
10.1 Κατασκευή περιμετρικών τοιχωμάτων.....	132
10.1.1 Εισαγωγή.....	132
10.1.2 Επίλυση και όπλιση κτηρίου.....	133
10.1.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα.....	138
10.1.4 Ανελαστική στατική ανάλυση.....	138
10.2 Κατασκευή γωνιακών τοιχωμάτων.....	141
10.2.1 Εισαγωγή.....	141
10.2.2 Επίλυση και όπλιση κτηρίου.....	143
10.2.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα.....	147
10.2.4 Ανελαστική στατική ανάλυση.....	148
10.3 Κατασκευή πυρήνα τοιχωμάτων.....	150
10.3.1 Εισαγωγή.....	150
10.3.2 Επίλυση και Όπλιση κτηρίου.....	151
10.3.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα.....	152
10.3.4 Ανελαστική στατική ανάλυση.....	153
10.4 Συνολική προμέτρηση.....	156
10.5 Σύγκριση καμπυλών ικανότητας φορέων.....	158
10.5.1 Ομοιόμορφη κατανομή.....	158
10.5.2 Ιδιομορφική κατανομή.....	161
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	163
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	165



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ EC8 – ΜΕΡΟΣ 1

## 1.1 Εισαγωγή

Ο EC8-1 εφαρμόζεται στη μελέτη και την κατασκευή έργων πολιτικού μηχανικού σε σεισμικές περιοχές. Στόχος του κανονισμού είναι να διασφαλίσει ότι σε περίπτωση σεισμού θα εξασφαλίζεται η προστασία της ανθρώπινης ζωής, οι βλάβες της κατασκευής θα είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες και έργα που είναι σημαντικά για την αστική προστασία θα παραμένουν σε λειτουργία. Ειδικά έργα όπως πυρηνικά εργοστάσια, θαλάσσια έργα, λιμάνια, φράγματα δεν περιλαμβάνονται στο πεδίο εφαρμογής του EC8-1. Ο κανονισμός περιέχει διατάξεις που εφαρμόζονται στις σεισμικές περιοχές πρόσθετα με τις διατάξεις των άλλων Ευρωκωδίκων, δηλαδή ουσιαστικά συμπληρώνει τους άλλους κανονισμούς ως προς τις αντισεισμικές διατάξεις.

## 1.2 Ορισμοί

**Συντελεστής συμπεριφοράς**

Συντελεστής που χρησιμοποιείται για λόγους μελέτης για τη μείωση των δυνάμεων που προκύπτουν από γραμμική ανάλυση ώστε να ληφθεί υπόψη η μη – γραμμική απόκριση του φορέα, ο οποίος εξαρτάται από το υλικό, το στατικό σύστημα και τις μεθόδους ελέγχου.

**Μέθοδος ικανοτικού σχεδιασμού**

Μέθοδος σχεδιασμού κατά την οποία επιλέγονται στοιχεία του στατικού συστήματος, τα οποία μελετώνται κατάλληλα και οι λεπτομέρειες τους διαμορφώνονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδουν ενέργεια υπό μεγάλες παραμορφώσεις ενώ σε όλα τα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία παρέχεται επαρκής αντοχή ώστε να εξασφαλίζεται ο προβλεπόμενος τρόπος απόδοσης ενέργειας.

**Συντελεστής σπουδαιότητας**

Συντελεστής σχετικός με τις συνέπειες αστοχίας του φορέα.

**Μη φέρον στοιχείο**

Αρχιτεκτονικό, μηχανικό ή ηλεκτρικό στοιχείο, σύστημα ή μέρος το οποίο λόγω έλλειψης αντοχής ή τρόπου σύνδεσης με το φορέα, δεν θεωρείται φέρον στοιχείο στη σεισμική μελέτη.

**Κύρια σεισμικά μέλη**

Μέλη που θεωρούνται μέρος του φέροντος συστήματος που αναλαμβάνει τη σεισμική δράση, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού και ελέγχονται και οι λεπτομέρειες τους διαμορφώνονται ώστε να έχουν αντοχή στο σεισμό σύμφωνα με τους κανόνες του EC8-1.

**Δευτερεύοντα σεισμικά μέλη**

Μέλη που δεν θεωρούνται ως μέρος του αντισεισμικού φέροντος συστήματος και των οποίων η αντοχή και η δυσκαμψία σε σεισμικές δράσεις αγνοείται.

## 1.3 Σεισμικές δράσεις σχεδιασμού

### 1.3.1 Κατηγορία Εδάφους

Στον Κανονισμό EC8-1 προδιαγράφονται πέντε (5) κατηγορίες εδάφους A, B, C, D, E ανάλογα με τη στρωματογραφία και τις παραμέτρους που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. Υπάρχουν και δύο ειδικές κατηγορίες εδαφών, οι S1 και S2, για τις οποίες απαιτούνται ειδικές μελέτες για τον καθορισμό των σεισμικών δράσεων.

Η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων  $v_{s,30}$ , εάν είναι διαθέσιμη, αλλιώς χρησιμοποιείται η τιμή  $N_{SPT}$  (αριθμός κρούσεων για πρότυπη διείδυση 30cm). Η ταχύτητα  $v_{s,30}$  των διατμητικών κυμάτων αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30m εδάφους και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (1.1), \text{ όπου}$$

$h_i$  : πάχος στρώματος (m)

$v_i$  : ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στρώματος  $i$  (για  $\gamma \leq 10^{-5}$ , δηλαδή για πρακτικά ελαστική συμπεριφορά).

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (κρούσεις/30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	> 800	–	–
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικών, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360 – 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλικών ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ύψους με τιμές $v_s$ κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s.			
S <sub>1</sub>	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας (PI > 40) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	< 100 (ενδεικτικό)	–	10 - 20
S <sub>2</sub>	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S <sub>1</sub> .			

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες εδάφους και παράμετροι κατάταξης εδαφών σύμφωνα με τον EC8-1

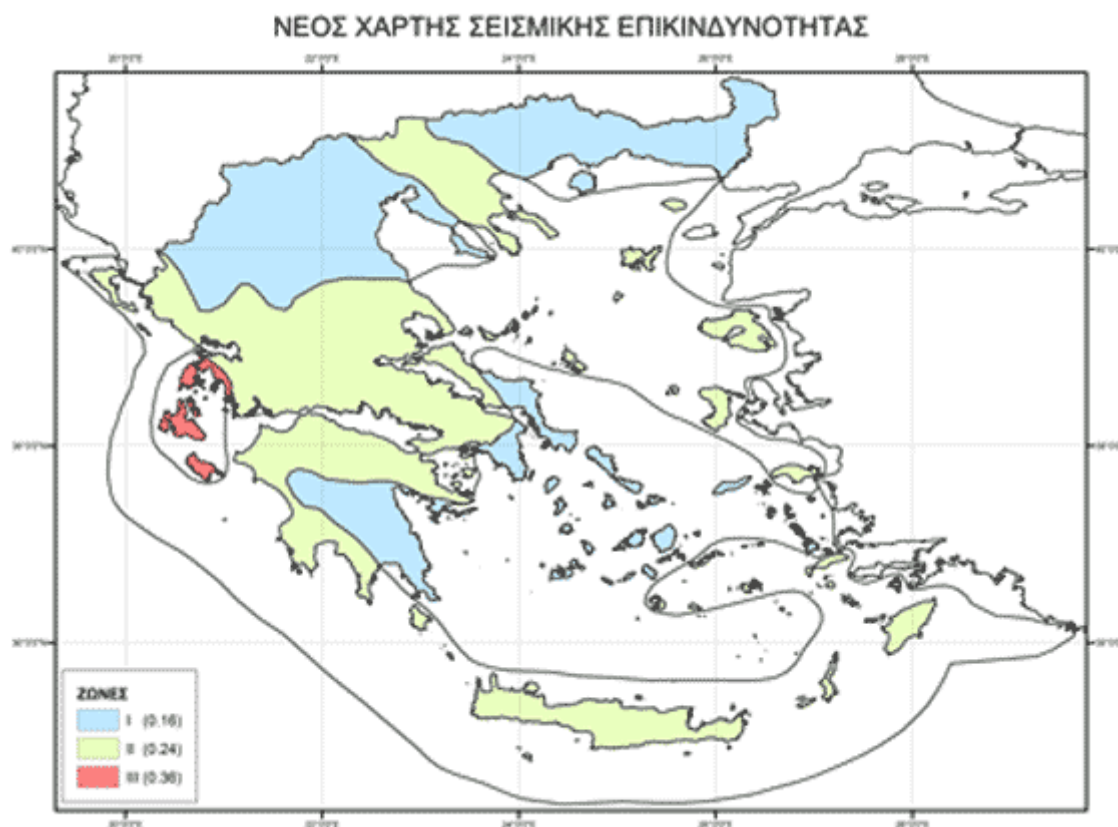
### 1.3.2 Σεισμικές ζώνες

Η σεισμική δράση σε κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από μια και μοναδική παράμετρο, την επιτάχυνση του εδάφους  $a_{gR}$ , η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος κατηγορίας Α.

Σύμφωνα με τον Εθνικό Προσάρτημα, για τις ζώνες Z1, Z2 και Z3 υιοθετούνται οι ζώνες I, II, III του ΕΑΚ2003 και οι τιμές  $a_{gR}/g$  παίρνουν τις αντίστοιχες τιμές του ΕΑΚ2003  $\alpha=A/g$  σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Τιμές $a_{gR}/g$	
Ζώνη	$a_{gR}/g$
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

*Πίνακας 1.2 Τιμές  $a_{gR}/g$  σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα*



*Σχήμα 1.1 Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας*

Η τιμή αναφοράς της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης  $a_{gR}$  για έδαφος κατηγορίας Α, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς  $T_{NCR}=475$  χρόνια, όπου  $T_{NCR}$  είναι η περίοδος επανάληψης της σεισμικής δράσης που ικανοποιεί το κριτήριο της μη – κατάρρευσης



(η περίοδος επανάληψης  $T_{NCR}$  καθορίζεται από την πιθανότητα υπέρβασης  $P_{NCR}$  σε 50 χρόνια). Για διαφορετικές περιόδους επανάληψης ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma_I$  και η επιτάχυνση σχεδιασμού για έδαφος Α προκύπτει από τη σχέση  $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$ . (3.2.1(3) EC8-1).

Για το συντελεστή σπουδαιότητας ορίζονται τέσσερις (4) κατηγορίες. Η κατηγοριοποίηση των κτηρίων στις τέσσερις (4) κατηγορίες δίνεται στον παρακάτω Πίνακα μαζί με την τιμή του συντελεστή  $\gamma_I$  για κάθε κατηγορία.

Σπουδαιότητα	Κτίρια	Συντ. $\gamma_I$
I	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.	0,80
II	Συνήθη κτίρια	1,00
III	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, μουσεία κλπ.	1,20
IV	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωικής σημασίας, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.	1,40

*Πίνακας 1.3 Κατηγορίες και συντελεστές σπουδαιότητας στο ελληνικό Εθνικό προσάρτημα (EC8-1 4.2.5(5)Α & Πίνακας 4.3)*

### 1.3.3 Οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης

Στο πλαίσιο του EC8-1 η σεισμική κίνηση σε ένα δεδομένο σημείο στην επιφάνεια προσομοιώνεται με ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης εδαφικής επιτάχυνσης, το οποίο λέγεται «Ελαστικό Φάσμα Απόκρισης». Η οριζόντια σεισμική δράση περιγράφεται από δύο ορθογώνιες συνιστώσες που θεωρούνται ανεξάρτητες μεταξύ τους και εκφράζονται από το ίδιο φάσμα απόκρισης.

Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης, το ελαστικό φάσμα απόκρισης  $S_e(T)$  καθορίζεται από τις ακόλουθες εκφράσεις (EC8-1 3.2.2.2):

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (n \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (1.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_c : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2,5 \quad (1.3)$$

$$T_c \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2,5 \cdot \frac{T_c}{T} \quad (1.4)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2,5 \cdot \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \quad (1.5), \text{ όπου}$$

$S_e(T)$  : το ελαστικό φάσμα απόκρισης

$T$  : η περίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας κίνησης

$a_g$  : η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος Κατηγορίας Α ( $a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$ )

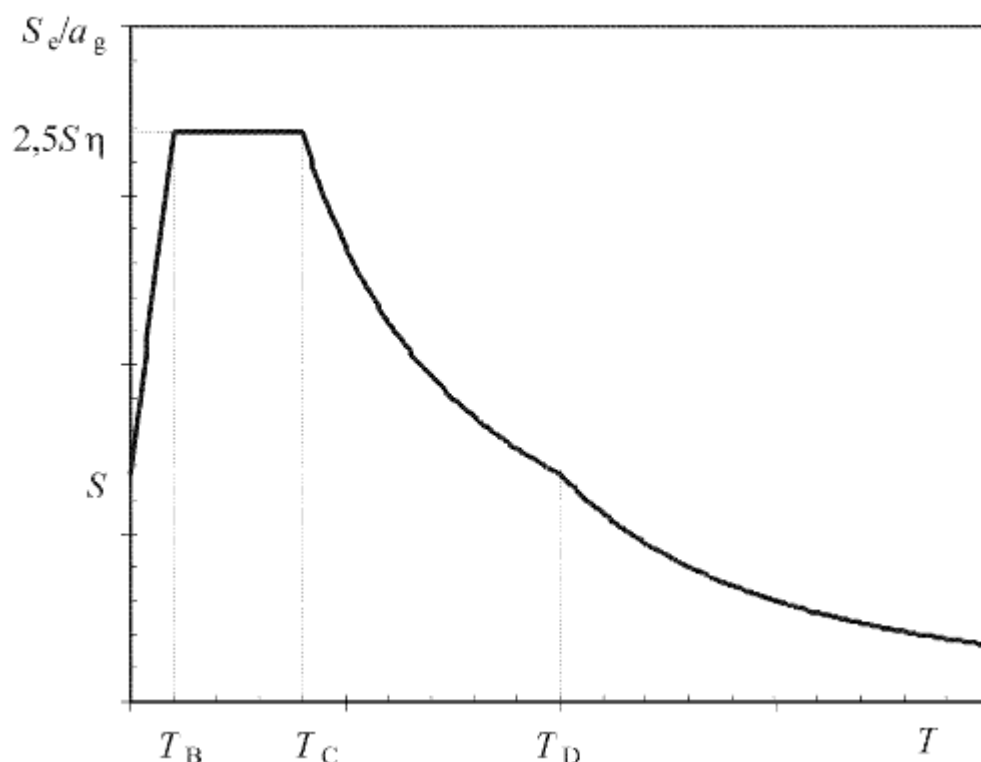
$T_B$  : η περίοδος του κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

$T_C$  : η περίοδος του άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

$T_D$  : η τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος

$S$  : ο συντελεστής εδάφους

$n$  : ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης, με τιμή αναφοράς  $n = 1$  για 5% ιξώδη απόσβεση (κτήρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα)



*Σχήμα 1.2* Μορφή του ελαστικού φάσματος απόκρισης

Οι τιμές των περιόδων  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ , καθώς και του συντελεστή εδάφους  $S$  που περιγράφουν τη μορφή του ελαστικού φάσματος απόκρισης εξαρτώνται από την κατηγορία του εδάφους. Ο EC8-1 προβλέπει δύο ελαστικούς τύπους φάσματος απόκρισης, τύπου 1 και τύπου 2, στους οποίους ισχύουν διαφορετικές τιμές για τις χαρακτηριστικές περιόδους  $T_B$ ,  $T_C$  και  $T_D$  και το συντελεστή εδάφους  $S$ . Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα στην Ελλάδα εφαρμόζεται το φάσμα τύπου 1, με τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων και συντελεστή εδάφους  $S$  σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Εδαφικός Τύπος	S	T <sub>B</sub> (s)	T <sub>C</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,5
B	1,2	0,15	0,5	2,5
C	1,15	0,20	0,6	2,5
D	1,35	0,20	0,8	2,5
E	1,4	0,15	0,5	2,5

**Πίνακας 1.4** Συντελεστής εδάφους S, όρια σταθερής φασματικής επιτάχυνσης T<sub>B</sub> και T<sub>C</sub> και σταθερής μετακίνησης T<sub>D</sub> στο οριζόντιο φάσμα τύπου 1 για κάθε κατηγορία εδάφους σύμφωνα με τον EC8-1 και το ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα

Το ελαστικό φάσμα απόκρισης μετακίνησης  $S_{De}(T)$  θα λαμβάνεται από άμεση μετατροπή του ελαστικού φάσματος απόκρισης επιτάχυνσης  $S_e(T)$  χρησιμοποιώντας την ακόλουθη έκφραση:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \left[ \frac{T}{2\pi} \right]^2 \quad (1.6)$$

### 1.3.4 Φάσμα κατακόρυφης ελαστικής απόκρισης

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης θα προσομοιώνεται από ένα φάσμα ελαστικής απόκρισης  $S_{ve}(T)$  σύμφωνα με τους ακόλουθους τύπους:

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (n \cdot 3,0 - 1) \right] \quad (1.7)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot n \cdot 3,0 \quad (1.8)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot n \cdot 3,0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad (1.9)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot n \cdot 3,0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad (1.10)$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η τιμή της κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους και οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα. Για τον ελλαδικό χώρο ισχύει ο τύπος 1 του φάσματος κατακόρυφης ελαστικής απόκρισης.

Φάσμα	$a_{vg}/a_g$	T <sub>B</sub> (s)	T <sub>C</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
Τύπου 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Τύπου 2	0,45	0,05	0,15	1,0

**Πίνακας 1.5** Συνιστώμενες τιμές παραμέτρων που περιγράφουν τα φάσματα ελαστικής απόκρισης

### 1.3.5 Εδαφική μετακίνηση σχεδιασμού

Η εδαφική μετακίνηση σχεδιασμού που αντιστοιχεί  $d_g$  που αντιστοιχεί στην εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού, μπορεί να υπολογιστεί βάσει της ακόλουθης έκφρασης:

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D \quad (1.11)$$

### 1.3.6 Φάσμα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση

Η ικανότητα των φορέων να παρουσιάζουν αντοχή στις σεισμικές δράσεις στη μη – γραμμική περιοχή, επιτρέπει γενικά το σχεδιασμό τους για ανάληψη σεισμικών δυνάμεων μικρότερων από εκείνες που αντιστοιχούν σε γραμμική ελαστική απόκριση. Για να αποφευχθεί η εκτέλεση πλήρως ανελαστικής ανάλυσης στη μελέτη, η ικανότητα του φορέα για απόδοση ενέργειας, κυρίως μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των στοιχείων του ή/ και άλλων μηχανισμών, λαμβάνεται υπόψη με τη εκτέλεση ελαστικής ανάλυσης βασισμένης σε φάσμα απόκρισης μειωμένο σε σχέση με το ελαστικό, που ονομάζεται φάσμα σχεδιασμού. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ . Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  μπορεί να είναι διαφορετική σε διαφορετικές οριζόντιες διευθύνσεις του φορέα και εξαρτάται από το υλικό της κατασκευής και από τον τύπο στατικής διαμόρφωσης του κτηρίου.

Για τις οριζόντιες συνιστώσες το φάσμα σχεδιασμού ορίζεται από τις ακόλουθες εκφράσεις:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (1.12)$$

$$T_B \leq T \leq T_c : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (1.13)$$

$$T_c \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_c}{T} \geq \beta \cdot \alpha_g \quad (1.14)$$

$$T_D \leq T : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot \alpha_g \quad (1.15)$$

$\alpha_g, T_c, T_B, T_D, T$  : όπως ορίστηκαν στο παραπάνω κεφάλαιο 1.3.3

$S_d(T)$  : φάσμα σχεδιασμού

$q$  : συντελεστής συμπεριφοράς

$\beta$  : συντελεστής κατώτατου ορίου για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού

Η συνιστώμενη τιμή για το  $\beta$  σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα είναι 0,2.

Στις διάφορες τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς εμπεριέχεται και η επιρροή του συντελεστή απόσβεσης  $n$ , εάν αυτή είναι διάφορη του 5%, για αυτό και στις παραπάνω σχέσεις δεν εμφανίζεται.

Για την κατακόρυφη σεισμική διέγερση εφαρμόζονται οι παραπάνω σχέσεις με τις εξής τροποποιήσεις:

Η κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση είναι ίση με  $a_{vg} = 0,9a_g$  και οι χαρακτηριστικές περίοδοι λαμβάνονται σύμφωνα με τον πίνακα 1.5.

Ο συντελεστής εδάφους  $S = 1,0$

Λαμβάνεται  $q \leq 1,5$  για όλα τα στατικά συστήματα και για όλα τα υλικά. Ο συντελεστής συμπεριφοράς μπορεί να ληφθεί  $q > 1,5$  μόνο μετά από αιτιολόγηση με κατάλληλη ανάλυση.

### 1.3.7 Υπολογισμός Μαζών

Για τον υπολογισμό της σεισμικής δράσης σχεδιασμού (αδρανειακά φορτία) λαμβάνονται υπόψη οι μάζες που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο συνδυασμό δράσεων:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (1.16)$$

όπου:

$$\psi_{E,i} = \phi \cdot \psi_{2i}$$

$\phi$  : μειωτικός συντελεστής σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα του Εθνικού προσαρτήματος

$\psi_{2i}$  : συντελεστής συνδυασμού για τη μεταβλητή δράση  $i$  σύμφωνα με τον πίνακα A1-1 του παραρτήματος A1 του EC0.

Τύπος μεταβλητής δράσης	Όροφος	$\phi$	Σχόλια
Κατηγορίες A-C	Δώμα	1.0	
	Συσχετισμένες χρήσεις ορόφων	0.8	
	Μη-συσχετισμένες χρήσεις ορόφων	0.5	Συνηθισμένη περίπτωση
Κατηγορίες D-F και αρχεία		1.0	

**Πίνακας 1.6** Τιμές του συντελεστή μεταβλητών δράσεων  $\phi$

Χρήση του ορόφου - Δράσεις		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
κατηγορία	Επιβαλλόμενα φορτία, (βλ. EC1-1-1)			
A	κατοικίες, συνήθη κτίρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
B	χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
C	χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
D	χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
E	χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
F	χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $W \leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
G	χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30\text{kN} < W \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
H	Στέγες	0,0	0,0	0,0
Φορτία χιονιού (βλ. EC1-1-3)				
υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$		0,7	0,5	0,2
υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$		0,5	0,2	0,0
Φορτία ανέμου (βλ. EC1-1-4)		0,6	0,2	0,0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) (βλ. EC1-1-5)		0,6	0,5	0,0

**Πίνακας 1.7** Προτεινόμενες τιμές συντελεστή  $\psi$  για κτήρια (EC0 πιν. A1-1N)

Ο συντελεστής συνδυασμού  $\psi_{E,i}$  για κάθε μεταβλητή δράση  $i$  είναι γενικά μικρότερος από το συντελεστή  $\psi_{2i}$  ( $\varphi \leq 1$ ) για δύο λόγους: (α) για να λάβουν υπόψη την πιθανότητα τα φορτία  $Q_{k,i}$  να μην είναι παρόντα σε ολόκληρο το φορέα κατά τη διάρκεια του σεισμού και (β) για να λάβουν υπόψη τη μειωμένη συμμετοχή των μαζών στην κίνηση του φορέα λόγω μη στερεάς σύνδεσης τους.

Επίσης ο μειωτικός συντελεστής  $\varphi$  λαμβάνεται υπόψη μόνο στον υπολογισμό των μαζών των μεταβλητών φορτίων που συμμετέχουν στη σεισμική δύναμη. Στο σεισμικό συνδυασμό, τα εντατικά μεγέθη από τα μη – σεισμικά φορτία των μεταβλητών δράσεων υπολογίζονται για ολόκληρο το συντελεστή  $\varphi$ , όπως για παράδειγμα τα κατακόρυφα φορτία των υποστυλωμάτων.

### 1.3.8 Υπολογισμός μετακινήσεων (EC8-1 4.3.4)

Σε ελαστική ανάλυση, οι μετακινήσεις που προκαλούνται από τη σεισμική δράση σχεδιασμού θα υπολογίζονται βάσει των ελαστικών παραμορφώσεων του στατικού συστήματος με τη βοήθεια της ακόλουθης απλουστευμένης έκφρασης:

$$d_s = q_d \cdot d_e, \quad (1.17), \quad \text{όπου}$$

$d_s$  : η μετακίνηση σημείου του στατικού συστήματος που προκαλείται από τη σεισμική δράση σχεδιασμού

$q_d$  : ο συντελεστής συμπεριφοράς μετακίνησης, που ισούται με  $q$  εκτός αν ορίζεται διαφορετικά

$d_e$  : η μετακίνηση του ίδιου σημείου του στατικού συστήματος, όπως προσδιορίζεται από την ελαστική ανάλυση από το φάσμα απόκρισης σχεδιασμού σύμφωνα με τον EC8-1 3.2.2.5.

## **1.4 Βασικές διατάξεις για κτήρια**

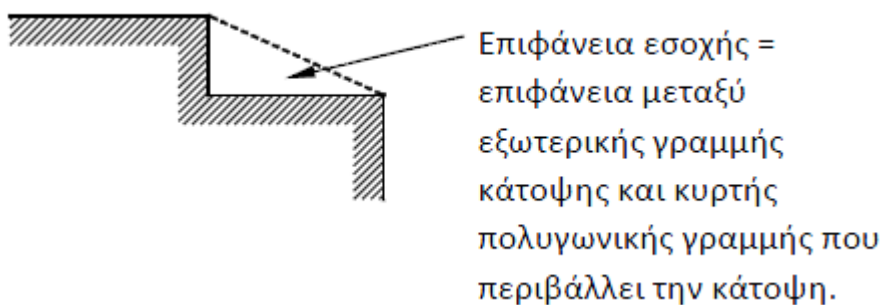
### **1.4.1 Κανονικότητα**

Η κανονικότητα ενός κτηρίου αποτελεί σημαντικό κομμάτι στον EC8-1, 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.

### **1.4.2 Κανονικότητα σε κάτοψη**

Η κανονικότητα σε κάτοψη επηρεάζει το λόγο υπεραντοχής ( $a_u/a_1$ ). Για να χαρακτηριστεί ένα κτήριο κανονικό σε κάτοψη θα πρέπει να ικανοποιεί όλα τα παρακάτω κριτήρια (EC8-1 4.2.3.2).

1. Όσον αφορά την αντοχή σε οριζόντια φορτία και την κατανομή της μάζας, το κτήριο θα είναι πρέπει να είναι κατά προσέγγιση συμμετρικό σε κάτοψη ως προς δύο ορθογώνιους άξονες.
2. Η διαμόρφωση της κάτοψης θα πρέπει να είναι συμπαγής. Αυτό σημαίνει ότι κάθε πλάκα ορόφου θα μπορεί να οριοθετείται από κυρτή πολυγωνική γραμμή. Εάν υπάρχουν ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές), η κανονικότητα σε κάτοψη μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται, υπό τον όρο ότι οι ανωμαλίες αυτές δεν έχουν επιπτώσεις στη δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδο της, και ότι σε κάθε ανωμαλία η περιοχή μεταξύ του περιγράμματος της πλάκας και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής που περιβάλλει την πλάκα δεν υπερβαίνει το 5% της επιφάνειας του ορόφου.



**Σχήμα 1.3.** Καθορισμός επιφάνειας εσοχής ορόφου

3. Η δυσκαμψία των πλακών ορόφων μέσα στο επίπεδο τους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη σε σύγκριση με την οριζόντια δυσκαμψία των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων, έτσι ώστε η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στην κατανομή των δυνάμεων σε αυτά. Σύμφωνα με αυτό, κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι, Χ πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.
4. η λυγηρότητα του κτηρίου σε κάτοψη  $\lambda = L_{\max} / L_{\min}$  δεν πρέπει να υπερβαίνει το 4, όπου το  $L_{\max}$  και το  $L_{\min}$  αντίστοιχα είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη διάσταση του κτηρίου σε κάτοψη σε ορθογώνιες διευθύνσεις.
5. Σε κάθε επίπεδο και για κάθε διεύθυνση της ανάλυσης x και y η στατική εκκεντρότητα  $e_0$  και η ακτίνα δυστρεψίας  $r$  πρέπει να ικανοποιούν τις εξής συνθήκες:
  - A) για διεύθυνση ανάλυσης y  $e_{ox} \leq 0,30r_x$  και  $r_x \geq ls$
  - B) για διεύθυνση ανάλυσης x  $e_{oy} \leq 0,30r_y$  και  $r_y \geq ls$

όπου:

$e_{ox}$ : η απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας, που μετράται κατά τη διεύθυνση x, κάθετη στην εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης

$r_x$ : η τετραγωνική ρίζα του λόγου της δυστρεψίας προς τη μεταφορική δυσκαμψία στην διεύθυνση y (όμοια και για  $r_y$ )

$ls$ : η ακτίνα αδρανείας της μάζας της πλάκας του ορόφου σε κάτοψη (τετραγωνική ρίζα του λόγου της πολικής ροπής αδρανείας της μάζας της πλάκας του ορόφου σε κάτοψη, ως προς το κέντρο μάζας της πλάκας του ορόφου προς τη μάζα της πλάκας του.

### 1.4.3 Κανονικότητα σε όψη (EC8-1 4.2.3.3)

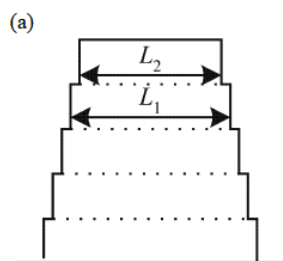
Η κανονικότητα σε όψη επηρεάζει άμεσα την αντισεισμική ανάλυση, αφού κτήρια μη-κανονικά καθ' ύψος σχεδιάζονται με 25% αύξηση των σεισμικών φορτίων, εξαιτίας της μείωσης κατά 20% του συντελεστή συμπεριφοράς, λόγω της μείωσης κατά 20% του λόγου υπεραντοχής. Για να χαρακτηριστεί ένα κτήριο ως κανονικό σε όψη πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια:

1. όλα τα συστήματα ανάληψης οριζόντιων φορτίων, όπως πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, θα είναι συνεχή χωρίς διακοπή από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτηρίου, ή, εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτηρίου.



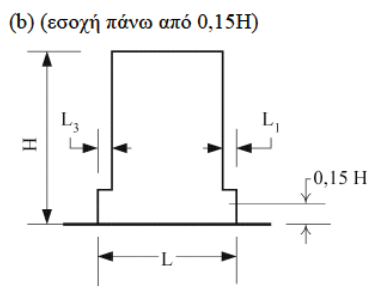
2. Η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων θα πρέπει να παραμένουν σταθερές ή θα μειώνονται βαθμιαία, χωρίς απότομες αλλαγές.
3. Σε κτήρια με πλαισιωτό σύστημα ο λόγος της πραγματικής αντοχής ορόφων προς την αντοχή που απαιτείται από την ανάλυση δεν πρέπει να διαφέρει δυσανάλογα μεταξύ συνεχόμενων ορόφων.
4. Όταν υπάρχουν εσοχές, πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες πρόσθετες συνθήκες:

α) για βαθμιδωτές εσοχές που διατηρούν την αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 20% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη στην διεύθυνση της εσοχής.



Κριτήριο για (a):  $\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,20$

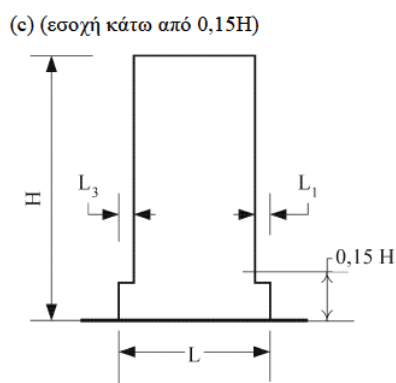
**Σχήμα 1.5**



Κριτήριο για (b):  $\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,20$

**Σχήμα 1.6**

β) για μια μεμονωμένη εσοχή μέσα σε ύψος μικρότερο από το 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος, η εσοχή δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 50% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη. Σε τέτοια περίπτωση το κάτω μέρος του φορέα που περιλαμβάνεται μέσα στην κατακόρυφη προβολή της περιμέτρου των ανώτερων ορόφων πρέπει να μελετηθεί ώστε να αναλαμβάνει τουλάχιστον 75% των οριζόντιων τεμνουσών δυνάμεων που θα αναπτύσσονταν στην ίδια ζώνη σε παρόμοιο κτήριο χωρίς τη διεύρυνση του κάτω μέρους του.

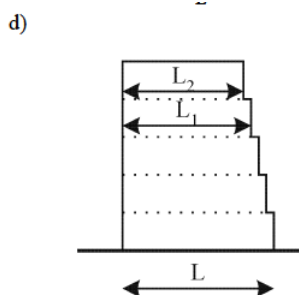


Κριτήριο για (c):  $\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,50$

**Σχήμα 1.7**

γ) εάν οι εσοχές δεν διατηρούν τη συμμετρία του φορέα, το άθροισμα των εσοχών όλων των ορόφων σε κάθε όψη δεν θα είναι μεγαλύτερο από το 30% της διάστασης της κάτοψης στο ισόγειο επάνω από τη θεμελίωση ή επάνω από την επιφάνεια

άκαμπτου υπογείου, και κάθε επιμέρους εσοχή δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 10% της προηγούμενης διάστασης κάτοψης.



Κριτήρια για (d):  $\frac{L - L_2}{L} \leq 0,30$   
 $\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,10$

**Σχήμα 1.8**

## 1.5 Κατάταξη κτηρίων από Ω.Σ.(EC8-1 5.1.2)

Τα κτήρια από Ω.Σ. κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση το στατικό τους σύστημα το οποίο καθορίζει το συντελεστή συμπεριφοράς, με τον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός της κατασκευής. Στον ορισμό κάθε κατηγορίας, ο όρος «διατμητική αντοχή» μπορεί να αντικατασταθεί από τον όρο «διατμητική σεισμική δύναμη». Δηλαδή, ο προσδιορισμός της κατηγορίας ενός κτηρίου επιτρέπεται να υπολογίζεται σύμφωνα με την κατανομή των σεισμικών δυνάμεων στα κατακόρυφα στοιχεία του κατώτερου ορόφου (βάση) αντί της αντίστοιχης διατμητικής τους αντοχής.

Επίσης η κατάταξη ενός κτηρίου μπορεί να είναι διαφορετική στις δύο διευθύνσεις, εκτός από τις περιπτώσεις στρεπτικά εύκαμπτων κτηρίων και συστημάτων ανεστραμμένου εκκρεμούς όπου η κατάταξη είναι ενιαία σε όλες τις διευθύνσεις.

### Σύστημα τοιχωμάτων

Στατικό σύστημα όπου τόσο τα κατακόρυφα φορτία όσο και τα οριζόντια φορτία αναλαμβάνονται κυρίως από κατακόρυφα φέροντα τοιχώματα, με ή χωρίς σύζευξη, των οποίων η διατμητική αντοχή στη βάση του κτηρίου υπερβαίνει το 65% της συνολικής διατμητικής αντοχής του όλου στατικού συστήματος.

### Πλαισιωτό σύστημα

Στατικό σύστημα στο οποίο και τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία αναλαμβάνονται κυρίως από χωρικά πλαίσια των οποίων η διατμητική αντοχή στη βάση του κτηρίου υπερβαίνει το 65% της συνολικής διατμητικής αντοχής του στατικού συστήματος.

### Διπλό σύστημα

Στατικό σύστημα που τα κατακόρυφα φορτία αναλαμβάνονται κυρίως από πλαίσια και τα οριζόντια φορτία εν μέρει από πλαίσια και εν μέρει από φέροντα τοιχώματα, συζευγμένα ή μη.

Διπλό σύστημα ισοδύναμο προς πλαισιωτό

Διπλό σύστημα όπου η διατμητική αντοχή του πλαισιωτού συστήματος στη βάση του κτηρίου είναι μεγαλύτερη του 50% της συνολικής διατμητικής αντοχής του όλου στατικού συστήματος.

Διπλό σύστημα ισοδύναμο προς σύστημα τοιχωμάτων

Διπλό σύστημα όπου η διατμητική αντοχή των τοιχωμάτων στη βάση του κτηρίου είναι μεγαλύτερη από το 50% της συνολικής σεισμικής αντοχής ολόκληρου του στατικού συστήματος.

Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα

Διπλό ή τοιχωματικό σύστημα χωρίς την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία έστω και σε μια οριζόντια διεύθυνση, δηλαδή δεν ικανοποιούνται οι σχέσεις  $r_x \geq ls$  και  $r_y \geq ls$ .

Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς

Στατικό σύστημα στο οποίο μάζα μεγαλύτερη από το 50% της συνολικής είναι συγκεντρωμένη στο ανώτερο 1/3 του ύψους ή στο οποίο η απόδοση ενέργειας λαμβάνει χώρα κυρίως στη βάση ενός μεμονωμένου κτηριακού στοιχείου. Μονώροφα πλαίσια στα οποία οι κεφαλές των υποστυλωμάτων συνδέονται μεταξύ τους και στις δύο κύριες διευθύνσεις κα με τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου  $\nu d \leq 0,3$ , δεν ανήκουν σε αυτό το σύστημα.

Επαύξηση εντατικών μεγεθών – Φαινόμενα 2ας τάξεως (EC8-1 4.4.2.2- (2))

Αποτελέσματα δευτέρας τάξεως (αποτελέσματα P-Δ) δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη εάν η ακόλουθη συνθήκη ικανοποιείται σε όλους τους ορόφους.

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \quad (1.18)$$

όπου,

$\theta$  : ο συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης του ορόφου

$P_{tot}$  : το συνολικό φορτίο βαρύτητας στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού του ορόφου που εξετάζεται και των υπερκείμενων ορόφων

$d_r$  : η τιμή σχεδιασμού της σχετικής μετακίνησης του ορόφου, που λαμβάνεται ως η διαφορά των μέσων οριζόντιων μετακινήσεων  $ds$  των δαπέδων του υπό εξέταση ορόφου

$V_{tot}$  : η συνολική τέμνουσα δύναμη του ορόφου

$h$  : το ύψος του εξεταζόμενου ορόφου

Εάν  $0,1 < \theta \leq 0,2$ , τα αποτελέσματα δευτέρας τάξεως μπορούν να ληφθούν προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τα αντίστοιχα σεισμικά εντατικά μεγέθη και μετακινήσεις με συντελεστή ίσο με  $1/(1-\theta)$ .

Εάν  $0,2 < \theta \leq 0,3$ , θα πρέπει να ληφθούν υπόψη φαινόμενα 2ας τάξεως μέσω ακριβέστερων μεθόδων.

Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ισχύει  $\theta > 0,3$ .

## 1.6 Διαστασιολόγηση κτηρίων από Ω.Σ.

### 1.6.1 Κατηγορίες Πλαστιμότητας

Τα κτήρια από Ω.Σ. κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας:

- Κατηγορία Πλαστιμότητας Χαμηλή (ΚΠΧ)
- Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ)
- Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (ΚΠΥ)

ανάλογα με την ικανότητα απόδοσης ενέργειας μέσω υστερητικής συμπεριφοράς που διαθέτουν. Σημειώνεται ότι στην Ελλάδα δεν επιτρέπεται η κατασκευή κτηρίων Κατηγορίας Πλαστιμότητας Χαμηλής (ΚΠΧ), τα οποία δεν διαθέτουν την ικανότητα πλάστιμης συμπεριφοράς και διαστασιολογούνται βάσει του EC2.

Και οι δύο Κατηγορίες Πλαστιμότητας, Μέση και Υψηλή αντιστοιχούν σε κτήρια που σχεδιάζονται, διαστασιολογούνται και οι λεπτομέρειες τους διαμορφώνονται σύμφωνα με ειδικές αντισεισμικές διατάξεις που δίνουν τη δυνατότητα στο φορέα να αναπτύξει ευσταθείς πλαστικούς μηχανισμούς που συνοδεύονται από μεγάλη απόδοση υστερητικής ενέργειας υπό φόρτιση με επαναλαμβανόμενες αναστροφές χωρίς να υποστεί ψαθυρές αστοχίες.

Για την εξασφάλιση του κατάλληλου επιπέδου πλαστιμότητας στις κατηγορίες Μέση και Υψηλή εφαρμόζονται ειδικοί έλεγχοι και διατάξεις για κάθε κατηγορία. Η αυξημένη πλαστιμότητα που διαθέτουν τα κτήρια που σχεδιάζονται για ΚΠΥ, έναντι αυτών που σχεδιάζονται για ΚΠΜ, εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι, σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζονται περισσότεροι και αυστηρότεροι έλεγχοι και διατάξεις. Γι' αυτό, κατασκευές ΚΠΥ διαθέτουν μεγαλύτερα περιθώρια ασφαλείας έναντι τοπικών ή γενικών αστοχιών σε περίπτωση σεισμικών διεγέρσεων μεγαλύτερων από το σεισμό σχεδιασμού. Αντίθετα, κατασκευές πλαστιμότητας Μέσης εξασφαλίζουν καλή σεισμική συμπεριφορά μόνο για σειμούς ανάλογης ισχύος του σεισμού σχεδιασμού, αλλά έχουν το πλεονέκτημα ευκολότερης κατασκευής λόγω των διατάξεων που εφαρμόζονται. Επισημαίνεται ακόμη ότι σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, δεν επιτρέπεται η εφαρμογή ΚΠΜ σε κτήρια σπουδαιότητας III ή IV που κατασκευάζονται σε Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας Z2 ή Z3.

Λόγω της ικανότητας διαφορετικής πλάστιμης συμπεριφοράς των δύο κατηγοριών, χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς για κάθε κατηγορία. Στην ΚΠΜ χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό μικρότερες τιμές από την ΚΠΥ.

### 1.6.2 Συντελεστής συμπεριφοράς

Η μέγιστη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση εξαρτάται από το στατικό σύστημα και την κατηγορία πλαστιμότητας και προκύπτει από τη σχέση:

$$q = q_o \cdot k_w \geq 1.50 \quad (1.19), \text{ όπου}$$

$q_0$  βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς για κανονικά σε όψη συστήματα, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Για συστήματα μη κανονικά σε όψη, οι τιμές του  $q_0$  μειώνονται κατά 20%.

$k_w$  α) ισούται με 1 για πλαισιωτά ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά.

β)  $(1 + a_0)/3 \leq 1$ , όμως όχι  $< 0.50$  για τοιχωματικά συστήματα ή συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά και για στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα.

$a_0$ : ο επικρατών λόγος διαστάσεων ύψους προς μήκος διατομής  $a_0 = h_w / l_w$ , στα τοιχώματα του στατικού συστήματος. Εάν αυτός ο λόγος δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τοιχωμάτων του συστήματος, τότε ο λόγος  $a_0$  υπολογίζεται από τα αντίστοιχα αθροίσματα για όλα τα τοιχώματα  $a_0 = \sum h_{wi} / l_{wi}$ .

$a_1$ : ο απαιτούμενος συντελεστής επαύξησης των σεισμικών φορτίων για τη δημιουργία της 1<sup>ης</sup> πλαστικής άρθρωσης σε οποιοδήποτε στοιχείο της κατασκευής, διατηρώντας τα υπόλοιπα φορτία της κατασκευής σταθερά.

$a_u$ : ο απαιτούμενος συντελεστής επαύξησης των σεισμικών φορτίων για τη δημιουργία αρκετών πλαστικών αρθρώσεων ώστε να προκληθεί μηχανισμός κατάρρευσης, διατηρώντας τα υπόλοιπα φορτία σταθερά.

Στατικός τύπος	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτά – Διπλά συστήματα – Συστήματα με συζευγμένα τοιχώματα	$3.0a_u/a_1$	$4.5a_u/a_1$
Συστήματα με ασύζευκτα τοιχώματα	3.0	$4.0a_u/a_1$
Στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα	2.0	3.0
Ανεστραμμένα εκκερεμή	1.5	2.0

**Πίνακας 1.8** Τιμές  $q_0$  για συστήματα κανονικά σε όψη

Περιγραφή	$\alpha_u/\alpha_1$	
	Κτίρια κανονικά σε κάτοψη	Κτίρια μη κανονικά σε κάτοψη <sup>1</sup>
Πλαισιωτά ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά		
– Μονώροφα	1.10	1.05
– Πολυόροφα πλαίσια με ένα άνοιγμα	1.20	1.10
– Πολυόροφα πλαίσια με πολλά ανοίγματα ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά	1.30	1.15
Τοιχωματικά συστήματα ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά		
– Τοιχωματικά συστήματα με μόνο δύο ασύζευκτα τοιχώματα ανά κατεύθυνση	1.00	1.00
– Λοιπά συστήματα με ασύζευκτα τοιχώματα	1.10	1.05
– Διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά ή συστήματα με συζευγμένα τοιχώματα	1.20	1.10

**Πίνακας 1.9** Τιμές λόγων υπεραντοχής  $\alpha_u/\alpha_1$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 2.1 Έλεγχος ασφαλείας (ΚΑΝΕΠΕ 4.1)

Η λογική των ελέγχων ασφαλείας για την αποτίμηση ενός νέου ή υφιστάμενου κτηρίου είναι ακριβώς η ίδια με τη λογική του σχεδιασμού. Οι έλεγχοι ασφαλείας εκτελούνται σε κατάλληλο κατά περίπτωση μέλος ή τμήμα ή στο σύνολο του δομήματος και πρέπει το επιβαλλόμενο κρίσιμο μέγεθος (εντατικό ή παραμορφωσιακό) να είναι αξιόπιστα μικρότερο από τη διαθέσιμη ικανότητα.

Η ανίσωση που εφαρμόζεται κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ενός κτηρίου έχει την ίδια γενική μορφή που προβλέπεται στους Ευρωκώδικες. Η ανίσωση είναι γενική και αφορά είτε εντατικά είτε παραμορφωσιακά είτε συνδυασμό τους.

$$S_d < R_d \text{ με } S_d = \gamma_{sd} \cdot S(S_k \cdot \gamma_f) \text{ και } R_d = (1/\gamma_{Rd}) \cdot R(R_k / \gamma_m) \text{ (2.1), όπου}$$

$S_d$  Οι τιμές σχεδιασμού και επανελέγχου των εντατικών ή παραμορφωσιακών μεγεθών που προκαλούνται από τις δράσεις

$R_d$  Οι τιμές σχεδιασμού και επανελέγχου των διαθέσιμων αντίστοιχων αντιστάσεων (εντατικών ή παραμορφωσιακών μεγεθών)

$S_k$  Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των βασικών και τυχηματικών δράσεων, για τις οποίες υπάρχει ορισμένη πιθανότητα υπέρβασης σε 50 έτη

$R_k$  Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των ιδιοτήτων των υλικών που διαμορφώνουν τις αντιστάσεις και έχουν ορισμένη πιθανότητα υποσκελίσεως

$\gamma_f, \gamma_m$  Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τις δράσεις και τις ιδιότητες των υλικών, με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη οι ενδεχόμενες δυσμενείς αποκλίσεις των αντίστοιχων μεταβλητών από τις αντιπροσωπευτικές τιμές.

$\gamma_{sd}, \gamma_{Rd}$  Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη οι αυξημένες (σε σχέση με το σχεδιασμό νέων κτηρίων αβεβαιότητες). Για την αποτίμηση νέων κτηρίων οι συντελεστές αυτοί δεν παρουσιάζονται αυτοτελώς, αλλά είναι ενσωματωμένοι στους  $\gamma_f$  ( $\gamma_g$  ή  $\gamma_q$ ) και στους  $\gamma_m$ , ( $\gamma_c$  ή  $\gamma_s$ ).

### 2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών

Ο EC8-1 προβλέπει τιμές αντοχής υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε νέες κατασκευές για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας τους. Το πρόβλημα παρουσιάζεται στα υφιστάμενα κτήρια, για τα οποία η γνώση είναι περιορισμένη.

### 2.2.1 Αντοχή σκυροδέματος και χάλυβα

Χρησιμοποιούνται οι μέσες αντοχές των υλικών. Σε υφιστάμενες κατασκευές οι μέσες τιμές μπορούν να προκύψουν από ενδεχόμενη πυρηνοληψία ή από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές.

Όταν είναι γνωστή η χαρακτηριστική τιμή του σκυροδέματος, τότε η μέση τιμή μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξής:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8(MPa) \quad (2.2) \text{ (EC2 πίνακας 3.1)}$$

$$f_{cm} = \min(f_{ck} + 5(MPa), 1.20 f_{ck}) \quad (2.3) \text{ ΚΑΝΕΠΕ Παράρτημα 4.1}$$

Η μέση αντοχή του χάλυβα B500 (C ή A) προκύπτει ως εξής:

$$f_{ym} = 1.15 f_{yk} \quad (2.4), \text{ EC8-2 E.2.2}$$

$$f_{ym} = (1,10 \text{ ή } 1,05) \cdot f_{yk} \quad (2.5) \text{ ΚΑΝΕΠΕ Παράρτημα 4.1}$$

Εναλλακτικά και βάσει των προδιαγραφών των κατασκευαστών (ΣΙΔΕΝΟΡ) είναι ίση με  $f_{ym} = 500 \div 560 MPa$  (2.6)

Παρατίθεται πίνακας με τις προτεινόμενες τιμές χαρακτηριστικής αντοχής και παραμόρφωσης για νέο χάλυβα και αντίστοιχες μέσες τιμές για υφιστάμενο.

	Νέος οπλισμός	Υφιστάμενος οπλισμός			
	Χαρακτηρ. τιμές	Μέσες τιμές			
	B500C	S500s ή B500C	S500	StIII ή S400	StI ή S220
Αντοχή $f_{yk}$ ή $f_{ym}$ [MPa]	$f_{yk} = 500$	$f_{ym} = 550 \div 575$	$f_{ym} = 550 \div 575$	$f_{ym} = 460 \div 480$	$f_{ym} = 260 \div 290$
Οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{suk}$ ή $\epsilon_{sum}$	6.0 ÷ 7.5%	10%	5%	5%	10 ÷ 12%

**Πίνακας 2.1** Ενδεικτικές – προτεινόμενες τιμές χαρακτηριστικής αντοχής και παραμόρφωσης για νέο χάλυβα και αντίστοιχες μέσες τιμές για υφιστάμενο χάλυβα.

### 2.2.2 Περίσφιξη

Στους σύγχρονους κανονισμούς η ευμενής επιρροή της τριαξονικής θλίψης στην αντοχή και την πλαστιμότητα του σκυροδέματος περιλαμβάνεται με προτεινόμενα μοντέλα περίσφιξης που περιγράφονται στους κανονισμούς.



Επιρροή της περίσφιγξης (EC8-3 A.3.1.1).

Η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος υπολογίζεται ως εξής :

$$f_{cc} = fc \left[ 1 + 3,7 \left( \frac{a \rho_{sx} f_{yw}}{fc} \right)^{0,86} \right] \quad (2.7)$$

$fc$  μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (MPa)

$f_{yw}$  όριο διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού ή του οπλισμού περίσφιγξης

$a$  ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της περίσφιγξης, όπως προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$a = \left( 1 - \frac{s_h}{2b_o} \right) \left( 1 - \frac{s_h}{2h_o} \right) \left( 1 - \frac{\sum b_i^2}{6h_o b_o} \right) \quad (2.8)$$

$\rho_{sx}$  το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού που είναι παράλληλος στη κατεύθυνση  $x$  της φόρτισης

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_h} \quad (2.9)$$

$s_h$  η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων.

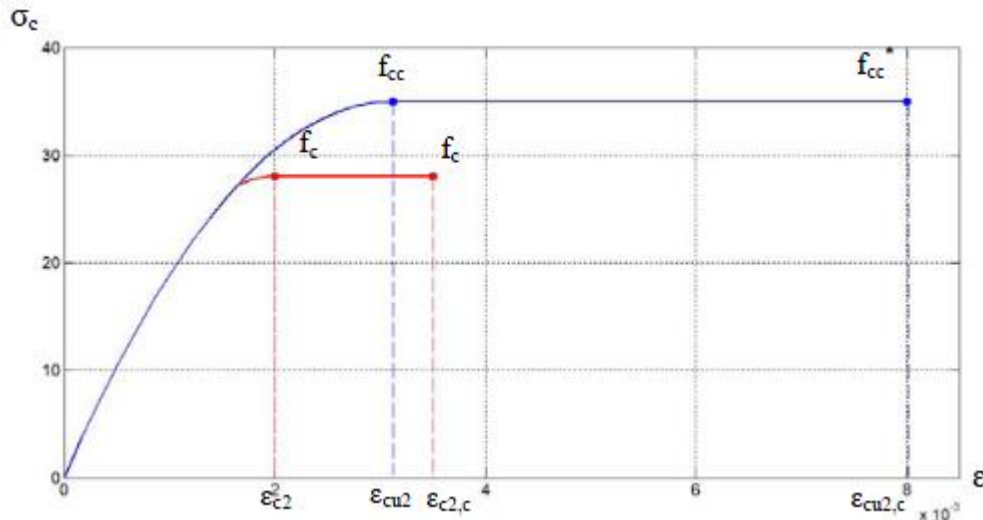
Η ανηγμένη παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην αντοχή  $f_{cc}$  θεωρείται ότι αυξάνει πάνω από την τιμή  $\varepsilon_{c2}$  του μη-περισφιγμένου σκυροδέματος ως εξής:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c2} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f_{cc}}{fc} - 1 \right) \right] \quad (2.10)$$

Η ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος αυξήθηκε εξαιτίας της περίσφιγξης και αυτό οδηγεί σε πιο πλαστική συμπεριφορά των μελών.

Η οριακή ανηγμένη παραμόρφωση της ακραίας ίνας της θλιβόμενης ζώνης λαμβάνεται ίση με:

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + 0,5 \frac{a \rho_{sx} f_{yw}}{fc} \quad (2.11)$$



**Σχήμα 2.1** Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων για περισφιγμένο και απερίσφιγχο σκυρόδεμα

### 2.3 Επίπεδο γνώσης - Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) σκυροδέματος & χάλυβα οπλισμού (ΚΑΝΕΠΕ 3.6 & 3.7 και EC8-3 3.3 & 3.4.3)

Στις υφιστάμενες κατασκευές οι αριθμητικές τιμές των δεδομένων που υπεισέρχονται στην αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ενδέχεται να υπόκεινται σε σφάλματα σημαντικότερα απ' ότι στην περίπτωση νέων κατασκευών. Η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορούν δράσεις ή αντιδράσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφιστάμενου κτηρίου και λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.

Για τον σκοπό του επιτρεπόμενου τύπου ανάλυσης και των κατάλληλων τιμών των συντελεστών εμπιστοσύνης, ορίζονται τα ακόλουθα τρία επίπεδα γνώσης (Σ.Α.Δ.)

KL1: Περιορισμένη γνώση (Ανεκτή Σ.Α.Δ.)

Το KL1 αντιστοιχεί στο ακόλουθο επίπεδο γνώσης:

1. γεωμετρία: η συνολική γεωμετρία του φορέα και τα μεγέθη των μελών είναι γνωστά είτε (α) από έρευνα, (β) από αρχικά κατασκευαστικά σχέδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την αρχική κατασκευή όσο και για τις οποιεσδήποτε εκ των υστέρων τροποποιήσεις. Στην περίπτωση (β), θα πρέπει να ελέγχεται επί τόπου ένα επαρκές δείγμα των διαστάσεων τόσο της συνολικής γεωμετρίας του φορέα όσο και του μεγέθους των μελών. Εάν παρατηρηθούν σημαντικές ασυμφωνίες με τα κατασκευαστικά σχέδια, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πληρέστερη έρευνα των διαστάσεων.
2. λεπτομέρειες: οι δομικές λεπτομέρειες δεν είναι γνωστές από λεπτομερή σχέδια της κατασκευής και μπορεί να υποτεθούν βάσει μιας προσομοίωσης σχεδιασμού σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική κατά το χρόνο της κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιούνται περιορισμένες επιθεωρήσεις στα πιο κρίσιμα στοιχεία, έτσι ώστε να ελέγχεται κατά πόσον οι υποθέσεις

ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση. Διαφορετικά, απαιτείται πιο εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση.

3. υλικά: δεν είναι διαθέσιμες άμεσες πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες των κατασκευαστικών υλικών, τόσο για τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού όσο και από τις αρχικές αναφορές δοκιμών. Καταχρηστικές τιμές θα πρέπει να υιοθετούνται, συνοδευόμενες από περιορισμένες επί τόπου δοκιμές στα πιο κρίσιμα στοιχεία.

#### KL2: Κανονική γνώση (Ικανοποιητική Σ.Α.Δ.)

Το KL2 αντιστοιχεί στο ακόλουθο επίπεδο γνώσης:

1. γεωμετρία: η συνολική γεωμετρία του φορέα και τα μεγέθη των μελών είναι γνωστά είτε (α) από εκτεταμένη έρευνα, ή (β) από αρχικά κατασκευαστικά σχέδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την αρχική κατασκευή όσο και οποιεσδήποτε εκ των υστέρων τροποποιήσεις. Στην περίπτωση (β), θα πρέπει να ελέγχεται επί τόπου ένα επαρκές δείγμα των διαστάσεων τόσο της συνολικής γεωμετρίας όσο και του μεγέθους των μελών. Εάν παρατηρηθούν σημαντικές ασυμφωνίες με τα κατασκευαστικά σχέδια, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πληρέστερη έρευνα των διαστάσεων.
2. λεπτομέρειες: οι δομικές λεπτομέρειες είναι γνωστές είτε από εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση ή από τα μη πλήρη λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιούνται επί τόπου επιθεωρήσεις στα πιο κρίσιμα στοιχεία, έτσι ώστε να ελέγχεται κατά πόσον οι διαθέσιμες πληροφορίες ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση.
3. υλικά: είναι διαθέσιμες πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες των κατασκευαστικών υλικών, είτε από εκτεταμένες επί τόπου δοκιμές ή από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιούνται περιορισμένες επί τόπου δοκιμές.

#### KL3: Πλήρης γνώση (Υψηλή Σ.Α.Δ.)

Το KL3 αντιστοιχεί στο ακόλουθο επίπεδο γνώσης:

1. γεωμετρία : η συνολική γεωμετρία του φορέα και τα μεγέθη των μελών είναι γνωστά είτε (α) από διεξοδική έρευνα, ή (β) από το σύνολο των κατασκευαστικών σχεδίων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την αρχική κατασκευή όσο και για τις οποιεσδήποτε εκ των υστέρων τροποποιήσεις. Στην (β) περίπτωση θα πρέπει να ελέγχεται επί τόπου ένα επαρκές δείγμα των διαστάσεων τόσο της συνολικής γεωμετρίας όσο και του μεγέθους των μελών. Εάν παρατηρηθούν σημαντικές ασυμφωνίες με τα κατασκευαστικά σχέδια, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πληρέστερη έρευνα των διαστάσεων.
2. λεπτομέρειες: οι δομικές λεπτομέρειες είναι γνωστές είτε από συνολική επί τόπου επιθεώρηση ή από το ολοκληρωμένο σύνολο των λεπτομερών σχεδίων της κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιούνται περιορισμένες επιθεωρήσεις επί τόπου στα πιο κρίσιμα στοιχεία, έτσι ώστε να ελέγχεται κατά πόσον οι διαθέσιμες πληροφορίες ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση.
3. υλικά: είναι διαθέσιμες πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες των κατασκευαστικών υλικών, είτε από συνολικές επί τόπου δοκιμές είτε από τις αρχικές αναφορές δοκιμών. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιούνται περιορισμένες επί τόπου δοκιμές.

## 2.4 Συντελεστές εμπιστοσύνης και συντελεστές ασφαλείας

Αφορούν υφιστάμενα υλικά. Το επίπεδο γνώσης (KL) ή Σ.Α.Δ. καθορίζει τις τιμές των συντελεστών εμπιστοσύνης (CF) καθώς και τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας των υλικών  $\gamma_c$  και  $\gamma_s$ . Στον καθορισμό των διαγραμμάτων ροπής αντοχής – στροφής χορδής  $M - \theta$  υπεισέρχονται οι μέσες τιμές αντοχής του χάλυβα και του σκυροδέματος διαιρεμένες με τον συντελεστή εμπιστοσύνης, ενώ στον προσδιορισμό των αντοχών των κύριων μελών σε τέμνουσα  $V_R$  διαιρούνται με τους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_c$  και  $\gamma_s$  (EC8 2.2.1(5)A – 7A. Αλλαγή του επιπέδου γνώσης ενημερώνει αυτόματα τους συντελεστές σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα. Οι προεπιλεγμένες τιμές εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Συντελεστές εμπιστοσύνης $CF_c$ & $CF_s$		Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας			
	GR	CY	Σκυρ/μα $\gamma'_c$		Χάλυβας $\gamma'_s$	
			GR	CY	GR	CY
<b>KL1</b> Περιορισμένη γνώση	<b>1.30</b>	<b>1.35</b>	<b>1.65</b>		<b>1.25</b>	
<b>KL2</b> Κανονική γνώση	<b>1.20</b>		<b>1.50</b>	<b>1.50</b>	<b>1.15</b>	<b>1.15</b>
<b>KL3</b> Πλήρης γνώση	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.35</b>		<b>1.05</b>	

*Πίνακας 2.2 Συντελεστές εμπιστοσύνης σκυροδέματος  $CF_c$  και χάλυβα  $CF_s$  και επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_c$  και  $\gamma_s$  για υφιστάμενα υλικά ανάλογα με το επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) για εθνικό προσάρτημα της Ελλάδας και της Κύπρου.*

## 2.5 Εντατικό μέγεθος αντίστασης διαρροής (ΚΑΝΕΠΕ 7.2.1)

Η αντίσταση διαρροής  $F_y$  μπορεί να λαμβάνεται ίση με την οριακή αντοχή (για το ωπλισμένο σκυρόδεμα όπως αυτή υπολογίζεται κατά τις διατάξεις του EC2), με χρήση όμως των μέσων τιμών της αντοχής των υλικών, αντί των τιμών σχεδιασμού, υπό τις προϋποθέσεις των Κεφαλαίων 3 και 4 του ΚΑΝΕΠΕ. Ειδικώς στην περίπτωση όπου η τιμή της αντίστασης διαρροής χρησιμοποιείται για τον έλεγχο κριτηρίων επιτελεστικότητας ψαθυρών τρόπων αστοχίας, η τιμή υπολογίζεται με τις αντιπροσωπευτικές τιμές ιδιοτήτων των υλικών και συντελεστές ασφαλείας κατά την 4.5.3 του Κανονισμού.

Αν καθοριστική της αντοχής γραμμικών στοιχείων είναι η κάμψη, ένα κάτω όριο της  $F_y$  προκύπτει συνήθως από την τιμή της ροπής στη διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα.

## 2.6 Παραμόρφωση διαρροής στοιχείου (ΚΑΝΕΠΕ 7.2.2)

Στον υπολογισμό της παραμόρφωσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συμβολή και της κάμψης και της διάτμησης. Η συμβολή της κάμψης στην παραμόρφωση διαρροής μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την τιμή της καμπυλότητας διαρροής  $(1/r)_y$ , η οποία μπορεί να υπολογισθεί με βάση την υπόθεση επιπεδότητας των διατομών και με γραμμικό νόμο σ-ε του χάλυβα και του σκυροδέματος σε θλίψη, για μηδενική εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Εάν οι παραμορφώσεις «δ» αναφέρονται στο σύνολο του μήκους  $L_s = a_v \cdot h$  στο άκρο δομικού στοιχείου (π.χ. όταν ως «δ» χρησιμοποιείται η γωνία στροφής  $\theta$ ), τότε στη φάση της καμπτικής διαρροής το τμήμα της  $\theta_y$  που οφείλεται στην κάμψη, μπορεί να ληφθεί ίσο με  $(1/r)_y (L_s + a_v z)/3$ , όπου ο όρος  $a_v z$  εκφράζει την επιρροή του «μήκους μετάθεσης» των ροπών κάμψης  $\sigma'$  αυτές,  $z$  είναι ο μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων, ο δε συντελεστής  $a_v$  ισούται με τη μονάδα (1) εάν η τέμνουσα,  $V_{R1}$ , που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου, υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά τη καμπτική διαρροή  $V_{Mu} = My/L_s$ , και με 0 αν είναι μεγαλύτερη. Το μήκος  $L_s$  είναι ο λόγος  $M/V$  στην ακραία διατομή του στοιχείου, δηλαδή η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών.

Στην τιμή αυτή χρειάζεται να προστεθεί η συμβολή της στροφής της ακραίας διατομής λόγω εξόλκευσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου. Χρειάζεται επίσης να προστεθεί η συμβολή των διατμητικών παραμορφώσεων στη  $\theta_y$ .

Αν από τη διατομή του άκρου του δομικού στοιχείου και προς το εσωτερικό του μήκους του υπάρχει περιοχή ένωσης των διαμήκων ράβδων με παράθεση των άκρων τους, χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η επιρροή της ένωσης στην τιμή της  $\theta_y$ , όπως αυτή συντίθεται από τη συμβολή των καμπτικών παραμορφώσεων, των διατμητικών παραμορφώσεων και της στροφής της ακραίας διατομής λόγω ολίσθησης του τμήματος των ράβδων πέρα από τη διατομή αυτή.

Πιο συγκεκριμένα, εάν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία, η γωνία στροφής χορδής  $\theta_y$  στην καμπτική διαρροή στοιχείων μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη έκφραση:

- Για δοκούς ή υποστυλώματα

$$\theta_y = (1/r)_y \cdot (L_s + a_v z)/3 + 0,0014 \cdot (1 + 1,5h/L_s) + (1/r)_y d_b f_y / (8\sqrt{f_c}) \quad (2.12)$$

- Για τοιχώματα

$$\theta_y = (1/r)_y \cdot (L_s + a_v z)/3 + 0,0013 + (1/r)_y d_b f_y / (8\sqrt{f_c}) \quad (2.13)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις ο πρώτος όρος εκφράζει τη συμβολή των καμπτικών παραμορφώσεων, ο δεύτερος όρος εκφράζει τις μέσες διατμητικές παραμορφώσεις

στο μήκος  $L_s$ , ενώ ο τρίτος όρος εκφράζει την επιρροή της εξόλκευσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου ( $f_c$  και  $f_y$  σε MPa).

Εάν οι εφελκόμενοι διαμήκεις οπλισμοί επεκτείνονται πέραν της ακραίας διατομής απλώς για αγκύρωση, σε μήκος το οποίο δεν είναι επαρκές για την ανάπτυξη της πλήρους ροπής διαρροής  $M_y$ , στην ακραία διατομή, τότε χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η επιρροή της ελλιπούς αγκύρωσης των εφελκόμενων ράβδων, στην παραμόρφωση διαρροής του στοιχείου.

Αν η τέμνουσα αντοχής τους στοιχείο,  $V_R$ , υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή,  $V_{Mu} = M_y / L_s$ , τότε καθοριστική της διαρροής είναι η διάτμηση, οπότε η παραμόρφωση διαρροής υπολογίζεται ως το γινόμενο της  $(1/r)_y$  ή της  $\theta_y$  επί  $V_R L_s / M_y$ , ανάλογα με το νόημα της παραμόρφωσης  $\delta$  (ως  $1/r$  ή  $\theta$ ).

## 2.7 Καμπυλότητα Διαρροής

Το παρόν παράρτημα ισχύει για ορθογωνικές διατομές, με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη. Ισχύει επίσης και για διατομές Γ,Τ, Π κ.λ.π., στις οποίες η θλιβόμενη ζώνη έχει σταθερό πλάτος  $b$ . Η συνθήκη αυτή ελέγχεται με βάση το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή  $\xi_y \cdot d$ , με  $\xi_y$  που υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης που ακολουθεί. Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού, τότε:

$$(1/r)_y = f_y / [E_s (1 - \xi_y) d] \quad (2.14)$$

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μη – γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος (για παραμόρφωση ακραίας θλιβόμενης ίνας πέραν του  $\varepsilon_c \approx 1.8 f_c / E_c$ , τότε:

$$(1/r)_y = \varepsilon_c / \xi_y d \approx 1.8 f_c / E_c \xi_y d \quad (2.15)$$

Λαμβάνεται η μικρότερη των τιμών από τις παραπάνω εξισώσεις.

Το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή,  $\xi_y$ , ανηγμένο στο στατικό ύψος  $d$ , είναι:

$$\xi_y = (a^2 A^2 + 2A\beta)^{1/2} - Aa, \quad (2.16)$$

όπου  $\alpha = E_s / E_c$  και τα  $A, B$  προσδιορίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις ανάλογα με το αν η διαρροή ελέγχεται από τον εφελκόμενο οπλισμό ή από το θλιβόμενο σκυρόδεμα αντίστοιχα.

1. Διαρροή λόγω χάλυβα

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + N / (b d f_y) \quad (2.17)$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta') + N / (b d f_y) \quad (2.18)$$

2. Διαρροή λόγω παραμορφώσεων σκυροδέματος

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - N / (\varepsilon_c E_s b d) \approx \rho + \rho' + \rho_v - N / (1.8 a b d f_c) \quad (2.19)$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta') \quad (2.20)$$

Τα  $\rho$ ,  $\rho'$  και  $\rho_v$  είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο  $bd$ ),  $\delta' = d'/d$ , όπου  $d'$  η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος,  $b$  το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης και  $N$  το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη).

## 2.8 Ενεργός δυσκαμψία στοιχείων Ω.Σ.

Η ενεργός δυσκαμψία του μήκους  $L_s$  ενός στοιχείου ισούται με :

$$K = M_y L_s / (3 \theta_y) \quad (2.21)$$

όπου  $M_y$  και  $\theta_y$  η τιμή της ροπής και της γωνίας στροφής χορδής, αντίστοιχα, στη διαρροή της ακραίας διατομής τους στοιχείου. Η ενεργός δυσκαμψία  $K$  του συνολικού μήκους του στοιχείου μπορεί να λαμβάνεται ίση με το μέσο όρο των τιμών που υπολογίζονται από την παραπάνω εξίσωση στις δύο ακραίες διατομές του στοιχείου. Αν οι διατομές αυτές έχουν μη – συμμετρικό σχήμα ή οπλισμό (δηλαδή, διαφορετικό για θετική και αρνητική ροπή κάμψης), λαμβάνονται οι μέσοι όροι των τιμών του  $K$  από την εξίσωση για τις δύο φορές της κάμψης.

## 2.9 Παραμορφώσεις αστοχίας στοιχείων Ω.Σ. (ΚΑΝΕΠΕ 7.2.1) (EC8-3, A.3.2.2)

### 2.9.1 Παραμορφώσεις κατά την αστοχία σε κάμψη

Η καμπυλότητα αστοχίας διατομής οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να υπολογισθεί συντάσσοντας διάγραμμα ροπών – καμπυλοτήτων της διατομής μέχρι την «αστοχία», λαμβάνοντας υπόψη ότι η διατομή μπορεί να αστοχήσει είτε λόγω θραύσης του εφελκόμενου οπλισμού είτε λόγω αστοχίας του σκυροδέματος σε θλίψη, και μάλιστα (ανάλογα με την περίσφιγξη της θλιβόμενης ζώνης) πριν ή μετά την αποφλοίωση του απερίσφιγκτου τμήματος της διατομής.

Η διαθέσιμη γωνία πλαστικής στροφής  $\theta_u^{pl}$  μιας κρίσιμης περιοχής και η διαθέσιμη συνολική γωνία στροφής  $\theta_u$  στο άκρο δομικού στοιχείου πρέπει να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη όλες τις υπεισερχόμενες παραμέτρους των μεγεθών αυτών,

πάντως δε συνεκτιμώντας υπέρ της ασφαλείας και όλες τις σχετικές πηγές αβεβαιότητας. Επιτρέπεται η χρήση συντηρητικών αναλυτικών μεθόδων για την εκτίμηση της  $\theta_u^{pl}$ , αποδεκτών στη διεθνή βιβλιογραφία.

Είναι δυνατή η εμπειρική εκτίμηση της διαθέσιμης τιμής της πλαστικής γωνίας στροφής ή της συνολικής γωνίας στροφής χορδής στοιχείων Ω.Σ. συναρτήσει των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων και των οπλισμών τους, με τη βοήθεια εμπειρικών σχέσεων ή πινάκων (Πίνακες στο Παράρτημα 7B του ΚΑΝΕΠΕ).

Ως τέτοιες σχέσεις επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω:

$$\theta_{um} = 0.016 \cdot (0.3^v) \left[ \frac{\max(0.01 : \omega')}{\max(0.01 : \omega)} f_c \right] 0.225 \cdot a_s^{0.35} \cdot 25(a\rho_s \frac{f_{yw}}{f}) \cdot (1.25^{100\rho_d}) \quad (2.22)$$

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left( \theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left( 1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \quad (2.23)$$

$a_s$  : ο λόγος διάτμησης

$\omega, \omega'$  : μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ο ενδιάμεσος διαμήκης οπλισμός μεταξύ εφελκόμενου και θλιβόμενου πέλματος θεωρείται ως εφελκόμενος)

$\nu = N/(bhf_c)$  : ανηγμένη αξονική

$\rho_s = A_{sh}/b_w s_h$  : γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης

$\rho_d$  : γεωμετρικό ποσοστό τυχόν δισδιαγώνιου οπλισμού

$\gamma_{el}$  : 1.70 για κύρια μέλη και 1.00 για δευτερεύοντα μέλη (EC8-A.3.2.2(9))

$\theta_y$  : η γωνία στροφής στη διαρροή

$\phi_u$  : η οριακή καμπυλότητα στην ακραία διατομή

$\phi_y$  : η καμπυλότητα διαρροής στην ακραία διατομή

$L_v$  : το μήκος διάτμησης, που γενικά είναι ίσο με το λόγο ροπής προς τέμνουσα στην ακραία διατομή

$L_{pl}$  : το μήκος της πλαστικής άρθρωσης, η τιμή του οποίου εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η ενίσχυση της αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης του σκυροδέματος, η οποία οφείλεται στην περίσφιγξη κατά τον



υπολογισμό της οριακής καμπυλότητας της ακραίας διατομής  $\varphi_u$ . Έτσι για την περίπτωση που χρησιμοποιείται το προσομοίωμα περίσφιγξης του EC8-3, η τιμή που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μήκους της πλαστικής άρθρωσης είναι:

$$L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0.20h + 0.11 \frac{d_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (2.24)$$

$d_b$  : η μέση τιμή διαμέτρου των ράβδων που βρίσκονται σε εφελκυσμό.

## 2.9.2 Παραμόρφωση κατά την αστοχία σε τέμνουσα (EC8-3 A3.3)

Η διατμητική αντοχή υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση VR μειώνεται με το πλαστικό μέρος της απαίτησης πλαστιμότητας, η οποία εκφράζεται σε όρους συντελεστή πλαστιμότητας της εγκάρσιας καμπτικής παραμόρφωσης του ανοίγματος διάτμησης ή της στροφής της χορδής στο άκρο του μέλους:  $\mu_{\Delta}^{pl} = \mu_{\Delta} - 1$ . Για αυτό το σκοπό το  $\mu_{\Delta}^{pl}$  μπορεί να υπολογίζεται ως ο λόγος του πλαστικού μέρους της στροφής της χορδής,  $\theta$ , ανηγμένο, στη στροφή της χορδής στη διαρροή  $\theta_y$ .

Η διατμητική αντοχή μέλους υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση δίνεται στον παρακάτω τύπο (EC8-3 (A.12), ΚΑΝΕΠΕ. (7Γ.1):

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[ \frac{h-x}{2L_v} \min(N; 0.55 A_c f_c) + \left( 1 - 0.05 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}) \right) \right] \cdot \left[ 0.16 \max(0.5; 100 \rho_{tot}) \left( 1 - 0.16 \min(5; \frac{L_v}{h}) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right] \quad (2.25)$$

όπου

$h$  ύψος διατομής (ίσο με τη διάμετρο  $D$  στις κυκλικές διατομές)

$x$  ύψος της θλιβόμενης ζώνης

$N$  αξονικό φορτίο (θετικό για θλίψη, μηδενικό για εφελκυσμό)

$L_v$  μήκος διάτμησης

$A_c$  εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος, ίση με  $b_w d$  σε διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους  $b_w$  και στατικό ύψος  $d$ , ή με  $\pi D_c^2 / 4$ , (όπου  $D_c$  είναι η διάμετρος του πυρήνα της διατομής εντός των συνδετήρων) σε κυκλικές διατομές.

$f_c$  θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

$\rho_{tot}$  συνολικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού (εφελκυσμένου, θλιβόμενου και ενδιάμεσου)

$V_w$  συμβολή εγκάρσιου οπλισμού στη διατμητική αντοχή, ίση με:

- Για διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους  $b_w$

$$V_w = \rho_w b z f_{yw}$$

όπου

$\rho_w$  το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού

$z$  μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων (ίσος με  $d - d'$  σε υποστυλώματα, δοκούς και τοιχώματα διατομής T ή H, ή με  $0.8h$  σε τοιχώματα ορθογωνικής διατομής)

$f_{yw}$  η τάση διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού.

- Για κυκλικές διατομές

$$V_w = \frac{\pi A_{sw}}{2s} f_{yw} (D - 2c) \quad (2.26)$$

όπου

$A_{sw}$  το εμβαδόν της διατομής ενός κυκλικού συνδετήρα

$s$  η απόσταση μεταξύ διαδοχικών συνδετήρων

$c$  η επικάλυψη του οπλισμού

Η διατμητική αντοχή υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε όρους σύνθλιψης του κορμού πριν από την καμπτική διαρροή προκύπτει από την παραπάνω σχέση για  $\mu_{\Delta}^{pl} = 0$ .

### 2.9.3 Διατμητική αντοχή κορμού τοιχώματος υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε όρους σύνθλιψης άντυνας κορμού $V_{Rmax}$ EC8-3(A.15), ΚΑΝΕΠΕ(7Γ.4)

$$V_{Rmax} = \frac{0.85(1 - 0.06 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{\gamma_{el}} \left(1 + 1.8 \min(0.15; \frac{N}{A_c f_c})\right) \cdot (1 + 0.25 \max(1.75; 100 \rho_{tot})) \cdot (1 - 0.2 \min(2; \frac{L_v}{h})) \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot z \quad (2.27)$$

Διατμητική αντοχή «κοντού υποστυλώματος» υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε όρους σύνθλιψης άντυνας κορμού (EC8-3 (A.16), ΚΑΝΕΠΕ(7Γ.5)).

Για υποστυλώματα με λόγο διάτμησης  $a_s = L_v / h \leq 2.0$  είναι:

$$V_{Rmax} = \frac{4/7 \cdot (100 - 0.02 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{\gamma_{el}} \left(1.00 + 1.35 \frac{N}{A_c f_c}\right) \cdot (1 + 0.45(100 \rho_{tot})) \cdot \sqrt{\min(40, f_c)} b_w z \sin 2\delta \quad (2.28)$$

Το ελάχιστο της διατμητικής αντοχής που υπολογίζεται μέσω των παραπάνω σχέσεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται στην αποτίμηση φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 3.1 Εισαγωγή

#### 3.1.1 Ορισμός και στόχοι ανελαστικής στατικής ανάλυσης

Ένα σημαντικό πρόβλημα του δομοστατικού πολιτικού μηχανικού είναι ο προσδιορισμός της απόκρισης ελαστοπλαστικών φορέων υπό στατική και δυναμική φόρτιση. Οι ισοδύναμες ελαστικές στατικές αναλύσεις των παλαιότερων κανονισμών δεν μπορούσαν να προσομοιάσουν με σχετικά ακριβή τρόπο την πραγματική συμπεριφορά των κατασκευών. Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία εξέλιξη των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών και των αλγορίθμων επίλυσης έχουν δώσει τη δυνατότητα μη γραμμικών αναλύσεων των κατασκευών. Όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί προτείνουν για τον υπολογισμό της διαθέσιμης πλαστιμότητας μιας κατασκευής την ανελαστική στατική ανάλυση (ανάλυση Pushover). Η δυναμική ανελαστική ανάλυση (ανάλυση χρονοιστορίας) από την άλλη μεριά δεν προτείνεται λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας και του μεγάλου υπολογιστικού κόστους.

Η ανελαστική στατική ανάλυση μπορεί να ορισθεί ως εξής:

«Ένα προσομοίωμα που άμεσα ενσωματώνει μη γραμμικότητες υλικού μετατοπίζεται μέχρι κάποιας στοχευόμενης μετακίνησης, ενώ υπολογίζονται οι εσωτερικές παραμορφώσεις και τα εντατικά μεγέθη. Τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά των επιμέρους στοιχείων του δομήματος προσομοιώνονται άμεσα. Το προσομοίωμα του δομήματος υπόκειται σε πλάγια κατανομή δυνάμεων ή μετατοπίσεων, μονοτονικά αυξανόμενης έντασης, μέχρι να επιτευχθεί η στοχευόμενη μετακίνηση ή να επέλθει κατάρρευση του δομήματος. Η στοχευόμενη μετακίνηση αντιπροσωπεύει τη μέγιστη μετακίνηση που αναμένεται κατά τη διάρκεια του σεισμού σχεδιασμού».

Η χρήση της ανάλυσης Pushover στοχεύει:

- Στην δημιουργία της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ της τέμνουσας βάσης και της μετακίνησης κορυφής της κατασκευής. Η καμπύλη αυτή F-δ χρησιμοποιείται για τους ελέγχους που απαιτούνται για την ικανοποίηση των κριτηρίων επιτελεστικότητας.
- Στην τεκμηρίωση ύπαρξης επαρκούς υπεραντοχής στο κτήριο. Ουσιαστικά ελέγχει το συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  της κατασκευής.
- Στην εποπτεία της συμπεριφοράς των μελών της κατασκευής ως προς τη σειρά και τα σημεία εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων. Επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο η αποτύπωση της κατανομής των ζημιών στην κατασκευή και γίνεται κατανοητός ο μηχανισμός απορρόφησης, καθώς και ο έλεγχος σχεδιαστικών απαιτήσεων, όπως ο ικανοτικός σχεδιασμός ισχυρού υποστυλώματος-ασθενούς δοκού.

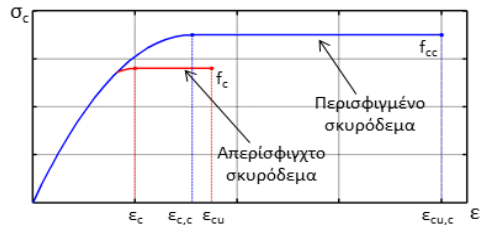
Στις νέες κατασκευές η ανάλυση Pushover χρησιμοποιείται στην κατασκευή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής και στον προσδιορισμό του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  αυτής. Στην αποτίμηση ή στον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κτηρίων

στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η χάραξη της καμπύλης αντίστασης και ο προσδιορισμός του σημείου επιτελεστικότητας για δεδομένη σεισμική διέγερση.

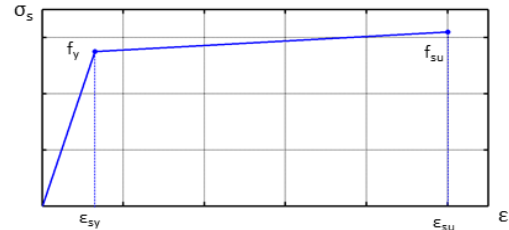
### 3.1.2 Διαγραμματική ροή ανελαστικής στατικής ανάλυσης

#### Υλικά

Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος



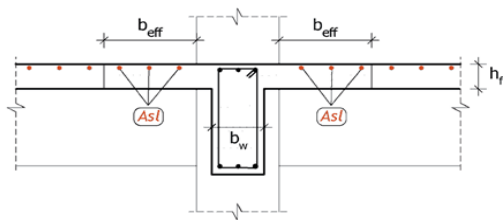
Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα



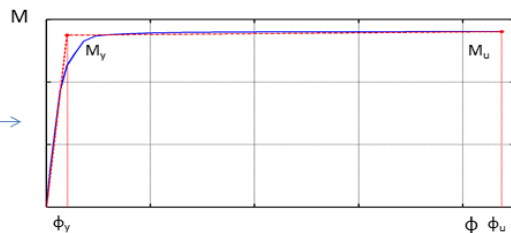
+



#### Επίπεδο διατομής



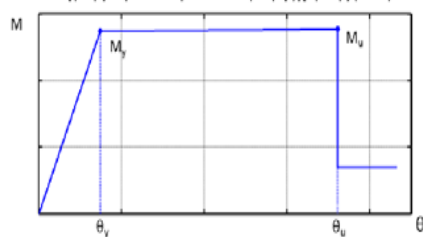
Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων (M-φ)



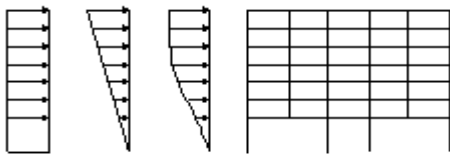
#### Επίπεδο μέλους



Διάγραμμα ροπών-γωνιών στροφής χορδής (M-θ)



#### Επίπεδο κατασκευής



## 3.2 Προσομοίωση

### 3.2.1 Φορτία και μέλη κατασκευής

Σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ (5.7.3.1 και 5.7.3.3) οι βασικές απαιτήσεις για τα μέλη και τις φορτίσεις των κατασκευών είναι:

Α. Τα κατακόρυφα φορτία των στοιχείων θα συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα, ώστε να συνδυάζονται με τα οριζόντια φορτία σύμφωνα με το σεισμικό συνδυασμό του EC8-1. Τα οριζόντια φορτία θα εφαρμόζονται εν γένει σε δύο αντίθετες διευθύνσεις («θετική» - «αρνητική») και ο έλεγχος θα γίνεται για τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν σε κάθε στοιχείο.

Β. Τα οριζόντια στατικά φορτία θα εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος (πλάκα ορόφου), σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών φορτίων του σεισμού.

Γ. Στο προσομοίωμα θα περιλαμβάνονται γενικά τόσο τα κύρια, όσο και τα δευτερεύοντα στοιχεία, αλλά και οι τοιχοπληρώσεις εφόσον λαμβάνεται υπόψη η φάση εξασθένησης της αντίστασης του στοιχείου. Σε αντίθετη περίπτωση τα δευτερεύοντα στοιχεία δε θα συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση.

### 3.2.2 Κατανομή σεισμικών φορτίων

Η σεισμική ένταση εκφράζεται με οριζόντια στατικά φορτία που δρουν στην στάθμη κάθε διαφράγματος, σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών φορτίων του σεισμού. Η σεισμική ένταση αυξάνεται σταδιακά μέχρι το επίπεδο της κρίσιμης μετακίνησης του δομήματος, το οποίο ταυτίζεται με την οροφή του κτηρίου.

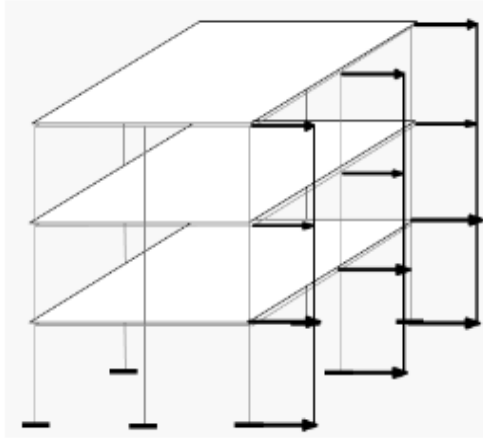
*Καθ' ύψος κατανομή φορτίων*

Σύμφωνα με τον EC8-1 μπορούν να εφαρμοστούν οι εξής κατανομές:

- «Ιδιομορφική»
- «Ομοιόμορφη»
- «Τριγωνική»

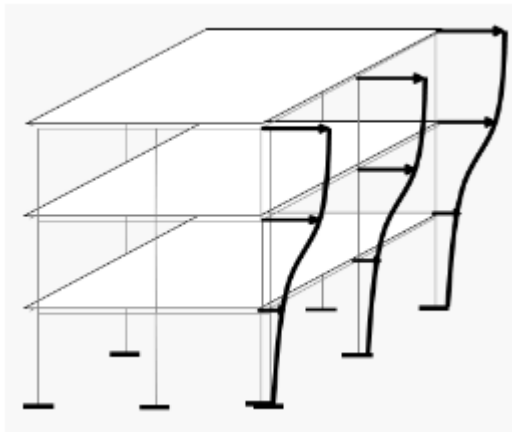
Ο ΚΑΝΕΠΕ (5.7.3.3) απαιτεί την εφαρμογή δύο τουλάχιστον καθ' ύψος διαφορετικών κατανομών, ώστε να λαμβάνεται κατά το δυνατόν υπόψη η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς ορισμένων περιοχών του φορέα, αλλά και λόγω της επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών.

«Ομοιόμορφη κατανομή» : Η κατανομή αυτή βασίζεται σε οριζόντιες δυνάμεις ανάλογες ως προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξάρτητα από την στάθμη του.



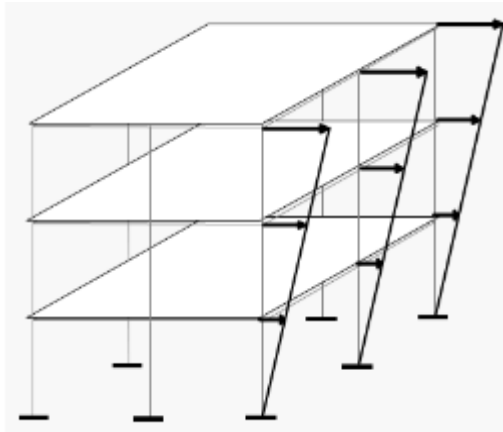
**Σχήμα 3.1** Ομοιόμορφη κατανομή

«Ιδιομορφική κατανομή» : Η κατανομή αυτή βασίζεται στο σχήμα της ιδιομορφής της κατασκευής που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό ιδιομορφικής μάζας όπως αυτό προέκυψε από ελαστική ιδιομορφική ανάλυση.



**Σχήμα 3.2** Ιδιομορφική κατανομή

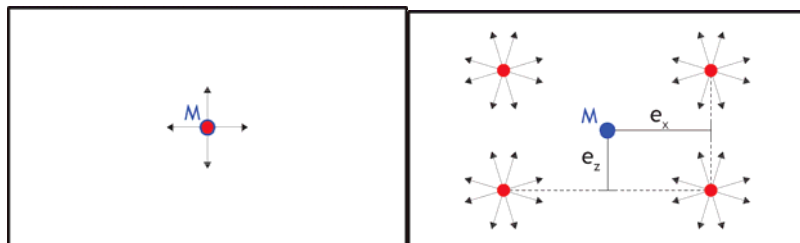
«Τριγωνική κατανομή»: Η κατανομή αυτή είναι ανάλογη με πλευρικές δυνάμεις που είναι συμβατές με την κατανομή οριζόντιων δυνάμεων που προκύπτουν από την ελαστική ανάλυση.



**Σχήμα 3.3** Τριγωνική κατανομή

### Οριζόντια κατανομή φορτίων

Τα οριζόντια φορτία εφαρμόζονται στη στάθμη του διαφράγματος (πλάκα ορόφου). Εφαρμόζονται σε δύο διευθύνσεις για δύο φορές («θετικό» και «αρνητικό» πρόσημο). Για κάθε μια από τις τέσσερις (4) περιπτώσεις που προκύπτουν εφαρμόζονται δύο καθ' ύψος κατανομές παράγοντας, επομένως, συνολικά τουλάχιστον οκτώ (8) φορτίσεις. Δυνατή είναι επίσης η εισαγωγή τυχηματικής εκκεντρότητας.



**Σχήμα 3.4** Οριζόντιες σεισμικές φορτίσεις

Επίσης για να ληφθεί υπόψη η ταυτόχρονη δράση των εντατικών μεγεθών λαμβάνεται το 100% των εντατικών μεγεθών στην κύρια διεύθυνση και το 30% στη δευτερεύουσα.

## 3.3 Ανάλυση

### 3.3.1 Καθορισμός κόμβου ελέγχου

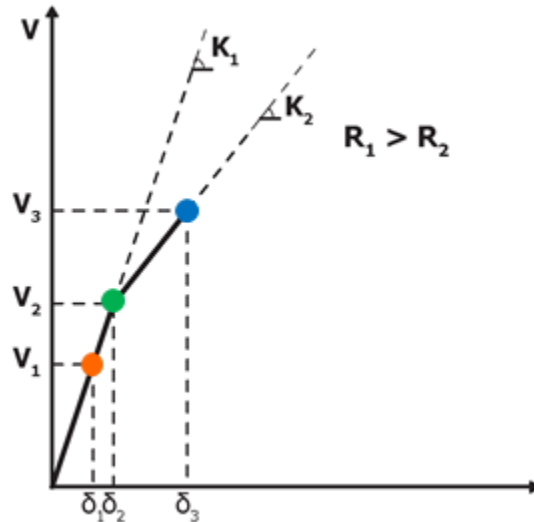
Σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ (5.7.3.2.) ο κόμβος ελέγχου της κατασκευής θα επιλέγεται στο κέντρο μάζας της οροφής του τελευταίου ορόφου της. Για κτήρια με μικρούς οικίσκους στο δώμα, ο κόμβος ελέγχου θα επιλέγεται στο κέντρο μάζας του προηγούμενου ορόφου.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ο κόμβος ελέγχου, λόγω του λογισμικού που χρησιμοποιείται για τις αναλύσεις, θα είναι η κορυφή του υποστυλώματος του τελευταίου ορόφου που είναι πλησιέστερα στο κέντρο μάζας του κτηρίου.

### 3.3.2 Καμπύλη αντίστασης

Η σχέση μεταξύ της τέμνουσας δύναμης βάσης της κατασκευής και της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου θα καθορίζεται από τη μη γραμμική στατική ανάλυση για τιμές μετακίνησης κόμβου μεταξύ του μηδενός και της τιμής που αντιστοιχεί στο 150% της μετακίνησης στόχου.

Η κατασκευή της καμπύλης αντίστασης του κτηρίου, δηλαδή γίνεται με αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων και υπολογισμό των δυνάμεων που εξισορροπούν αυτές τις μετακινήσεις.



Σχήμα 3.5 Καμπύλη αντίστασης κατασκευής

Η μετακίνηση στόχου (στοχευμένη μετακίνηση) ορίζεται ως η μετακίνηση που προκύπτει από το ελαστικό φάσμα απόκρισης του EC8 για ένα ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.

### 3.3.3 Ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα

Για να γίνει η σύγκριση μεταξύ της καμπύλης ικανότητας του κτηρίου και της σεισμικής απαίτησης που ορίζεται από το φάσμα σχεδιασμού του EC8 πρέπει να μετατραπεί το πολυβάθμιο σύστημα σε ένα ισοδύναμο μονοβάθμιο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη **Μέθοδο N2 του EC8-1**.

Η κατανομή των φορτίων στο επίπεδο του κέντρου μάζας των ορόφων γίνεται με βάση την κατανομή των αδρανειακών χαρακτηριστικών της κατασκευής σύμφωνα με την σχέση:

$$F = V \frac{m_i \phi_i}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_j} \quad (3.1)$$

$i, j$  : Στάθμες της κατασκευής

$V$  : Τέμνουσα βάσης της κατασκευής

$\phi_i$  : Οι ιδιομορφικές μετατοπίσεις του διαφράγματος  $i$

$m_i$  : Οι μάζες του διαφράγματος  $i$

Γίνεται κανονικοποίηση των ιδιομορφικών μετατοπίσεων, έτσι ώστε η ιδιομορφική μετατόπιση οροφής να ισούται με τη μονάδα.



Η μετατροπή του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος σε πολυβάθμιο σύστημα γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$Q = \Gamma Q^* \quad (3.2)$$

$Q$  οποιοδήποτε μέγεθος στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα

$Q^*$  το αντίστοιχο μέγεθος στο πολυβάθμιο σύστημα

$\Gamma$  ο συντελεστής συμμετοχής που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

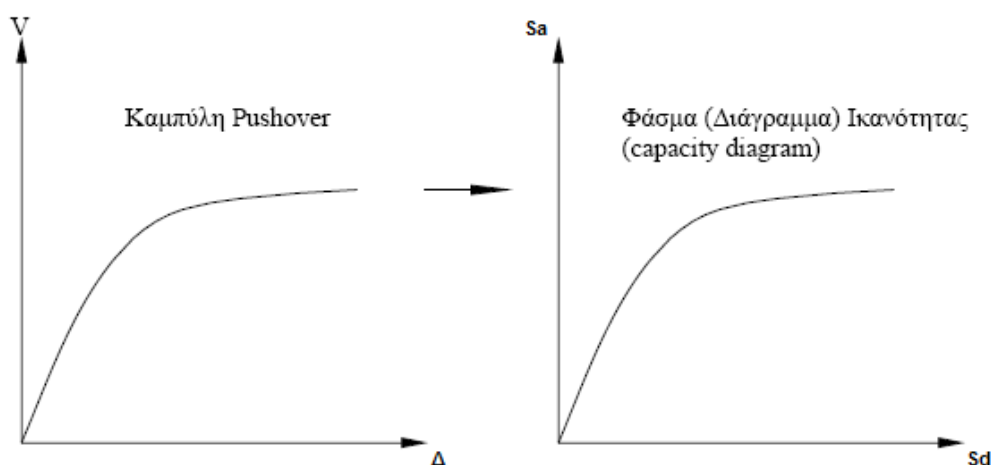
$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_i}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_i^2} \quad (3.3)$$

Η μάζα του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ισούται με:

$$m^* = \sum_{i=1}^N m_i \phi_i \quad (3.4)$$

Από τη στιγμή που οι δυνάμεις και οι μετατοπίσεις ακολουθούν τον ίδιο μετασχηματισμό, **η συνολική δυσκαμψία του πολυβαθμίου συστήματος θα ισούται με τη δυσκαμψία του ισοδύναμου μονοβαθμίου. Οι ιδιοπερίοδοι όμως των δύο συστημάτων δεν είναι ίσες.**

Για να μπορεί να γίνει η σύγκριση μεταξύ της καμπύλης ικανότητας του πολυβαθμίου και της σεισμικής απαίτησης του ελαστικού φάσματος σεισμού του EC8 πρέπει να μετατραπεί η καμπύλη ικανότητας σε φάσμα ικανότητας ADRS. Η μετατροπή αυτή γίνεται με τις εξής σχέσεις:



**Σχήμα 3.6** Καμπύλη αντίστασης πολυβαθμίου συστήματος και φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου

$$S_a = \frac{V}{a \cdot m_{tot}} \quad (3.5)$$

$$S_d = \frac{\Delta}{\Gamma \cdot \phi_{top}} \quad (3.6)$$

$V$  τέμνουσα βάσης του πολυβαθμίου συστήματος

$m_{tot}$  συνολική μάζα του πολυβαθμίου συστήματος

$a$  ποσοστό συνολικής μάζας που συμμετέχει στην δυναμική απόκριση της κατασκευής

$\phi_{top}$  η ιδιομορφική μετακίνηση της κορυφής. Εάν έχει γίνει κανονικοποίηση των ιδιομορφών ισούται με τη μονάδα

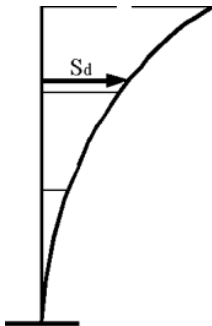
$\Delta$  μετακίνηση οροφής του πολυβαθμίου συστήματος

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να μετατραπούν σε όρους δυνάμεων-μετακινήσεων του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$F^* = \frac{V}{\Gamma} = m^* \cdot S_a \quad (3.7)$$

$$d^* = \frac{\Delta}{\Gamma \cdot \phi} = S_d \quad (3.8)$$

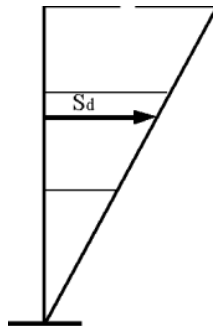
Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή  $\alpha$  για διάφορους τρόπους συμπεριφοράς κτηρίων παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



**Σχήμα 3.7**  
Καμπτική συμπεριφορά

$$\Gamma \cdot \phi_{top} = 1.6$$

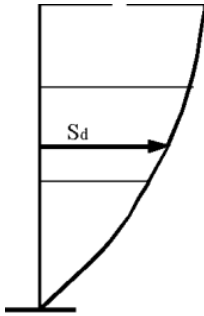
$$\alpha = 0.7$$



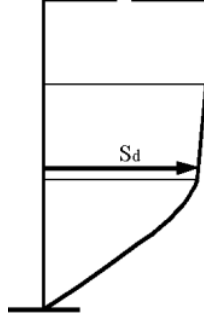
**Σχήμα 3.8**  
Μικτή συμπεριφορά

$$\Gamma \cdot \phi_{top} = 1.4$$

$$\alpha = 0.8$$



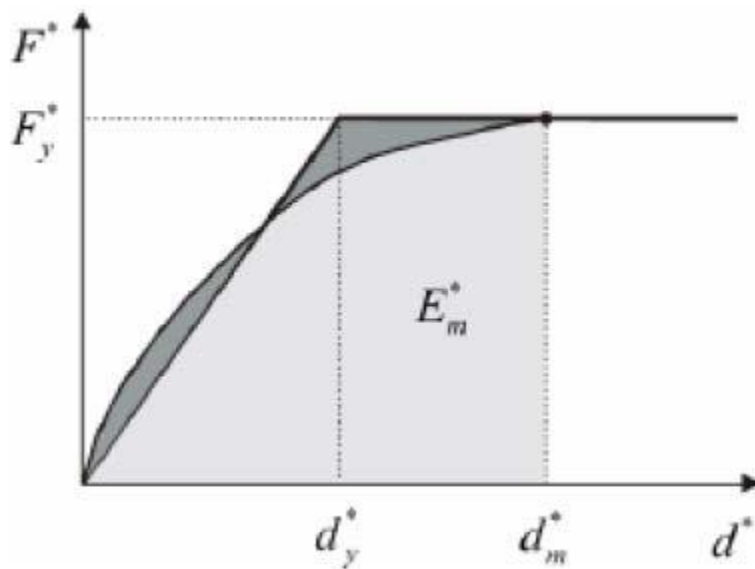
**Σχήμα 3.9**  
 Διατμητική συμπεριφορά  
 $\Gamma \cdot \phi_{top} = 1.2$   
 $\alpha = 0.9$



**Σχήμα 3.10**  
 Pilotis  
 $\Gamma \cdot \phi_{top} = 1.0$   
 $\alpha = 1.0$

### 3.3.4 Εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης

Σύμφωνα με το Παράρτημα Β του EC8 η καμπύλη ικανότητας του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος διγραμμικοποιείται καθώς η πρώτη διαρροή του πολυβαθμίου συστήματος δεν ταυτίζεται με την διαρροή του ισοδύναμου μονοβαθμίου. Το διγραμμικό διάγραμμα κατασκευάζεται χωρίς κράτυνση, δηλαδή ο μετελαστικός κλάδος είναι οριζόντιος. Η κλίση του ελαστικού κλάδου είναι τέτοια, ώστε τα εμβαδά που περικλείονται από την αρχική και την διγραμμικοποιημένη καμπύλη να είναι ίσα. Επίσης το  $F_{max}$  της αρχικής καμπύλης ικανότητας του μονοβαθμίου ισούται με το  $F_y$  του διγραμμικού διαγράμματος.



**Σχήμα 3.11** Εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος

Η μετακίνηση διαρροής  $d_y^*$  της εξιδανικευμένης καμπύλης του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ισούται:

$$d_y^* = 2 \left( d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right) \quad (3.9)$$

όπου  $E_m^*$  είναι το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της αρχικής καμπύλης και της μέγιστης μετακίνησης και εκφράζει την ενέργεια παραμόρφωσης.

Η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος δίνεται από την σχέση:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{K_{eff}}} = 2\pi \sqrt{\frac{m^* \cdot d_y^*}{F_y^*}} \quad (3.10)$$

### 3.3.5 Στοχευόμενη μετακίνηση

Μετά τον υπολογισμό της ιδιοπερίοδου του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος μπορεί να υπολογιστεί η ελαστική και ανελαστική στοχευόμενη μετακίνηση του.

**Η ελαστική στοχευόμενη μετακίνηση του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος** δίνεται από τη σχέση:

$$d_{et}^* = S_e(T^*) \left[ \frac{T^*}{2\pi} \right]^2 \quad (3.11)$$

Όπου  $S_e(T^*)$  η ελαστική φασματική επιτάχυνση για περίοδο  $T^*$

**Η ανελαστική στοχευόμενη μετακίνηση του ισοδύναμου μονοβαθμίου** δίνεται από τις σχέσεις:

- Για  $T^* < T_c$  (μικρές ιδιοπερίοδοι κατασκευών), όπου θεωρείται ότι ισχύει η αρχή των ίσων ενεργειών ισχύει:

➤ Εάν  $F_y^* / m^* \geq S_e(T^*)$ , η απόκριση είναι ελαστική και συνεπώς ισχύει:

$$d_t^* = d_{et}^* \quad (3.12)$$

➤ Εάν  $F_y^* / m^* < S_e(T^*)$ , η απόκριση είναι μη γραμμική και ισχύει:

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u} \left( 1 + (q_u - 1) \frac{T_c}{T^*} \right) \geq d_{et}^* \quad (3.13), \text{ όπου } q_u = \frac{S_e(T^*) m^*}{F_y^*} \quad (3.14)$$

- Για  $T^* \geq T_c$  (μεσαίες και μεγάλες ιδιοπερίοδοι κατασκευών), όπου θεωρείται ότι ισχύει η αρχή των ίσων μετακινήσεων και επομένως:

$$d_t^* = d_{et}^* \quad (3.15)$$

Εάν η στοχευόμενη μετακίνηση  $d_t^*$  διαφέρει σημαντικά από την μέγιστη μετακίνηση  $d_m^*$ , εφαρμόζεται επαναληπτική διαδικασία στην οποία υπολογίζεται ξανά το ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα, όπου στη θέση της  $d_m^*$  χρησιμοποιείται η  $d_t^*$ .

Τελικά η **ανελαστική στοχευόμενη μετακίνηση του πολυβαθμίου συστήματος** δίνεται από τη σχέση:

$$d_t = \Gamma \cdot \phi \cdot d_t^* \quad (3.16)$$

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (Performance-Based Design) βασίζεται στην αρχή του καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών (στάθμης επιτελεστικότητας) ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού, δηλαδή στον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας. Με άλλα λόγια, η μέθοδος εξετάζει τον πραγματικό τρόπο που θα συμπεριφερθεί η κατασκευή σε διάφορα επίπεδα ισχύος της σεισμικής έντασης σχεδιασμού και το αντίστοιχο αναμενόμενο επίπεδο ζημιών. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ένας βέλτιστος συνδυασμός ασφάλειας και οικονομίας.

Αντίθετα, η κλασική μεθοδολογία των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών (μέθοδος των δυνάμεων) εξετάζει την συμπεριφορά της κατασκευής μέχρι την εμφάνιση ζημιών (ελαστική απόκριση κατασκευής), χωρίς να ασχολείται με το τι συμβαίνει μετά. Το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο ασφαλείας εξασφαλίζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ . Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  εξαρτώνται από το υλικό της κατασκευής και τον τύπο στατικής διαμόρφωσης του κτηρίου, ενώ έχουν καθοριστεί από τη πειραματική και αναλυτική έρευνα που έχει γίνει σε προηγούμενους σεισμούς. Σε πολλές, όμως, περιπτώσεις όπως σε έντονα μη κανονικά κτήρια ο σχεδιασμός αυτός είναι επισφαλής.

Ωστόσο, για να επιτευχθεί ο αντισεισμικός σχεδιασμός και ανασχεδιασμός με στάθμες επιτελεστικότητας είναι απαραίτητη η γνώση της απόκρισης της κατασκευής κα μετά από την εμφάνιση ζημιών (ελαστική περιοχή). Για αυτό, χρησιμοποιούνται μη γραμμικές (ανελαστικές) αναλύσεις. Σύμφωνα και με τον ΚΑΝΕΠΕ σε υφιστάμενα δομήματα εφαρμόζεται ανελαστική στατική ανάλυση (ανάλυση Pushover) είτε ανελαστική δυναμική (ανάλυση χρονοϊστορίας). Η μέθοδος αυτή όμως εφαρμόζεται και σε νέες κατασκευές για τον έλεγχο τους.

Ανασχεδιασμός κτηρίου μπορεί να εφαρμοσθεί σε κατασκευή με ή χωρίς βλάβες, της οποίας θέλουμε να βελτιώσουμε τη σεισμική συμπεριφορά. Για τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών ακολουθούνται σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ (2.4.1) τα εξής βήματα:

- Σύλληψη και προκαταρκτικός σχεδιασμός
- Ανάλυση
- Έλεγχος οριακών καταστάσεων

### **4.2 Στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού**

Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού αποτελούν συνδυασμούς αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης, με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτηρίου»

(σεισμός σχεδιασμού). Ουσιαστικά κάθε στόχος καθορίζει μία ανεκτή οριακή κατάσταση βλαβών για συγκεκριμένη ισχύ της σεισμικής δράσης.

Αφού καθοριστεί ο επιθυμητός στόχος σεισμικής ικανότητας, μπορεί στη συνέχεια να γίνει αποτίμηση μιας υφιστάμενης κατασκευής ή ο ανασχεδιασμός της ή ο σχεδιασμός μια νέας κατασκευής. Οι στόχοι σεισμικής ικανότητας αναφέρονται τόσο στο φέροντα, όσο και στο μη φέροντα οργανισμό, δηλαδή στο σύστημα που δε συμμετέχει στην ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων. Στον ΚΑΝΕΠΕ προβλέπονται στόχοι αναφερόμενοι αποκλειστικά και μόνον στο φέροντα οργανισμό, ενώ στον EC8-3 προβλέπονται στόχοι τόσο για το φέροντα όσο και το μη φέροντα οργανισμό. Ο καθορισμός του στόχου για τον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός εξαρτάται από το επιθυμητό συνδυασμό ασφαλείας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής.

#### 4.2.1 Στόχοι αποτίμησης η ανασχεδιασμού σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ

Γίνεται γενικώς μια ονομαστική τεχνική διάρκεια ζωής ίση με το συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών, ανεξάρτητα από τη θεωρούμενη «πραγματική» διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Η υιοθέτηση στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 50% οδηγεί εν γένει σε πιο συχνές, πιο εκτεταμένες και πιο έντονες βλάβες έναντι ενός αντίστοιχου στόχου με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10%. Η πιθανότητα υπέρβασης 50% (μέγιστη ανεκτή) σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 70 ετών, ενώ η πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 ετών.

Για νέα δομήματα προβλέπεται στόχος σχεδιασμού B1 κατά τον πίνακα 2.1 του ΚΑΝΕΠΕ.

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

**Πίνακας 4.1** Στόχοι σχεδιασμού κατά ΚΑΝΕΠΕ

Η επιλογή ενός συγκεκριμένου στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού του φέροντος οργανισμού συνεπάγεται τη χρήση κατάλληλα τροποποιημένων δεικτών  $q$  ή  $m$ , ή ανεκτών παραμορφώσεων  $\delta_d$ , οι τιμές των οποίων καθορίζονται στα κεφάλαια 4 και 9 του ΚΑΝΕΠΕ.

#### 4.2.2 Στόχοι σεισμικής ικανότητας κατά EC8-3

		Στάθμη επιτελεστικότητας		
		Περιορισμός βλαβών	Σημαντικές βλάβες	Οιονεί κατάρρευση
Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης σε 50 χρόνια	20% (Περίοδος επανάληψης 225 χρόνια)	A1	B1	Γ1
	10% (Περίοδος επανάληψης 475 χρόνια)	A2	B2	Γ2
	2% (Περίοδος επανάληψης 2475 χρόνια)	A3	B3	Γ3

**Πίνακας 4.2** Στόχοι σεισμικής ικανότητας κατά EC8-3

Ο συνήθης σχεδιασμός με τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς αντιστοιχεί σε στόχο ικανότητας B2.

Ο καθορισμός του στόχου για τον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφαλείας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Σχηματικά, η φιλοσοφία σχεδιασμού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου κάθε τετράγωνο αντιπροσωπεύει έναν στόχο σχεδιασμού, ενώ οι διαγώνιες γραμμές αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα κριτήρια σχεδιασμού. Έτσι η γραμμή 1-3 καθορίζει το βασικό σχεδιασμό συνήθων κατασκευών, η γραμμή 2-3 αντιστοιχεί σε έναν σχεδιασμό με μικρότερο σεισμικό κίνδυνο και θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας και η γραμμή 3-3 σε έναν πολύ ασφαλή (αλλά και πολύ αντιοικονομικό) σχεδιασμό που θα μπορούσε να εφαρμοσθεί σε μια κατασκευή μεγάλης σπουδαιότητας. Οι στόχοι που αντιστοιχούν στα τετράγωνα δεξιά της γραμμής 1-3 δεν είναι αποδεκτοί.



		Στάθμη επιτελεστικότητας		
		Άμεση χρήση	Προστασία ζωής	Οιονεί κατάρρευση
Συχνότητα εμφάνισης σεισμικής δράσης	Μεγάλη (συχνοί σεισμοί)	1		Μη-αποδεκτοί στόχοι
	Μικρή (σπάνιοι σεισμοί)	2		
	Πολύ μικρή (πολύ σπάνιοι σεισμοί)	3	3	3

Πίνακας 4.3 Αποδεκτοί στόχοι σχεδιασμού

### 4.3 Στάθμες επιτελεστικότητας

Όλοι οι κανονισμοί ορίζουν, με μικροδιαφορές, τρεις στάθμες επιτελεστικότητας για τον φέροντα οργανισμό ανάλογα με το βαθμό βλαβών.

#### A. Οριακή Κατάσταση Περιορισμού Βλαβών (Limit Stage of Damage Limitation) (DL)

Στον EC8-3, ως πρώτη στάθμη επιτελεστικότητας χρησιμοποιείται η Οριακή Κατάσταση Περιορισμού Βλαβών. Ο φορέας έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να έχουν αποφύγει σημαντική διαρροή και να διατηρούν την αντοχή τους και τις ιδιότητες της δυσκαμψίας τους. Τα μη φέροντα στοιχεία, όπως για παράδειγμα τα διαχωριστικά και οι τοιχοπληρώσεις, μπορούν να παρουσιάζουν κατανεμημένη ρηγμάτωση, όμως η βλάβη θα μπορούσε να επισκευαστεί με οικονομικό τρόπο. Οι μόνιμες σχετικές παραμορφώσεις ορόφων είναι αμελητέες. Ο φορέας δεν απαιτεί μέτρα επισκευής.

#### B. Οριακή Κατάσταση Σημαντικών βλαβών (Limit Stage of Significant Damage) (SD)

Ο φορέας έχει υποστεί σημαντικές βλάβες, διαθέτει ορισμένη εναπομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία, και τα κατακόρυφα στοιχεία είναι σε θέση να αντέξουν τα κατακόρυφα φορτία. Τα μη φέροντα στοιχεία έχουν υποστεί βλάβες, αν και τα διαχωριστικά και οι τοιχοπληρώσεις δεν παρουσιάζουν εκτός επιπέδου αστοχίες. Υπάρχουν μέτριες μόνιμες σχετικές παραμορφώσεις ορόφων. Ο φορέας

μπορεί να αντέξει μετασεισμούς μετρίου έντασης. Η επισκευή του φορέα είναι πιθανόν αντιοικονομική.

### Γ. Οριακή Κατάσταση Οιονεί Κατάρρευσης (Limit Stage of Near Collapse) (NC)

Ο φορέας έχει υποστεί σοβαρή ζημιά, με χαμηλή εναπομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία, αν και τα κατακόρυφα στοιχεία είναι σε θέση να αντέχουν κατακόρυφα φορτία. Τα περισσότερα μη-φέροντα στοιχεία έχουν καταρρεύσει. Υπάρχουν μεγάλες μόνιμες σχετικές παραμορφώσεις ορόφων. Ο φορέας λίγο απέχει από την κατάρρευση και πιθανόν δε θα επιβίωνε σε έναν άλλο σεισμό, ακόμα και μέτριας έντασης.

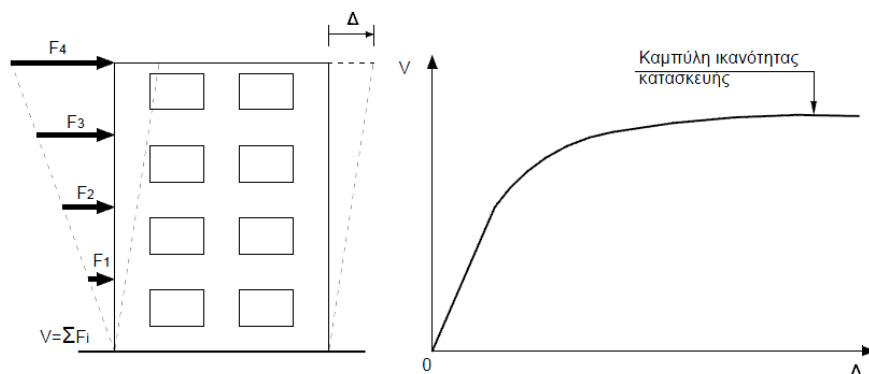
Οι περίοδοι επαναφοράς οι οποίες αντιστοιχούν στις διάφορες Οριακές Καταστάσεις που ελέγχονται σε μια χώρα, μπορούν να ελέγχονται στο εθνικό της προσάρτημα. Η προστασία η οποία κανονικά θεωρείται κατάλληλη για συνήθη νέα κτήρια θεωρείται ότι επιτυγχάνεται επιλέγοντας τις ακόλουθες τιμές για τις περιόδους επαναφοράς:

- OK Οιονεί Κατάρρευσης (NC): 2475 χρόνια, που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 2% σε 50 χρόνια.
- OK Σημαντικών Βλαβών (SD) : 475 χρόνια που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια.
- OK Περιορισμού Βλαβών (DL) : 225 χρόνια που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 20% σε 50 χρόνια.

## 4.4 Καθορισμός Σταθμών Επιτελεστικότητας

### 4.4.1 Καμπύλη αντίστασης

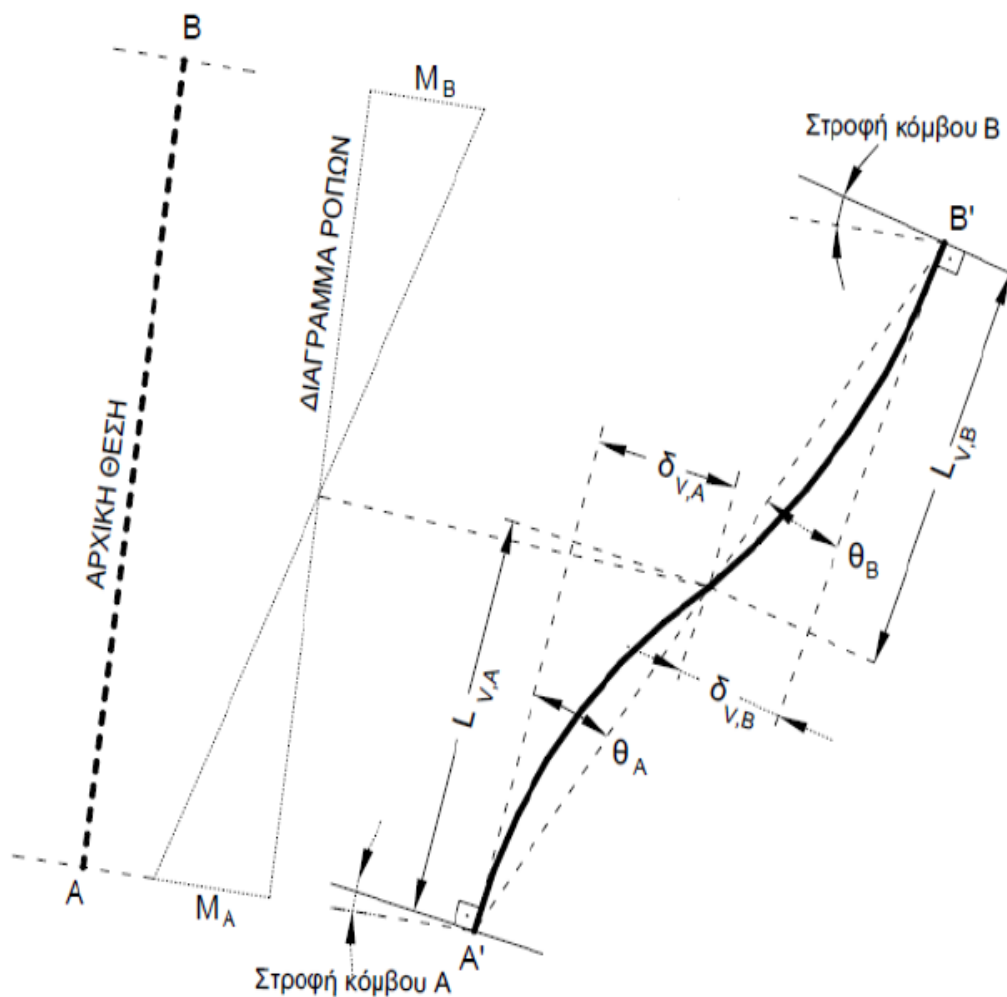
Ο καθορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται πάνω στην καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη-γραμμική σχέση μεταξύ τέμνουσας βάσης και μετακίνησης οροφής της κατασκευής. Η καμπύλη αντίστασης κατασκευάζεται με υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης οροφής για διάφορες τιμές της τέμνουσας βάσης, με δεδομένη την κατανομή των φορτίων στους ορόφους. Ως κατανομή καθ' ύψος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τριγωνική, η ομοιόμορφη ή μια κατανομή με βάση κάποια ιδιομορφή (συνήθως την πρώτη). Περισσότερα για την καμπύλη αντίστασης της κατασκευής αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 4.1 Καμπύλη αντίστασης κατασκευής

#### 4.4.2 Καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου ή διατομής

Η μηχανική ανελαστική συμπεριφορά ενός δομικού στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής δομικού στοιχείου, ή μιας συνδέσεως στοιχείου (κόμβου), περιγράφεται μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους «F» συναρτήσει της παραμόρφωσης ή σχετικής μετακίνησης «δ». Τα εντατικά μεγέθη «F» μπορεί να είναι δυνάμεις ή ροπές και οι σχετικές μετακινήσεις δ παραμορφώσεις, καμπυλότητες ή στροφές. Όταν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η κάμψη, τότε κατάλληλα μεγέθη F και δ είναι η ροπή κάμψης M και η καμπυλότητα 1/r. Αν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η διάτμηση, τότε κατάλληλα μεγέθη για να περιγράψουν τη συμπεριφορά του δομικού στοιχείου είναι η τέμνουσα δύναμη V και η γωνιακή παραμόρφωση γ.

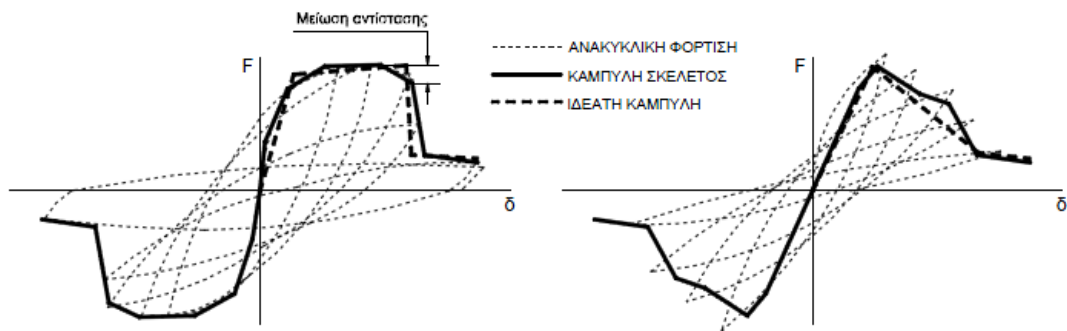


Σχήμα 4.2 Γωνία στροφής – χορδής  $\theta$

Επειδή στα στοιχεία από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα οι καμπτικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν με τις διατμητικές και με τις στροφές των ακραίων διατομών λόγω εξόλκευσης, των οπλισμών στην αγκύρωση πέραν του άκρου του στοιχείου, η πιο σωστή επιλογή “F” και “δ” είναι η ροπή M και η γωνία στροφής χορδής  $\theta$ . Ως γωνία στροφής χορδής  $\theta$  ορίζεται η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον παραμορφωμένο άξονα στο άκρο του και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του

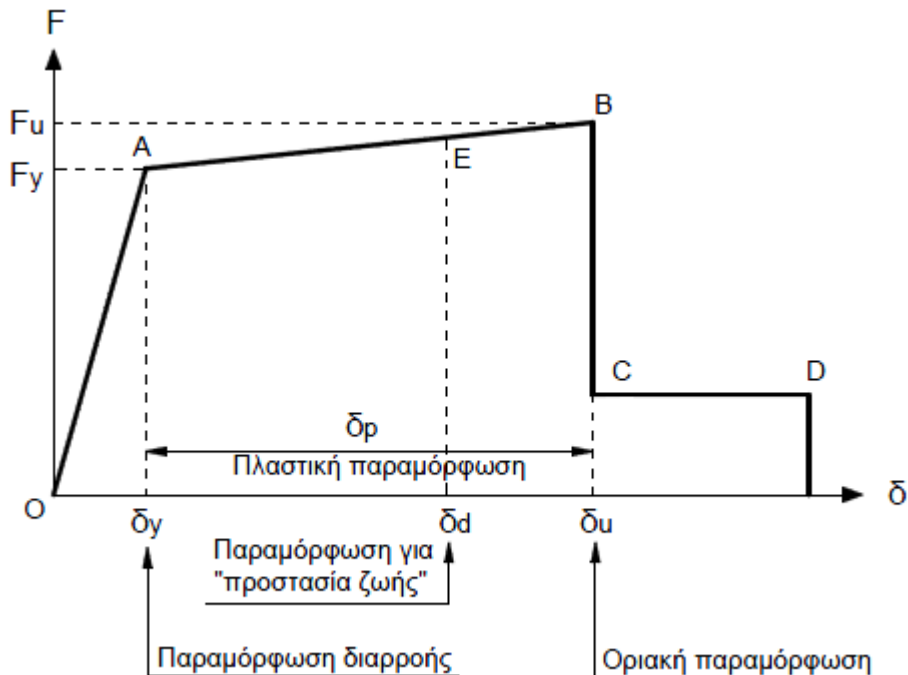
ανοίγματος διάτμησης, δηλαδή το σημείο μηδενισμού των ροπών. Με άλλα λόγια είναι η γωνία στροφής της χορδής  $\theta$  που ενώνει τη βάση με την κορυφή ενός θεωρητικού προβόλου μήκους ίσου με το διατμητικό μήκος  $L_v$ , δηλαδή  $\theta = \delta_v / L_v$ , όπου  $L_v = M / V$  ( $M =$  ροπή στη βάση,  $V =$  τέμνουσα) και  $\delta_v$  είναι η μετατόπιση στην κορυφή του θεωρητικού προβόλου.

Η κατασκευή της καμπύλης F- $\delta$  των δομικών στοιχείων έχει συνήθως ιδεατή μορφή, που βασίζεται στην καμπύλη-σκελετό του δομικού στοιχείου σε ανακυκλιζόμενη σεισμική φόρτιση. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η ανελαστική συμπεριφορά ενός στοιχείου σε καμπτική και διατμητική καταπόνηση.



Σχήμα 4.3 Καμπύλη F- $\delta$  δομικού στοιχείου σε καμπτική και διατμητική καταπόνηση

#### 4.4.3 Ιδεατή καμπύλη F- $\delta$ δομικού στοιχείου ή διατομής



Σχήμα 4.4 Ιδεατή καμπύλη F- $\delta$  δομικού στοιχείου ή διατομής

Η γενική μορφή του διαγράμματος F-δ είναι η παραπάνω του σχήματος 4.4.

Οι κλάδοι αυτού του διαγράμματος ορίζονται ως εξής:

➤ Τμήμα OA: Ο πρώτος ευθύγραμμος κλάδος εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη συμβατικό σημείο διαρροής. Η κλίση της ευθείας OA ισούται με την ελαστική ενεργή δυσκαμψία του στοιχείου.  $K_{el} = \frac{F_y}{\delta_y}$ .

➤ Τμήμα AB: Ο κλάδος αυτός αντιπροσωπεύει τη μετελαστική συμπεριφορά του δομικού στοιχείου από το συμβατικό σημείο διαρροής A μέχρι το θεωρητικό σημείο αστοχίας B. Το σημείο B χαρακτηρίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας  $\delta_u$ , που ορίζεται ως η παραμόρφωση για την οποία έχει επέλθει μείωση της αντίστασης. Μπορεί να θεωρηθεί ως αστοχία μια μείωση της μέγιστης τιμής της αντίστασης κατά 20%.

Η τιμή της παραμόρφωσης  $\delta_u$  ορίζει και την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του δομικού στοιχείου μέσω του μετελαστικού κλάδου της καμπύλης αντίστασης μέχρι την αστοχία. Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης ενός δομικού στοιχείου είναι  $\delta_p = \delta_u - \delta_y$ .

➤ Τμήμα CD: Ο κλάδος αυτός αντιπροσωπεύει την απομένουσα αντοχή του στοιχείου. Μετά την παραμόρφωση αστοχίας, η ικανότητα ενός στοιχείου να παραλαμβάνει τα σεισμικά φορτία μειώνεται σημαντικά. Συνήθως λαμβάνεται απομένουσα αντοχή  $F_{res}$  το 25% της μέγιστης τιμής της αντοχής, η οποία μπορεί να παραλάβει τα κατακόρυφα φορτία. Στο σημείο D, όμως, το στοιχείο χάνει την ικανότητα να παραλαμβάνει και τα κατακόρυφα φορτία.

➤ Σημείο E: Στην καμπύλη αντίστασης F-δ του δομικού στοιχείου ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας με βάση τις αντίστοιχες παραμορφώσεις. Το σημείο E αντιστοιχεί στη στάθμη επιτελεστικότητας «Προστασία Ζωής». Τα σημεία της στάθμης επιτελεστικότητας «Προστασία Ζωής» ορίζονται ανάλογα με το είδος του στοιχείου (υποστυλώματα, δοκοί κ.λ.π.), τον τρόπο αστοχίας (πλάστιμη ή ψαθυρή συμπεριφορά) και τη κατηγοριοποίηση του στοιχείου σε πρωτεύον ή δευτερεύον.

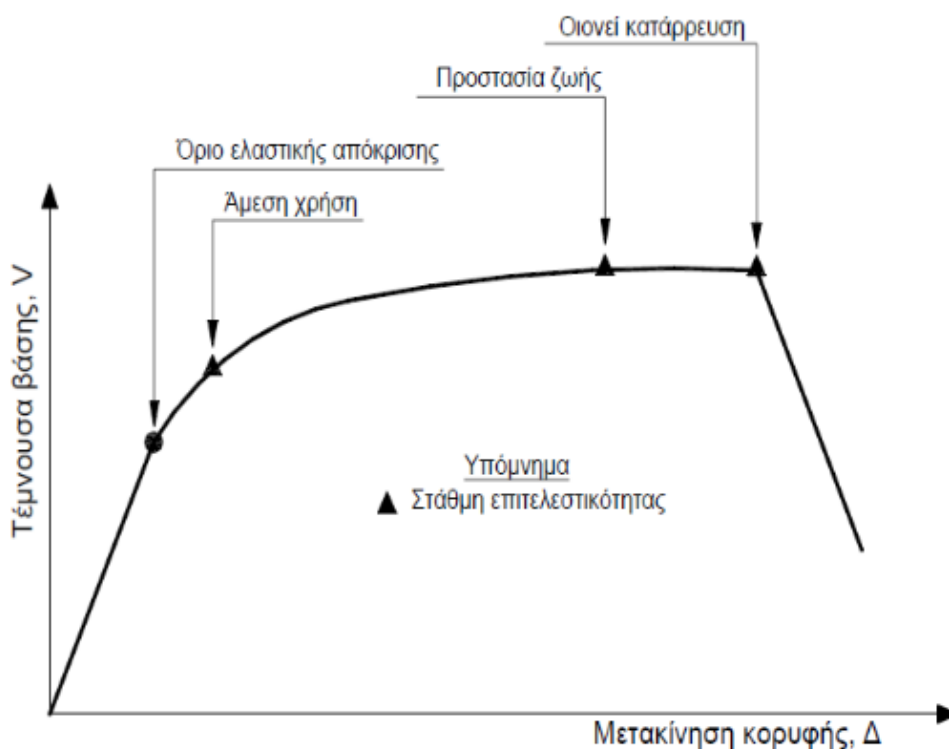
Ο ΚΑΝΕΠΕ ορίζει ως εξής τις παραμορφώσεις  $\delta_d$  που αντιστοιχούν σε πλάστιμα στοιχεία στη στάθμη επιτελεστικότητας «Προστασία ζωής»:

- Πρωτεύοντα στοιχεία :  $\delta_d = 0.5(\delta_y + \delta_u) / \gamma_{Rd}$
- Δευτερεύοντα στοιχεία :  $\delta_d = \delta_u / \gamma_{Rd}$ , όπου  $\gamma_{Rd}$  συντελεστής ασφαλείας.

#### 4.4.4 Στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευής

Αφού καθοριστούν οι καμπύλες F-δ που περιγράφουν τη συμπεριφορά των στοιχείων της κατασκευής και οι στάθμες επιτελεστικότητας κάθε στοιχείου πάνω στην αντίστοιχη καμπύλη, μπορεί να κατασκευαστεί η καμπύλη αντίστασης – ικανότητας όλης της κατασκευής και να τοποθετηθούν πάνω σε αυτήν οι στάθμες επιτελεστικότητας για όλη την κατασκευή. Ο καθορισμός όμως των σημείων

επιτελεστικότητα στην καμπύλη αντίστασης της κατασκευής δεν είναι προφανής. Αυτό συμβαίνει γιατί μια στάθμη επιτελεστικότητας για την κατασκευή ως σύνολο δεν αντιστοιχεί πάντοτε στο σημείο που το πρώτο στοιχείο φτάνει σε αυτή τη στάθμη επιτελεστικότητας. Επειδή η κατασκευή αποτελείται από πάρα πολλά στοιχεία, μπορεί ένα ποσοστό των στοιχείων να έχει περάσει κάποια στάθμη επιτελεστικότητας, αλλά η κατασκευή ως σύνολο να μην έχει περάσει αυτή τη στάθμη. Επομένως, ο μηχανικός θα πρέπει να αξιολογήσει τη σημασία που έχει η εμφάνιση βλαβών σε κάποιο μέλος στη συμπεριφορά της κατασκευής.



**Σχήμα 4.5** Καμπύλη αντίστασης κατασκευής που απεικονίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας.

## 4.5 Πρωτεύοντα και δευτερεύοντα μέλη της κατασκευής

Για αυτό το λόγο χωρίζουμε τα στοιχεία-μέλη της κατασκευής σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Πρωτεύοντα ή κύρια μέλη χαρακτηρίζονται όλα τα κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία που συμβάλλουν στην αντοχή και στην ευστάθεια του δομήματος υπό σεισμικά φορτία. Ως δευτερεύοντα μέλη ορίζονται τα στοιχεία που η αντοχή και η δυσκαμψία τους στις σεισμικές δράσεις αγνοείται, ενώ διατηρούν την ικανότητα να παραλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία. Συγκεκριμένα ως δευτερεύοντα μέλη μπορούν να χαρακτηριστούν στην ανάλυση της κατασκευής από το μηχανικό τα εξής: (ΚΑΝΕΠΕ 5.1.2)

- Υφιστάμενα υποστυλώματα ή δοκοί, των οποίων η συνεισφορά στη σεισμική αντίσταση κρίνεται χαμηλή λόγω βλάβης ή είναι αναξιόπιστη λόγω έλλειψης γνώσεων σχετικά με τον τρόπο δόμησης τους.

- Φυτευτά υποστυλώματα
- Δοκοί σύζευξης και γενικά δοκοί μικρού μήκους που καταλήγουν σε τοιχώματα.
- Όλος ο υφιστάμενος φορέας μπορεί να χαρακτηριστεί ως δευτερεύων. Αυτό όμως προϋποθέτει την ενίσχυση με νέους φορείς όπως τοιχώματα, μεταλλικούς συνδέσμους δυσκαμψίας που θα αναλάβουν εξ ολοκλήρου τη σεισμική δράση.

Τόσο τα κύρια όσο και τα δευτερεύοντα στοιχεία ελέγχονται σε όρους δυνάμεων και παραμορφώσεων λόγω της επίδρασης της σεισμικής δράσης. Για έλεγχο σε όρους παραμορφώσεων η διάκριση σε κύρια και δευτερεύοντα μέλη αφορά μόνο τις στάθμες επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) και Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Για αυτές τις δύο στάθμες τα δευτερεύοντα στοιχεία μπορούν να παρουσιάσουν μεγαλύτερες μετακινήσεις και βλάβες σε σχέση με τα κύρια μέλη της κατασκευής. Αντίθετα για τη στάθμη επιτελεστικότητας Περιορισμού Βλαβών (DL) τα κριτήρια επιτελεστικότητας και για πρωτεύοντα και για δευτερεύοντα μέλη είναι τα ίδια.

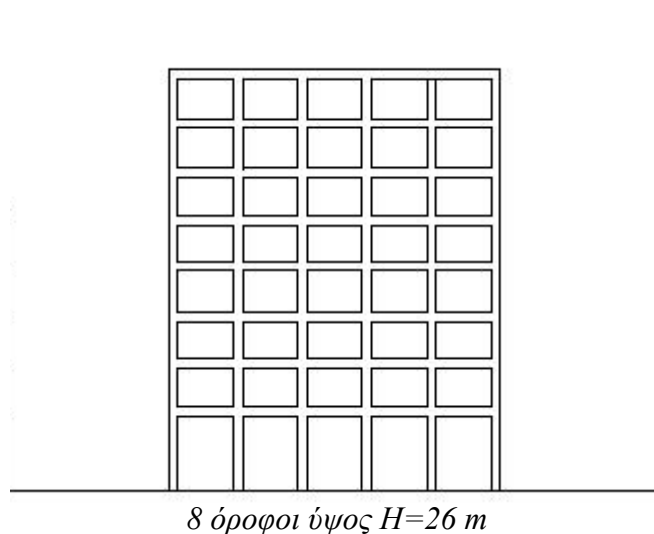
Επιπροσθέτως σύμφωνα με τον EC8-1 (4.2.2) η συνολική συνεισφορά όλων των δευτερευόντων σεισμικών μελών στη οριζόντια δυσκαμψία του φορέα δεν πρέπει να ξεπερνά το 15% της αντίστοιχης συνεισφοράς των κύριων σεισμικών μελών.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

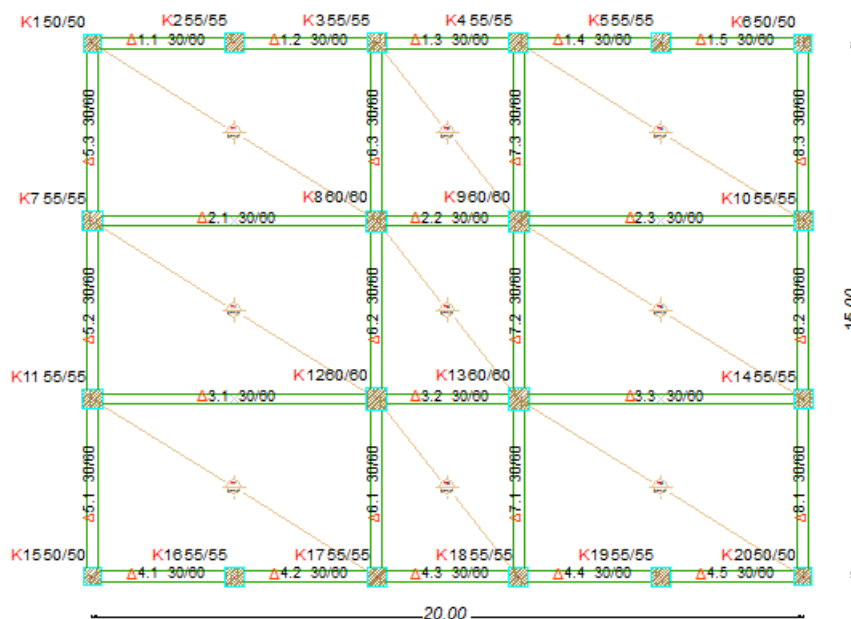
## 5.1 Υπό μελέτη κατασκευή

### 5.1.1 Εισαγωγή

Το κτήριο που επιλέχθηκε είναι μια νέα κατασκευή από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Πρόκειται για μια κατασκευή οκτώ (8) ορόφων χωρίς υπόγειο, ύψους 26 μέτρων. Ο όροφος του ισογείου έχει 5 μέτρα ύψος, ενώ το ύψος καθενός από τους υπόλοιπους ορόφους είναι 3 μέτρα. Όλοι οι ορόφοι έχουν ίδια κάτοψη, ορθογωνική με διαστάσεις 20x15 (m).



Σχήμα 5.1 Όψη του υπό μελέτη κτηρίου



Σχήμα 5.2 Κάτοψη ορόφου της κατασκευής



### 5.1.2 Παραδοχές

Οι παραδοχές υπολογισμού λόγω των συγκριτικών μελετών για το υπό εξέταση κτήριο είναι πιθανόν να αλλάζουν από μελέτη σε μελέτη. Παρακάτω αναφέρονται παραδοχές για υλικά και φορτία, καθώς και αρχικές διαστάσεις του κτηρίου που θα παραμείνουν αμετάβλητες (στις διαστάσεις των δομικών στοιχείων μπορεί να υπάρξουν αλλαγές, αλλά δεν θα μειωθούν σε σχέση με τις αρχικές) στις συγκριτικές μελέτες που θα αναπτυχθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

#### *Υλικά*

- Σκυρόδεμα C25/30
- Χάλυβας οπλισμού B500C
- Κατηγορία έκθεσης [XC3]

#### *Φορτία*

- Ειδικό βάρος σκυροδέματος 25.0 kN/m<sup>3</sup>
- Ειδικό βάρος χάλυβα 78.5 kN/m<sup>3</sup>
- Βάρος πλινθοδομής 3.6 kN/m<sup>2</sup>
- Βάρος επικαλύψεων ορόφων 1.5 kN/m<sup>2</sup>

Όσον αφορά τις *παραμέτρους του εδάφους* ισχύει:

- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους 200 kN/m<sup>2</sup>
- Δείκτης εδάφους  $K_s = 28000$  kN/m<sup>2</sup>

*Διαστάσεις κατασκευής:*

- Διαστάσεις κάτοψης 15x20 m
- Πάχος πλακών 0.17m
- Δοκοί 0.30x0.60(m)
- Υποστυλώματα: Κεντρικά 0.60x0.60(m), γωνιακά 0.50x0.50(m), υπόλοιπα 0.55x0.55(m)

## 5.2 Λογισμικό

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις είναι το FESPA 10R. Το FESPA είναι στατικό πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης κατασκευών. Η

προσομοίωση του φορέα στο πρόγραμμα γίνεται με γραμμικά και επιφανειακά μέλη, διαφορετικών υλικών και διατομών οποιουδήποτε σχήματος, υποβαλλόμενα σε διάφορες φορτισιακές καταστάσεις. Στο FESPA 10R χρησιμοποιείται η ανελαστική στατική ανάλυση (ανάλυση Pushover), για την αποτίμηση και ενίσχυση νέων και υφιστάμενων κατασκευών.

Οι κανονισμοί που περιέχει το πρόγραμμα όσον αφορά τη διαστασιολόγηση κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα είναι οι ακόλουθοι:

*Κανονισμοί σκυροδέματος:*

Παλιός Κανονισμός Σκυροδέματος (1954)

Νέος Κανονισμός Σκυροδέματος – ΝΕΚΩΣ (1995)

ΕΚΩΣ 2000

Νέος Κυπριακός

EN 1992 Ευρωκώδικας 2 (EC2)

Αντισεισμικοί κανονισμοί:

Παλιός Αντισεισμικός Κανονισμός (1959)

Παλιός Αντισεισμικός Κανονισμός (1985)

NEAK 1995

Νέος Κυπριακός

ΕΑΚ 2000

ΕΑΚ 2003

EN 1998 Ευρωκώδικας 8 (EC8)

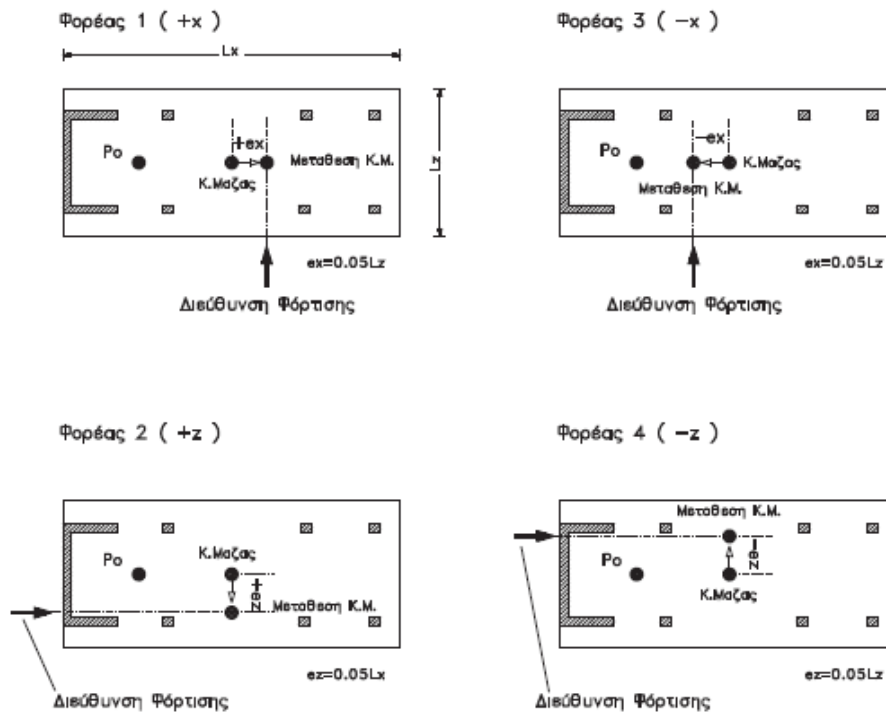
Για τη αποτίμηση και ενίσχυση δομημάτων το FESPA εφαρμόζει τον ΚΑΝΕΠΕ και τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3.

Το FESPA έχει τρεις μεθόδους επίλυσης με σεισμό:

- Δυναμική ανάλυση με μετατόπιση μαζών
- Δυναμική ανάλυση με στρεπτικά ζεύγη
- Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

*Δυναμική με μετατόπιση μαζών*

Το κέντρο μάζας κάθε ορόφου λαμβάνεται μετατοπισμένο από την ονομαστική του θέση κατά την τυχηματική εκκεντρότητα  $e_{ai} = 0.05L_i$ , όπου  $L_i$  το πλάτος του ορόφου κάθετα προς την εξεταζόμενη διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή γίνεται για κάθε διεύθυνση, οπότε με αυτόν τον τρόπο παράγονται τέσσερις ανεξάρτητοι φορείς προς επίλυση.



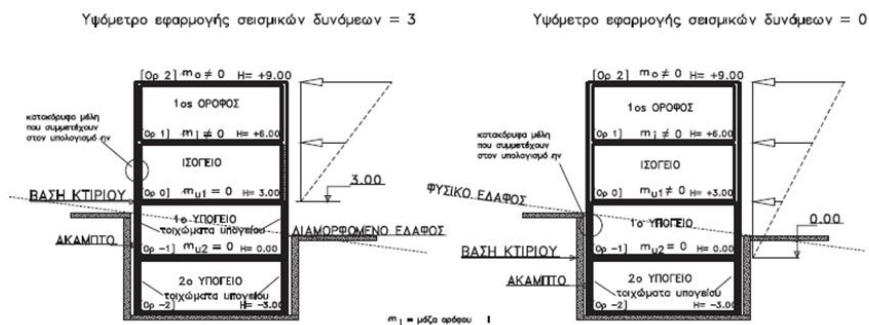
Σχήμα 5.3 Οι τέσσερις φορείς προς επίλυση που παράγονται με τη δυναμική ανάλυση με μετατόπιση μαζών

#### Δυναμική με στρεπτικά ζεύγη

Πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση, ενώ οι τυχηματικές στρεπτικές επιδράσεις καθορίζονται ως περιβάλλουσα των εντατικών μεγεθών στατικών φορτίσεων που αποτελούνται από ομάδα στρεπτικών ροπών  $M_{ai} = F_i \cdot e_{ai}$  περί το κέντρο μάζας κάθε ορόφου  $i$ , όπου  $F_i$  η οριζόντια φόρτιση που δρα στον όροφο  $i$ , όπως αυτή προκύπτει από τη 4.3.3.2.3 του EC8-1 για κάθε σεισμική φόρτιση.

#### Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

Είναι ουσιαστικά η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης, όπως αυτή περιγράφεται στον EC8-1 4.3.3.2. Η επιβαλλόμενη φόρτιση έχει τριγωνική κατανομή καθ' ύψος και επαλληλίζεται με το αποτέλεσμα των στρεπτικών επιδράσεων λόγω εκκεντρότητας σύμφωνα με τον EC8-1 4.3.3.3.3.



Σχήμα 5.4 Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

Στην δυναμική μέθοδο επίλυσης αποδίδεται μάζα σε κάθε όροφο, ενώ στην απλοποιημένη φασματική ανάλυση εφαρμόζεται οριζόντια σεισμική δύναμη σε κάθε όροφο, η οποία προκύπτει από την σχέση  $F = M_{ολ} \cdot S_a \cdot \lambda$ , που κατανέμεται με βάση την τριγωνική κατανομή. Η δυναμική μέθοδος με μετατόπιση μαζών απαιτεί επίσης την ύπαρξη διαφράγματος. Επίσης εάν είναι επιθυμητό από το μελετητή να ληφθεί υπόψη και η τυχηματική εκκεντρότητα, σε αυτή την περίπτωση προτείνεται να χρησιμοποιείται η δυναμική μέθοδος με στρεπτικά ζεύγη ή η απλοποιημένη φασματική.

Το FESPA διαθέτει γραφικό περιβάλλον όπου εισάγεται ο ξυλότυπος της κάθε στάθμης (και της θεμελίωσης), καθώς επίσης και οι φορτίσεις, οι ποιότητες υλικών και γενικά όλα τα στοιχεία της κατασκευής. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής και τροποποίησης των δεδομένων με χρήση πινάκων, όμως ο γραφικός τρόπος εισαγωγής προσφέρει μεγαλύτερη ευκολία και εποπτεία της κατασκευής.

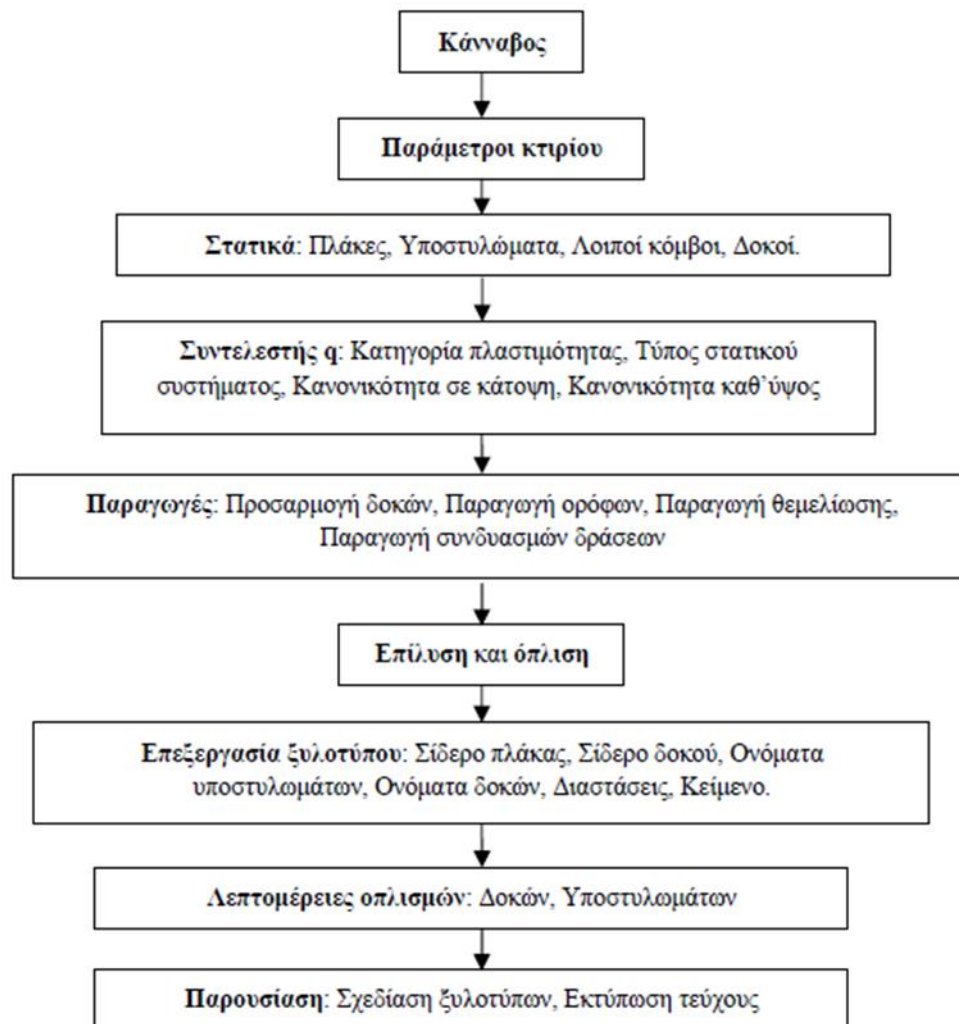
Η εισαγωγή της γεωμετρίας του φορέα μπορεί να γίνει απευθείας με αρχείο DXF, είτε με εκ νέου σχεδίαση του ξυλοτύπου των ορόφων στο γραφικό περιβάλλον του FESPA με τη βοήθεια καννάβων. Όταν εισάγεται ένα αρχείο αυτό έρχεται πάντα στον όροφο 0. Αν θέλει ο μελετητής να εισάγει μια σειρά αρχείων DXF σε διαφορετικούς ορόφους, θα πρέπει να ανοίξει ξεχωριστά και μετά να τα μεταφέρει στους σωστούς ορόφους. Ακόμη, για να γίνει εισαγωγή ενός τοπογραφικού ή αρχιτεκτονικού σχεδίου από το AutoCAD ή άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα στο FESPA δεν απαιτείται να προηγηθεί explode.

Το FESPA είναι βασισμένο στη λογική των «Οντοτήτων» ή «Αντικειμένων» (Objects). Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο του φορέα αποτελείται από οντότητες (όπως οι πλάκες, οι δοκοί, τα υποστυλώματα, οι κόμβοι, οι όροφοι, το κτήριο κ.λ.π.) Κάθε μία από αυτές τις «Οντότητες» έχει το δικό της σύνολο από «Παραμέτρους» (π.χ. διαστάσεις υποστυλώματος, ποιότητα σκυροδέματος, ύψος πλάκας κ.λ.π.), δηλαδή ιδιότητες που χαρακτηρίζουν κάθε οντότητα και «Έντολές» (π.χ. η προσθήκη πλάκας, η κίνηση υποστυλώματος, η διαγραφή της δοκού κ.ά.), που ουσιαστικά είναι οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει το πρόγραμμα για τη συγκεκριμένη οντότητα.

Οι παράμετροι λειτουργούν «κληρονομικά» με την εξής σειρά Κτήριο > Όροφοι > Μέλη. Αυτό σημαίνει ότι κάθε μεταβολή της οντότητας «Κτήριο» μεταβιβάζει τις αλλαγμένες τιμές σε όλα τα μέλη όλων των ορόφων. Αντίστοιχα όταν μεταβληθεί μια παράμετρος της οντότητας «Όροφος» αυτή μεταβιβάζεται μόνο στα μέλη του αντίστοιχου ορόφου.

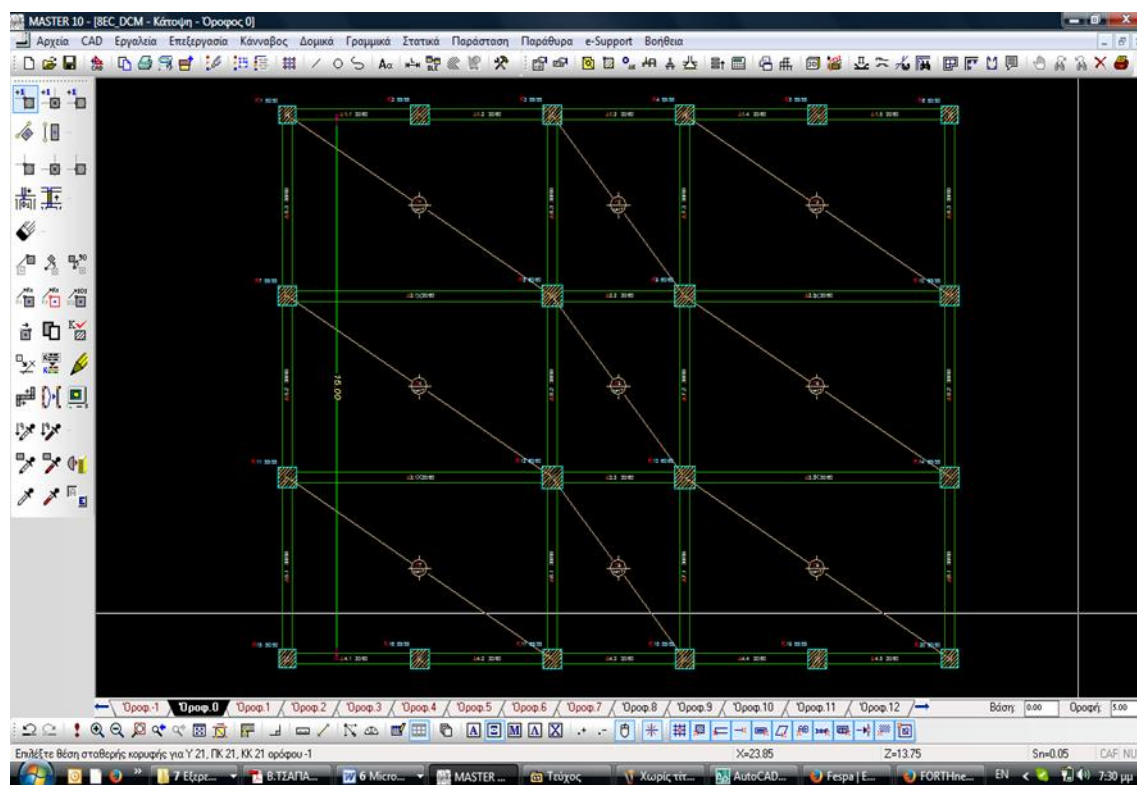
Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής μια στάθμης σε έναν όροφο στο πρόγραμμα, το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα αντιγραφής της ίδιας στάθμης σε ανώτερους ορόφους, διατηρώντας μάλιστα αν επιλεγθεί και ίδιες τις διατομές των υποστυλωμάτων με τους ίδιους οπλισμούς καθ' ύψος.

Η πορεία εργασίας στο FESPA για την διαστασιολόγηση μιας κατασκευής παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα ροής για τη διαστασιολόγηση κατασκευής με το FESPA

Το γραφικό περιβάλλον του FESPA παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



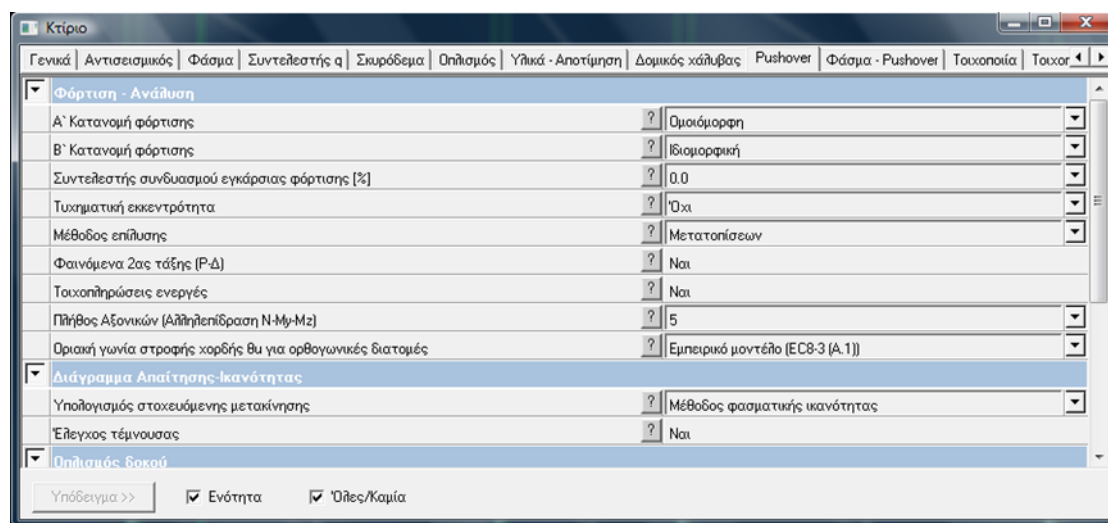
*Σχήμα 5.6* Γραφικό περιβάλλον προγράμματος FESPA

Το FESPA παρέχει τη δυνατότητα ανελαστικής στατικής ανάλυσης (ανάλυση Pushover) μιας κατασκευής. Μπορεί να μελετηθεί είτε ένα νέο κτήριο (που μόλις έχει διαστασιολογηθεί από το πρόγραμμα) είτε μια υφιστάμενη κατασκευή.

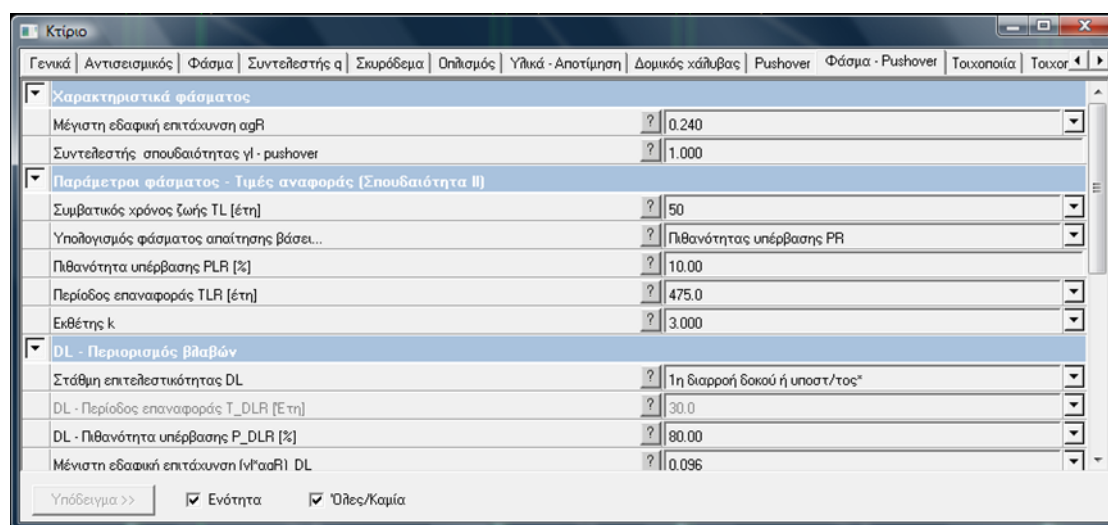
Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει να έχει προηγηθεί διαστασιολόγηση της κατασκευής, ώστε να έχει αποδοθεί οπλισμός στις διατομές των δοκών και των υποστυλωμάτων με την εντολή «Επίλυση και οπλισμός κτηρίου» της παραμέτρου «Επίλυση». Στην συνέχεια πρέπει να αλλάξει η παράμετρος στην καρτέλα «Κτήριο» > «Γενικά» > «Στόχος μελέτης» > «Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας με Pushover». Έπειτα, στην παράμετρο επίλυση επιλέγεται η εντολή «Διαγράμματα P-K, Επίλυση Pushover». Με αυτή την εντολή υπολογίζονται τα διαγράμματα ροπών-καμπυλοτήτων και γωνιών χορδής για δοκούς και υποστυλώματα βάσει του οπλισμού που έχει προκύψει από τη διαστασιολόγηση και εκτελείται ανάλυση Pushover.

Στην δεύτερη περίπτωση εισάγεται το κτήριο στο πρόγραμμα και γίνεται επίλυση και όπλιση με τον ισχύοντα κανονισμό κατά τον χρόνο της κατασκευής, ώστε να προκύψουν οπλισμοί οι οποίοι να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση εργασίας για να διευκολυνθεί η εισαγωγή των υφιστάμενων οπλισμών στο μοντέλο. Από την καρτέλα «Κτήριο» επιλέγεται «Κτήριο» > «Γενικά» > «Γενική περιγραφή εργασίας» > «Προσθήκες-Αποτίμηση-Ενισχύσεις» και όπως και στην πρώτη περίπτωση «Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας με Pushover» και επιλέγεται και ο κανονισμός βάσει του οποίου θα γίνει η επίλυση της υφιστάμενης κατασκευής. Στην συνέχεια γίνεται διόρθωση των οπλισμών που έχουν προκύψει από το προηγούμενο βήμα, ώστε να αντιπροσωπεύουν τους οπλισμούς που έχουν τοποθετηθεί στην κατασκευή.

Καθορίζονται τα μέλη ως υφιστάμενα ή νέα και ως κύρια ή δευτερεύοντα. Από την καρτέλα «Κτήριο» > «Pushover» και «Κτήριο» > «Φάσμα – Pushover» μπορεί ο μελετητής να αλλάξει μια σειρά από παραμέτρους που αφορούν την ανάλυση Pushover. Επιλέγεται τέλος η εντολή «Διαγράμματα P-K, Επίλυση Pushover».



Σχήμα 5.7 Παράμετροι της καρτέλας «Κτήριο» > «Pushover» στο πρόγραμμα FESPA



Σχήμα 5.8 Παράμετροι της καρτέλας «Κτήριο» > «Φάσμα Pushover» στο πρόγραμμα FESPA

### 5.3 Φασματικά δεδομένα μελέτης

Επιλέγεται Σεισμική Ζώνη Επικινδυνότητας Z2 σύμφωνα με τον EC8. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση  $a_{gR}$  για την Ζώνη Z2 για την Ελλάδα λαμβάνεται 0.24g. Το κτήριο κατατάσσεται στα συνήθη κτήρια, επόμενος ο συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma_I$  ισούται με τη μονάδα (1.00). Η κατηγορία εδάφους είναι B που σύμφωνα με τον κανονισμό αντιστοιχεί σε  $S = 1.20$ , ενώ οι χαρακτηριστικές ιδιοπερίοδοι λόγω της κατηγορίας B είναι  $T_B = 0.15s$ ,  $T_C = 0.5s$  και  $T_D = 2.5s$ . Ο λόγος ξώδους απόσβεσης

του φορέα είναι ίσος  $\xi(\%)=5$ , αφού η κατασκευή είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Κατακόρυφη συνιστώσα σεισμού δεν λαμβάνεται υπόψη στις αναλύσεις.

Κτίριο	
Γενικά	Αντισεισμικός Φάσμα
Αντισεισμικός κανονισμός	EC8
Εθνικό προσάρτημα	GR - Ελλάδα
<b>Σεισμική δράση</b>	
Σεισμική ζώνη	Z2
Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $agR$	0.240
Σπουδαιότητα κτιρίου	II (συνήθη κτίρια)
Συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_I$	1.000
Συντελεστής τοπογραφίας $S_t$	1.000
<b>Παράμετροι φάσματος</b>	
Φάσμα	Φάσμα σχεδιασμού
Εδαφικός τύπος	B
Συντελεστής εδάφους $S$	1.200
Χαρακτηριστικές περιόδους φάσματος	....
Συντελεστής απόσβεσης [%]	5.00
Συντ. β κάτω ορίου φάσματος σχεδιασμού	0.200
<b>Κατακόρυφη συνιστώσα</b>	
Κατακόρυφη συνιστώσα σεισμού	Όχι
Κατακόρυφη συνιστώσα σε πλάκες-προβόλους	Ναι
Εδαφική επιτάχυνση κατακόρ. $angR (=a''agR)$	0.216

Σχήμα 5.9 Παράμετροι της καρτέλας «Κτίριο» > «Φάσμα» στο πρόγραμμα FESPA

Σε περίπτωση που σε κάποια από τις ακόλουθες αναλύσεις – μελέτες γίνουν αλλαγές στα φασματικά δεδομένα, αυτές θα επισημαίνονται στην εκάστοτε μελέτη.

## 5.4 Θεμελίωση – έλεγχος φέρουσας ικανότητας.

Οι τρόποι θεμελίωσης που έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει το πρόγραμμα είναι θεμελίωση με πέδιλα και συνδεδημένες δοκούς, με εσχάρα πεδילוδοκών, με γενική κοιτόστρωση και με πασσάλους. Όμως, όσον αφορά τη γενική κοιτόστρωση η προσομοίωση του προγράμματος κρίνεται προσεγγιστική και παρέχει περιορισμένη πληροφόρηση στον μελετητή για τη συμπεριφορά της θεμελίωσης. Ως εκ τούτου στην παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιηθεί η θεμελίωση με πέδιλα και με εσχάρα πεδילוδοκών. Ο έλεγχος φέρουσας ικανότητας του εδάφους γίνεται με την απλοποιημένη μέθοδο ελέγχου της φέρουσας ικανότητας (σεπ).

Στις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν χρησιμοποιείται θεμελίωση με πέδιλα και συνδεδημένες δοκούς. Η θεμελίωση επιθυμείται να έχει τις ίδιες διαστάσεις όσον το δυνατόν γίνεται στις διάφορες συγκρίσεις που θα γίνουν. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω της θεώρησης του προγράμματος έδρασης επί ελαστικού εδάφους και την αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής, η θεμελίωση επηρεάζει τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο φορέα και κατ' επέκταση επηρεάζει τη διαστασιολόγηση και όπλιση του. Σε περίπτωση που αλλάζει ο τρόπος ή οι διαστάσεις της θεμελίωσης θα επισημαίνονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο οι αλλαγές. Ακολουθεί κάτοψη της θεμελίωσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί στις αρχικές αναλύσεις.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

### 6.1 Εισαγωγή

Πλαστιμότητα δομικών στοιχείων και κατασκευών ονομάζεται η ικανότητα τους να παραμορφώνονται πέραν του ορίου διαρροής τους χωρίς σημαντική απομείωση της αντοχής τους.

Στον Ελλαδικό χώρο όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 1 επιτρέπονται να σχεδιάζονται φορείς μόνο για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ) και Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (ΚΠΥ). Στην Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση επιτρέπονται αρκετά υψηλά επίπεδα πλαστιμότητας με τις αντίστοιχες απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευαστικής διαμόρφωσης. Στην Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή επιτρέπονται πολύ μεγάλες ανελαστικές αποκρίσεις συνοδευόμενες από ακόμη πιο σύνθετες απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευαστικής διαμόρφωσης.

Ο συνηθέστερος τρόπος ορισμού της πλαστιμότητας είναι σε όρους μετατοπίσεων ως η μέγιστη μετατόπιση διαιρεμένη με τη μετατόπιση στην πρώτη διαρροή.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (6.1)$$

### 6.2 Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση

#### 6.2.1 Συντελεστής συμπεριφοράς και λόγος υπεραντοχής

Ο λόγος  $\alpha_u/a_1$  ορίζεται ως ο λόγος της τιμής με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστεί η οριζόντια φόρτιση ώστε να δημιουργηθεί πλαστικός μηχανισμός στο φορέα προς την τιμή που πρέπει να πολλαπλασιαστεί η οριζόντια φόρτιση ώστε να δημιουργηθεί η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα.

Στη συγκεκριμένη κατασκευή ο λόγος υπεραντοχής καθορίζεται από μη γραμμική ανάλυση (ανάλυση Pushover).

Επομένως για το σχεδιασμό της κατασκευής λαμβάνεται  $\alpha_u/a_1=1.50$ , που είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να ληφθεί κατά την επίλυση και όπλιση ενός κτηρίου.

Το στατικό σύστημα του κτηρίου και στις δύο διευθύνσεις X και Z είναι πλαισιωτό ή ισοδύναμο διπλό πολυώροφο.

Σε αυτήν την περίπτωση και για ΚΠΜ ισχύει:

$$q_o = 3 \cdot \alpha_u/a_1 \quad (6.2),$$

επομένως  $q_o = 4.50$

Άρα  $q = k_w \cdot q_o$  (6.3) και  $k_w = 1 \rightarrow q = 4.50$  και για τις δύο διευθύνσεις X και Z.

Ο συγκεκριμένος υπολογισμός γίνεται από το πρόγραμμα αλλάζοντας τις παραμέτρους στην καρτέλα «Κτήριο» > «Συντελεστής συμπεριφοράς».

Κτήριο	
Γενικά	Αντισεισμικός
Φάσμα	Συντελεστής q
Σκυρόδεμα	Οπλισμός
Υλικό - Αποτίμηση	Δομικός χάλυβας
Pushover	Φάσμα - Pushover
To	
<b>Συντελεστής q q=qo*k<sub>w</sub></b>	
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζόντια q <sub>x</sub>	4.500
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζόντια q <sub>z</sub>	4.500
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς κατακόρυφα q <sub>v</sub>	1.500
<b>Στατικό Σύστημα</b>	
Κύριο υλικό κτηρίου (για προσδιορισμό q)	Σκυρόδεμα
Κατηγορία πλαστιμότητας	ΚΠΜ
Τύπος στατικού συστήματος [διεύθυνση X]	Πλασισωτό ή ισοδύναμο διηπό, πολυώροφο (ηοηλά ανοίγμο)
Τύπος στατικού συστήματος [διεύθυνση Z]	Πλασισωτό ή ισοδύναμο διηπό, πολυώροφο (ηοηλά ανοίγμο)
<b>α<sub>u</sub>/α<sub>1</sub></b>	
Ο λόγος υπεραντοχής α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub> καθορίζεται από pushover	Ναι
Λόγος υπεραντοχής [α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub> ] <sub>x</sub>	1.300
Λόγος υπεραντοχής [α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub> ] <sub>z</sub>	1.300
Κανονικότητα σε κάτοψη	Όχι
Τελική τιμή λόγου [α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub> ] <sub>x</sub>	1.500
Τελική τιμή λόγου [α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub> ] <sub>z</sub>	1.500
<b>Κανονικότητα καθ' ύψος</b>	
Κανονικότητα καθ' ύψος [διεύθυνση X]	Ναι
Συντελεστής κανονικότητας καθ' ύψος C1 <sub>x</sub>	1.000
Κανονικότητα καθ' ύψος [διεύθυνση Z]	Ναι
Συντελεστής κανονικότητας καθ' ύψος C1 <sub>z</sub>	1.000

Σχήμα 6.1 Παράμετροι καρτέλας «Κτήριο» > «Συντελεστής συμπεριφοράς» για ΚΠΜ

Με τη γραμμική ανελαστική ανάλυση θα επιβεβαιωθεί ο συντελεστής συμπεριφοράς q. Σε κάθε ανάλυση Pushover που θα πραγματοποιηθεί θα πρέπει ο λόγος υπεραντοχής να είναι  $\alpha_u/\alpha_1 \geq 1.50$ . Σε διαφορετική περίπτωση η τιμή του λόγου υπεραντοχής που έχουμε επιλέξει είναι μεγαλύτερη από το υπολογιστική υπεραντοχή του κτηρίου, οπότε και πρέπει να μειωθεί.

## 6.2.2 Επίλυση και όπλιση του κτηρίου

Έχοντας προηγηθεί όλες τις παραπάνω ενέργειες, από την «Παράμετρο» «Επίλυση» επιλέγεται η εντολή «Επίλυση και Οπλισμός του κτηρίου». Για τα αρχικά δεδομένα και διαστάσεις της κατασκευής παρατηρείται ότι δεν ικανοποιείται ο συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης του ορόφου:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h}$$

Συγκεκριμένα  $\theta_{max} = 0.221 > 0.2$  που είναι η μέγιστη επιτρεπτή τιμή σύμφωνα με τον EC8-1 4.4.2.2- (2). Αυτό οφείλεται και στην τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  που μειώνει την συνολική τέμνουσα δύναμη, αλλά και αυξάνει το λόγο  $dr/h$ .

$$V_{tot} = \frac{V_{el}}{q} \quad (6.4) \text{ και}$$

$$\frac{dr}{h} = ds_1 - ds_2 = q (del_2 - del_1) \quad (6.5)$$

Για αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτείται σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ ενίσχυση με διαγώνιους συνδέσμους δυσκαμψίας ή με κατακόρυφα στοιχεία. Στην περίπτωση μας που η κατασκευή είναι νέα αυξάνουμε τις διαστάσεις μερικών από τα υποστυλώματα.

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΑΡΧΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>
<b>K1</b>	50/50	55/55
<b>K2</b>	55/55	55/55
<b>K3</b>	55/55	60/60
<b>K4</b>	55/55	60/60
<b>K5</b>	55/55	55/55
<b>K6</b>	50/50	55/55
<b>K7</b>	55/55	60/60
<b>K8</b>	60/60	60/60
<b>K9</b>	60/60	60/60
<b>K10</b>	55/55	60/60
<b>K11</b>	55/55	60/60
<b>K12</b>	60/60	60/60
<b>K13</b>	60/60	60/60
<b>K14</b>	55/55	60/60
<b>K15</b>	50/50	55/55
<b>K16</b>	55/55	55/55
<b>K17</b>	55/55	60/60
<b>K18</b>	55/55	60/60
<b>K19</b>	55/55	55/55
<b>K20</b>	50/50	55/55

**Πίνακας 6.1** Αρχικές και τελικές διατομές υποστυλωμάτων. Η αλλαγή των διαστάσεων οφείλεται στο δείκτη σχετικής μεταθετότητας  $\theta$ . Με πορτοκαλί χρώμα φαίνονται τα υποστυλώματα στα οποία έγινε αύξηση των διαστάσεων της διατομής τους.

Οι τελικές διαστάσεις ικανοποιούν την απαίτηση του Κανονισμού για  $\theta < 0.20$ . επομένως η επίλυση του κτηρίου ήταν επιτυχημένη και τα μέλη της κατασκευής οπλίστηκαν σύμφωνα με τον EC2 και τον EC8.

### 6.2.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

Επίπεδο	Υψόμετρο (m)	$\theta$	dsX (cm)	dsZ(cm)	max(drX)*v/h	max(drZ)*v/h
1	5	0,196	5,87	6,41	0,00587	0,00641
2	8	0,131	8,06	9,05	0,00367	0,00443
3	11	0,105	9,90	11,24	0,00312	0,00373
4	14	0,088	11,51	13,17	0,00278	0,00334
5	17	0,071	12,89	14,81	0,00242	0,00293
6	20	0,055	14,01	16,15	0,002	0,00245
7	23	0,039	14,83	17,14	0,0015	0,00185
8	26	0,024	15,34	17,78	0,00093	0,00118

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

### 6.2.4 Επίλυση και όπλιση κτηρίου

ΔΟΚΟΣ	ΘΕΣΗ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( L )	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( R )	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
Δ1.1	Άνω	5Φ18+1Φ12	5Φ18+2Φ12	Φ8/14
	Κάτω	5Φ18	10Φ18	
Δ1.2	Άνω	5Φ18+2Φ12	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ18	5Φ18+4Φ20	
Δ1.3	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	5Φ18+4Φ20	4Φ20+5Φ18	
Δ1.4	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ18	Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+5Φ18	10Φ18	
Δ1.5	Άνω	2Φ12+5Φ18	5Φ18+1Φ12	Φ8/14
	Κάτω	10Φ18	5Φ18	
Δ2.1	Άνω	2Φ12+9Φ18	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	6Φ20	4Φ20+4Φ18	
Δ2.2	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/14
	Κάτω	4Φ20+4Φ18	4Φ18+4Φ20	
Δ2.3	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+9Φ18	Φ8/10
	Κάτω	4Φ18+4Φ20	6Φ20	
Δ3.1	Άνω	2Φ12+9Φ18	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	6Φ20	4Φ20+4Φ18	
Δ3.2	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/14
	Κάτω	4Φ20+4Φ18	4Φ18+4Φ20	
Δ3.3	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+9Φ18	Φ8/10
	Κάτω	4Φ18+4Φ20	6Φ20	
Δ4.1	Άνω	5Φ18+1Φ12	5Φ18+2Φ12	Φ8/14
	Κάτω	5Φ18	10Φ18	

<b>Δ4.2</b>	Άνω	5Φ18+2Φ12	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ18	5Φ18+4Φ20	
<b>Δ4.3</b>	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	5Φ18+4Φ20	4Φ20+5Φ18	
<b>Δ4.4</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ18	Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+5Φ18	10Φ18	
<b>Δ4.5</b>	Άνω	2Φ12+5Φ18	5Φ18+1Φ12	Φ8/14
	Κάτω	10Φ18	5Φ18	
<b>Δ5.1</b>	Άνω	5Φ20+1Φ12	5Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
<b>Δ5.2</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ5.3</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20+1Φ12	Φ8/15
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	
<b>Δ6.1</b>	Άνω	5Φ20	5Φ20+2Φ12	Φ8/14
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
<b>Δ6.2</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ6.3</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20	Φ8/14
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	
<b>Δ7.1</b>	Άνω	5Φ20	5Φ20+2Φ12	Φ8/14
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
<b>Δ7.2</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ7.3</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20	Φ8/14
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	
<b>Δ8.1</b>	Άνω	5Φ20+1Φ12	5Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
<b>Δ8.2</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ8.3</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20+1Φ12	Φ8/15
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	

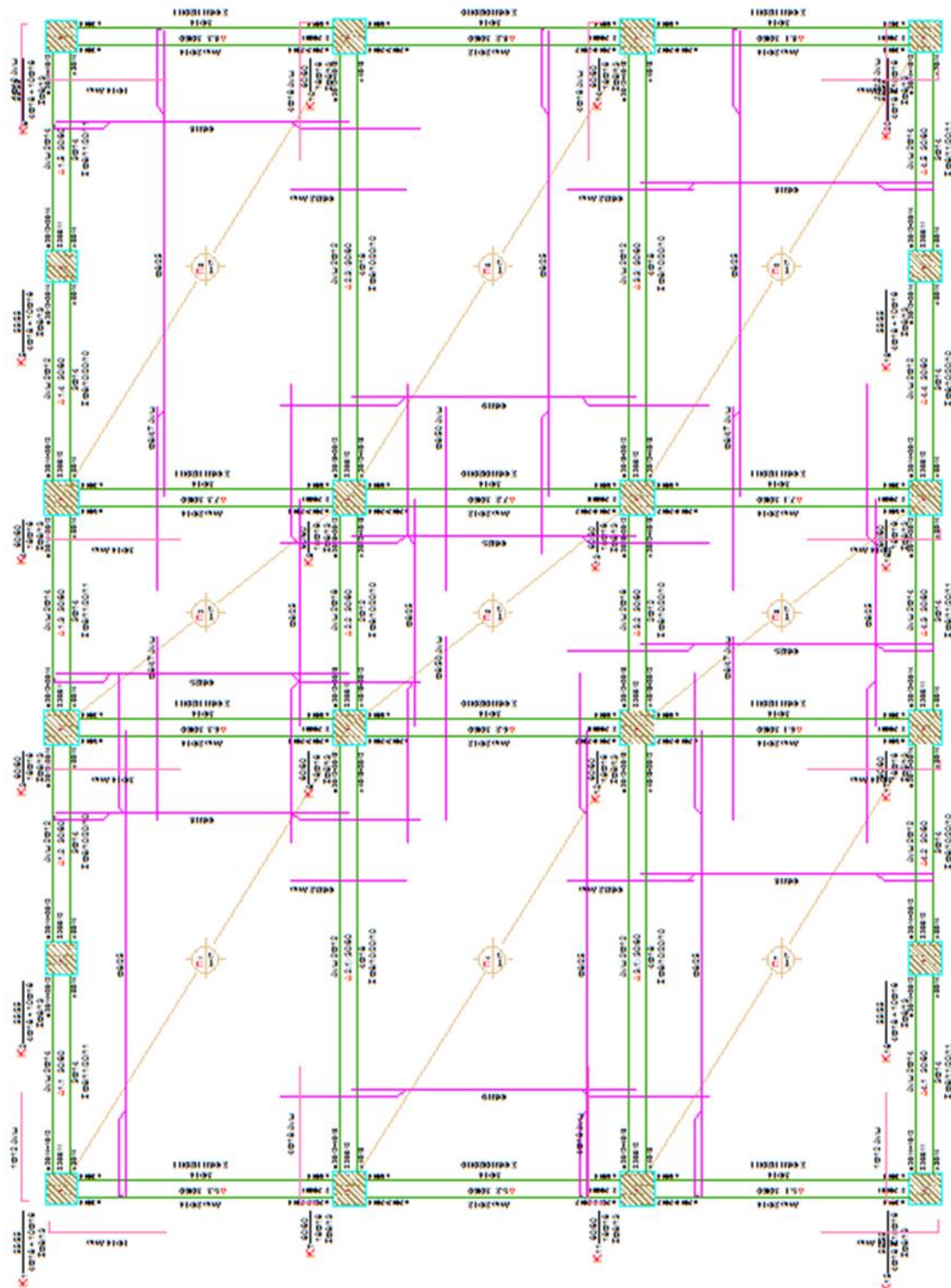
**Πίνακας 6.3** Οπλισμοί δοκών ορόφου ισογείου μετά τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA. Ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό L αναφέρεται στο αριστερό άκρο της δοκού, ενώ ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό R αναφέρεται στο δεξί. Οι συνδετήρες αναφέρονται στα άκρα των δοκών.

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>K1</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K2</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K3</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K4</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K5</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K6</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K7</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K8</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K9</b>	60/60	18φ16	Φ8/13
<b>K10</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K11</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K12</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K13</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K14</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K15</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K16</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K17</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K18</b>	60/60	18Φ16	Φ8/13
<b>K19</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13
<b>K20</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	Φ8/13

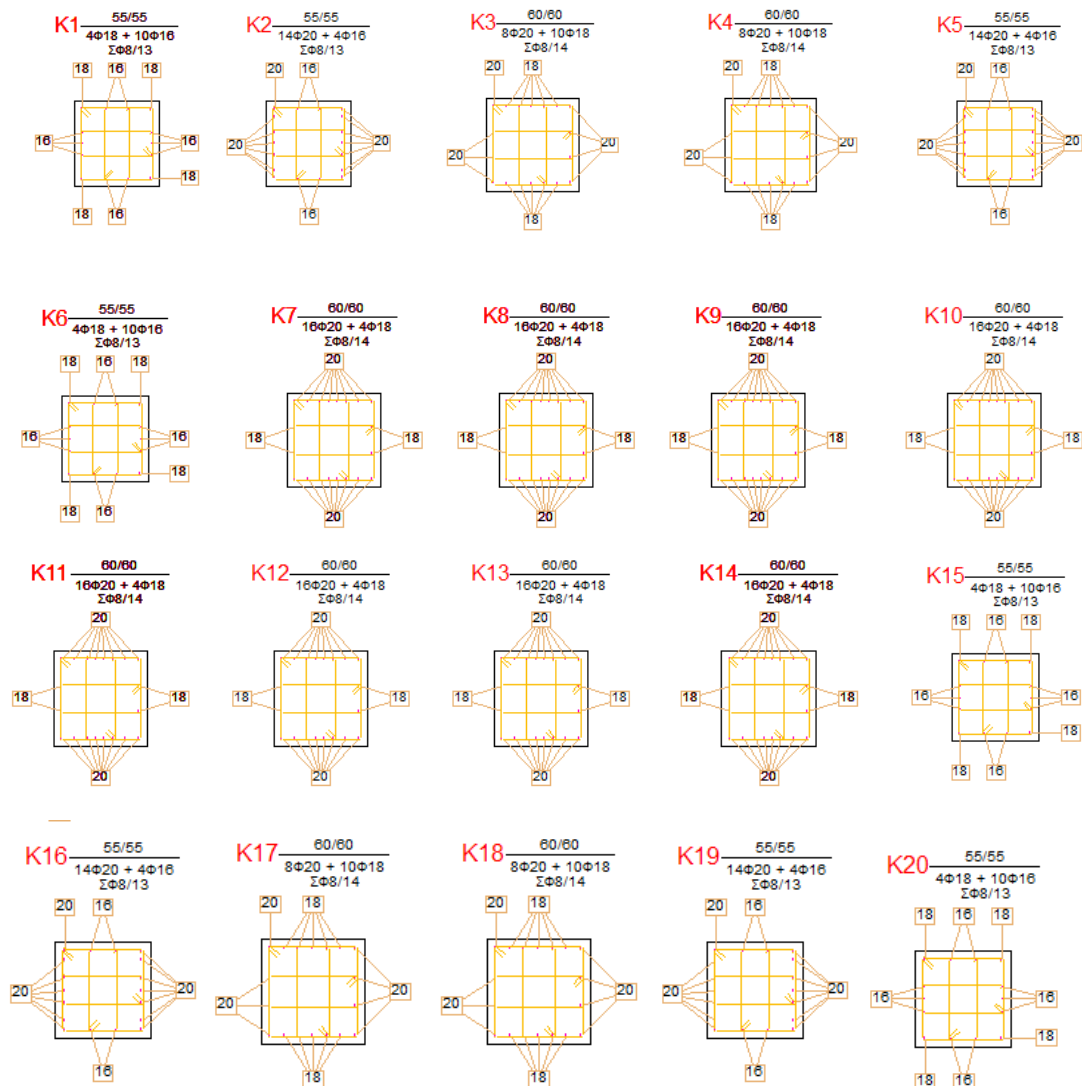
*Πίνακας 6.4 Οπλισμοί υποστυλωμάτων ισογείου όπως προέκυψαν από τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA*

Οι συνδετήρες των υποστυλωμάτων είναι τετράμητοι, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται περίσφιγξη του σκυροδέματος και άρα και αύξηση της αντοχής και παραμορφωσιμότητάς του. Η επιρροή της περίσφιγξης δε λαμβάνεται υπόψη στη διαστασιολόγηση και όπλιση των υποστυλωμάτων, ωστόσο επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής, γεγονός που μπορεί να παρατηρηθεί από την καμπύλη ικανότητας. Σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστεί η επίδραση της περίσφιγξης στη σεισμική συμπεριφορά του κτηρίου.

Ακολουθούν η κάτοψη του ισογείου που είναι ίδια με τις κατόψεις όλων των ορόφων, καθώς και οι λεπτομέρειες όπλισης των υποστυλωμάτων του ισογείου.



Σχήμα 6.2 Τελική κάτοψη. Οι διαστάσεις παραμένουν ίδιες σε όλες τις στάθμες, ενώ οι οπλισμοί αλλάζουν.



Σχήμα 6.3 Λεπτομέρειες όπλισης υποστυλωμάτων για ΚΠΜ με το πρόγραμμα FESPA

### 6.2.5 Ανελαστική στατική ανάλυση

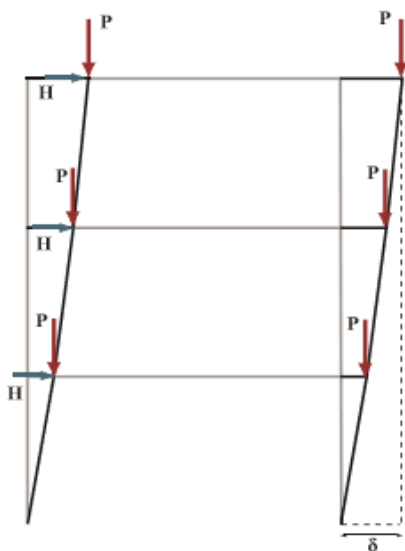
Μετά την επίλυση και όπλιση του φορέα πραγματοποιείται ανάλυση Pushover. Στόχος της ανάλυσης είναι η κατασκευή της καμπύλης ικανότητας για τη μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής, η επαλήθευση του λόγου υπεραντοχής  $a_u/a_1$ , καθώς και η εποπτεία της απόκρισής της. Για να γίνει η τεκμηρίωση της ύπαρξης επαρκούς υπεραντοχής θα πρέπει ο λόγος υπεραντοχής που προκύπτει από την ανάλυση να είναι μεγαλύτερος του 1.50 (το  $a_u/a_1=1.50$  είναι ο μέγιστος λόγος υπεραντοχής που μπορεί να ληφθεί για τον υπολογισμό του συντελεστή συμπεριφοράς μια νέας κατασκευής που πρόκειται να διαστασιολογηθεί).



Στην καρτέλα «Κτήριο» > «Pushover» επιλέγονται οι παράμετροι της ανάλυσης. Εφαρμόζονται τουλάχιστον δύο καθ' ύψος κατανομές, η ομοιόμορφη και η ιδιομορφική στην περίπτωση μας όπως προβλέπει και ο ΚΑΝΕΠΕ. Τα φορτία εφαρμόζονται μόνο στις δύο κύριες διευθύνσεις της κατασκευής X και Z, ενώ για την παρούσα διπλωματική εργασία δεν λαμβάνεται υπόψη η τυχηματική εκκεντρότητα. Το πρόγραμμα ορίζει αυτόματα ως κόμβο ελέγχου τον κόμβο του υποστύλωματος του ανώτερου ορόφου που βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο μάζας της κατασκευής. Κόμβος ελέγχου για αυτή τη σύγκριση θα είναι το υποστύλωμα K8 του 7<sup>ου</sup> ορόφου (K8(7)).

Οι στατικές επιρροές 2ας τάξεως λαμβάνονται υπόψη μεταβάλλοντας τη γεωμετρία της κατασκευής, λόγω μετατόπισης του φορέα *ei* σε κάθε βήμα της ανάλυσης *i*. Για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης εφαρμόζεται η μεθοδολογία του EC8-1, ενώ και για τον υπολογισμό της γωνίας στροφής  $\theta_u$  χρησιμοποιείται από το FESPA το εμπειρικό μοντέλο του EC8-3 Παράρτημα Α.1.

Ως μέγιστη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου επιλέγεται το 3% του ύψους του κτηρίου, στην οποία θα ολοκληρωθεί η ανάλυση. Ενδέχεται π.χ. σε περίπτωση τοπικής κατάρρευσης η ανάλυση να τερματίσει σε μικρότερη μετατόπιση. Με βάση την τιμή της μετατόπισης αυτής καθορίζεται και το βήμα σε όρους μετατόπισης ή δύναμης. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της μέγιστης μετατόπισης τόσο μεγαλύτερο είναι το βήμα. Ο μελετητής μπορεί να δει αυτές τις παραμέτρους από την καρτέλα «Επίλυση» > «Pushover».



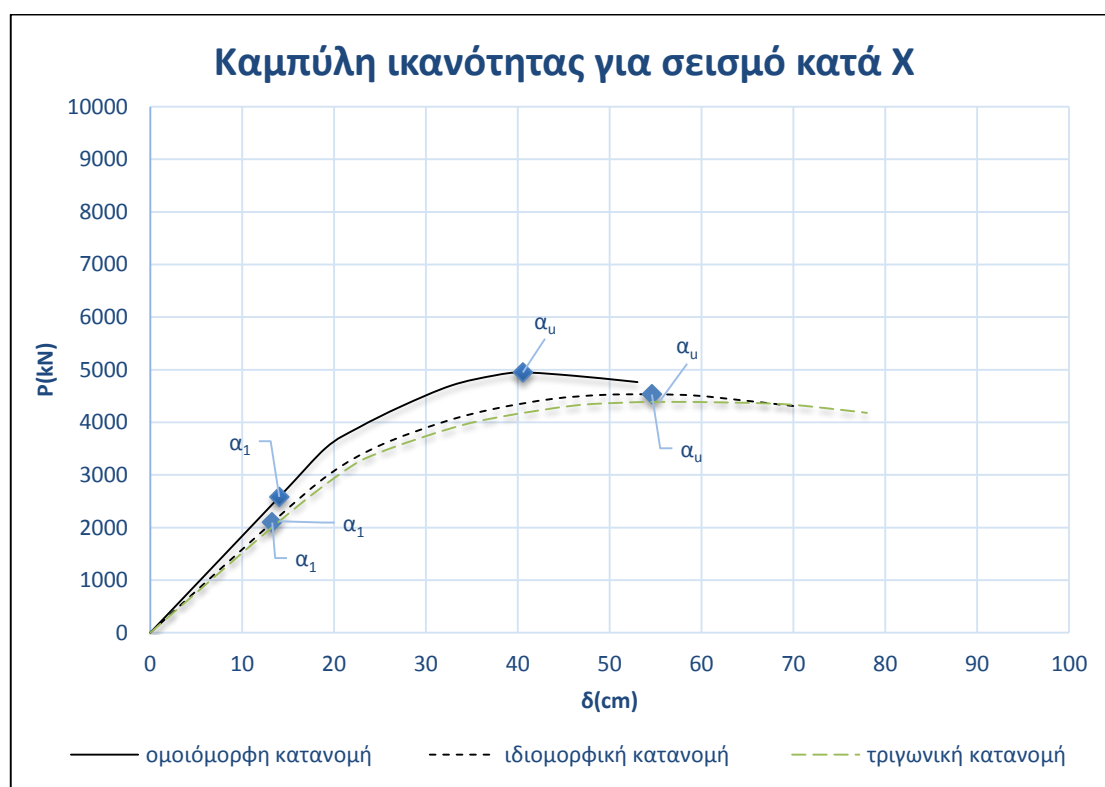
**Σχήμα 6.4** Φαινόμενα 2ας τάξεως στην κατασκευή. Τροποποίηση του γεωμετρικού μητρώου της κατασκευής σε κάθε βήμα της ανάλυσης Pushover βάσει της μετατόπισης ώστε να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις 2ας τάξεως.

## 6.2.6 Αποτελέσματα ανελαστικής στατικής ανάλυσης

Με την εντολή «Επίλυση» > «Διαγράμματα P-K, επίλυση Pushover» το πρόγραμμα FESPA πραγματοποιεί ανάλυση Pushover και κατασκευάζει τα διαγράμματα ροπών – στρωφών χορδής των μελών του δομήματος. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης για σεισμική δράση κατά X και κατά Z για ομοιόμορφη, ιδιομορφική και τριγωνική κατανομή φορτίου. Σε μία ανελαστική στατική ανάλυση όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 6.2.5 απαραίτητη είναι η εφαρμογή δύο κατανομών φορτίων. Στο Κεφάλαιο όμως αυτό θα εφαρμοστούν και οι τρεις κατανομές φορτίσεων ώστε να γίνει μια σύγκριση μεταξύ τους. Στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα γίνεται εφαρμογή μόνο της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής.

### Σεισμική δράση κατά X

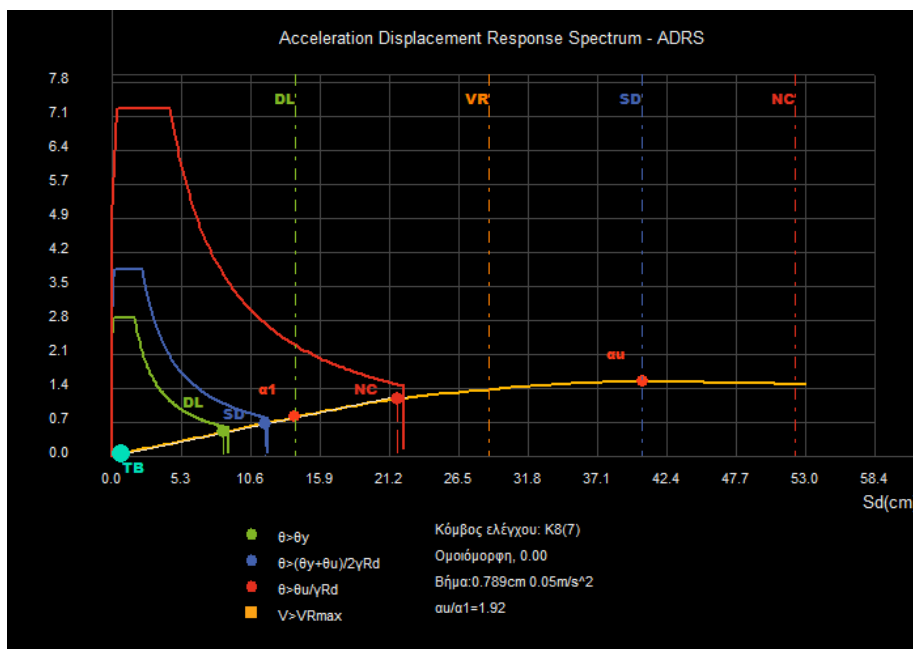
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κτηρίου για φόρτιση σεισμού μόνο κατά τη διεύθυνση X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.



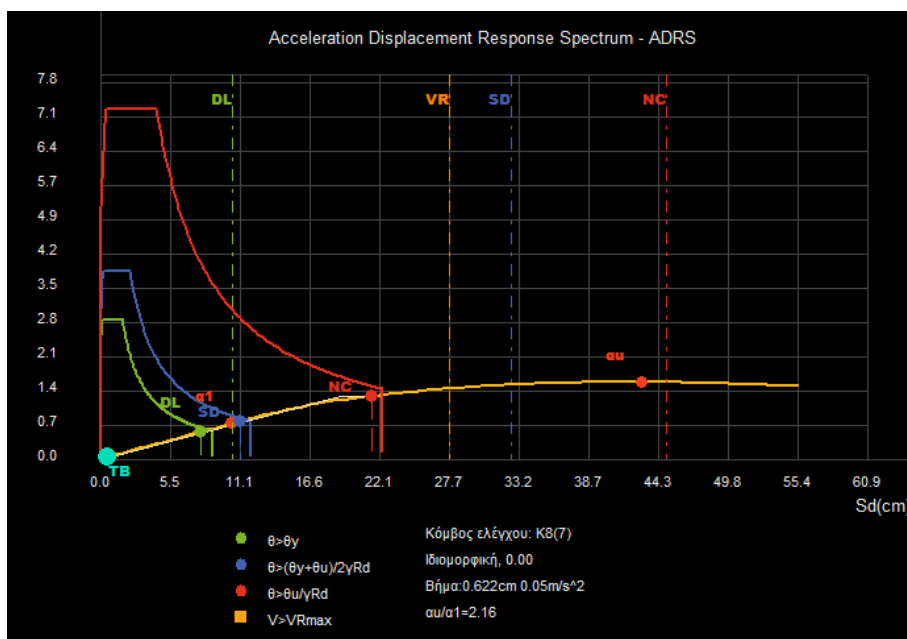
Διάγραμμα 6.1 Καμπύλη αντίστασης φορέα KIPM για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$

	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική	Τριγωνική
$\delta\gamma(cm)$	14,05	13,27	14,05
$P\gamma(kN)$	2580,30	2096,50	2119,96
$\delta u(cm)$	40,57	54,61	55,39
$Pu(kN)$	4947,38	4532,12	4388,55

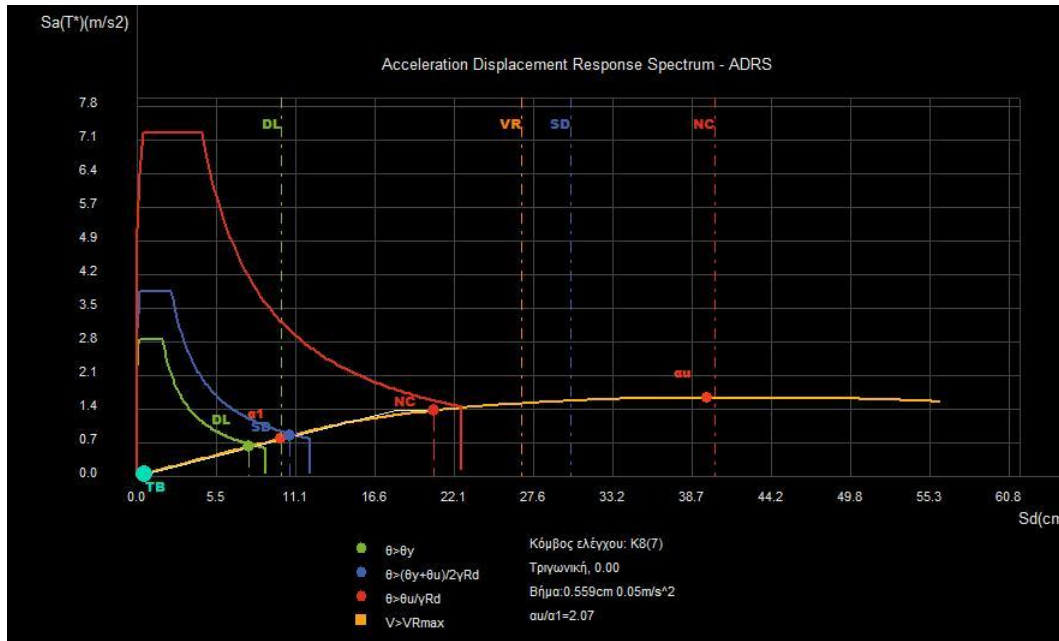
Πίνακας 6.5 Χαρακτηριστικά σημεία καμπυλών ικανότητας διαγράμματος



Διάγραμμα 6.2 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη

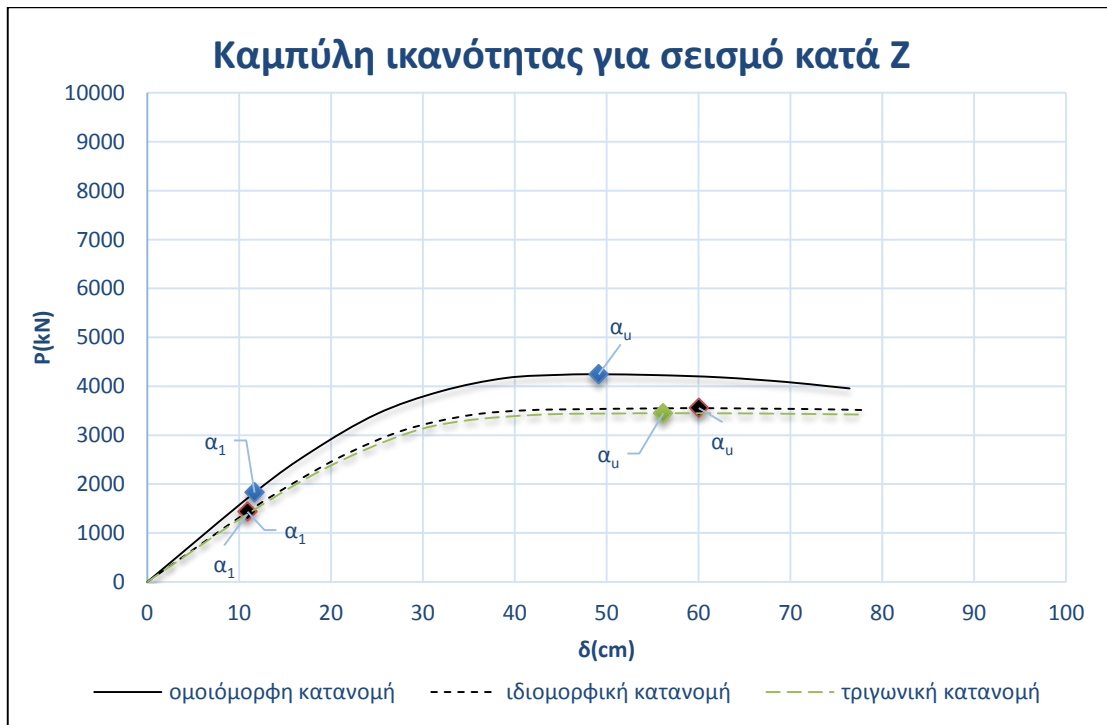


Διάγραμμα 6.3 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική

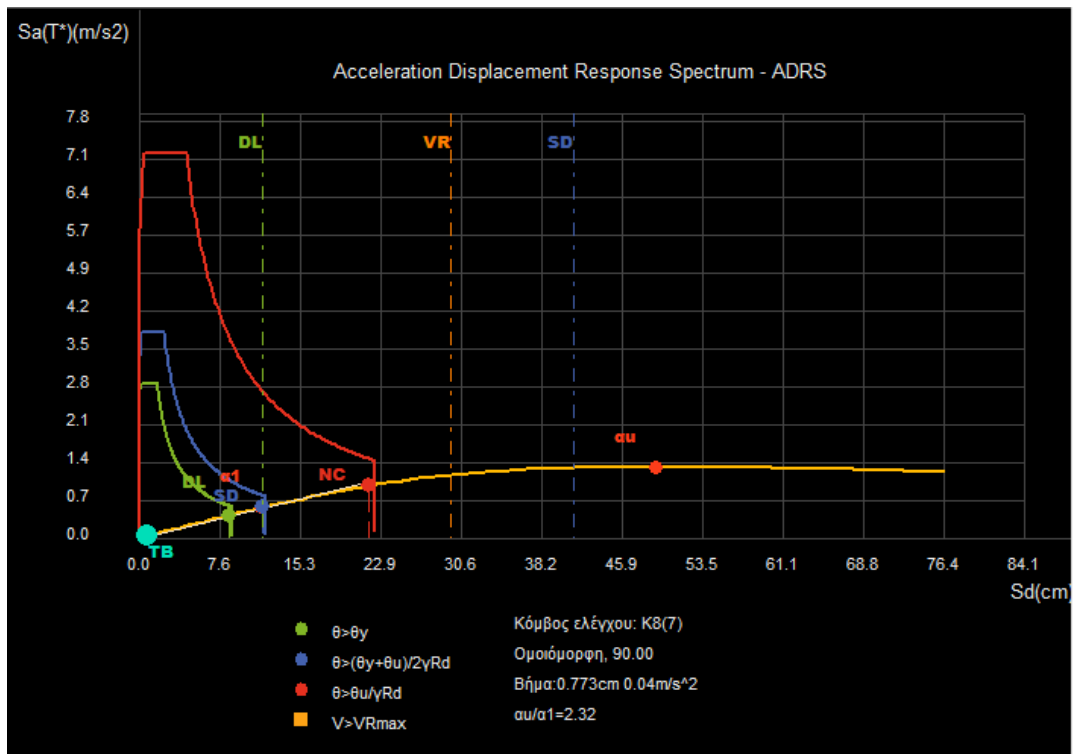


**Διάγραμμα 6.4** Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου τριγωνική

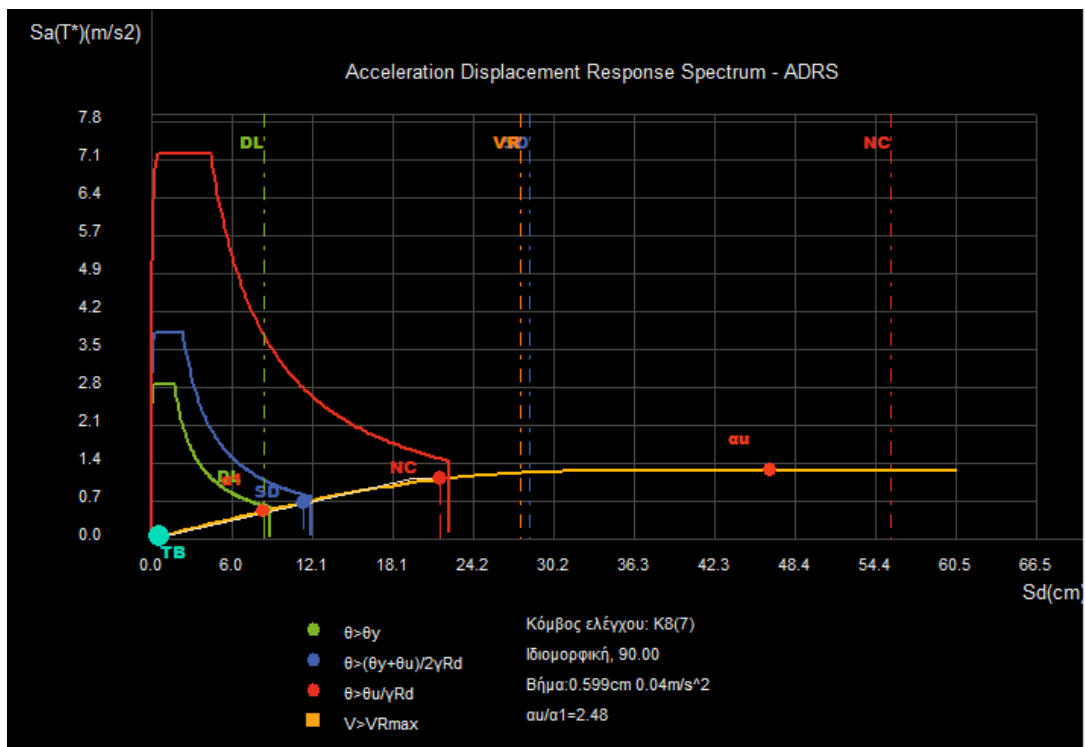
### Σεισμική δράση κατά Z



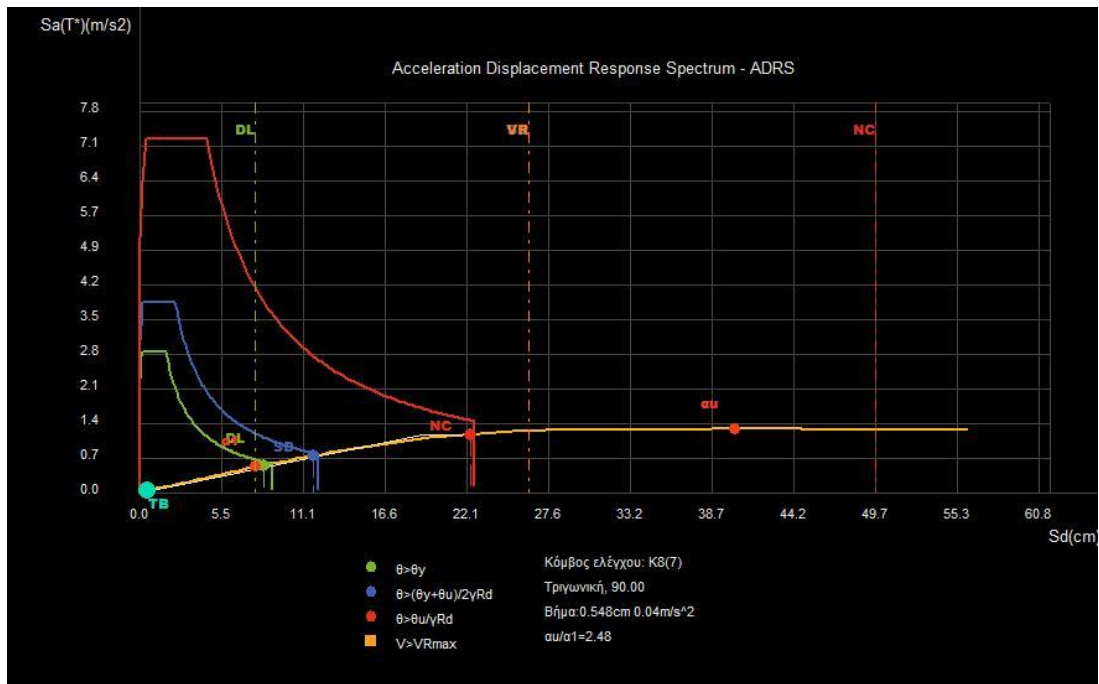
**Διάγραμμα 6.5** Καμπύλη αντίστασης φορέα ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση Z και γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$



Διάγραμμα 6.6 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



Διάγραμμα 6.7 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική



**Διάγραμμα 6.8** Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου τριγωνική

Από την καμπύλη αντίστασης της κατασκευής και τον προσδιορισμό του λόγου υπολογιστικής υπεραντοχής επαληθεύεται ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q=4.50$  που χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό της κατασκευής. Ο λόγος υπολογιστικής υπεραντοχής είναι μεγαλύτερος του 1.50 για κάθε μία από τις έξι (6) ανελαστικές στατικές αναλύσεις, επομένως το κτήριο έχει μεγαλύτερη υπεραντοχή από αυτή που έχει θεωρηθεί για το σχεδιασμό. Ειδικότερα ισχύει:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha u}{\alpha 1} = 1,92$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha 1}{\alpha u} = 2,16$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha 1}{\alpha u} = 2,32$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha 1}{\alpha u} = 2,48$
- Τριγωνική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha 1}{\alpha u} = 2,07$
- Τριγωνική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha 1}{\alpha u} = 2,48$

Επομένως ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  επαληθεύτηκε από ανάλυση Pushover και είναι και ο μέγιστος βάσει του οποίου μπορεί να διαστασιολογηθεί η συγκεκριμένη κατασκευή για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ).

Από τα φάσματα απαίτησης – ικανότητας παρατηρείται ότι δεν έχει συμβεί καμία υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης οποιασδήποτε εκ των τριών σταθμών επιτελεστικότητας. Επίσης για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης NC (Οιονεί Κατάρρευση) δεν έχει σημειωθεί διατμητική αστοχία σε κάποιο μέλος του φορέα. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές, που

δηλώνουν το σημείο όπου κάποιο μέλος του φορέα υπερβαίνει τα όρια κάποιας στάθμης επιτελεστικότητας ή εμφανίζει διατμητική αστοχία, βρίσκονται δεξιά από τις στοχευόμενες μετακινήσεις των αντίστοιχων σταθμών επιτελεστικότητας.

## 6.3 Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή

### 6.3.1 Συντελεστής συμπεριφοράς και λόγος υπεραντοχής

Για το σχεδιασμό της κατασκευής λαμβάνεται  $\alpha_u / \alpha_l = 1.50$ , που είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να ληφθεί κατά την επίλυση και όπλιση ενός κτηρίου.

Το στατικό σύστημα του κτηρίου και στις δύο διευθύνσεις X και Z είναι πλαισιωτό ή ισοδύναμο διπλό πολυώροφο.

Σε αυτήν την περίπτωση και για ΚΠΜ ισχύει:

$$q_o = 4.50 \cdot \alpha_u / \alpha_l \quad (6.1),$$

$$\text{επομένως } q_o = 6.75$$

Άρα  $q = k_w \cdot q_o$  (5.3) και  $k_w = 1 \rightarrow q = 6.75$  και για τις δύο διευθύνσεις X και Z

Ο συγκεκριμένος υπολογισμός γίνεται από το πρόγραμμα αλλάζοντας τις παραμέτρους στην καρτέλα «Κτήριο» > «Συντελεστής συμπεριφοράς».

Κτήριο										
Γενικά	Αντισεισμικός	Φάσμα	Συντελεστής q	Σκυρόδεμα	Όπλισμός	Υλικά - Αποτίμηση	Δομικός χάλυβας	Pushover	Φάσμα - Pushover	T
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζόντια qx			6.750							
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζόντια qz			6.750							
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς κατακόρυφα qv			1.500							
<b>Στατικό Σύστημα</b>										
Κύριο υλικό κτηρίου (για προσδιορισμό q)				Σκυρόδεμα						
Κατηγορία πλαστιμότητας				ΚΠ Υ						
Τύπος στατικού συστήματος [διεύθυνση X]				Ππαισιωτό ή ισοδύναμο διπλό, πολυώροφο (ποηλλά ανοίγμα)						
Τύπος στατικού συστήματος [διεύθυνση Z]				Ππαισιωτό ή ισοδύναμο διπλό, πολυώροφο (ποηλλά ανοίγμα)						
<b>αυ/α1</b>										
Ο λόγος υπεραντοχής αυ/α1 καθορίζεται από pushover				Ναι						
Λόγος υπεραντοχής [αυ/α1]_x				1.300						
Λόγος υπεραντοχής [αυ/α1]_z				1.300						
Κανονικότητα σε κάτοψη				Ναι						
Τελική τιμή λόγου [αυ/α1]_x				1.500						
Τελική τιμή λόγου [αυ/α1]_z				1.500						
<b>Κανονικότητα καθ' ύψος</b>										
Κανονικότητα καθ' ύψος [διεύθυνση X]				Ναι						
Συντελεστής κανονικότητας καθ' ύψος C1_x				1.000						
Κανονικότητα καθ' ύψος [διεύθυνση Z]				Ναι						
Συντελεστής κανονικότητας καθ' ύψος C1_z				1.000						

Σχήμα 6.5 Παράμετροι καρτέλας «Κτήριο» > «Συντελεστής συμπεριφοράς» για ΚΠΥ

### 6.3.2 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

Αρχικά για την επίλυση και όπλιση του φορέα θεωρούμε αρχικές διαστάσεις τις διαστάσεις του κτηρίου για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ). Μετά την τελική επίλυση και όπλιση του φορέα τα δομικά στοιχεία πλάκες, δοκοί, θεμέλια είχαν τις ίδιες διαστάσεις με το κτήριο για ΚΠΜ, ενώ στα υποστυλώματα υπήρξε αύξηση των διαστάσεων των διατομών τους.

Επίπεδο	Υψόμετρο (m)	$\theta$	dsX(cm)	dsZ(cm)	max(drX)*v/h	max(drZ)*v/h
1	5	0,198	4,45	5,10	0,00421	0,00445
2	8	0,152	6,41	7,56	0,00349	0,00330
3	11	0,124	8,09	9,66	0,00302	0,00283
4	14	0,104	9,57	11,50	0,00270	0,00252
5	17	0,085	10,84	13,08	0,00236	0,00219
6	20	0,066	11,87	14,37	0,00198	0,00182
7	23	0,047	12,65	15,34	0,00153	0,00138
8	26	0,032	13,18	16,00	0,00107	0,00093

Πίνακας 6.6 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα για ΚΠΥ

### 6.3.3 Επίλυση και όπλιση κτηρίου

Ακολουθεί πίνακας με τις τελικές διαστάσεις των υποστυλωμάτων

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	ΑΡΧΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ
K1	55/55	70/70
K2	55/55	70/70
K3	60/60	70/70
K4	60/60	70/70
K5	55/55	70/70
K6	55/55	70/70
K7	60/60	70/70
K8	60/60	75/75
K9	60/60	75/75
K10	60/60	70/70
K11	60/60	70/70
K12	60/60	75/75
K13	60/60	75/75
K14	60/60	70/70
K15	55/55	70/70
K16	55/55	70/70
K17	60/60	70/70



<b>K18</b>	60/60	70/70
<b>K19</b>	55/55	70/70
<b>K20</b>	55/55	70/70

*Πίνακας 6.7 Αρχικές και τελικές διαστάσεις υποστυλωμάτων μετά την διαστασιολόγηση*

Η αλλαγή των διαστάσεων των διατομών των υποστυλωμάτων οφείλεται:

- Στον δείκτη σχετικής μεταθετότητας  $\theta$
- Στην αστοχία θλιπτήρα σκυροδέματος κόμβων υποστυλωμάτων – κόμβου
- Στην αστοχία συνάφειας σε εσωτερικό κόμβο στον τελευταίο όροφο ( $v_d=0$ )

Στις δοκούς 2.2 και 3.2 του ισογείου τοποθετήθηκε δισδιαγώνιος οπλισμός διάτμησης για την παραλαβή της τέμνουσας.

<b>ΔΟΚΟΣ</b>	<b>ΘΕΣΗ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( L )</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( R )</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>Δ1.1</b>	Άνω	4Φ16	4Φ16+2Φ14	Φ8/10
	Κάτω	5Φ16	10Φ16	
<b>Δ1.2</b>	Άνω	4Φ16+2Φ14	2Φ14+4Φ16	Φ8/8
	Κάτω	10Φ16	10Φ16	
<b>Δ1.3</b>	Άνω	2Φ14+4Φ16	4Φ16+2Φ14	Φ8/9
	Κάτω	10Φ16	10Φ16	
<b>Δ1.4</b>	Άνω	4Φ16+2Φ14	2Φ14+4Φ16	Φ8/8
	Κάτω	10Φ16	10Φ16	
<b>Δ1.5</b>	Άνω	2Φ14+4Φ16	4Φ16+2Φ14	Φ8/9
	Κάτω	10Φ16	5Φ16	
<b>Δ2.1</b>	Άνω	2Φ18+5Φ20	5Φ18	Φ8/8
	Κάτω	4Φ20+3Φ14	4Φ20+4Φ16	
<b>Δ2.2</b>	Άνω	5Φ18	5Φ18	Φ8/8
	Κάτω	4Φ20+4Φ16	4Φ16+4Φ20	
<b>Δ2.3</b>	Άνω	5Φ18	2Φ18+5Φ20	Φ8/8
	Κάτω	4Φ16+4Φ20	4Φ20+3Φ14	
<b>Δ3.1</b>	Άνω	2Φ18+5Φ20	5Φ18	Φ8/8
	Κάτω	4Φ20+3Φ14	4Φ20+4Φ16	
<b>Δ3.2</b>	Άνω	5Φ18	5Φ18	Φ8/8
	Κάτω	4Φ20+4Φ16	4Φ16+4Φ20	
<b>Δ3.3</b>	Άνω	5Φ18	2Φ18+5Φ20	Φ8/8
	Κάτω	4Φ16+4Φ20	4Φ20+3Φ14	
<b>Δ4.1</b>	Άνω	4Φ16	4Φ16+2Φ14	Φ8/10
	Κάτω	5Φ16	10Φ16	
<b>Δ4.2</b>	Άνω	4Φ16+2Φ14	2Φ14+4Φ16	Φ8/8
	Κάτω	10Φ16	10Φ16	
<b>Δ4.3</b>	Άνω	2Φ14+4Φ16	4Φ16+2Φ14	Φ8/9
	Κάτω	10Φ16	10Φ16	
<b>Δ4.4</b>	Άνω	4Φ16+2Φ14	2Φ14+4Φ16	Φ8/8

	Κάτω	10Φ16	10Φ16	
Δ4.5	Άνω	2Φ14+4Φ16	4Φ16+2Φ14	Φ8/9
	Κάτω	10Φ16	5Φ16	
Δ5.1	Άνω	4Φ18+1Φ16	4Φ18+2Φ14	Φ8/8
	Κάτω	5Φ18	10Φ18	
Δ5.2	Άνω	4Φ18+2Φ14	2Φ14+4Φ18	Φ8/8
	Κάτω	10Φ18	10Φ18	
Δ5.3	Άνω	2Φ14+4Φ18	4Φ18+1Φ20	Φ8/8
	Κάτω	10Φ18	5Φ18	
Δ6.1	Άνω	4Φ18+1Φ20	4Φ18+2Φ14	Φ8/7
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
Δ6.2	Άνω	4Φ18+2Φ14	2Φ14+4Φ18	Φ8/8
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
Δ6.3	Άνω	2Φ14+4Φ18	4Φ18+1Φ20	Φ8/7
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
Δ7.1	Άνω	4Φ18+1Φ20	4Φ18+2Φ14	Φ8/14
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
Δ7.2	Άνω	4Φ18+2Φ14	2Φ14+4Φ18	Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
Δ7.3	Άνω	2Φ14+4Φ18	4Φ18+1Φ20	Φ8/14
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
Δ8.1	Άνω	4Φ18+1Φ16	4Φ18+2Φ14	Φ8/15
	Κάτω	5Φ18	10Φ18	
Δ8.2	Άνω	4Φ18+2Φ14	2Φ14+4Φ18	Φ8/10
	Κάτω	10Φ18	10Φ18	
Δ8.3	Άνω	2Φ14+4Φ18	4Φ18+1Φ20	Φ8/15
	Κάτω	10Φ18	5Φ18	

*Πίνακας 6.8 Οπλισμοί δοκών ορόφου ισογείου μετά τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA. Ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό L αναφέρεται στο αριστερό άκρο της δοκού, ενώ ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό R αναφέρεται στο δεξί. Οι συνδετήρες αναφέρονται στα άκρα των δοκών.*

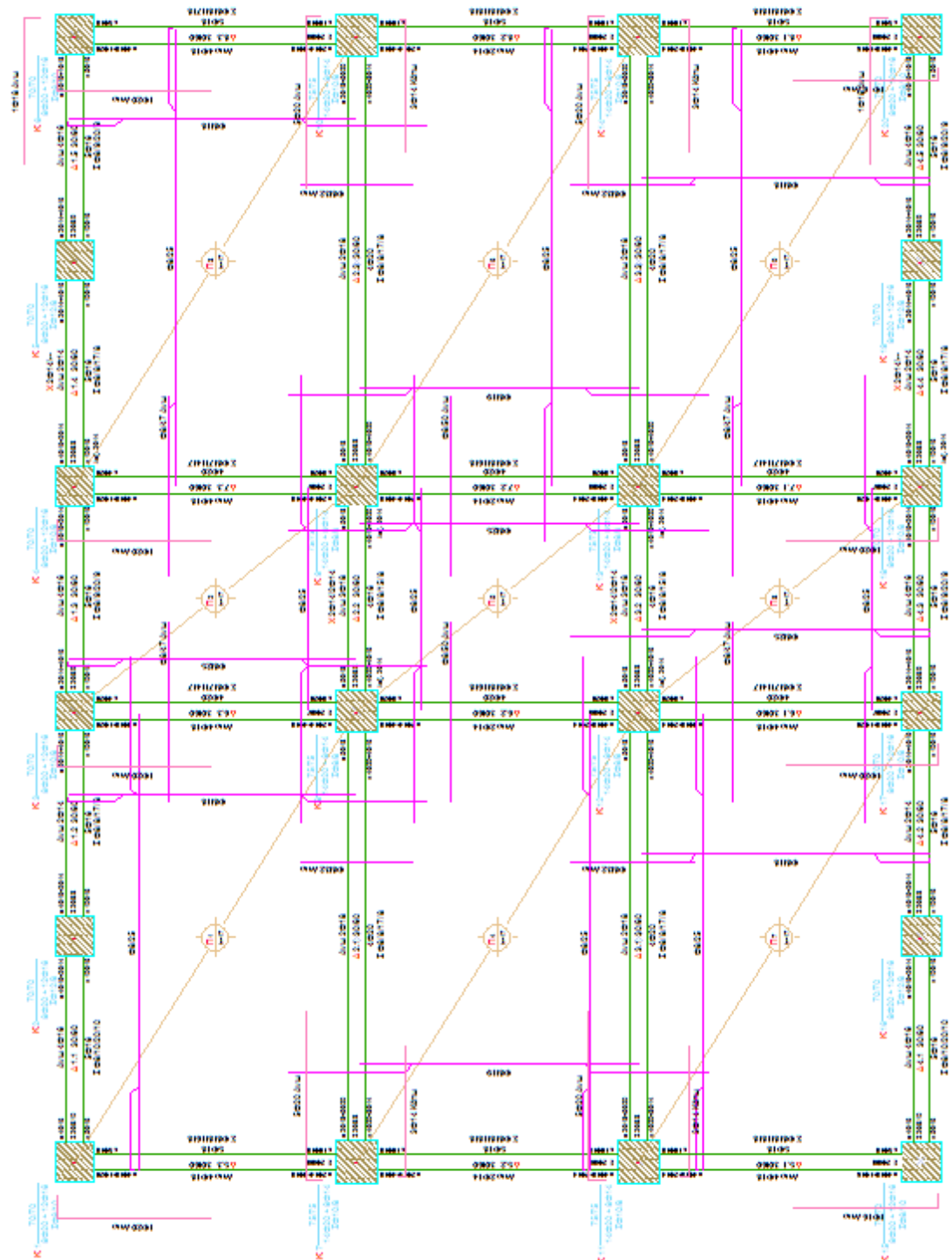
<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>K1</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ8/10
<b>K2</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ12/8
<b>K3</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ10/8
<b>K4</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ10/8
<b>K5</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ12/8
<b>K6</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ8/10
<b>K7</b>	70/70	14Φ20+8Φ14	Φ10/8

<b>K8</b>	75/75	14Φ20+8Φ14	Φ8/8
<b>K9</b>	75/75	14Φ20+8Φ14	Φ8/8
<b>K10</b>	70/70	14Φ20+8Φ14	Φ10/8
<b>K11</b>	70/70	14Φ20+8Φ14	Φ10/8
<b>K12</b>	75/75	14Φ20+8Φ14	Φ8/8
<b>K13</b>	75/75	14Φ20+8Φ14	Φ8/8
<b>K14</b>	70/70	14Φ20+8Φ14	Φ10/8
<b>K15</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ8/10
<b>K16</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ12/8
<b>K17</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ10/8
<b>K18</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ10/8
<b>K19</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ12/8
<b>K20</b>	70/70	8Φ20+12Φ16	Φ8/10

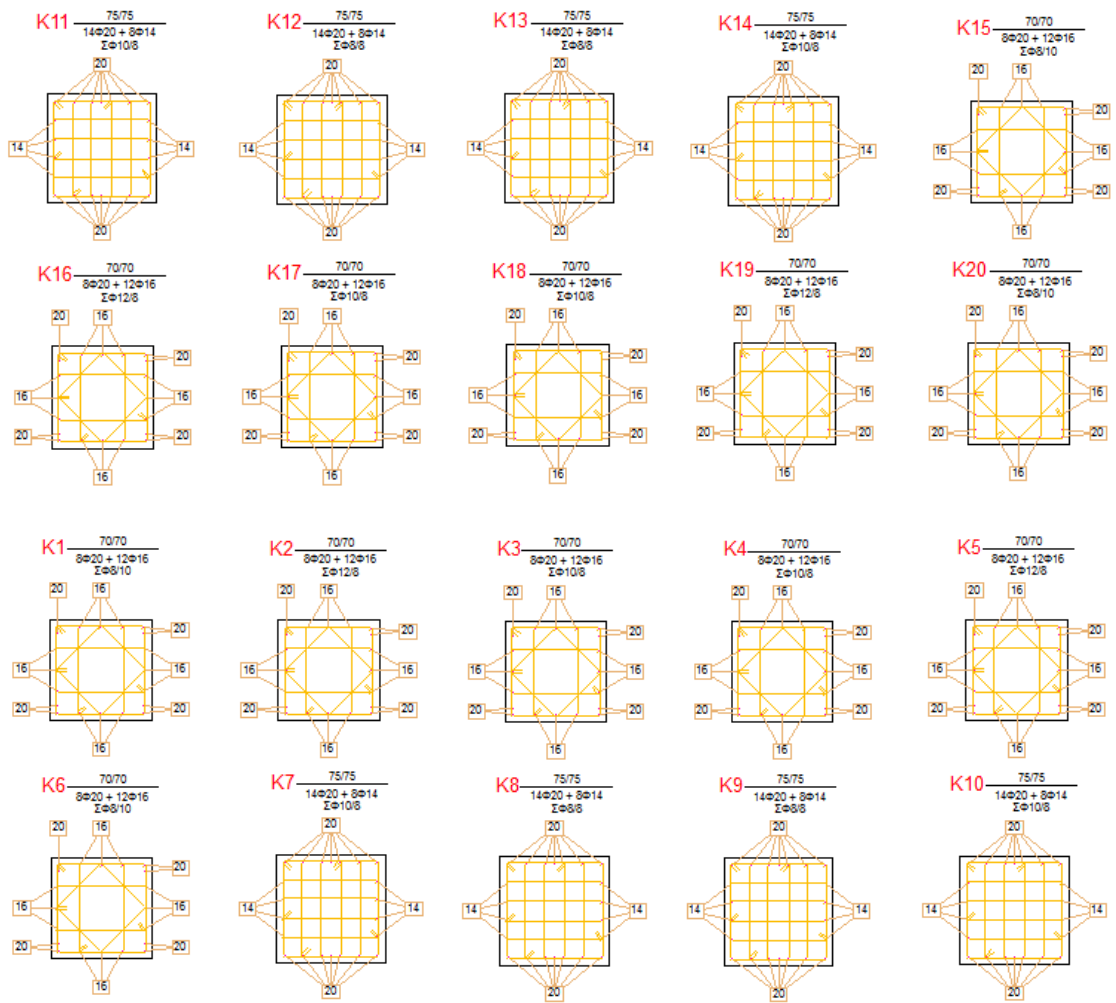
*Πίνακας 6.9 Οπλισμοί υποστυλωμάτων ισογείου όπως προέκυψαν από τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA για ΚΠΥ*

Στα υποστυλώματα με διατομή 0,70x0,70(m) οι συνδετήρες που τοποθετούνται είναι πεντάμητοι (στην πραγματικότητα είναι τετράμητοι και έχουν και έναν κλειστό συνδετήρα σε μορφή ρόμβου, ωστόσο το πρόγραμμα FESPA θεωρεί αυτή τη διάταξη σαν 5 τμήσεις, το οποίο είναι υπέρ της ασφάλειας). Στα υπόλοιπα υποστυλώματα με διατομή 0,75x0,75(m) τοποθετούνται εξάμητοι συνδετήρες. Οι τμήσεις των συνδετήρων παραμένουν ίδιες σε όλο το ύψος των υποστυλωμάτων, ενώ η διάμετρος των συνδετήρων και η μεταξύ τους απόσταση καθ' ύψος ενδέχεται να αλλάζει για κάποια υποστυλώματα από όροφο σε όροφο.

Ακολουθούν ο ξυλότυπος οροφής ισογείου καθώς και οι λεπτομέρειες όπλισης των υποστυλωμάτων ισογείου.



Σχήμα 6.6 Ευλότυπος οροφής ισογείου. Οι διαστάσεις παραμένουν ίδιες σε όλες τις στάθμες, ενώ οι σπλισμοί αλλάζουν.



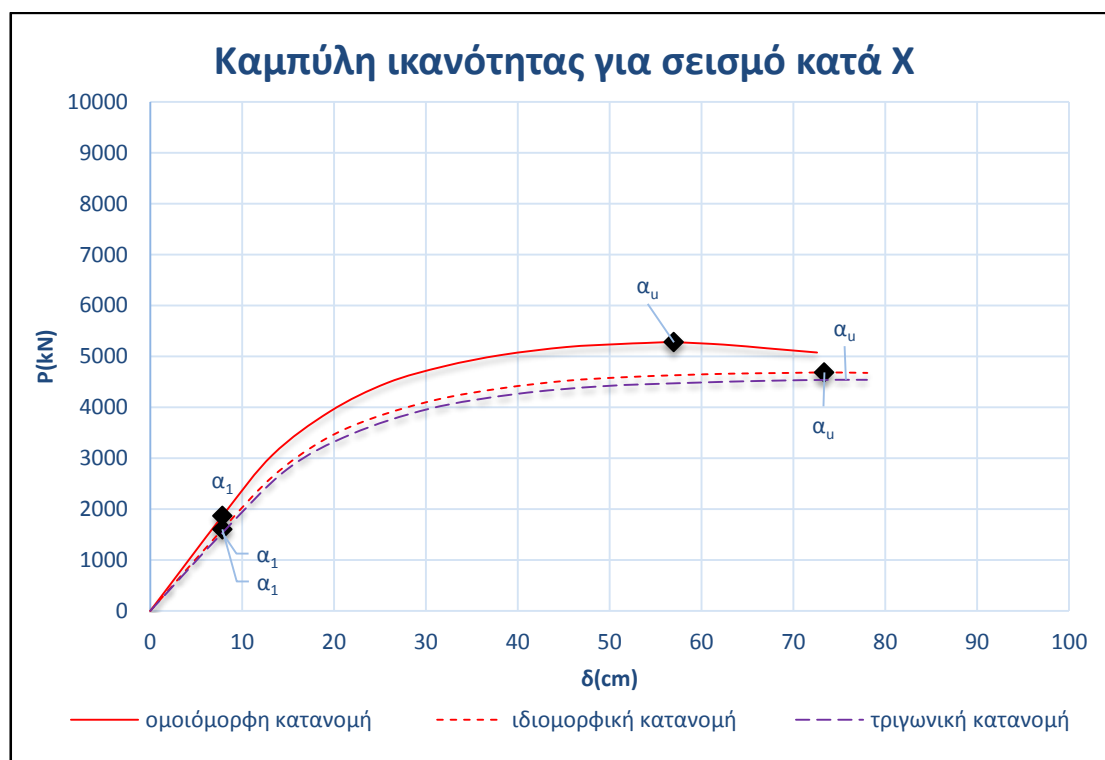
Σχήμα 6.7 Λεπτομέρειες όπλισης υποστλωμάτων ισογείου για ΚΤΙΜ με το πρόγραμμα FESPA

### 6.3.4 Ανελαστική στατική ανάλυση

Μετά την επίλυση και όπλιση του κτηρίου ακολουθεί ανελαστική στατική ανάλυση όπως και στο κτήριο για ΚΠΜ, για τη μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής και την επαλήθευση του συντελεστή συμπεριφοράς. Εφαρμόζονται τρεις καθ' ύψος κατανομές ομοιόμορφη, ιδιομορφική και τριγωνική και τα φορτία εφαρμόζονται μόνο στις δύο κύριες διευθύνσεις X και Z. Κόμβος ελέγχου ορίζεται όπως και για ΚΠΜ ο κόμβος του υποστυλώματος K8 του τελευταίου ορόφου (K8(7)).

#### Σεισμική δράση κατά X

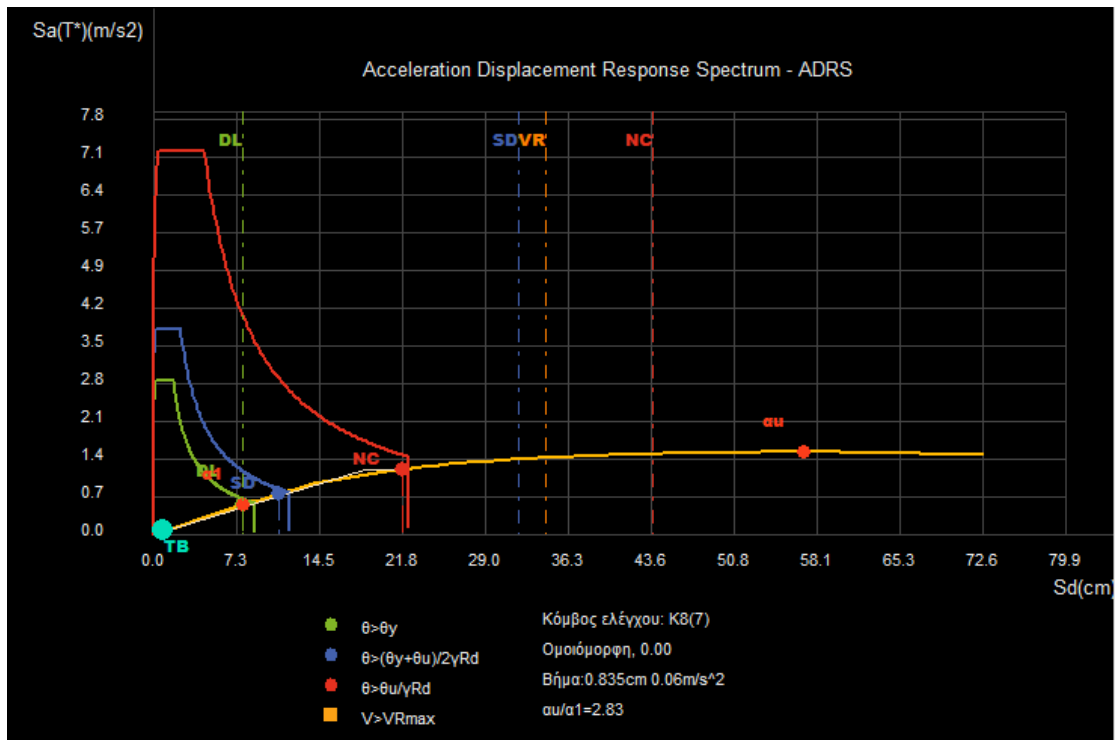
Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης για σεισμική δράση κατά X και κατά Z για ομοιόμορφη, ιδιομορφική και τριγωνική κατανομή φορτίου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κτηρίου για φόρτιση σεισμού μόνο κατά τη διεύθυνση X και γωνία σεισμικής δράσης 0° παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



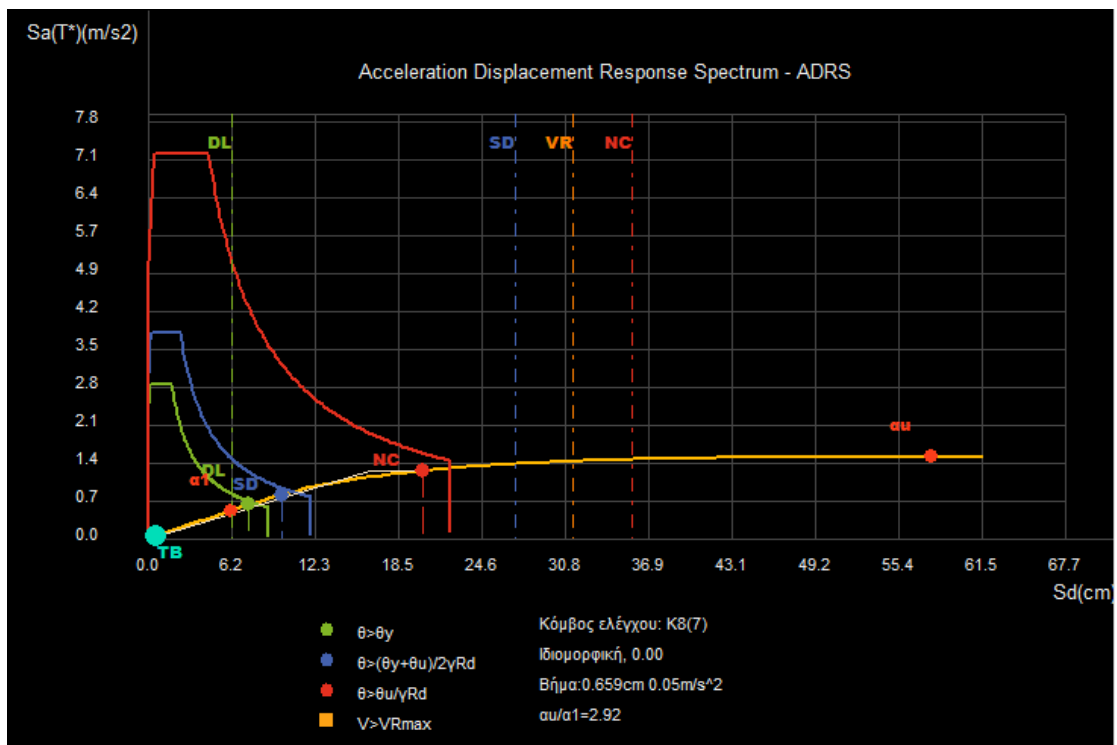
**Διάγραμμα 6.9** Καμπύλη αντίστασης φορέα ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση X και γωνία σεισμικής δράσης 0°

	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική	Τριγωνική
$\delta y(cm)$	7,86	7,86	7,86
$P y(kN)$	1866,58	1602,47	1535,72
$\delta u(cm)$	57,00	73,38	75,72
$P u(kN)$	5277,73	4683,78	4540,02

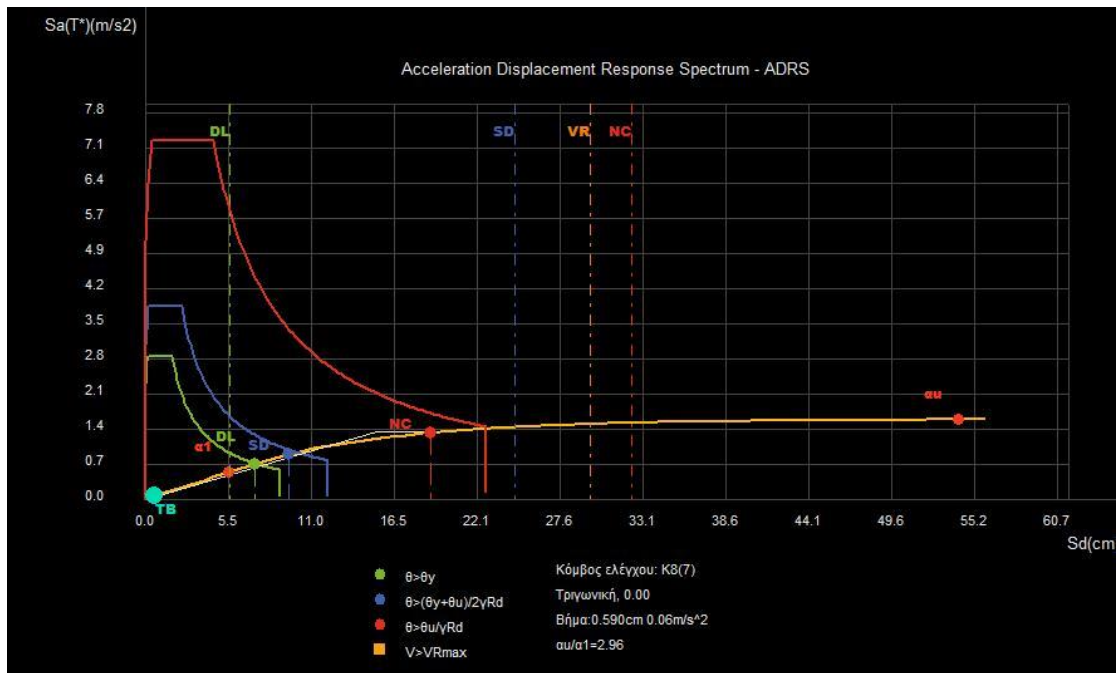
**Πίνακας 6.10** Χαρακτηριστικά σημεία καμπυλών ικανότητας διαγράμματος 6.9



*Διάγραμμα 6.10* Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



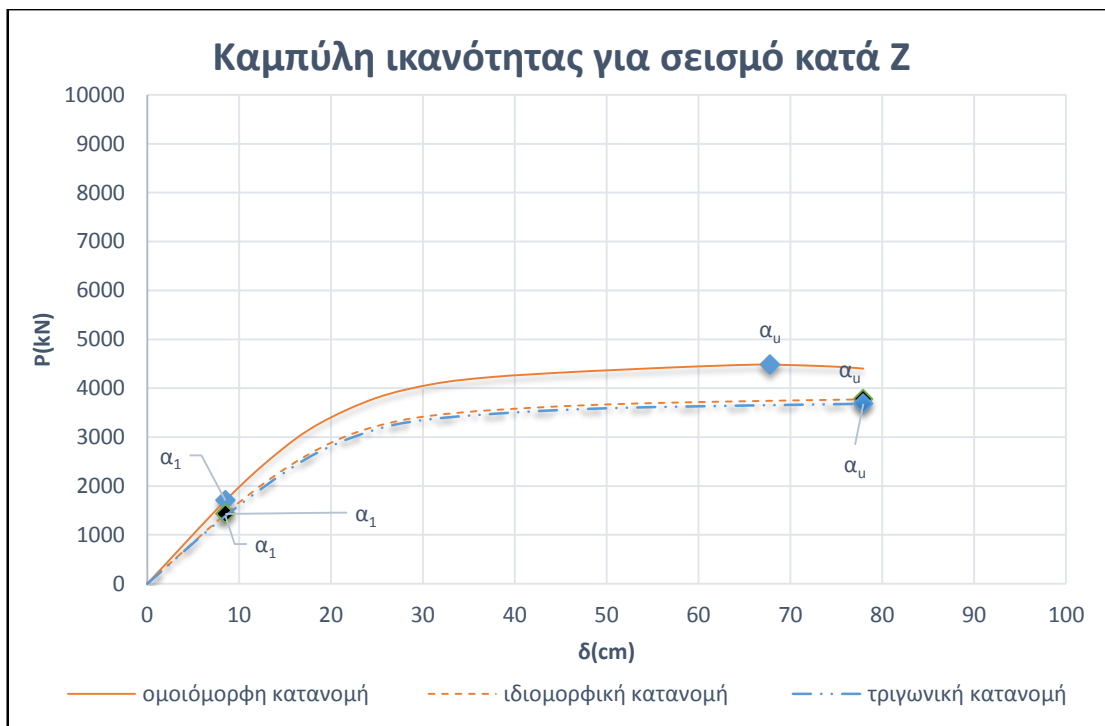
*Διάγραμμα 6.11* Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική



**Διάγραμμα 6.12** Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου τριγωνική

Σεισμική δράση κατά Z

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κτηρίου για φόρτιση σεισμού μόνο κατά τη διεύθυνση Z και γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$  παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

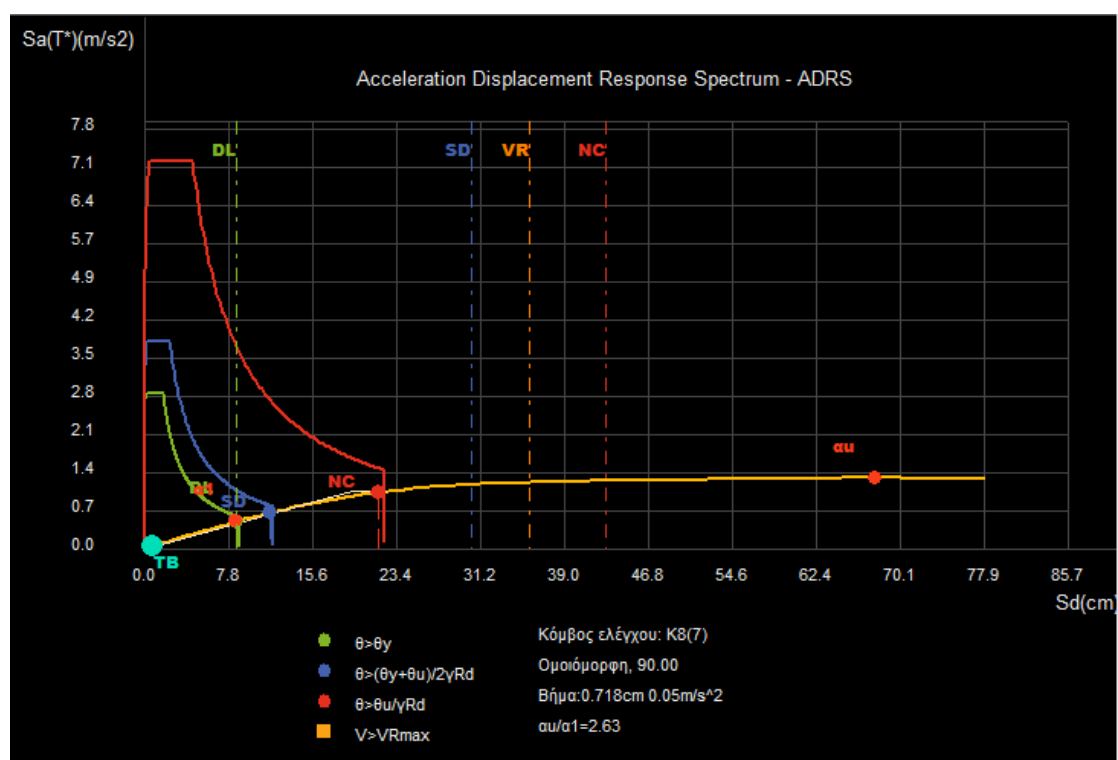


**Διάγραμμα 6.13** Καμπύλη αντίστασης φορέα ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση Z και γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$

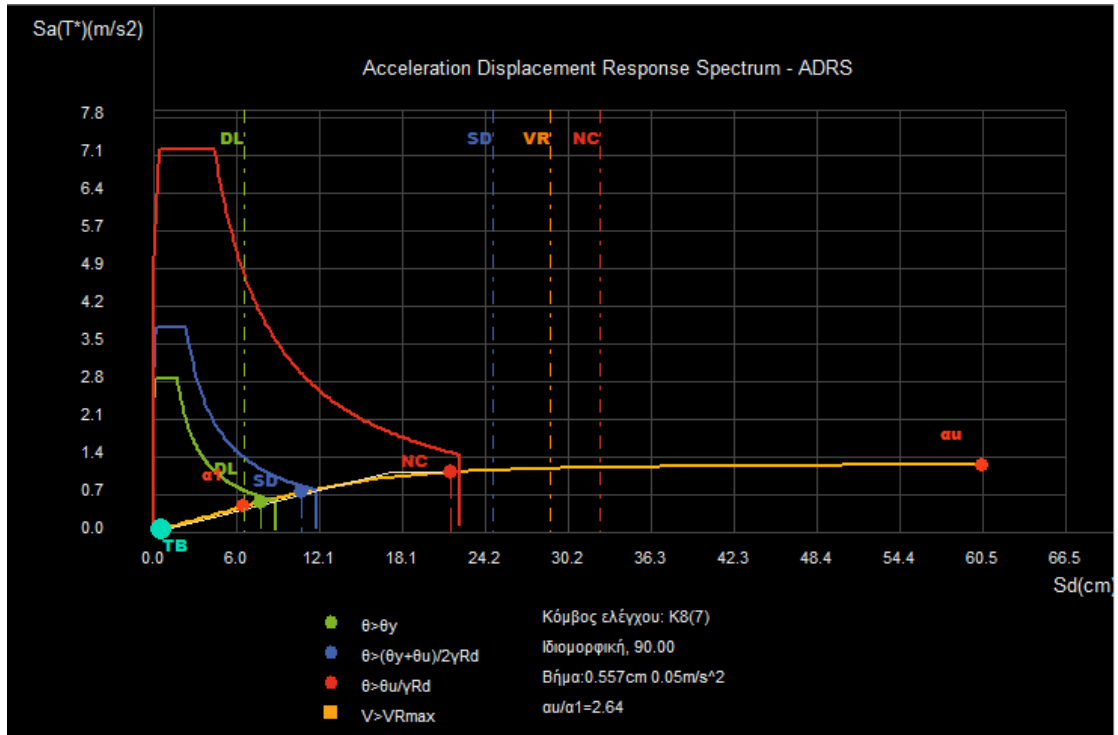


	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική	Τριγωνική
$\delta\gamma(cm)$	8,52	8,52	8,52
$P\gamma(kN)$	1706,23	1430,48	1388,71
$\delta u(cm)$	67,80	77,94	77,94
$Pu(kN)$	4484,58	3773,71	3682,98

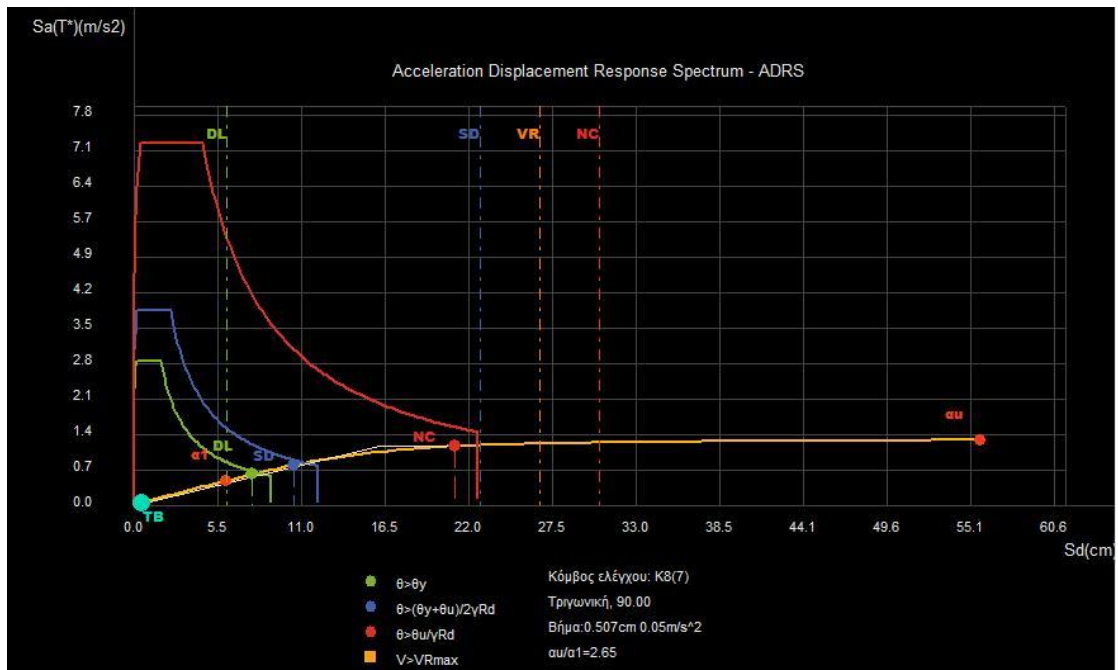
Πίνακας 6.11 Χαρακτηριστικά σημεία καμπλών ικανότητας διαγράμματος 6.13



Διάγραμμα 6.14 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



Διάγραμμα 6.15 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική



Διάγραμμα 6.16 Φάσμα ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΥ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου τριγωνική

Από την καμπύλη αντίστασης της κατασκευής και τον προσδιορισμό του λόγου υπολογιστικής υπεραντοχής επαληθεύεται ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q=6.75$  που χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό της κατασκευής. Ο λόγος υπολογιστικής υπεραντοχής είναι μεγαλύτερος του 1.50 για κάθε μία από έξι (6) ανελαστικές στατικές αναλύσεις, επομένως το κτήριο έχει μεγαλύτερη υπεραντοχή από αυτή που έχει θεωρηθεί για το σχεδιασμό. Ειδικότερα ισχύει:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,83$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,92$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,63$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,64$
- Τριγωνική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,96$
- Τριγωνική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,65$

Επομένως ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  επαληθεύτηκε από ανάλυση Pushover και είναι και ο μέγιστος βάσει του οποίου μπορεί να διαστασιολογηθεί η συγκεκριμένη κατασκευή για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (ΚΠΥ).

Από τα διαγράμματα απαίτησης – ικανότητας για την κατασκευή για ΚΠΥ παρατηρείται ότι δεν έχει συμβεί υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης για τις στάθμες επιτελεστικότητας Προστασία Ζωής (SD) και Οιονεί Κατάρρευσης (NC) για καμία από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν. Επίσης για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Προστασίας Ζωής δεν έχει συμβεί διατμητική αστοχία σε κάποιο μέλος του φορέα. Για την καθ' ύψος ιδιομορφική και τριγωνική κατανομή σεισμικών φορτίων παρατηρείται υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης της στάθμης επιτελεστικότητας Περιορισμού Βλαβών (DL). Ουσιαστικά η πρώτη διαρροή στον φορέα συμβαίνει για λίγο μικρότερη μετακίνηση από τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Περιορισμού Βλαβών.

## 6.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων ΚΠΜ και ΚΠΥ

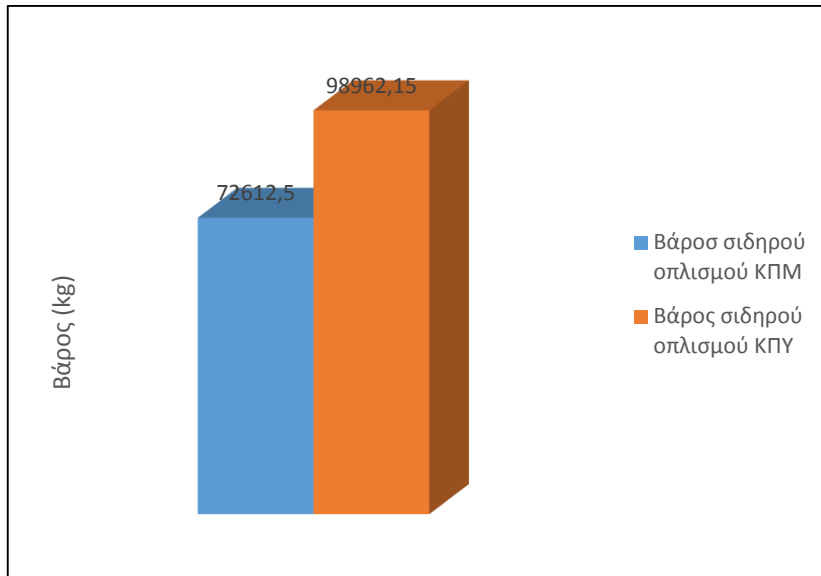
Αρχικά τα κτήρια σχεδιάστηκαν για διαφορετικό συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , ο οποίος και στις δύο περιπτώσεις ήταν ο μέγιστος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό και να είναι σύμφωνος με τις διατάξεις του Κανονισμού (EC8-1).

Για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ)  $\rightarrow q=4.50$

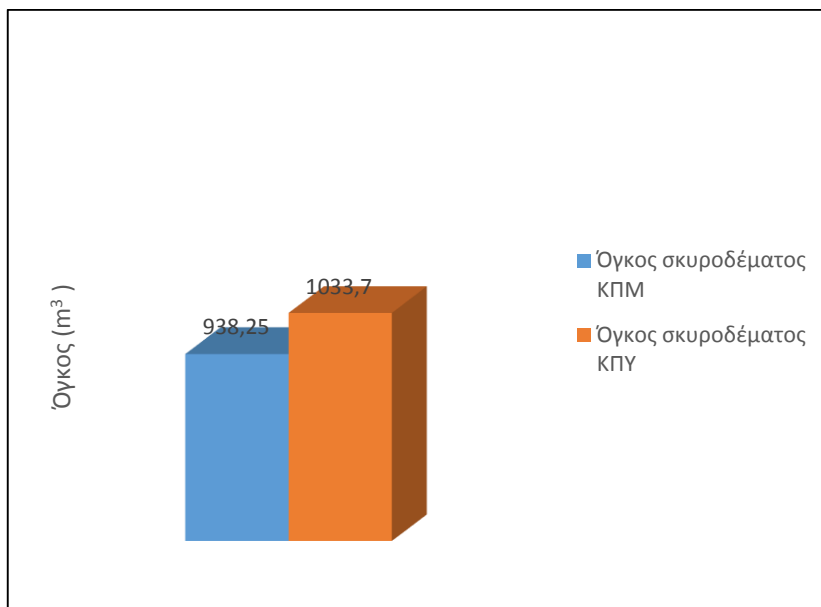
Για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (ΚΠΥ)  $\rightarrow q=6.75$

Οι διαστάσεις των πλακών, δοκών και της θεμελίωσης παραμένουν ίδιες για το κτήριο και για τις δύο κατηγορίες πλαστιμότητας. Όμως υπάρχει αλλαγή διαστάσεων στα υποστυλώματα, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Οι οπλισμοί των δομικών στοιχείων διαφέρουν λόγω των διαφορετικών κανονιστικών διατάξεων που τις

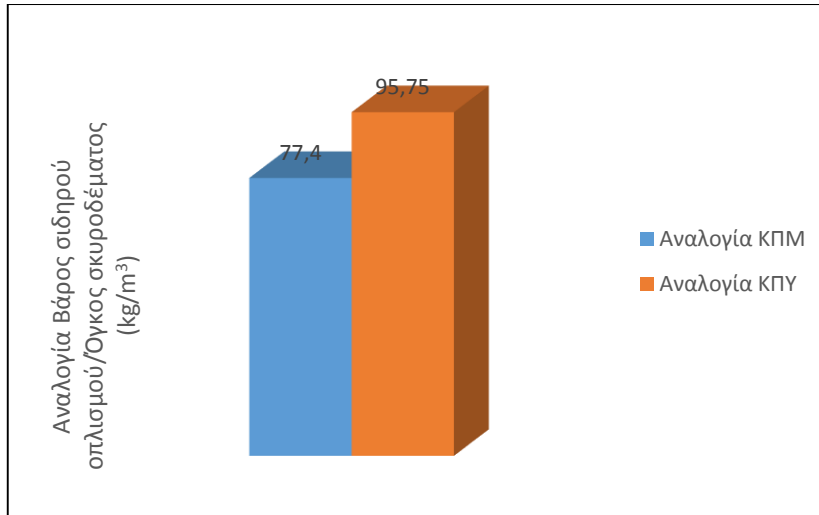
διέπουν. Ακολουθούν σχήματα με τη συνολική προμέτρηση του κτηρίου για τις δύο κατηγορίες.



**Σχήμα 6.8** Απαιτούμενο βάρος σιδηρού οπλισμού της κατασκευής για ΚΠΜ και ΚΠΥ



**Σχήμα 6.9** Απαιτούμενος συνολικός όγκος σκυροδέματος της κατασκευής για ΚΠΜ και ΚΠΥ

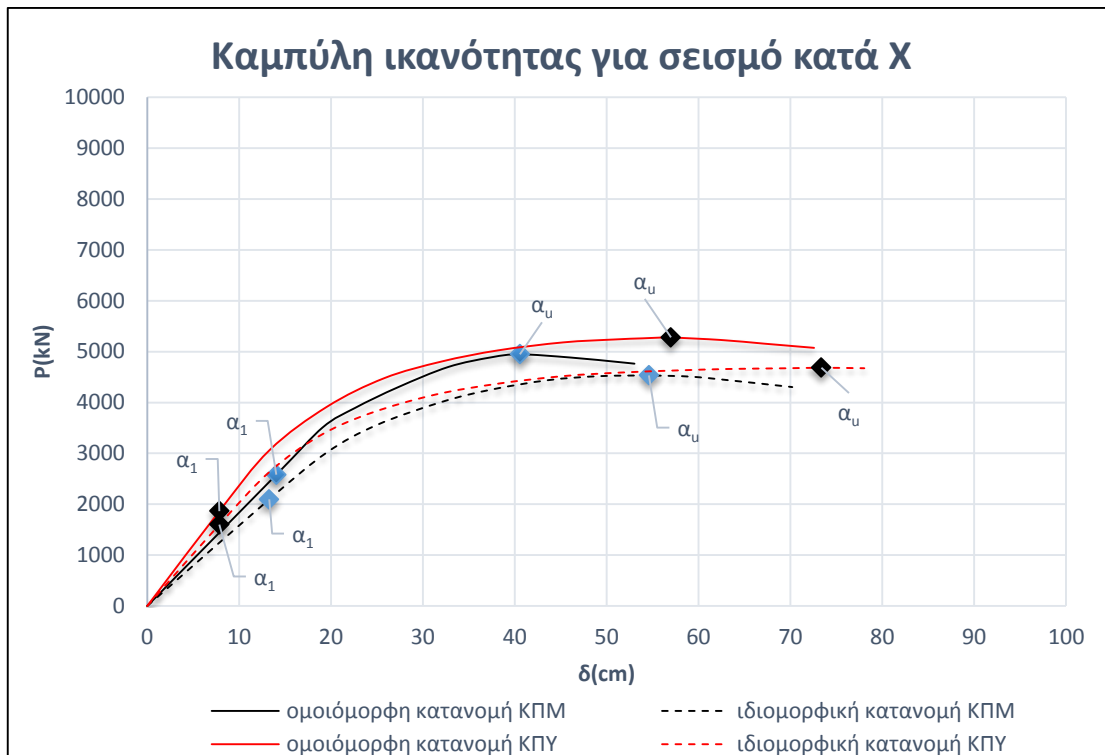


**Σχήμα 6.10** Αναλογία απαιτούμενου βάρους σιδηρού σπλισμού προς τον απαιτούμενο όγκο σκυροδέματος

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι απόλυτες μετακινήσεις, οι μέγιστες σχετικές παραμορφώσεις και οι δείκτες σχετικής μεταθετότητας των ορόφων της κατασκευής για τις δύο κατηγορίες πλαστιμότητας.

Υψόμετρο (m)	θ		dsX(cm)		dsZ(cm)		Max(drX)*v/h		Max(drZ)*v/h	
	ΚΠΜ	ΚΠΥ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	ΚΠΜ	ΚΠΥ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
5	0,196	0,198	5,87	4,45	6,40	5,09	0,00587	0,00445	0,00640	0,00509
8	0,130	0,152	8,04	6,40	9,03	7,54	0,00375	0,00328	0,00441	0,00411
11	0,104	0,124	9,87	8,07	11,22	9,63	0,00317	0,00281	0,00371	0,00353
14	0,087	0,103	11,48	9,53	13,13	11,46	0,00285	0,00250	0,00333	0,00313
17	0,071	0,084	12,85	10,79	14,77	13,03	0,00251	0,00218	0,00292	0,00273
20	0,055	0,065	13,96	11,82	16,10	14,32	0,00210	0,00180	0,00244	0,00227
23	0,039	0,047	14,78	12,60	17,09	15,28	0,00160	0,00137	0,00184	0,00174
26	0,024	0,032	15,29	13,12	17,73	15,94	0,00106	0,00106	0,00117	0,00118

**Πίνακας 6.12** Από την επίλυση και όπλιση του κτηρίου για ΚΠΜ και ΚΠΥ παρουσιάζονται οι μέγιστες απόλυτες μετακινήσεις ( $ds$ ), οι μέγιστες σχετικές παραμορφώσεις  $max(dr)*v/h$  και οι δείκτες σχετικής μεταθετότητας των ορόφων

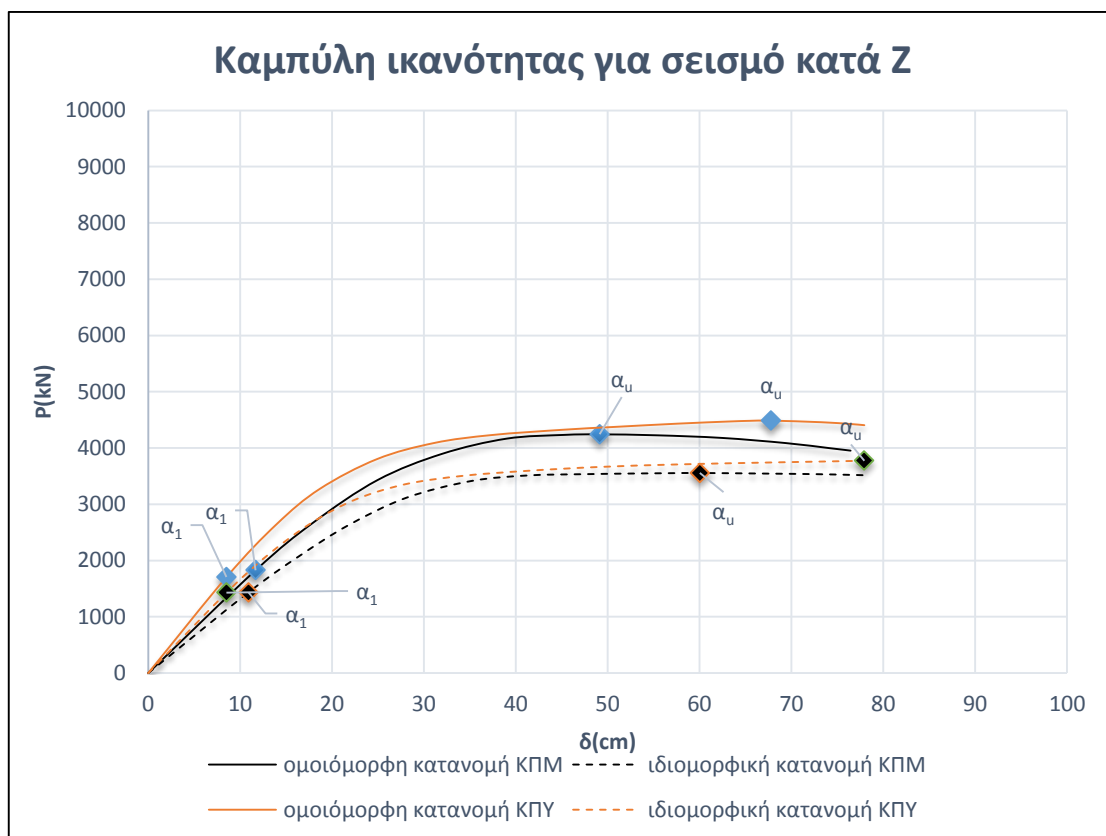


**Διάγραμμα 6.17** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας του φορέα για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για ΚΠΜ με μαύρο χρώμα και β) για ΚΠΥ με κόκκινο χρώμα (η συνεχής γραμμή είναι για την καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή σεισμικών φορτίων, ενώ η διακεκομμένη για την ιδιομορφική). Και στις δύο περιπτώσεις η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση Χ και για γωνία σεισμικής δράσης 0°.

Από τις καμπύλες αντίστασης προκύπτουν τα εξής στοιχεία:

- Η καμπύλη αντίστασης για ΚΠΥ παρουσιάζει μεγαλύτερη αρχική δυσκαμψία από την καμπύλη για ΚΠΜ. Συγκεκριμένα για την ομοιόμορφη κατανομή ισχύει  $K_{ΚΠΥ}=23762,95\text{kN/m}^2 > K_{ΚΠΜ}=18366,43\text{kN/m}^2$ , ενώ για την ιδιομορφική ισχύει  $K_{ΚΠΥ}=20400\text{kN/m}^2 > K_{ΚΠΜ}=15799,98\text{kN/m}^2$ . Η διαφορά αυτή οφείλεται στις μεγαλύτερες διαστάσεις υποστυλωμάτων, άρα και μεγαλύτερη δυσκαμψία υποστυλωμάτων που έχει το κτήριο για ΚΠΥ.
- Παρατηρείται ότι για ΚΠΥ αυξάνει η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του φορέα. Και στην ομοιόμορφη και στην ιδιομορφική κατανομή η διαρροή του πρώτου μέλους του φορέα συμβαίνει σε μικρότερη μετακίνηση για ΚΠΥ από ότι για ΚΠΜ, ενώ και η μετακίνηση για την οποία δημιουργείται αστάθεια του φορέα είναι μεγαλύτερη για ΚΠΥ. Εάν θεωρηθεί σαν ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης η διαφορά  $\delta p = \delta u - \delta y$  τότε για ομοιόμορφη κατανομή για ΚΠΜ ισχύει και  $\delta r_{ΚΠΜ}=40,569 - 14,049=26,52\text{cm}$  και για ΚΠΥ  $\delta r_{ΚΠΥ}=56,995 - 7,885 = 49,11\text{cm}$ . Επομένως η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης για ΚΠΥ είναι  $\delta r_{ΚΠΥ} / \delta r_{ΚΠΜ}=1,852$  φορές μεγαλύτερη από την ικανότητα παραμόρφωσης για ΚΠΜ. Για ιδιομορφική κατανομή ισχύει  $\delta r_{ΚΠΜ}=54,609-14,049=41,34\text{cm}$  και  $\delta r_{ΚΠΥ}=73,375-7,855=65,52\text{cm}$  και ο λόγος τους είναι  $\delta r_{ΚΠΥ} / \delta r_{ΚΠΜ}=1,585$ .

- Η αστάθεια του φορέα συμβαίνει για τις δύο κατηγορίες πλαστιμότητας για δυνάμεις που έχουν μικρή διαφορά σε τιμή μεταξύ τους. Για ΚΠΜ για ομοιόμορφη κατανομή  $F_u=4947,38\text{kN}$ , ενώ για ΚΠΥ  $F_u=5277,73\text{kN}$  δηλαδή η δύναμη του μηχανισμού κατάρρευσης αυξήθηκε κατά ποσοστό  $(5277,73-4947,38)/4947,38=6,67\%$ , ενώ για ιδιομορφική κατανομή αυξήθηκε  $(F_{u\text{ΚΠΥ}} - F_{u\text{ΚΠΜ}})/F_{u\text{ΚΠΜ}} \rightarrow (4683,78 - 4532,12)/4532,12 = 3,334\%$ , ενώ οι μετακινήσεις παρουσιάζουν αύξηση για ομοιόμορφη κατανομή  $(56,995 - 49,059)/49,059=40,48\%$  και για ιδιομορφική  $(73,375-54,609)/54,609=34,36\%$ .
- Τέλος η πλαστιμότητα  $\mu_\delta$  για την ΚΠΜ ισούται με  $\mu_\delta = \delta_u/\delta_y$ ,  $\mu_{\text{ΚΠΜ}}=40,569/14,049 \rightarrow \mu_{\text{ΚΠΜ}}=2,88$  και  $\mu_{\text{ΚΠΜ}}=3,88$  για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή αντίστοιχα, ενώ για την ΚΠΥ ισχύει  $\mu_\delta=56,995/7,885 \rightarrow \mu_{\text{ΚΠΥ}}=7,22$  και  $\mu_{\text{ΚΠΥ}}=9,34$  για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή αντίστοιχα. Επομένως η  $\mu_{\text{ΚΠΥ}}$  είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη από τη  $\mu_{\text{ΚΠΜ}}$  και για τις δύο κατανομές φορτίων.



**Διάγραμμα 6.18** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας του φορέα για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για ΚΠΜ με μαύρο χρώμα και β) για ΚΠΥ με κόκκινο χρώμα (η συνεχής γραμμή είναι για την καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή σεισμικών φορτίων, ενώ η διακεκομμένη για την ιδιομορφική). Και στις δύο περιπτώσεις η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση Z και για γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$ .

Παρατηρείται από τις καμπύλες ότι ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που ισχύουν και για σεισμό κατά X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$ . Αυτό συμβαίνει γιατί το κτήριο είναι συμμετρικό, ενώ και το κέντρο μάζας ταυτίζεται με το κέντρο δυσκαμψίας, που είναι το κέντρο της κάτοψης του ορόφου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

### 7.1 Εισαγωγή

Στο κτήριο που διαστασιολογήθηκε και οπλίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ) θα γίνει αλλαγή των εγκάρσιων οπλισμών των υποστυλωμάτων. Θα τοποθετηθούν σε όλα τα υποστυλώματα όλων των ορόφων συνδετήρες Φ8, με τέσσερις τμήσεις σε κάθε διεύθυνση, όπως είχαν προκύψει και από τη διαστασιολόγηση. Η διαφορά με τη όπλιση του φορέα από το FESPA είναι η αύξηση της απόστασης  $s$  μεταξύ των συνδετήρων. Θα εκτελεσθεί ανάλυση Pushover, ώστε να μελετηθεί η σεισμική συμπεριφορά του φορέα για τέσσερις περιπτώσεις:

- Συνδετήρες 4\*Φ8/10
- Συνδετήρες 4\*Φ8/20 με επιρροή της περίσφιγξης
- Συνδετήρες 4\*Φ8/20 χωρίς επιρροή της περίσφιγξης
- Συνδετήρες 4\*Φ8/30 χωρίς επιρροή της περίσφιγξης

Όταν η διάταξη των συνδετήρων είναι πιο αραιή από Φ8/20 θεωρείται ότι η οριακή ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\varepsilon_{cu}$ , η τάση του σκυροδέματος  $f_{cc}$ , καθώς και η θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος στην διαρροή  $\varepsilon_{cc}$  δεν προσαυξάνονται λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της περίσφιγξης. Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει σύγκριση για συνδετήρες Φ8/20 με και χωρίς την επιρροή της περίσφιγξης, καθώς και για συνδετήρες Φ8/10 και Φ8/30 χωρίς να ληφθεί υπόψη η περίσφιγξη, για να γίνει σύγκριση της αραιώσεως της διάταξης των συνδετήρων υποστυλωμάτων στην κατασκευή.

Ο φορέας μας έχει επιλυθεί και έχει οπλισθεί για ΚΠΜ και συντελεστή συμπεριφοράς  $q=4.50$  που επαληθεύτηκε επιτυχώς από ανάλυση Pushover. Για την αλλαγή των συνδετήρων των υποστυλωμάτων ο μελετητής πρέπει να αλλάξει κάποιες παραμέτρους του προγράμματος. Αρχικά από την καρτέλα «Κτήριο» > «Γενικά» > «Γενική περιγραφή εργασίας» πρέπει να επιλεγεί «Προσθήκες – Ενισχύσεις – Αποτίμηση», έτσι ώστε να μπορούν να αλλαχθούν οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων. Επίσης πρέπει στη καρτέλα «Κτήριο» > «Υλικά – Αποτίμηση» > «Χαρακτηρισμός μελών» τα μέλη να χαρακτηριστούν ως υφιστάμενα. Επίσης στην ίδια καρτέλα εισάγονται τιμές των αντοχών του σκυροδέματος και του χάλυβα για τον έλεγχο δυνάμεων και παραμορφώσεων, ώστε να είναι ίδιες οι τιμές των αντοχών των υλικών με αυτές που θα είχαν τα υλικά εάν το κτήριο θεωρούνταν νέο.

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από το πρόγραμμα που φαίνονται οι τιμές των αντοχών σκυροδέματος και χάλυβα για τον έλεγχο παραμορφώσεων και δυνάμεων με τις οποίες θα γίνει αποτίμηση της κατασκευής και για τα 4 σενάρια διατμητικού οπλισμού.



Κτήριο	
Γενικά   Αντισεισμικός   Φάσμα   Συντελεστής α   Σκυρόδεμα   Οπλισμός   Υλικά - Αποτίμηση   Διαμοκός χάλυβας   Pushover   Φάσμα - Pushover   Τοιχοποιία   Τοιχοπήρωση   Έδαφος   Δράσεις   Ενισχύσεις   Σχέδιο 3DV   Pushover	
Χαρακτηρισμός μελών	? Υφιστάμενα
Οπλισμοί μελών	? Νέα & ενισχυόμενα με μανθούα
Αυτόματος υπολογισμός αντοχών	? Ναι
<b>Νέο σκυρόδεμα</b>	
Ποιότητα σκυροδέματος	? C25/30
Χαρακτηριστική αντοχή f <sub>ck</sub> [MPa]	? 25
<b>Νέος οπλισμός</b>	
Χαρακτηρ. αντοχή χάλυβα f <sub>yk</sub> [MPa]	? 500
Οριακή παραμόρφωση νέου οπλισμού ε <sub>su_n</sub> [%]	? 6.000
Χαρακτηρ. αντοχή χάλυβα συνδετήρων f <sub>yk</sub> [MPa]	? 500
<b>Υφιστάμενο σκυρόδεμα &amp; Οπλισμός</b>	
Μέση αντοχή σκυροδέματος f <sub>cm</sub> [MPa]	? 30.0
Μέση αντοχή χάλυβα f <sub>yk</sub> [MPa]	? 575.0
Οριακή παραμόρφωση υφιστάμενου οπλισμού ε <sub>su_e</sub> [%]	? 10.000
Μέση αντοχή χάλυβα συνδετήρων f <sub>yk</sub> [MPa]	? 575.0
<b>Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) υφιστάμενων υλικών - Συντ. ασφαλείας</b>	
Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) σκυροδέματος	? KL2 - Κανονική (Κανονιστική)
Συντελεστής εμπιστοσύνης χαρακτηριστικών σκυροδέματος C <sub>Fc</sub>	? 1.200
Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος γ <sub>c</sub>	? 1.500
Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) χάλυβα οπλισμού	? KL2 - Κανονική (Κανονιστική)
Συντελεστής εμπιστοσύνης χαρακτηριστικών χάλυβα C <sub>Fs</sub>	? 1.200
Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα γ <sub>s</sub>	? 1.150

**Σχήμα 7.1** «Κτήριο» > «Υλικά – Αποτίμηση» Φαίνονται οι αντοχές σκυροδέματος και χάλυβα για υφιστάμενα μέλη που θα χρησιμοποιηθούν για έλεγχο παραμορφώσεων και έλεγχο δυνάμεων για την αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας.

Στη συνέχεια γίνεται η αλλαγή των οπλισμών των συνδετήρων των υποστυλωμάτων. Αρχικά ελέγχεται από την εντολή «Κτήριο» > «Οπλισμός» η τιμή της μέγιστης απόστασης που μπορούν να τοποθετηθούν οι συνδετήρες (η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0.20m) και εισάγεται μια επιθυμητή τιμή. Για τη διευκόλυνση του μελετητή η αλλαγή των συνδετήρων των υποστυλωμάτων είναι ευκολότερο να γίνει από τους πίνακες του προγράμματος, και συγκεκριμένα από τον πίνακα 214 Υποστυλώματα – Συνδετήρες. Αλλάζουμε σε όλα τα υποστυλώματα ενός ορόφου την τιμή «από διαστασιολόγηση» σε «εισαγωγή», και την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων. Με τις εντολές αντιγραφή – επικόλληση οι τιμές αυτές εισάγονται γρήγορα σε όλους του ορόφους.

Αλλιώς η παραπάνω διαδικασία πρέπει να γίνει από την εντολή «Υποστυλώμα» > «Συνδετήρες» και με τις εντολές «Πάρε-Δώσε παραμέτρους». Αυτό είναι πολύ περισσότερο χρονοβόρο καθώς πρέπει να γίνει ξεχωριστά σε κάθε υποστυλώμα ή μαζί σε υποστυλώματα που έχουν ίδιους διαμήκεις οπλισμούς και διαστάσεις. Τέλος για να φαίνονται οι πραγματικοί συνδετήρες των υποστυλωμάτων στον ξυλότυπο πρέπει να γίνει αλλαγή όνοματος των υποστυλωμάτων. Παρατίθενται εικόνες από τους πίνακες και από την εντολή «Υποστυλώμα» > «Συνδετήρες».

MASTER 10 - [8EC\_DCM - Πίνακας 214: Συνδετήρες - Όροφος 0]

214	Όνομα	Συνδετήρες διατομής	Διάμετρος συνδετήρων Φ [mm]	Απόσταση συνδετήρων S [m]	Σκέλη παράλληλα στην μικρή πλευρά (N <sub>y</sub> )	Σκέλη παράλληλα στην μεγάλη πλευρά (N <sub>z</sub> )
1	1	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
2	2	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
3	3	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
4	4	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
5	5	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
6	6	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
7	7	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
8	8	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
9	9	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
10	10	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
11	11	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
12	12	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
13	13	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
14	14	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
15	15	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
16	16	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
17	17	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
18	18	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
19	19	Εισαγωγή	8	0.400	4	4
20	20	Εισαγωγή	8	0.400	4	4

Σχήμα 7.2 Πίνακας 214 Υποστυλώματα – Συνδετήρες

Υποστώλωμα

Διατομή | Στατικά | Φορτία | Σκυρόδεμα | Οπλισμοί | Υλικά - Αποτίμηση | Δομικός κάλυβας | Pushover | Συνδετήρες | Τοιχοποιία | Έδαφος | Σχέδιο

Περιγραφή εγκάρσιου οπλισμού	
Συνδετήρες διατομής	? Εισαγωγή
Διάμετρος συνδετήρων Φ [mm]	? 8
Απόσταση συνδετήρων S [m]	? 0.400
Σκέλη παράλληλα στην μικρή πλευρά (N <sub>y</sub> )	? 4
Σκέλη παράλληλα στην μεγάλη πλευρά (N <sub>z</sub> )	? 4

Σχήμα 7.3 «Υποστώλωμα» > «Συνδετήρες» Η αλλαγή των τιμών γίνεται με την εντολή «Πάρε – Δώσε παραμέτρους»

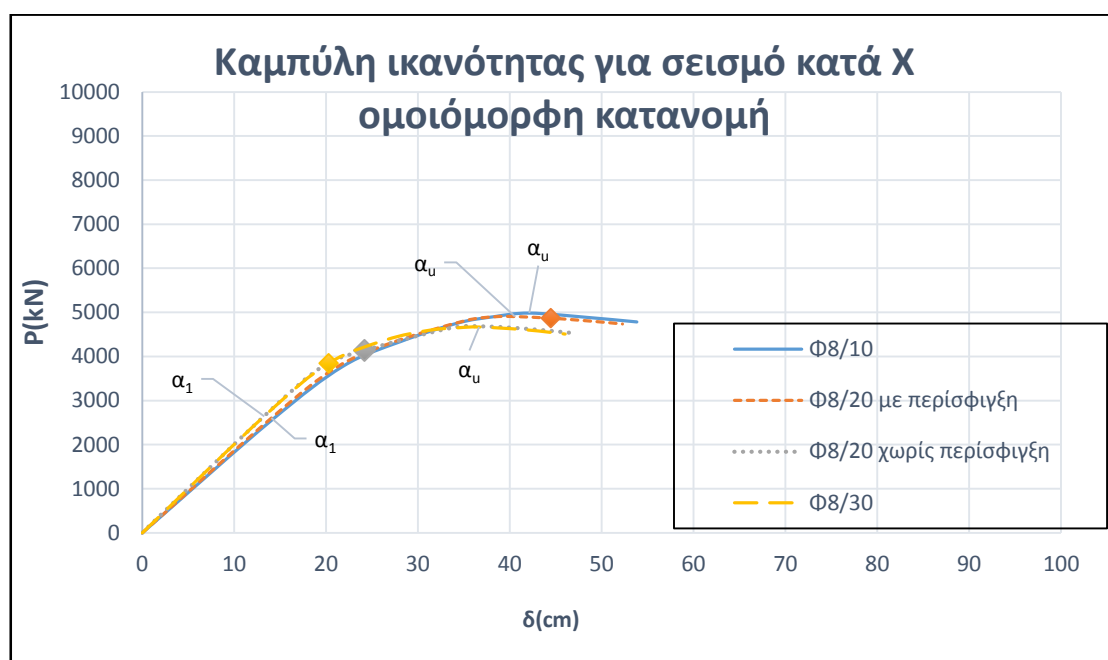
Εκτελούνται 4 διαφορετικές αποτιμήσεις Φέρουσας Ικανότητας με Pushover, με τη διαφορά να έγκειται στην απόσταση μεταξύ των συνδετήρων. Επίσης πρέπει όπως αναφέρεται και παραπάνω, να μη ληφθεί υπόψη η επίδραση της περισφιγξης σε όλες τις αναλύσεις εκτός τις περιπτώσεις για συνδετήρες Φ8/10 και Φ8/20. Αυτό γίνεται από την παράμετρο «Κτήριο» > «Pushover» > «Οπλισμός υποστυλώματος» > «Επιρροή της περισφιγξης στα διαγράμματα αντοχής» > «Όχι».

## 7.2 Ανελαστική στατική ανάλυση

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης για σεισμική δράση κατά X και Z για καθ' ύψος ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Θα γίνει σύγκριση μεταξύ των τεσσάρων περιπτώσεων εγκάρσιου οπλισμού. Οι καμπύλες ικανότητας και των τεσσάρων φορέων θα αναπαρίστανται στο ίδιο διάγραμμα για να διευκολύνεται η σύγκριση.

### Σεισμική δράση κατά X

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κτηρίου για φόρτιση σεισμού μόνο κατά τη διεύθυνση X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

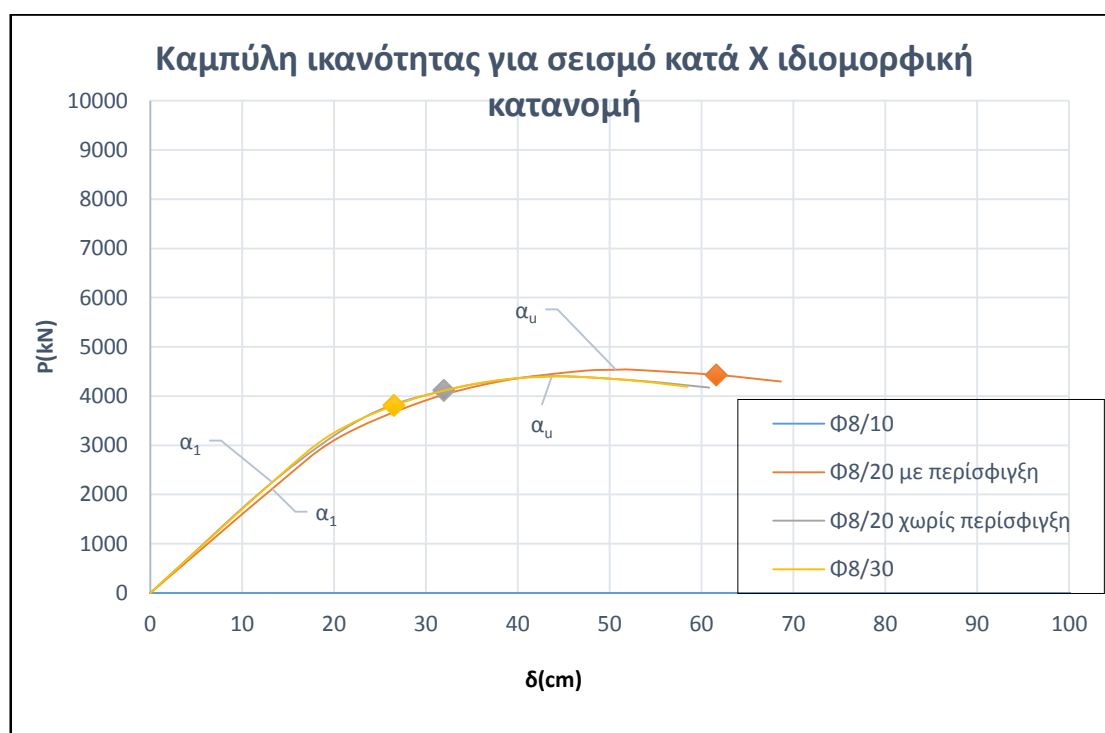


**Διάγραμμα 7.1** Καμπύλη αντίστασης φορέων για φόρτιση σεισμού μόνο κατά X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου

	Φ8/10	Φ8/20 με περίσφιγξη	Φ8/20 χωρίς περίσφιγξη	Φ8/30
$\delta y(cm)$	14,049	14,049	13,269	13,269
$Fy(kN)$	2551,31	2603,32	2643,96	2643,96
$\delta u(cm)$	42,129	40,569	37,449	36,669
$Fu(kN)$	4986,23	4904,57	4676,02	4666,12

**Πίνακας 7.1** Χαρακτηριστικές τιμές καμπυλών αντίστασης για φόρτιση σεισμού κατά X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Οι τιμές των μετακινήσεων είναι σε cm και των δυνάμεων σε kN.

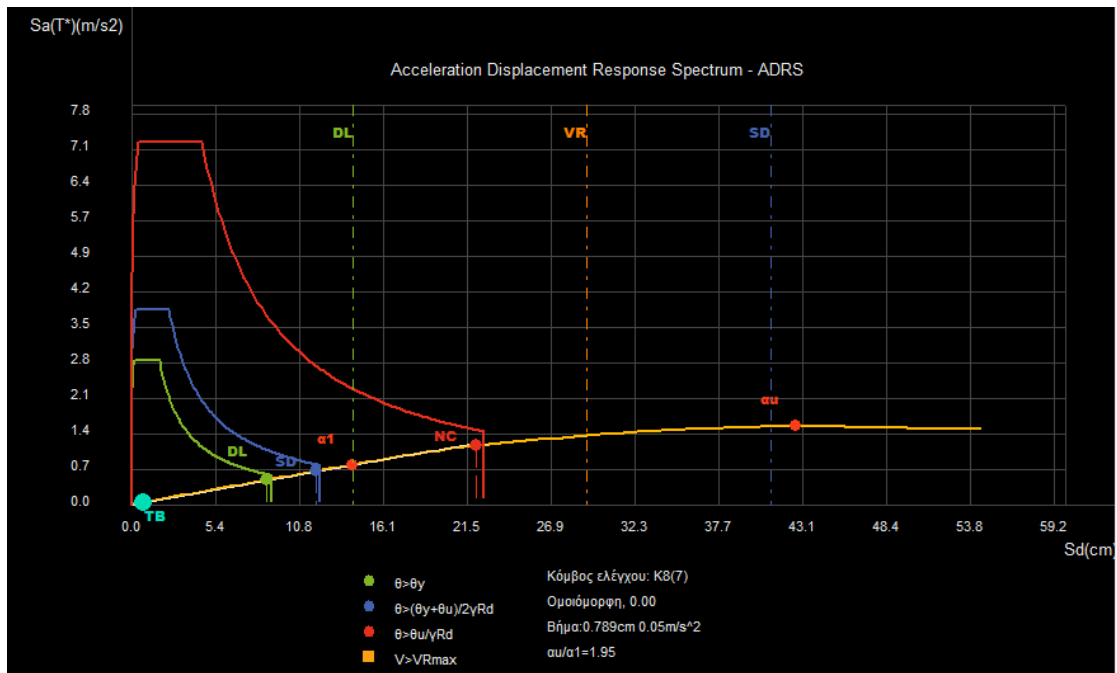
Παρατηρείται από τις καμπύλες ικανότητας ότι η αραίωση των συνδετήρων προκαλεί την πρώτη καμπτική αστοχία ενός υποστυλώματος του φορέα για μικρότερη μετακίνηση του δομήματος. Συγκεκριμένα για συνδετήρες 4τμ Φ8/10 εμφανίζεται μηχανισμός κατάρρευσης της κατασκευής χωρίς να έχει προηγηθεί καμπτική αστοχία κάποιου υποστυλώματος. Επίσης η περίσφιγξη αυξάνει την συνολική πλαστιμότητα του φορέα, καθώς και αυξάνει σε μικρό ποσοστό όμως τη συνολική τέμνουσα βάση που αναπτύσσει η κατασκευή.



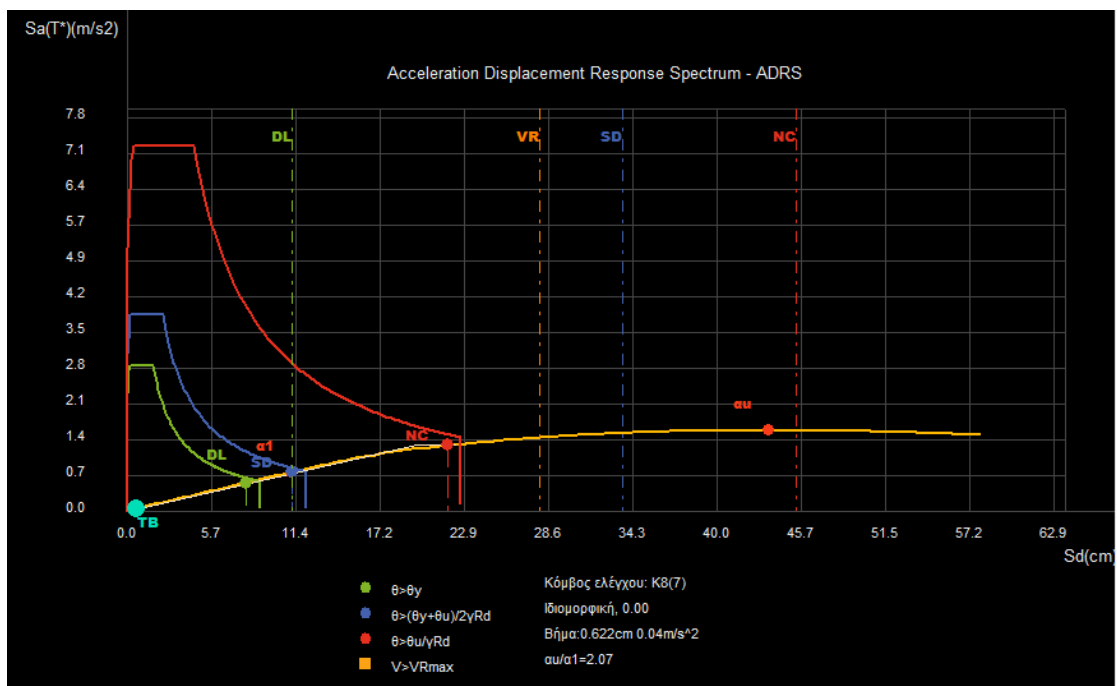
**Διάγραμμα 7.2** Καμπύλη αντίστασης φορέων για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή

	<b>Φ8/10</b>	<b>Φ8/20 με περίσφιγξη</b>	<b>Φ8/20 χωρίς περίσφιγξη</b>	<b>Φ8/30</b>
<b><math>\delta y (cm)</math></b>	14,049	13,269	13,269	13,269
<b><math>Fy (kN)</math></b>	2193,33	2113,71	2248,87	2248,87
<b><math>\delta u (cm)</math></b>	54,609	52,269	45,249	46,029
<b><math>Fu (kN)</math></b>	4533,72	4534,82	4400,66	4396,5

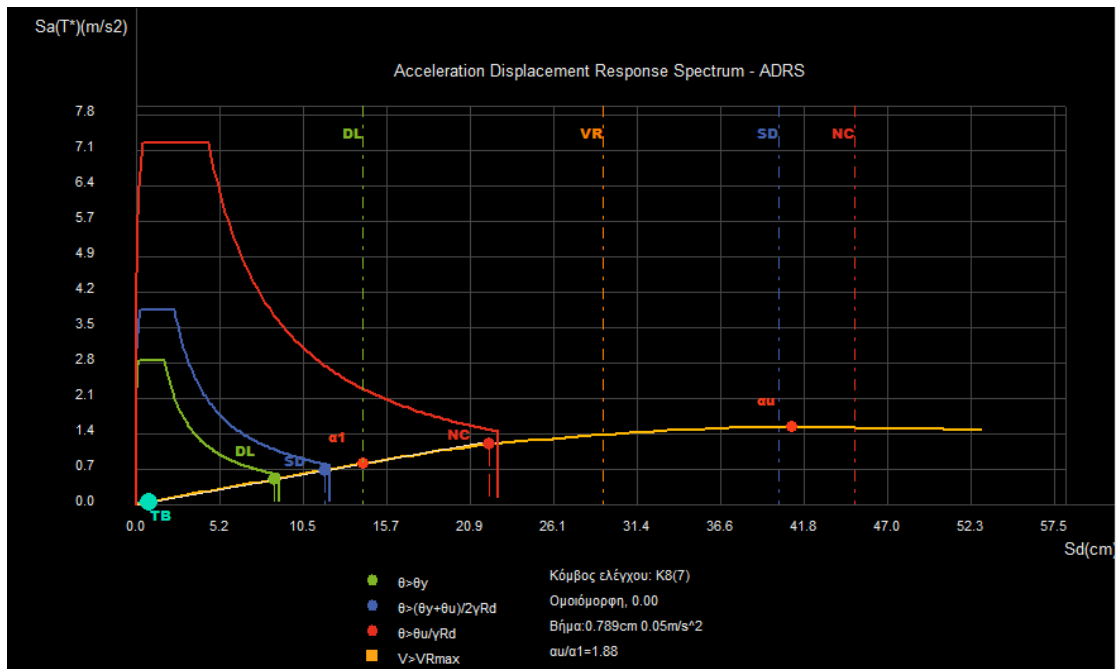
**Πίνακας 7.2** Χαρακτηριστικές τιμές καμπυλών αντίστασης για φόρτιση σεισμού κατά X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Οι τιμές των μετακινήσεων είναι σε cm και των δυνάμεων σε kN.



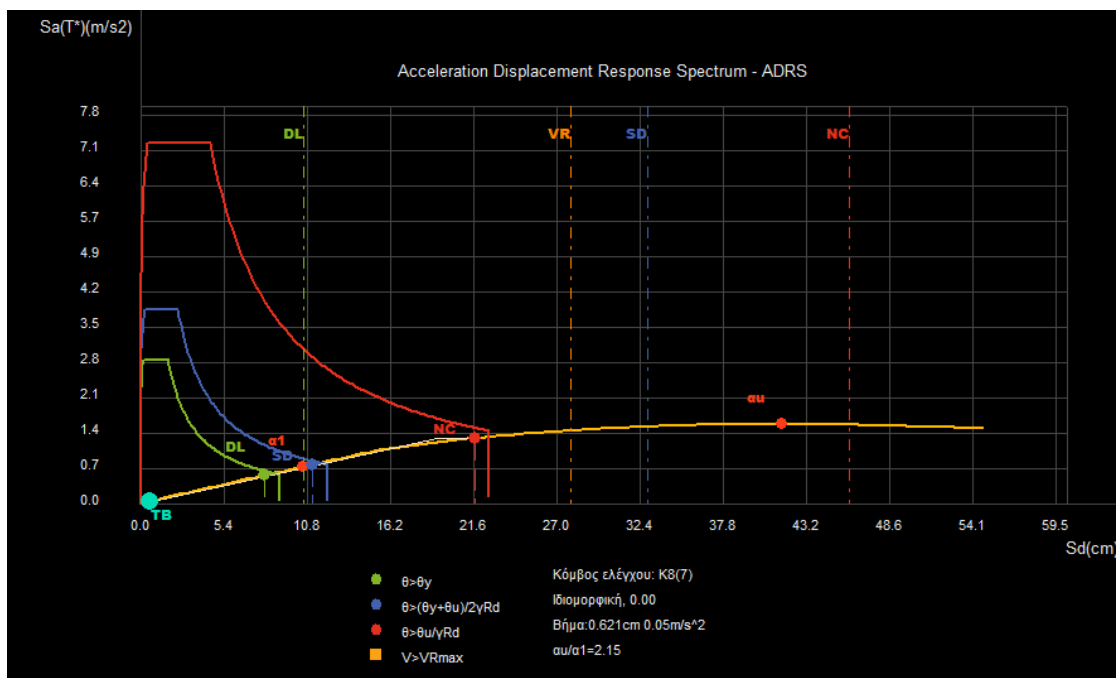
*Διάγραμμα 7.3 Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες υποστυλωμάτων 4τμ Φ8/10 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη*



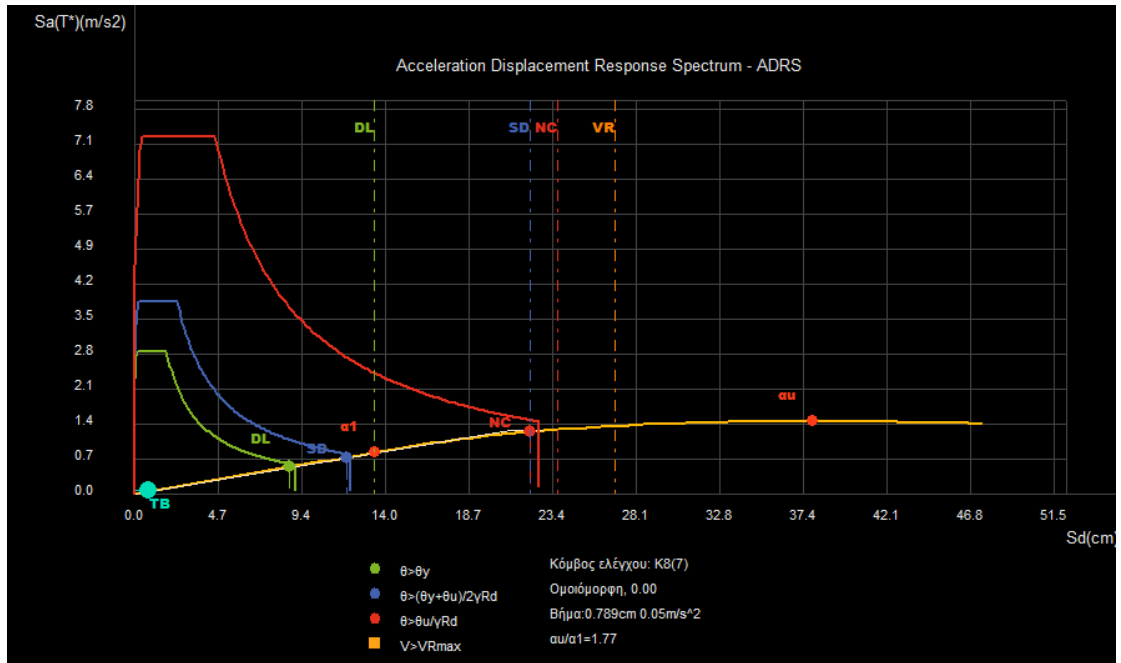
*Διάγραμμα 7.4 Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες υποστυλωμάτων 4τμ Φ8/10 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική*



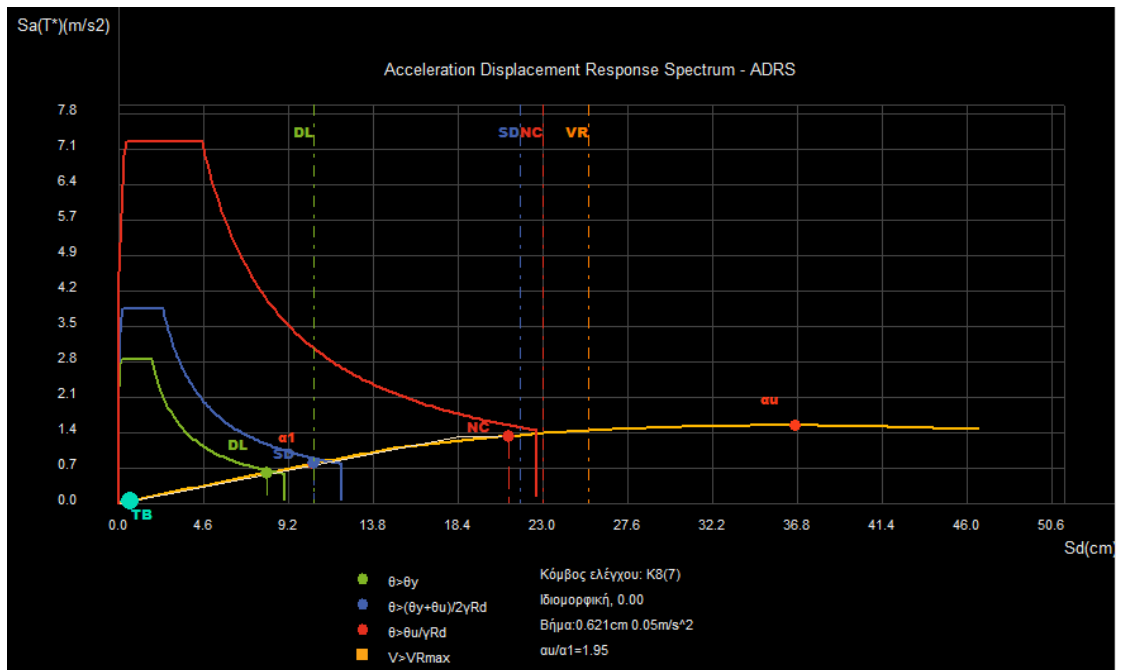
*Διάγραμμα 7.5* Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες υποστλωμάτων 4τμ Φ8/20 με επιρροή περίσφιγξης για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



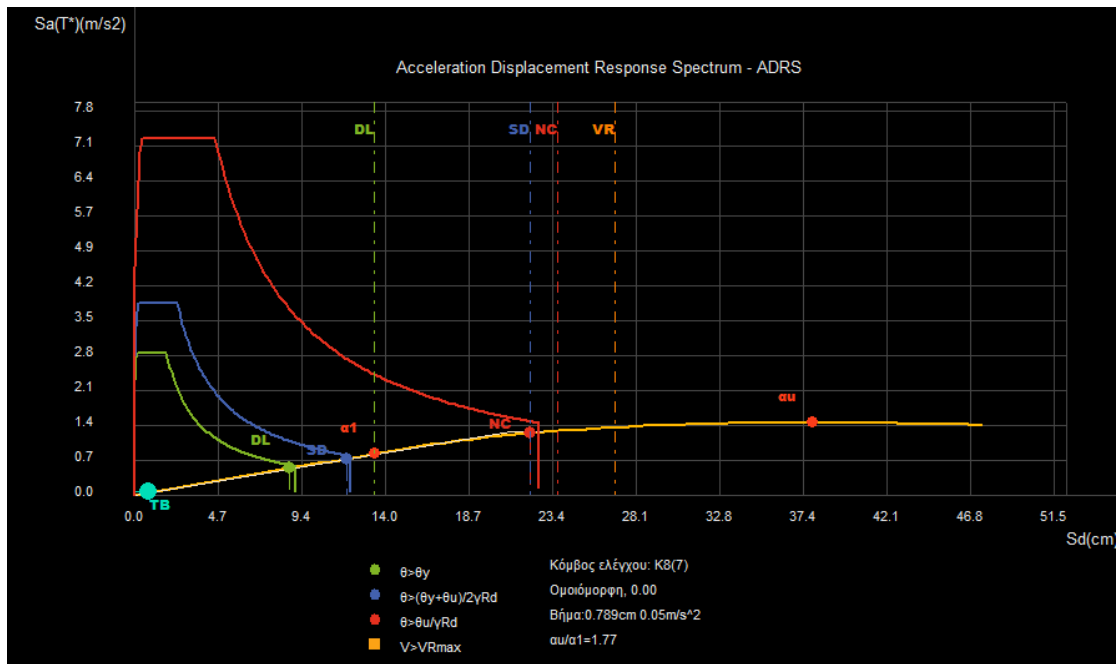
*Διάγραμμα 7.6* Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες υποστλωμάτων 4τμ Φ8/20 με επιρροή περίσφιγξης για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική



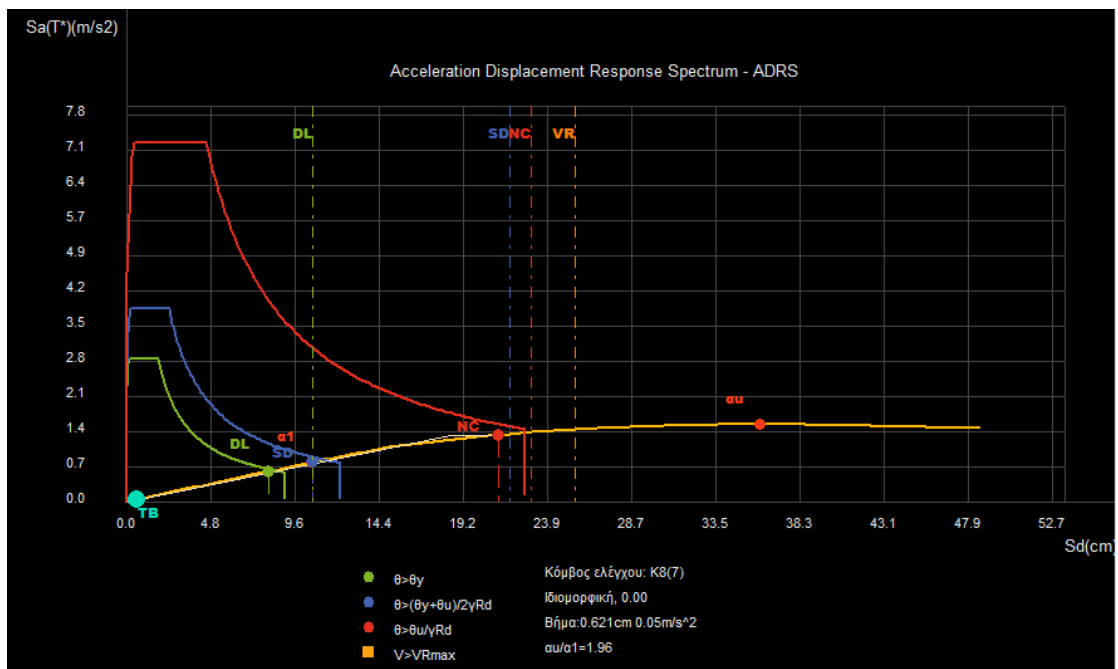
*Διάγραμμα 7.7 Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες υποστρωμάτων 4τμ Φ8/30 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη*



*Διάγραμμα 7.8 Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες υποστρωμάτων 4τμ Φ8/30 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική*

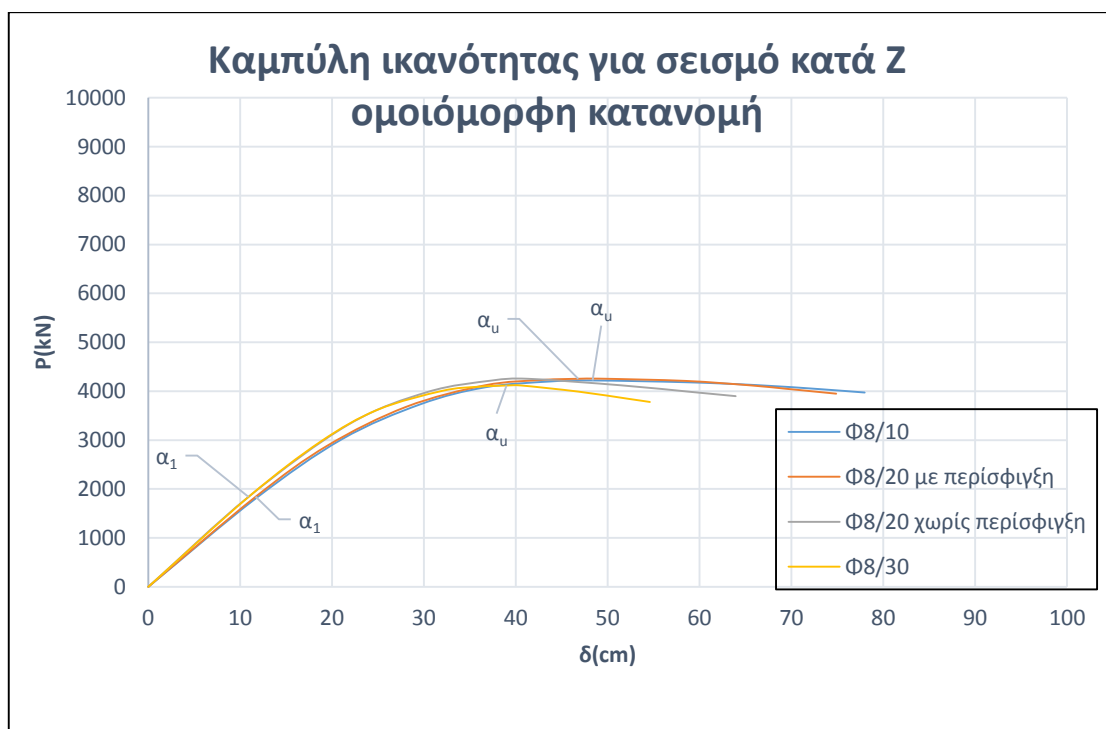


*Διάγραμμα 7.9* Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδεδητές υποστλωμάτων 4τμ Φ8/20 χωρίς επιρροή περίσφιγξης για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



*Διάγραμμα 7.10* Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδεδητές υποστλωμάτων 4τμ Φ8/20 χωρίς επιρροή περίσφιγξης για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική

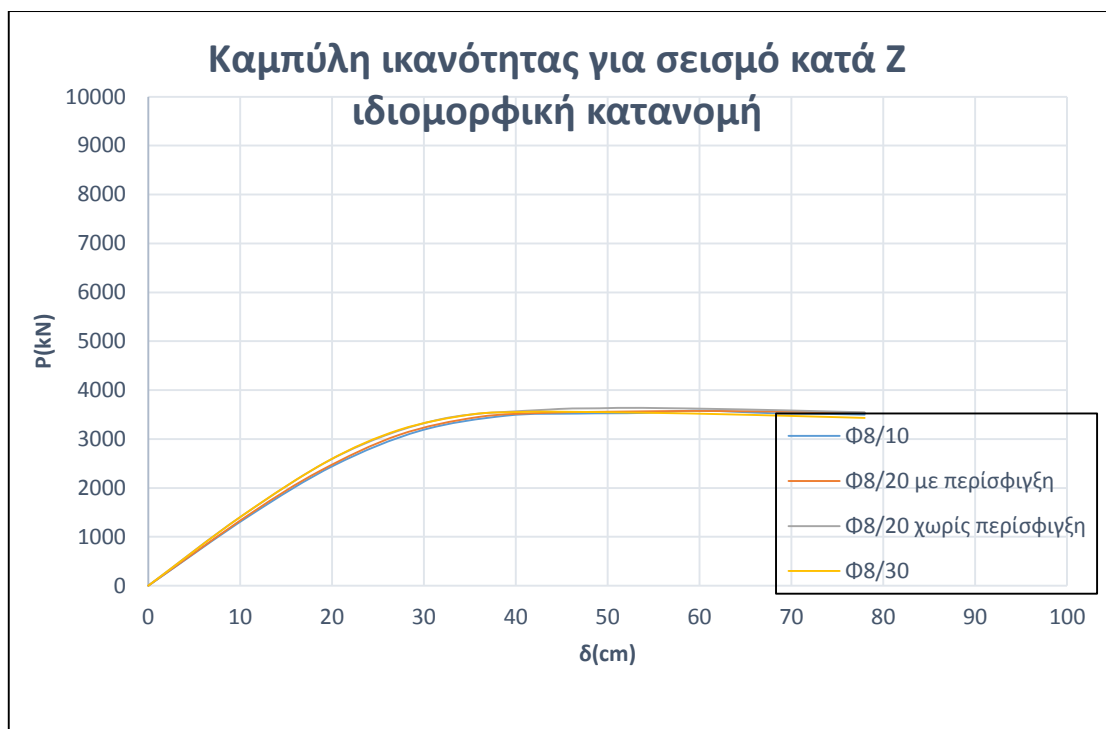




*Διάγραμμα 7.11 Καμπύλη αντίστασης φορέων για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση Z και γωνία σεισμικής δράσης 90° για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή*

	<b>Φ8/10</b>	<b>Φ8/20 με περισφιγξη</b>	<b>Φ8/20 χωρίς περισφιγξη</b>	<b>Φ8/30</b>
<b><math>\delta y(cm)</math></b>	11,693	11,693	10,913	10,913
<b><math>Fy(kN)</math></b>	1806,46	1843,08	1839,63	1839,63
<b><math>\delta u(cm)</math></b>	48,352	49,133	41,333	40,553
<b><math>Fu(kN)</math></b>	4219,54	4255,5	4251,17	4117,91

*Πίνακας 7.3 Χαρακτηριστικές τιμές καμπυλών αντίστασης για φόρτιση σεισμού κατά Z και γωνία σεισμικής δράσης 90° για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Οι τιμές των μετακινήσεων είναι σε cm και των δυνάμεων σε kN.*



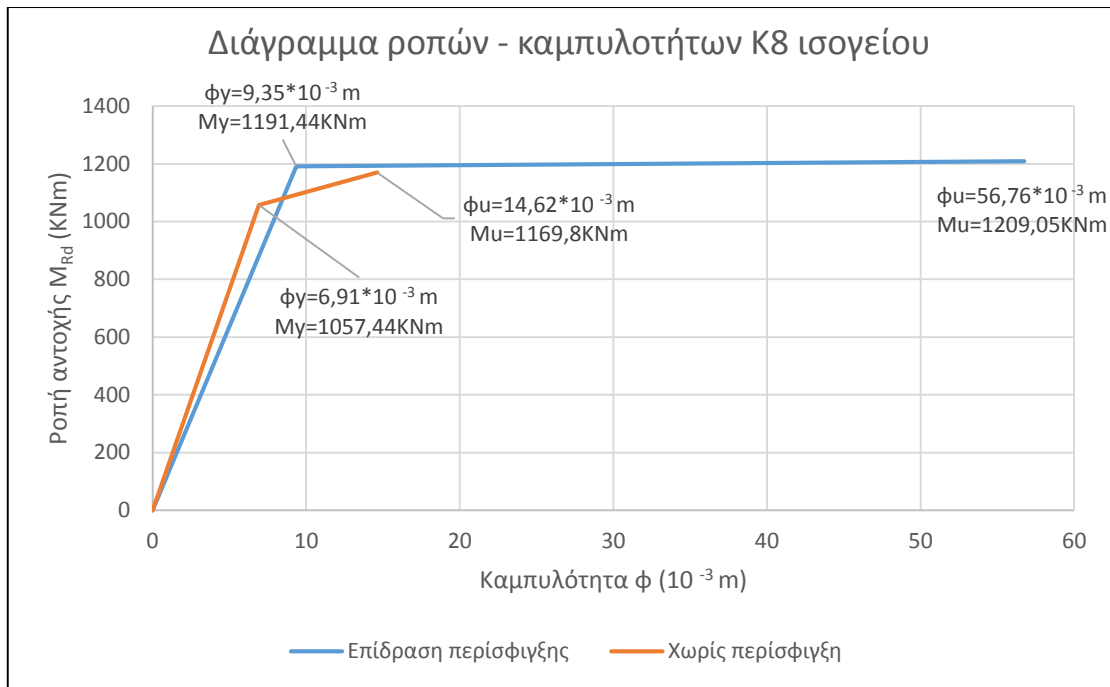
**Διάγραμμα 7.12** Καμπύλη αντίστασης φορέων για φόρτιση σεισμού μόνο κατά διεύθυνση Z και γωνία σεισμικής δράσης 90° για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή

	<b>Φ8/10</b>	<b>Φ8/20 με περίσφιγξη</b>	<b>Φ8/20 χωρίς περίσφιγξη</b>	<b>Φ8/30</b>
<b><math>\delta y</math></b>	10,913	10,913	10,133	10,133
<b><math>Fy</math></b>	1418,15	1447,16	1419,67	1419,67
<b><math>\delta u</math></b>	60,053	60,053	53,813	44,453
<b><math>Fu</math></b>	3539,67	3572,05	3637,05	3556,67

**Πίνακας 7.4** Χαρακτηριστικές τιμές καμπυλών αντίστασης για φόρτιση σεισμού κατά Z και γωνία σεισμικής δράσης 90° για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Οι τιμές των μετακινήσεων είναι σε cm και των δυνάμεων σε kN.

### 7.3 Επίδραση της περίσφιγξης

Στα υποστυλώματα και στα τοιχώματα επιλέγεται εάν η ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\epsilon_{cu}$ , η τάση του σκυροδέματος  $f_c$ , καθώς και η θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος στην τάση διαρροής  $\epsilon_{cc}$  θα προσαυξηθούν λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της περίσφιγξης. Μεγάλα περιθώρια παραμόρφωσης σκυροδέματος συνεπάγονται αυξημένη οριακή καμπυλότητα  $\phi_u$ . Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα ροπών καμπυλότητας του υποστυλώματος K8 του ισογείου με και χωρίς την επίδραση της περίσφιγξης για συνδετήρες τετράμητους Φ8/20 καθ' όλο το ύψος του.



**Διάγραμμα 7.13** Διάγραμμα ροπών – καμπυλοτήτων υποστυλώματος K8 ισογείου με και χωρίς επίδραση της περίσφιγξης για τετράμητους συνδετήρες Φ8/20 καθ' όλο το ύψος του

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα η ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\epsilon_{cu} = -11,4\%$  και η θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος στην τάση διαρροής  $\epsilon_{cc} = -3,1\%$ .

Συγκεκριμένα λόγω περίσφιγξης η καμπυλότητα διαρροής  $\phi_y$  και η οριακή καμπυλότητα αστοχίας  $\phi_u$  αυξάνονται κατά 35,31% και 288,23% αντίστοιχα. Επιπροσθέτως αύξηση παρουσιάζουν, αλλά αισθητά μικρότερη, αφού κατά κύριο λόγο οι τιμές τους εξαρτώνται από τα διαμήκη σίδερα των υποστυλωμάτων, η ροπή αντοχής στη διαρροή  $M_y$  και η ροπή αντοχής στην αστοχία  $M_u$ . Συγκεκριμένα η ροπή αντοχής στη διαρροή αυξάνεται κατά 12,6% και στην αστοχία κατά 3,3% λόγω της επιρροής του περισφιγμένου σκυροδέματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΟΚΩΝ

### 8.1 Εισαγωγή

Στο κτήριο που οπλίστηκε για ΚΠΜ θα γίνει αλλαγή του οπλισμού των δοκών. Θα τοποθετηθούν συνδετήρες σε όλες τις δοκούς όλων των ορόφων 2τμ Φ8/10, 2τμ Φ8/20 και 2τμ Φ8/30 στα άκρα τους. Θα εκτελεστεί στη συνέχεια ανελαστική στατική ανάλυση για να μελετηθεί η επίδραση της αραίωσης των συνδετήρων των δοκών στην κατασκευή.

Η αλλαγή των οπλισμών των δοκών γίνεται με τη βοήθεια των πινάκων του προγράμματος. Από τον πίνακα 414 «Δοκοί» - «Εισαγωγή οπλισμού» αλλάζουμε την «Αρχή - όπλιση διατομής» από «Διαστασιολόγηση» σε «Εισαγωγή». Στη συνέχεια αλλάζουμε τους οπλισμούς  $A_s$  των συνδετήρων των άκρων.

- Για 2τμ Φ8/10 θέτουμε  $A_{sw}/s=10,04\text{cm}^2/\text{m}$
- Για 2τμ Φ8/20 θέτουμε  $A_{sw}/s=5,02\text{cm}^2/\text{m}$
- Για 2τμ Φ8/30 θέτουμε  $A_{sw}/s=3,35\text{cm}^2/\text{m}$

Επίσης στην καρτέλα «Κτήριο» > «Υλικά - Αποτίμηση» γίνεται αλλαγή των αντοχών του σκυροδέματος και του χάλυβα για τον έλεγχο δυνάμεων και παραμορφώσεων,

414	Όνομα	Αρχή - Όπλιση διατομής	Αρχή - Διατομή άνω οπλισμού $A_{s_t}$ [cm <sup>2</sup> ]	Αρχή - Διατομή κάτω οπλισμού $A_{s_b}$ [cm <sup>2</sup> ]	Αρχή - Διατομή συνδετήρων $A_{sw}/s$ [cm <sup>2</sup> /m]	Αρχή - Διατομή λοξού οπλισμού $A_{s_d}$ [cm <sup>2</sup> ]	Αρχή - Απεικόνιση οπλισμού	Τέλος	
1	1.1	Εισαγωγή	13.85	0.00	12.72	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
2	1.2	Εισαγωγή	14.99	0.00	25.45	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
3	1.3	Εισαγωγή	14.83	3.08	25.29	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
4	1.4	Εισαγωγή	14.83	3.08	25.29	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
5	1.5	Εισαγωγή	14.99	0.00	25.45	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
6	2.1	Εισαγωγή	25.16	0.00	18.85	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
7	2.2	Εισαγωγή	14.83	6.10	22.75	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
8	2.3	Εισαγωγή	14.83	6.10	22.75	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
9	3.1	Εισαγωγή	25.16	0.00	18.85	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
10	3.2	Εισαγωγή	14.83	6.10	22.75	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
11	3.3	Εισαγωγή	14.83	6.10	22.75	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
12	4.1	Εισαγωγή	13.85	0.00	12.72	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
13	4.2	Εισαγωγή	14.99	0.00	25.45	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
14	4.3	Εισαγωγή	14.83	3.08	25.29	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ
15	4.4	Εισαγωγή	14.83	3.08	25.29	5.02	0.00	Τεμάκια & διάμετροι (η*Φ)	Εισ

Σχήμα 8.1 Πίνακας 414 του FESPA - Εισαγωγή οπλισμού δοκών

ώστε να είναι ίδιες οι τιμές των αντοχών των υλικών με αυτές που θα είχαν τα υλικά εάν το κτήριο θεωρούνταν νέο. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο για να γίνει αλλαγή των οπλισμών το κτήριο πρέπει να δηλωθεί ως «Υφιστάμενο».

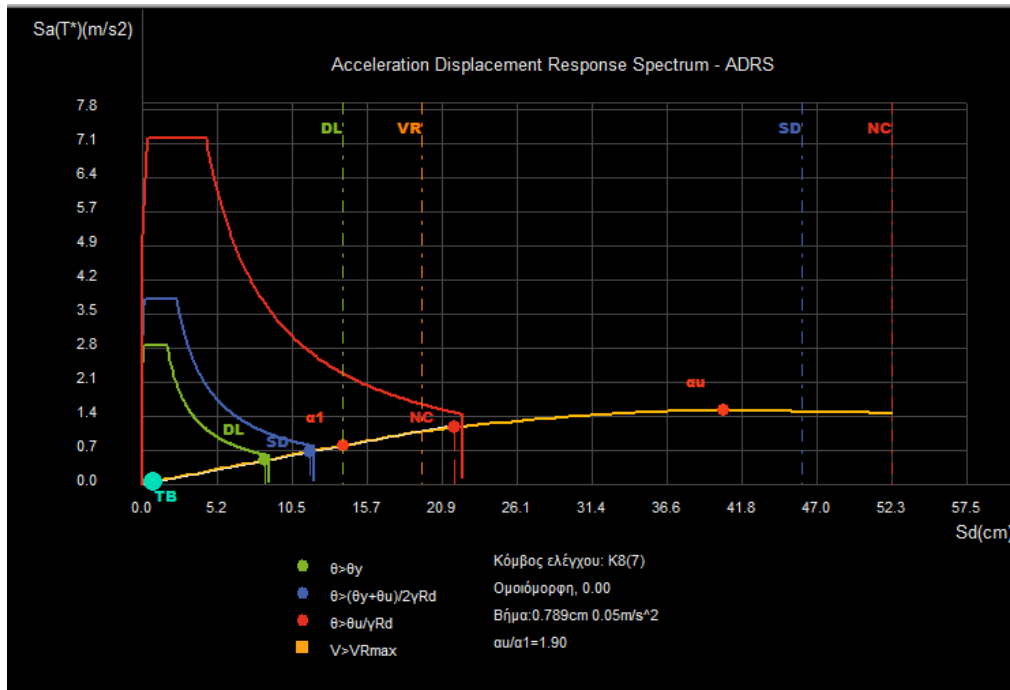
Αντοχές για έλεγχο Παραμορφώσεων (Νέα υλικά)		
Αντοχή σκυροδέματος $f_{c\_th}=f_{ck}$ [MPa]	?	25.00
Αντοχή χάλυβα διαμήκη οπλισμού $f_{y\_th}=f_{yk}$ [MPa]	?	500.0
Αντοχή χάλυβα συνδετήρων (περίσφιγξη) $f_{yw\_cn}=f_{ywk}$ [MPa]	?	500.0
Αντοχές για έλεγχο Παραμορφώσεων (Υφιστάμενα υλικά)		
Αντοχή σκυροδέματος $f_{c\_th}=f_{cm}/CF_s$ [MPa]	?	25.00
Αντοχή χάλυβα διαμήκη οπλισμού, $f_{y\_th}=f_{ym}/CF_s$ [MPa]	?	500.0
Αντοχή χάλυβα συνδετήρων (περίσφιγξη) $f_{yw\_ce}=f_{yw}/CF_s$ [MPa]	?	500.0
Αντοχές για έλεγχο Δυνάμεων (Νέα υλικά - Κύρια μέλη)		
Αντοχή σκυροδέματος $f_{c\_Fpn}=f_{ck}/\gamma_s$ [MPa]	?	16.67
Αντοχή χάλυβα διαμήκη & λοξού οπλ. $f_{y\_Fpn}=f_{yk}/\gamma_s$ [MPa]	?	434.8
Αντοχή χάλυβα συνδετήρων $f_{yw\_Fpn}=f_{ywk}/\gamma_s$ [MPa]	?	434.8
Αντοχές για έλεγχο Δυνάμεων (Υφιστάμενα υλικά - Κύρια μέλη)		
Αντοχή σκυροδέματος $f_{c\_Fre}=f_{cm}/(CF_s \cdot \gamma^*s)$ [MPa]	?	16.67
Αντοχή χάλυβα διαμήκη & λοξού οπλ. $f_{y\_Fre}=f_{ym}/(CF_s \cdot \gamma^*s)$ [MPa]	?	434.8
Αντοχή χάλυβα συνδετήρων $f_{yw\_Fre}=f_{yw}/(CF_s \cdot \gamma^*s)$ [MPa]	?	434.8
Αντοχές για έλεγχο Δυνάμεων (Νέα υλικά - Δευτερεύοντα μέλη)		

**Σχήμα 8.2** Καρτέλα «Κτήριο» - «Υλικά – Αποτίμηση». Φαίνονται πως οι τιμές που έχουν δοθεί στα υφιστάμενα υλικά είναι ίδιες με τις τιμές που θα είχαν τα υλικά εάν ήταν νέα

## 8.2 Ανελαστική στατική ανάλυση

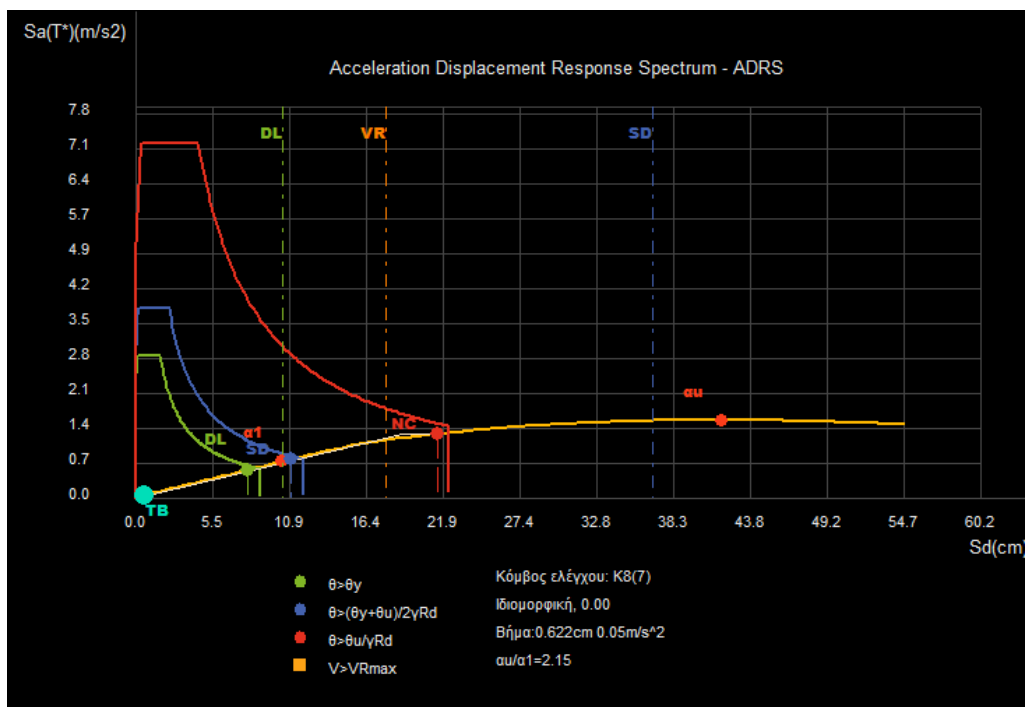
### 8.2.1 Διαγράμματα απαίτησης ικανότητας

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης για σεισμική δράση κατά X και Z για καθ' ύψος ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Θα γίνει σύγκριση μεταξύ των τριών περιπτώσεων εγκάρσιου (διατμητικού) οπλισμού. Οι καμπύλες ικανότητας και των τριών φορέων θα αναπαρίστανται στο ίδιο διάγραμμα για να διευκολύνεται η σύγκριση. Στα διαγράμματα θα απεικονίζεται και η καμπύλη ικανότητας του κτηρίου για ΚΠΜ χωρίς αλλαγές οπλισμών.



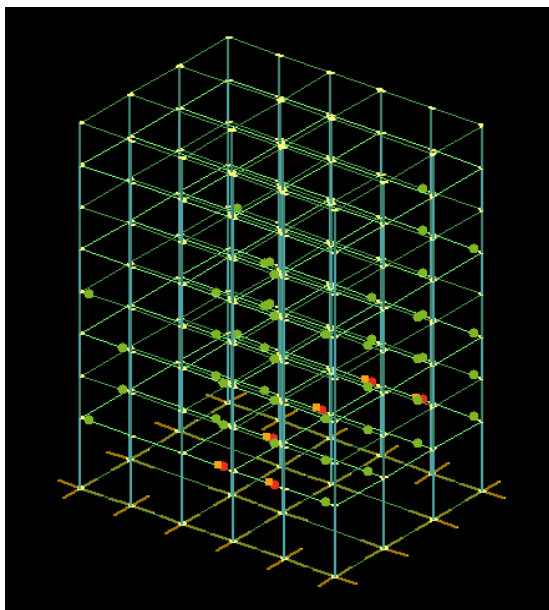
**Διάγραμμα 8.1** Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες δοκών 2τμ Φ8/20 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.

Παρατηρείται διατμητική αστοχία των δοκών 2.2 και 3.2 του ισογείου για μετακίνηση 19,509cm. Δεν ικανοποιείται η στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC) που ισούται με 21,849cm.

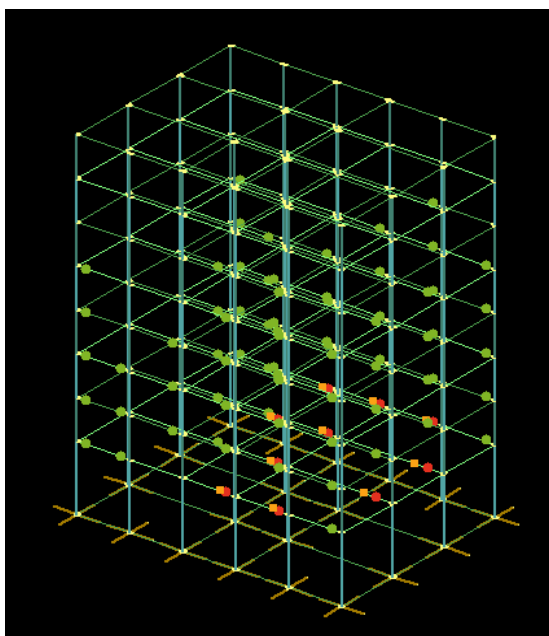


**Διάγραμμα 8.2** Διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες δοκών 2τμ Φ8/20 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

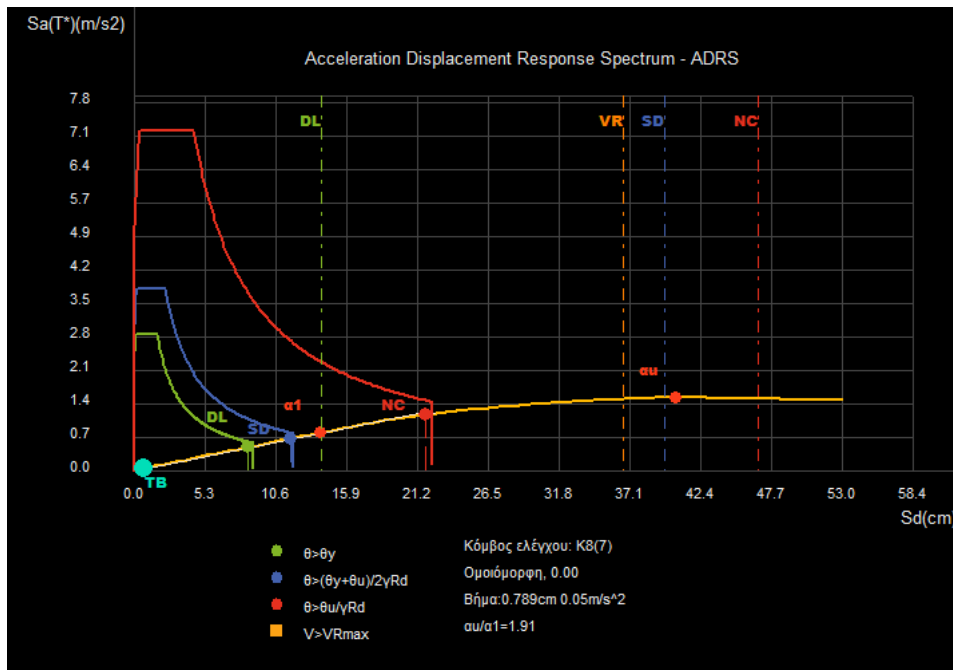
Παρατηρείται διατμητική αστοχία της δοκού 2.2 και 3.2 του ισογείου για μετακίνηση ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος 17,635cm. Δεν ικανοποιείται η στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευσης (NC) που ισούται με 21,523cm.



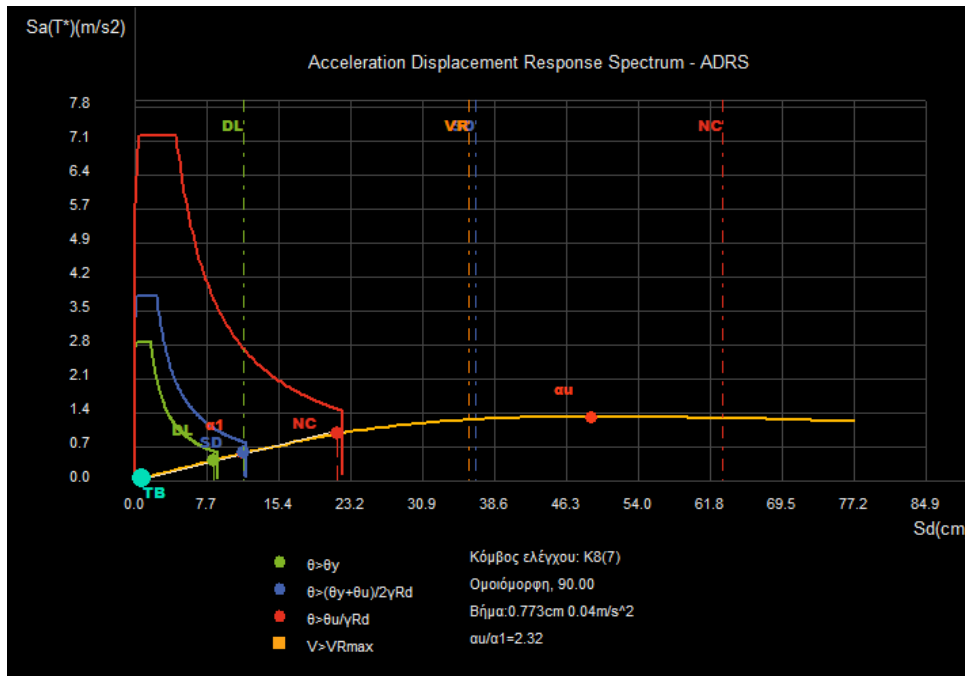
**Σχήμα 8.3** Φορέας με συνδετήρες 2τμ Φ8/20 για σεισμική δράση κατά  $X$  και διεύθυνση δύναμης  $0^\circ$  για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου καθ' ύψος για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Σημεία με πράσινο χρώμα απεικονίζουν τις πλαστικές αρθρώσεις, ενώ με κόκκινο και κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι διατμητικές αστοχίες.



**Σχήμα 8.4** Φορέας με συνδετήρες 2τμ Φ8/20 για σεισμική δράση κατά  $X$  και διεύθυνση δύναμης  $0^\circ$  για ιδιομορφική κατανομή φορτίου καθ' ύψος για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Σημεία με πράσινο χρώμα απεικονίζουν τις πλαστικές αρθρώσεις, ενώ με κόκκινο και κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι διατμητικές αστοχίες.



**Διάγραμμα 8.3** Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες δοκών 2τμ Φ8/10 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.

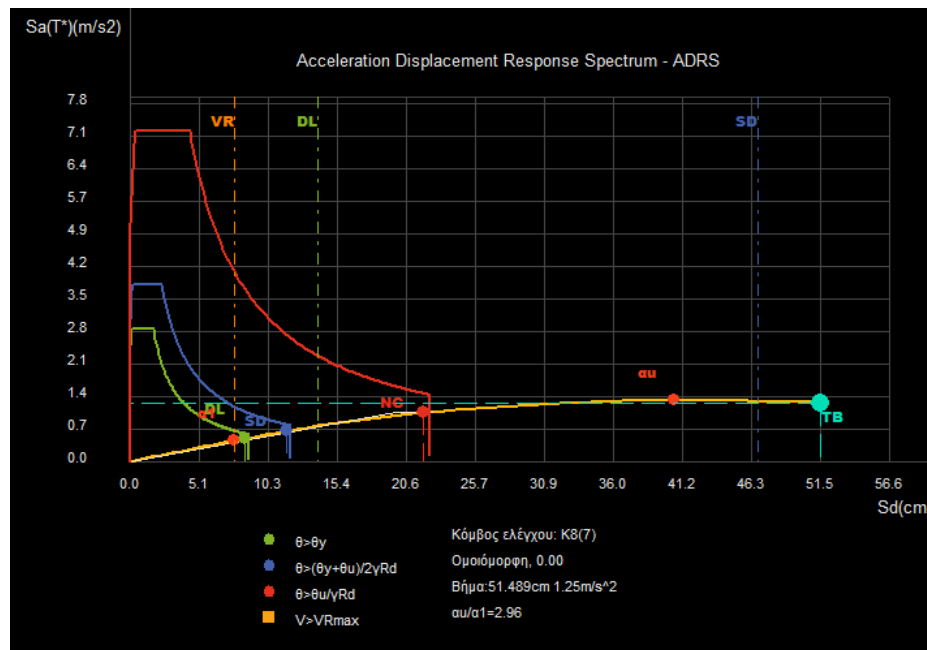


**Διάγραμμα 8.4** Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες δοκών 2τμ Φ8/10 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική

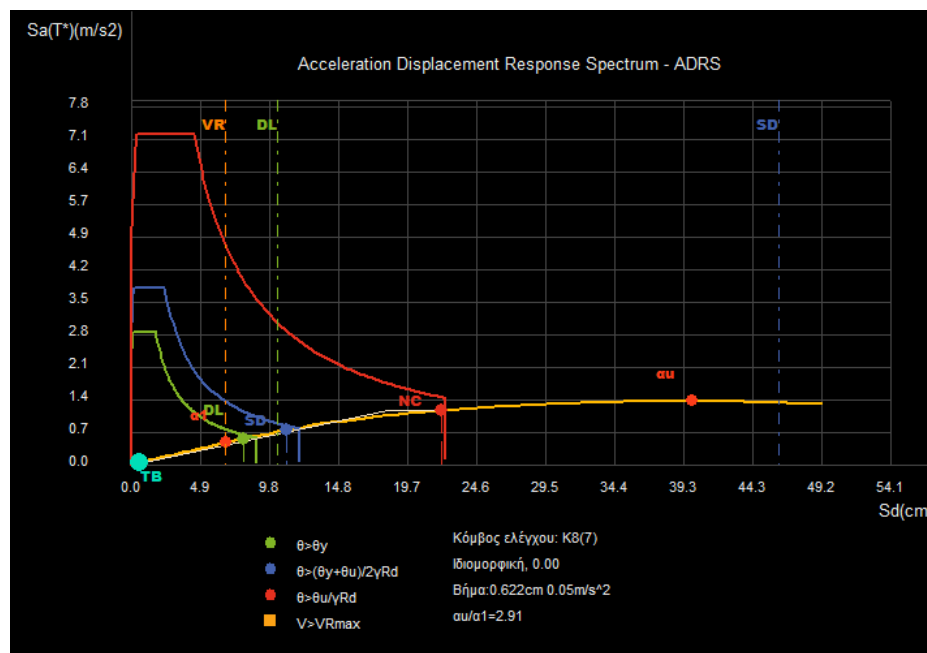
Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι δεν υπάρχει καμία υπέρβαση στοχευόμενης μετακίνησης για καμία από τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας του φορέα. Επίσης



για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης κανένα μέλος δεν έχει αστοχήσει λόγω διάτμησης.



**Διάγραμμα 8.5** Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες δοκών 2τμ Φ8/30 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη

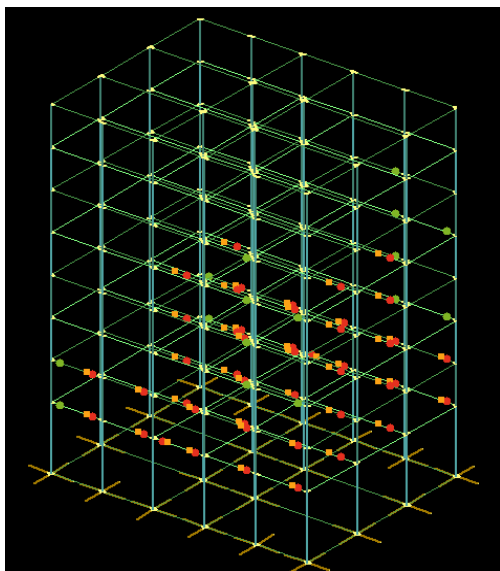


**Διάγραμμα 8.6** Διάγραμμα Απαιτήσης – Ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με συνδετήρες δοκών 2τμ Φ8/30 για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική

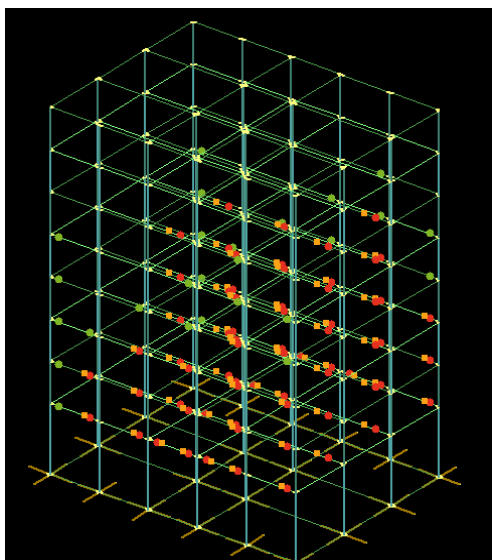
Για 2τμ Φ8/30 συνδετήρες σε όλες τις δοκούς όλων των ορόφων παρατηρείται διατμητική αστοχία σε πολύ μικρή μετακίνηση. Από το διάγραμμα απαιτήσης-ικανότητας έχουμε ότι η στοχευόμενη μετακίνηση για την στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης είναι 21,849cm για ομοιόμορφη κατανομή φορτίων και

21,138cm για ιδιομορφική κατανομή φορτίων. Με βάση το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα οι δοκοί 2.3 και 3.3 της οροφής του ισογείου αστοχούν λόγω διάτμησης για  $\delta=8,589\text{cm}$  και  $\delta=6,770\text{cm}$  για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή αντίστοιχα.

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες/σχήματα με τις αστοχίες και τις πλαστικές αρθρώσεις του φορέα για την στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC).



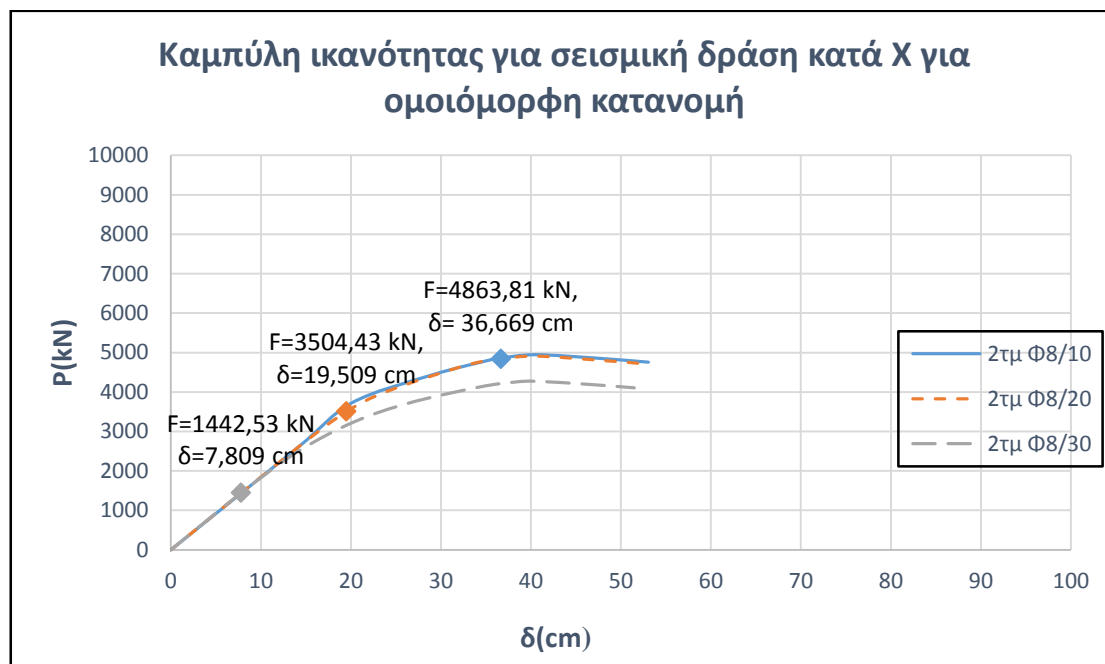
**Σχήμα 8.5** Φορέας με συνδετήρες 2τμ Φ8/30 για σεισμική δράση κατά  $X$  και διεύθυνση δύναμης  $0^\circ$  για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου καθ' ύψος για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Σημεία με πράσινο χρώμα απεικονίζουν τις πλαστικές αρθρώσεις, ενώ με κόκκινο και κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι διατμητικές αστοχίες.



**Σχήμα 8.6** Φορέας με συνδετήρες 2τμ Φ8/30 για σεισμική δράση κατά  $X$  και διεύθυνση δύναμης  $0^\circ$  για ιδιομορφική κατανομή φορτίου καθ' ύψος για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Σημεία με πράσινο χρώμα απεικονίζουν τις πλαστικές αρθρώσεις, ενώ με κόκκινο και κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι διατμητικές αστοχίες.

## 8.2.2 Καμπύλη αντίστασης κατασκευής

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν μόνο τα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης κατά  $X$ , καθώς όπως έχει παρατηρηθεί σε προηγούμενες αναλύσεις λόγω της κανονικότητας του κτηρίου σε κάτοψη και της συμμετρίας όλων των δομικών στοιχείων ως προς τους άξονες  $X$  και  $Z$  τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον.



**Διάγραμμα 8.7** Καμπύλη αντίστασης φορέων για φόρτιση σεισμού μόνο κατά  $X$  και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Τα σημεία που απεικονίζονται στην καμπύλη είναι τα σημεία στα οποία συμβαίνει η πρώτη διατμητική αστοχία σε κάθε έναν από τους τρεις φορείς.

	2tm Φ8/10	2tm Φ8/20	2tm Φ8/30
$\delta y$ (cm)	14,049	14,049	7,809
$Fy$ (kN)	2585,56	2585,56	1442,53
$\delta u$ (cm)	40,569	40,569	40,569
$Fu$ (kN)	4946,54	4911,43	4271,83

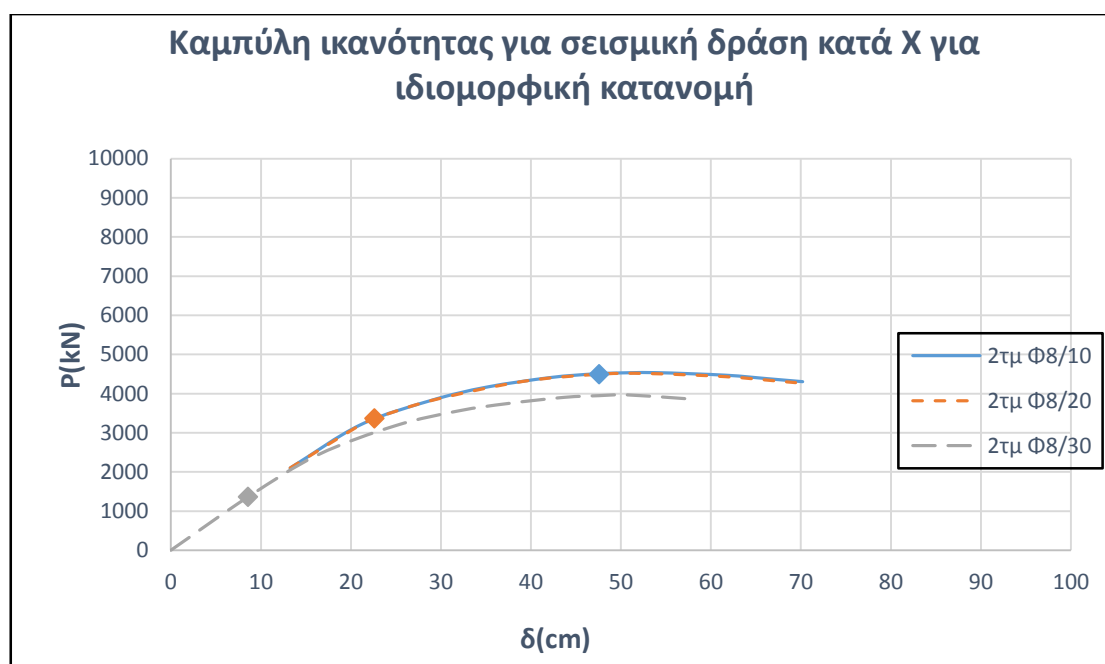
**Πίνακας 8.1** Χαρακτηριστικές τιμές καμπυλών αντίστασης για σεισμική δράση κατά  $X$  και ομοιόμορφη κατανομή

Από την αραίωση των συνδετήρων από 2tm Φ8/20 σε 2tm Φ8/30 παρατηρείται μείωση της δύναμης για την οποία εμφανίζεται η πρώτη διατμητική αστοχία στο φορέα κατά 58,84%, ενώ για τη αραίωση από 2tm Φ8/10 σε 2tm Φ8/20 παρατηρείται μείωση κατά 37,20%. Αντίστοιχα η μετακίνηση για την οποία έχουμε την πρώτη διατμητική αστοχία μειώνεται κατά 46,79% και κατά 59,97% στη πρώτη και δεύτερη περίπτωση.

Οι καμπύλες για τους φορείς με συνδετήρες 2τμ Φ8/10 και 2τμ Φ8/20 είναι περίπου οι ίδιες διότι το πρόγραμμα FESPA αντιμετωπίζει την εμφάνιση διατμητικής αστοχίας σαν την εμφάνιση μιας πλαστικής άρθρωσης, συνεχίζει την Pushover απλώς δεν λαμβάνει υπόψη τη δυσκαμψία του μέλους που αστόχησε στους υπόλοιπους υπολογισμούς.

Επίσης για τους φορείς με 2τμ Φ8/20 και Φ8/30 η πρώτη διατμητική αστοχία εμφανίζεται στις δοκούς 2.2 και 3.2 της οροφής του ισογείου, ενώ για τον φορέα με 2τμ Φ8/10 η πρώτη διατμητική αστοχία εμφανίζεται στις δοκούς 1.5 και 4.5 της οροφής του ισογείου.

Επίσης για το φορέα με 2τμ Φ8/30 η διατμητική αστοχία είναι ταυτόχρονα και το σημείο διαρροής του πρώτου μέλους του φορέα.



**Διάγραμμα 8.8** Καμπύλη αντίστασης φορέων για φόρτιση σεισμού μόνο κατά X και γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Τα σημεία που απεικονίζονται στην καμπύλη είναι τα σημεία στα οποία συμβαίνει η πρώτη διατμητική αστοχία σε κάθε έναν από τους τρεις φορείς.

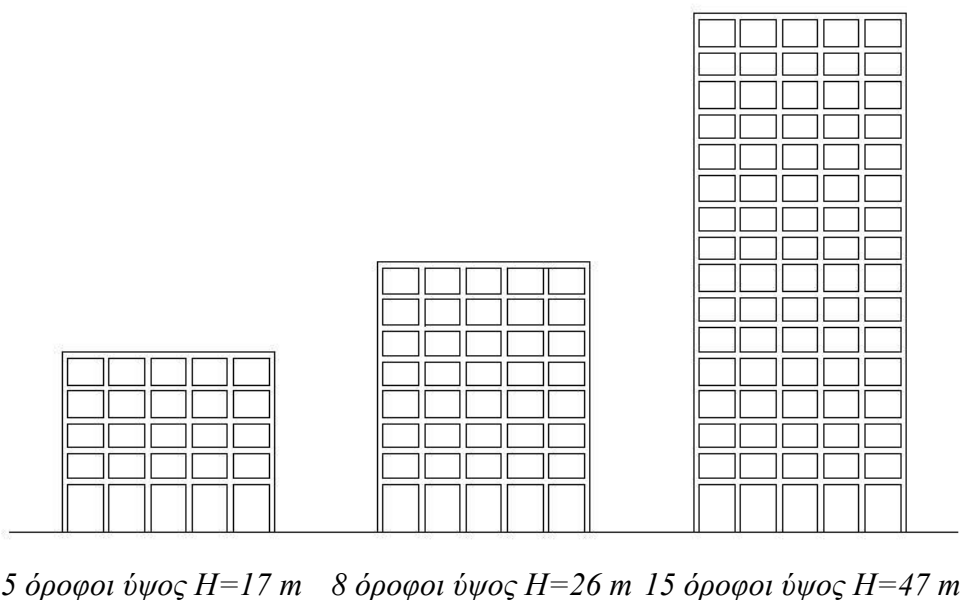
	2τμ Φ8/10	2τμ Φ8/20	2τμ Φ8/30
$\delta y(cm)$	13,269	13,269	8,589
$Fy(kN)$	2101,41	2101,41	1363,74
$\delta u(cm)$	53,829	53,049	50,709
$Fu(kN)$	4537,96	4513,18	3970,96

**Πίνακας 8.2** Χαρακτηριστικές τιμές καμπυλών αντίστασης για σεισμική δράση κατά X και ιδιομορφική κατανομή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΡΟΦΟΥ

### 9.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει σύγκριση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτηρίου, όταν έχει πέντε (5) ορόφους, οκτώ (8) ορόφους και δεκαπέντε (15) ορόφους. Η διαστασιολόγηση και όπλιση των φορέων θα γίνει για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ) και συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  ίδιο και στις δύο διευθύνσεις  $X$  και  $Z$  με τιμή  $q_x=q_z=4.50$ , η οποία θα επαληθεύεται από ανελαστική στατική ανάλυση. Τα φασματικά δεδομένα παραμένουν ίδια με τις προηγούμενες επιλύσεις.



Σχήμα 9.1 Όψη τριών (3) υπό μελέτη κτηρίων

## 9.2 Κατασκευή πέντε (5) ορόφων

### 9.2.1 Επίλυση και όπλιση κτηρίου

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>K1</b>	50/50	8Φ20	Φ8/16
<b>K2</b>	55/55	8Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K3</b>	55/55	10Φ20+4Φ18	Φ8/14
<b>K4</b>	55/55	10Φ20+4Φ18	Φ8/14
<b>K5</b>	55/55	8Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K6</b>	55/55	8Φ20	Φ8/16
<b>K7</b>	55/55	16Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K8</b>	60/60	18Φ18	Φ8/14
<b>K9</b>	60/60	18Φ18	Φ8/14
<b>K10</b>	55/55	16Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K11</b>	55/55	16Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K12</b>	60/60	18φ18	Φ8/14
<b>K13</b>	60/60	18φ18	Φ8/14
<b>K14</b>	55/55	16Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K15</b>	50/50	8Φ20	Φ8/16
<b>K16</b>	55/55	8Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K17</b>	55/55	18φ18	Φ8/14
<b>K18</b>	55/55	18φ18	Φ8/14
<b>K19</b>	55/55	8Φ20+6Φ18	Φ8/14
<b>K20</b>	50/50	8Φ20	Φ8/16

*Πίνακας 9.1 Οπλισμοί και διαστάσεις υποστυλωμάτων ισογείου 5ορόφου κτηρίου όπως προέκυψαν από τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA*

<b>ΔΟΚΟΣ</b>	<b>ΘΕΣΗ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( L )</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( R )</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>Δ1.1</b>	Άνω	5Φ16	4Φ16+2Φ12	Φ8/13
	Κάτω	4Φ18	8Φ18	
<b>Δ1.2</b>	Άνω	4Φ16+2Φ12	2Φ12+4Φ16	Φ8/10
	Κάτω	8Φ18	8Φ18	
<b>Δ1.3</b>	Άνω	2Φ12+4Φ16	2Φ12+4Φ16	Φ8/13
	Κάτω	8Φ18	8Φ18	
<b>Δ1.4</b>	Άνω	4Φ16+2Φ12	2Φ12+4Φ16	Φ8/10
	Κάτω	8Φ18	8Φ18	
<b>Δ1.5</b>	Άνω	2Φ12+4Φ16	5Φ16	Φ8/13

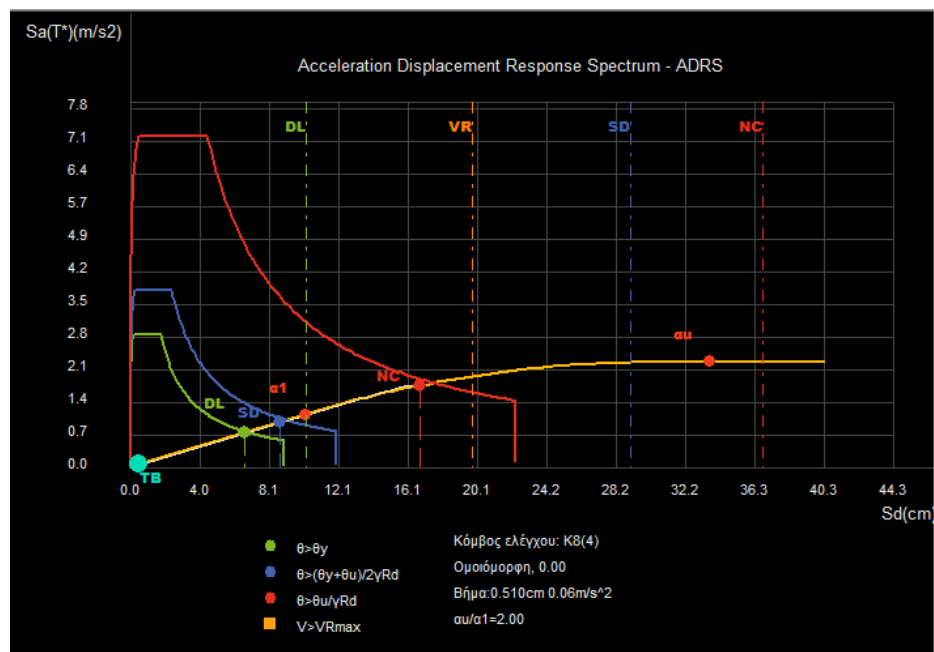
	Κάτω	8Φ18	4Φ18	
Δ2.1	Άνω	2Φ12+7Φ18	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+1Φ18	4Φ20+4Φ16	
Δ2.2	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/13
	Κάτω	4Φ20+4Φ16	4Φ16+4Φ20	
Δ2.3	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+7Φ18	Φ8/10
	Κάτω	4Φ16+4Φ20	4Φ20+1Φ18	
Δ3.1	Άνω	2Φ12+7Φ18	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+1Φ18	4Φ20+4Φ16	
Δ3.2	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/13
	Κάτω	4Φ20+4Φ16	4Φ16+4Φ20	
Δ3.3	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+7Φ18	Φ8/10
	Κάτω	4Φ16+4Φ20	4Φ20+1Φ18	
Δ4.1	Άνω	5Φ16	4Φ16+2Φ12	Φ8/13
	Κάτω	4Φ18	8Φ18	
Δ4.2	Άνω	4Φ16+2Φ12	2Φ12+4Φ16	Φ8/10
	Κάτω	8Φ18	8Φ18	
Δ4.3	Άνω	2Φ12+4Φ16	2Φ12+4Φ16	Φ8/13
	Κάτω	8Φ18	8Φ18	
Δ4.4	Άνω	4Φ16+2Φ12	2Φ12+4Φ16	Φ8/10
	Κάτω	8Φ18	8Φ18	
Δ4.5	Άνω	2Φ12+4Φ16	5Φ16	Φ8/13
	Κάτω	8Φ18	4Φ18	
Δ5.1	Άνω	4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
Δ5.2	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
Δ5.3	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20	Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
Δ6.1	Άνω	5Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
Δ6.2	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
Δ6.3	Άνω	2Φ12+4Φ20	40Φ20+1Φ12	Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
Δ7.1	Άνω	5Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
Δ7.2	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
Δ7.3	Άνω	2Φ12+4Φ20	40Φ20+1Φ12	Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
Δ8.1	Άνω	4Φ20	4Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
Δ8.2	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	Φ8/10

	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
Δ8.3	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20	Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	

**Πίνακας 9.2** Οπλισμοί δοκών ορόφου ισογείου για το 5όροφο μετά τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA. Ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό L αναφέρεται στο αριστερό άκρο της δοκού, ενώ ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό R αναφέρεται στο δεξί. Οι συνδετήρες αναφέρονται στα άκρα των δοκών.

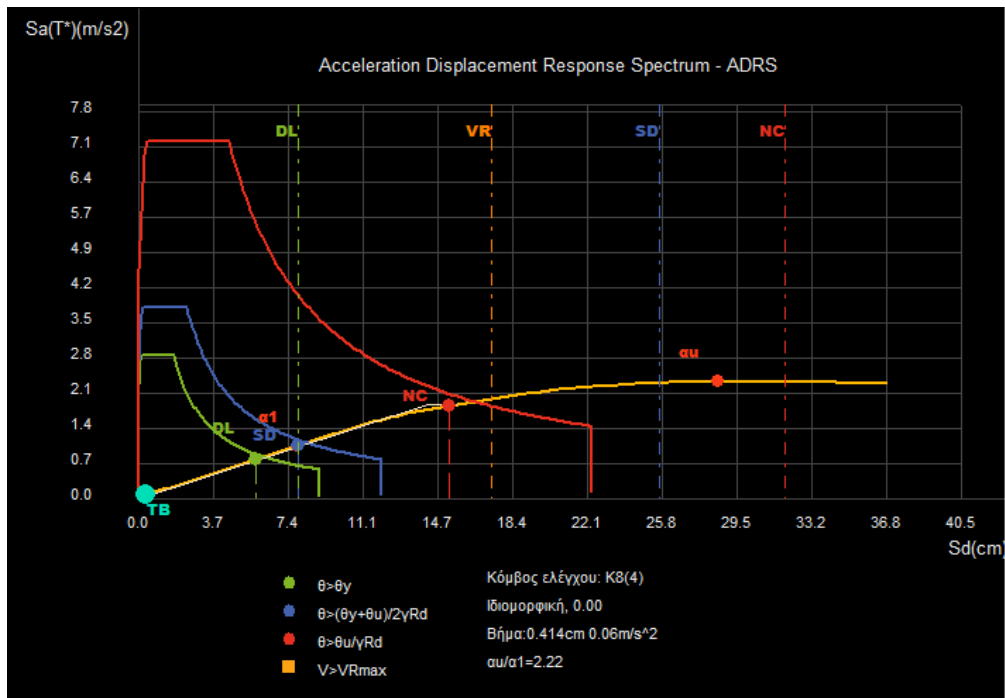
## 9.2.2 Ανελαστική στατική ανάλυση

Σεισμική δράση κατά X



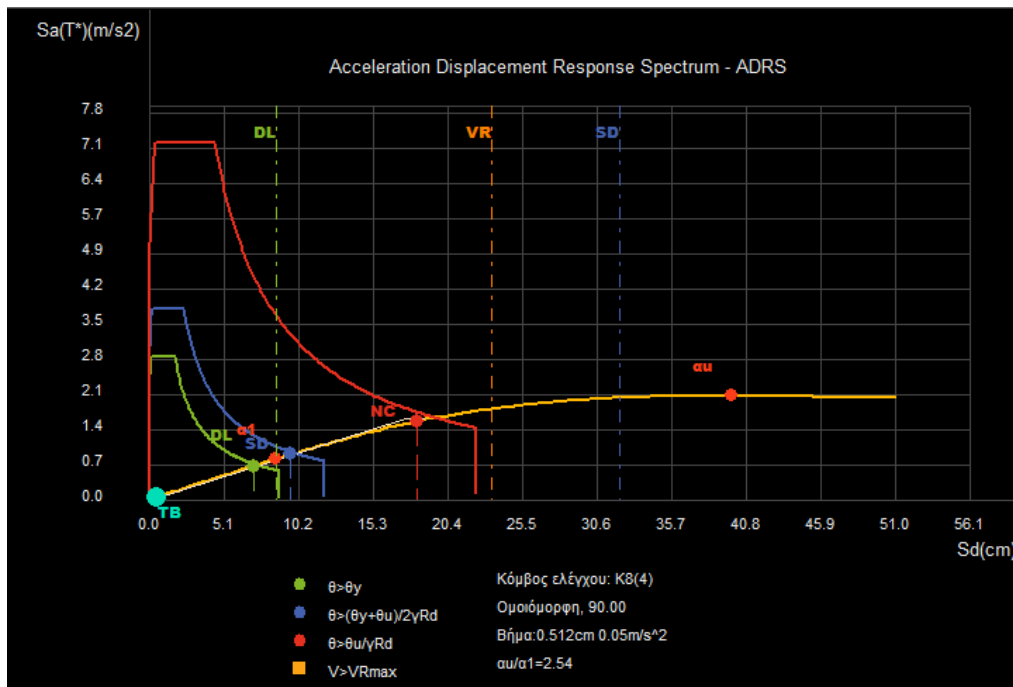
**Διάγραμμα 9.1** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ 5ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.



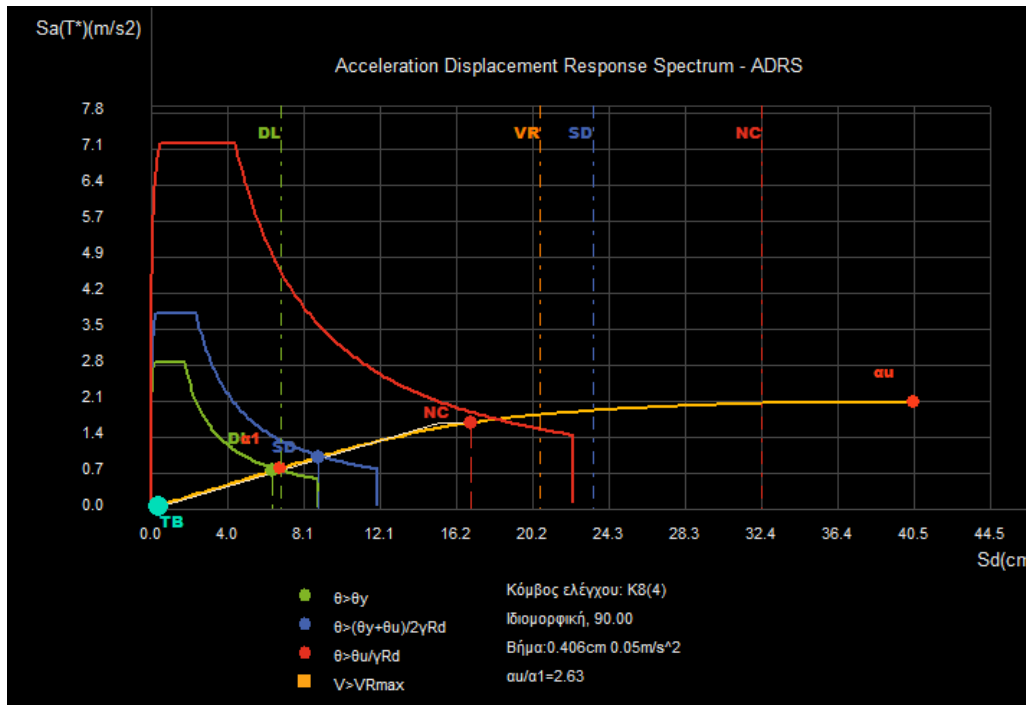


**Διάγραμμα 9.2** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΤΙΜ 5ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

Σεισμική δράση κατά Z



**Διάγραμμα 9.3** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΤΙΜ 5ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.



**Διάγραμμα 9.4** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ Σορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική

Από τα φάσματα απαίτησης – ικανότητας παρατηρείται ότι δεν έχει συμβεί καμία υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης οποιασδήποτε εκ των τριών σταθμών επιτελεσματικότητας. Επίσης για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης NC (Οιονεί Κατάρρευση) δεν έχει σημειωθεί διατμητική αστοχία σε κάποιο μέλος του φορέα. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές, που δηλώνουν το σημείο όπου κάποιο μέλος του φορέα υπερβαίνει τα όρια κάποιας στάθμης επιτελεσματικότητας ή εμφανίζει διατμητική αστοχία, βρίσκονται δεξιά από τις στοχευόμενες μετακινήσεις των αντίστοιχων σταθμών επιτελεσματικότητας.

Επίσης στις εικόνες με τα διαγράμματα ADRS απεικονίζονται και οι λόγοι υπεραντοχής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha u}{\alpha 1} = 2,00$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha u}{\alpha 1} = 2,22$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha u}{\alpha 1} = 2,54$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha u}{\alpha 1} = 2,63$

Παρατηρείται ότι όλοι οι λόγοι υπεραντοχής είναι μεγαλύτεροι του 1.50 και επομένως η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q_x=q_z=4.50$  στις δύο διευθύνσεις επαληθεύεται.

### 9.3 Κατασκευή με δεκαπέντε (15) ορόφους

#### 9.3.1 Επίλυση και όπλιση κτηρίου

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
K1	75/75	28Φ16	Φ8/13
K2	75/75	28Φ16	Φ8/13
K3	75/75	28Φ16	Φ8/13
K4	75/75	28Φ16	Φ8/13
K5	75/75	28Φ16	Φ8/13
K6	75/75	28Φ16	Φ8/13
K7	80/80	32Φ26	Φ8/13
K8	80/80	32Φ16	Φ8/13
K9	80/80	32Φ16	Φ8/13
K10	80/80	32Φ16	Φ8/13
K11	80/80	32Φ16	Φ8/13
K12	80/80	32Φ16	Φ8/13
K13	80/80	32Φ16	Φ8/13
K14	80/80	32Φ16	Φ8/13
K15	75/75	28Φ16	Φ8/13
K16	75/75	28Φ16	Φ8/13
K17	75/75	28Φ16	Φ8/13
K18	75/75	28Φ16	Φ8/13
K19	75/75	28Φ16	Φ8/13
K20	75/75	28Φ16	Φ8/13

*Πίνακας 9.3 Οπλισμοί και διαστάσεις υποστυλωμάτων ισογείου 15ορόφου κτηρίου όπως προέκυψαν από τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA*

<b>ΔΟΚΟΣ</b>	<b>ΘΕΣΗ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( L )</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( R )</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
Δ1.1	Άνω	5Φ20+1Φ14	5Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
Δ1.2	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
Δ1.3	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20+Φ12	Φ8/13
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
Δ1.4	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	

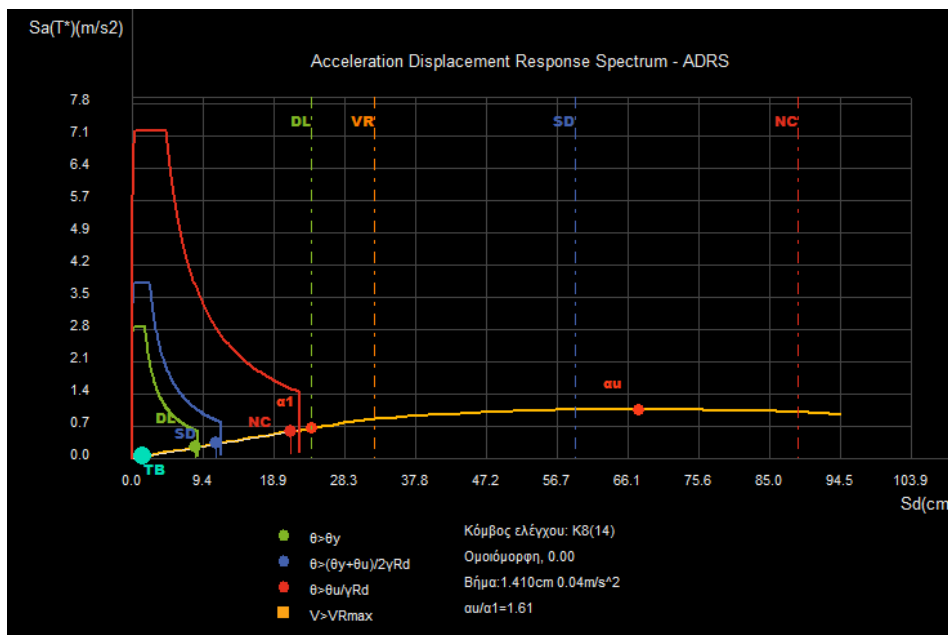
<b>Δ1.5</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20+1Φ14	Φ8/15
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	
<b>Δ2.1</b>	Άνω	2Φ12+8Φ18	2Φ12+6Φ20	Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+3Φ14	9Φ20	
<b>Δ2.2</b>	Άνω	2Φ12+6Φ20	6Φ20+2Φ12	Φ8/12
	Κάτω	9Φ20	9Φ20	
<b>Δ2.3</b>	Άνω	6Φ20+2Φ12	2Φ12+8Φ18	Φ8/10
	Κάτω	9Φ20	4Φ20+3Φ14	
<b>Δ3.1</b>	Άνω	2Φ12+8Φ18	2Φ12+6Φ20	Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+3Φ14	9Φ20	
<b>Δ3.2</b>	Άνω	2Φ12+6Φ20	6Φ20+2Φ12	Φ8/12
	Κάτω	9Φ20	9Φ20	
<b>Δ3.3</b>	Άνω	6Φ20+2Φ12	2Φ12+8Φ18	Φ8/10
	Κάτω	9Φ20	4Φ20+3Φ14	
<b>Δ4.1</b>	Άνω	5Φ20+1Φ14	5Φ20+2Φ12	Φ8/15
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
<b>Δ4.2</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ4.3</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20+Φ12	Φ8/13
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ4.4</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ20	Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	10Φ20	
<b>Δ4.5</b>	Άνω	2Φ12+5Φ20	5Φ20+1Φ14	Φ8/13
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	
<b>Δ5.1</b>	Άνω	6Φ20+2Φ16	6Φ20+3Φ12	Φ8/13
	Κάτω	8Φ18	16Φ18	
<b>Δ5.2</b>	Άνω	6Φ20+3Φ12	3Φ12+6Φ20	Φ8/10
	Κάτω	16Φ18	16Φ18	
<b>Δ5.3</b>	Άνω	3Φ12+6Φ20	6Φ20+2Φ16	Φ8/13
	Κάτω	16Φ18	8Φ18	
<b>Δ6.1</b>	Άνω	6Φ20+3Φ12	6Φ20+2Φ12	Φ8/12
	Κάτω	8Φ18	16Φ18	
<b>Δ6.2</b>	Άνω	6Φ20+2Φ12	2Φ12+6Φ20	Φ8/10
	Κάτω	16Φ18	16Φ18	
<b>Δ6.3</b>	Άνω	2Φ12+6Φ20	6Φ20+3Φ12	Φ8/12
	Κάτω	16Φ18	8Φ18	
<b>Δ7.1</b>	Άνω	6Φ20+3Φ12	6Φ20+2Φ12	Φ8/12
	Κάτω	8Φ18	16Φ18	
<b>Δ7.2</b>	Άνω	6Φ20+2Φ12	2Φ12+6Φ20	Φ8/10
	Κάτω	16Φ18	16Φ18	
<b>Δ7.3</b>	Άνω	2Φ12+6Φ20	6Φ20+3Φ12	Φ8/12
	Κάτω	16Φ18	8Φ18	
<b>Δ8.1</b>	Άνω	6Φ20+2Φ16	6Φ20+3Φ12	Φ8/13
	Κάτω	8Φ18	16Φ18	

<b>Δ8.2</b>	Άνω	6Φ20+3Φ12	3Φ12+6Φ20	Φ8/10
	Κάτω	16Φ18	16Φ18	
<b>Δ8.3</b>	Άνω	3Φ12+6Φ20	6Φ20+2Φ16	Φ8/13
	Κάτω	16Φ18	8Φ18	

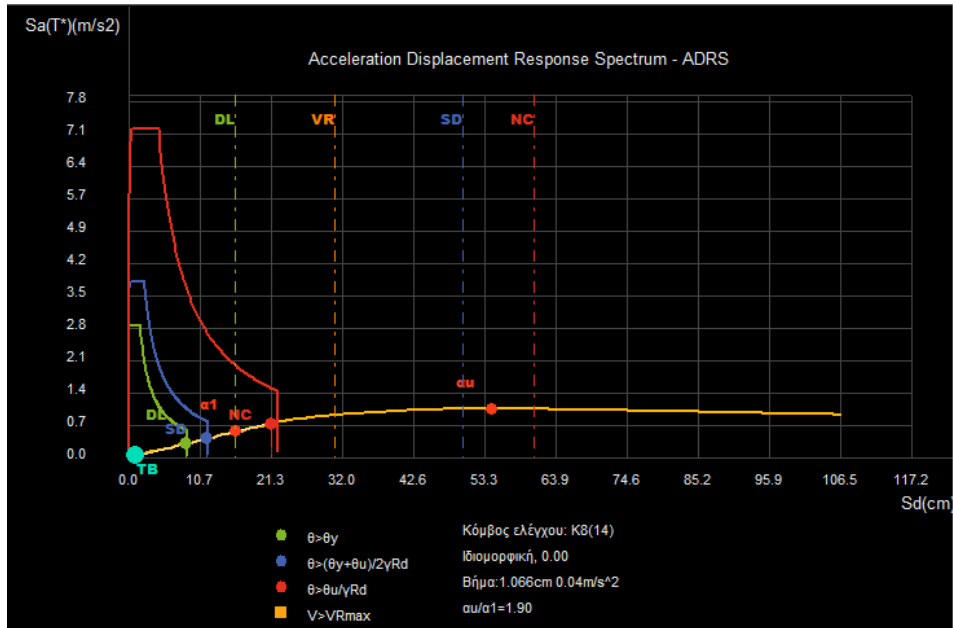
**Πίνακας 9.4** Οπλισμοί δοκών ορόφου ισογείου για το 15όροφο μετά τη όπλιση του κτηρίου με το πρόγραμμα FESPA. Ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό L αναφέρεται στο αριστερό άκρο της δοκού, ενώ ο οπλισμός με το χαρακτηρισμό R αναφέρεται στο δεξί. Οι συνδετήρες αναφέρονται στα άκρα των δοκών.

### 9.3.2 Ανελαστική στατική ανάλυση

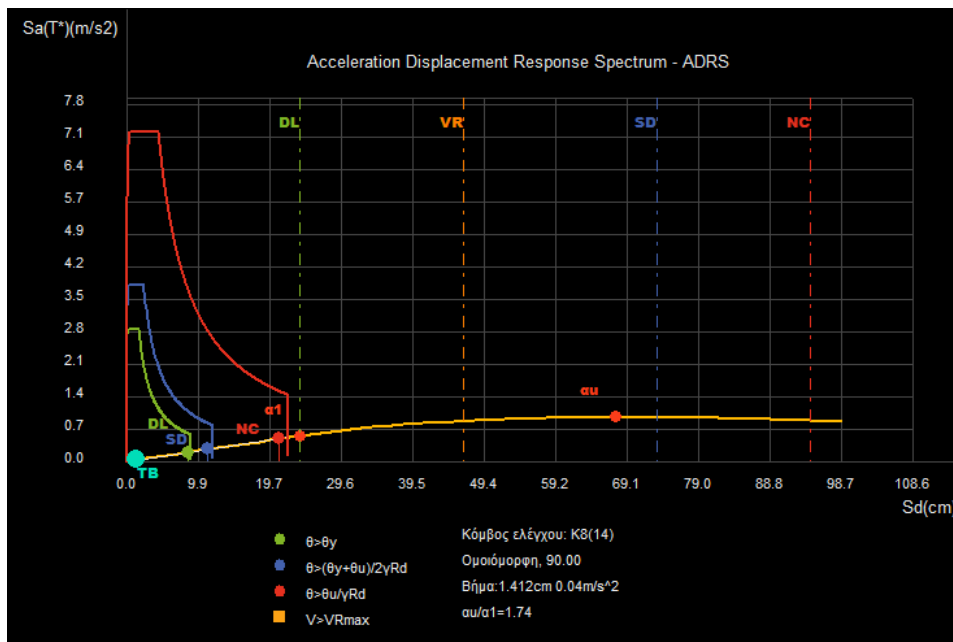
Διαγράμματα απαίτησης – ικανότητας ADRS



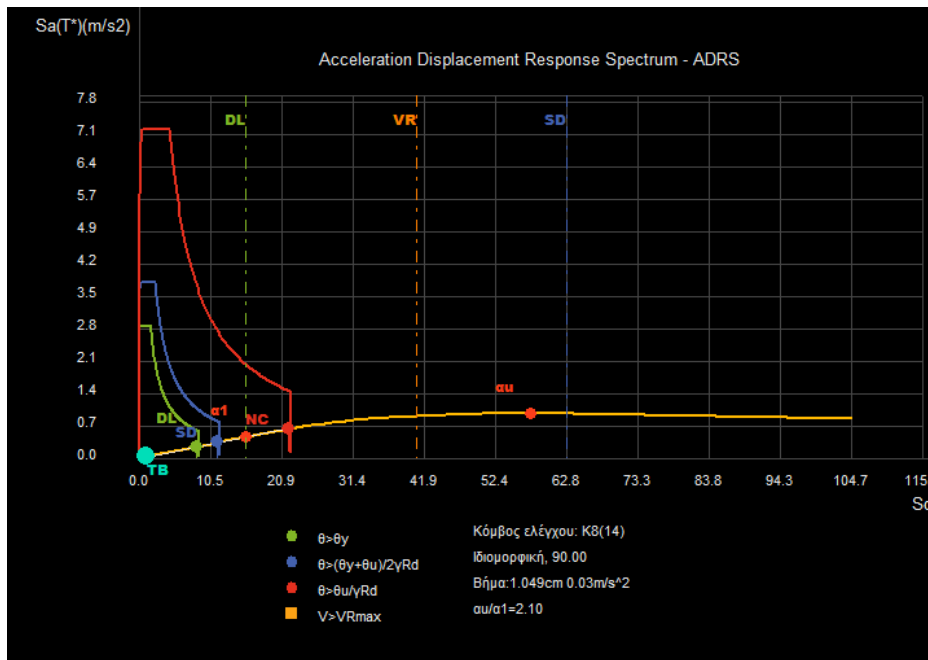
**Διάγραμμα 9.5** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ 15ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



*Διάγραμμα 9.6* Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ 5ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική



*Διάγραμμα 9.7* Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ 15ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



**Διάγραμμα 9.8** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ 5ορόφου για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

Από τα φάσματα απαίτησης – ικανότητας παρατηρείται ότι δεν έχει συμβεί καμία υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης οποιασδήποτε εκ των τριών σταθμών επιτελεσματικότητας. Επίσης για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης NC (Οιονεί Κατάρρευση) δεν έχει σημειωθεί διατμητική αστοχία σε κάποιο μέλος του φορέα. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές, που δηλώνουν το σημείο όπου κάποιο μέλος του φορέα υπερβαίνει τα όρια κάποιας στάθμης επιτελεσματικότητας ή εμφανίζει διατμητική αστοχία, βρίσκονται δεξιά από τις στοχευόμενες μετακινήσεις των αντίστοιχων σταθμών επιτελεσματικότητας. Επίσης παρατηρείται ότι για την ομοιόμορφη κατανομή και για σεισμική δράση κατά X και κατά Z οι στοχευόμενες μετακινήσεις των σταθμών επιτελεσματικότητας είναι μικρότερες από τη μετακίνηση διαρροής.

Επίσης στις εικόνες με τα διαγράμματα ADRS απεικονίζονται και οι λόγοι υπεραντοχής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X →  $\frac{au}{a1} = 1,61$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X →  $\frac{au}{a1} = 1,90$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z →  $\frac{au}{a1} = 1,74$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z →  $\frac{au}{a1} = 2,10$

Ενδεικτικά παρατίθενται και οι λόγοι υπεραντοχής του κτηρίου για 8 ορόφους.

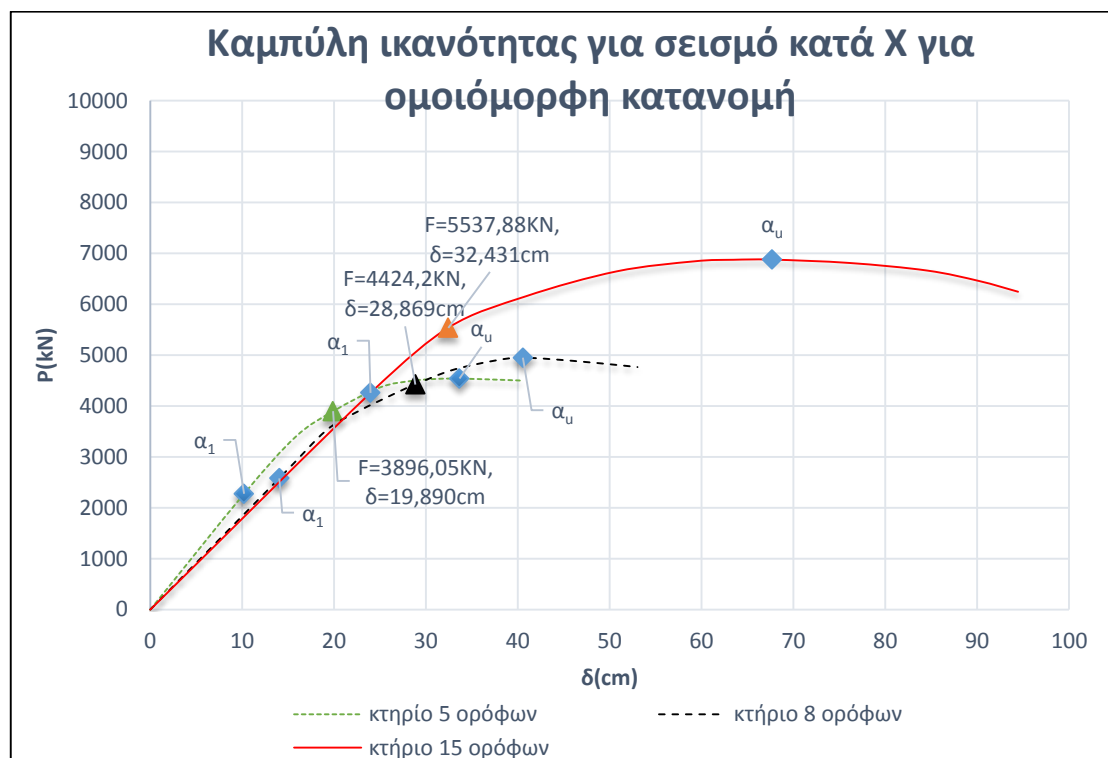
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X →  $\frac{au}{a1} = 1,91$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X →  $\frac{au}{a1} = 2,16$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z →  $\frac{au}{a1} = 2,32$

- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 2,48$

Παρατηρείται ότι όσο προστίθενται παραπάνω όροφοι στο κτήριο οι λόγοι υπεραντοχής μειώνονται. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο λόγος υπεραντοχής  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$  για ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X μειώθηκε κατά 5% όταν οι όροφοι του κτηρίου αυξήθηκαν από 5 σε 8 ορόφους και μειώθηκε κατά 15,7% όταν οι όροφοι του κτηρίου αυξήθηκαν από 8 σε 15. Για τη διεύθυνση Z και την ίδια κατανομή ο λόγος υπεραντοχής μειώθηκε κατά 2,7% και κατά 12,03% για αύξηση των ορόφων του κτηρίου από 5 σε 8 και από 8 σε 15 αντίστοιχα. Για ιδιομορφική κατανομή για σεισμό κατά X η μείωση είναι 8,7% και 25% για αύξηση από 5 σε 8 και από 8 σε 15 αντίστοιχα, ενώ για σεισμό κατά Z είναι 5,7% και 15,3%.

Στην συνέχεια παρατίθενται οι καμπύλες Pushover των τριών φορέων για σεισμική δράση κατά X και ομοιόμορφη κατανομή καθ' ύψος και σεισμική δράση κατά Z και ιδιομορφική κατανομή καθ' ύψος.

#### 9.4 Σύγκριση καμπυλών ικανότητας



**Διάγραμμα 9.9** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας των φορέων για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για κτήριο με 5 ορόφους (πράσινη γραμμή) και β) για κτήριο με 8 ορόφους (μαύρη γραμμή) και για κτήριο με 15 ορόφους (κόκκινη γραμμή). Η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση X και για γωνία σεισμικής δράσης 0° για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Με τρίγωνο σημειώνονται τα σημεία που εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία στον φορέα.



	<b>5 όροφοι</b>	<b>8 όροφοι</b>	<b>15 όροφοι</b>
$\delta y(cm)$	10,20	14,049	23,971
$Fy(kN)$	2273,8	2580,30	4258,13
$\delta u(cm)$	33,66	40,569	67,68
$Fu(kN)$	4540,00	4947,38	6876,55

**Πίνακας 9.5** Χαρακτηριστικά σημεία καμπυλών ικανότητας για σεισμό κατά X για ομοιόμορφη κατανομή

Από τις καμπύλες βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

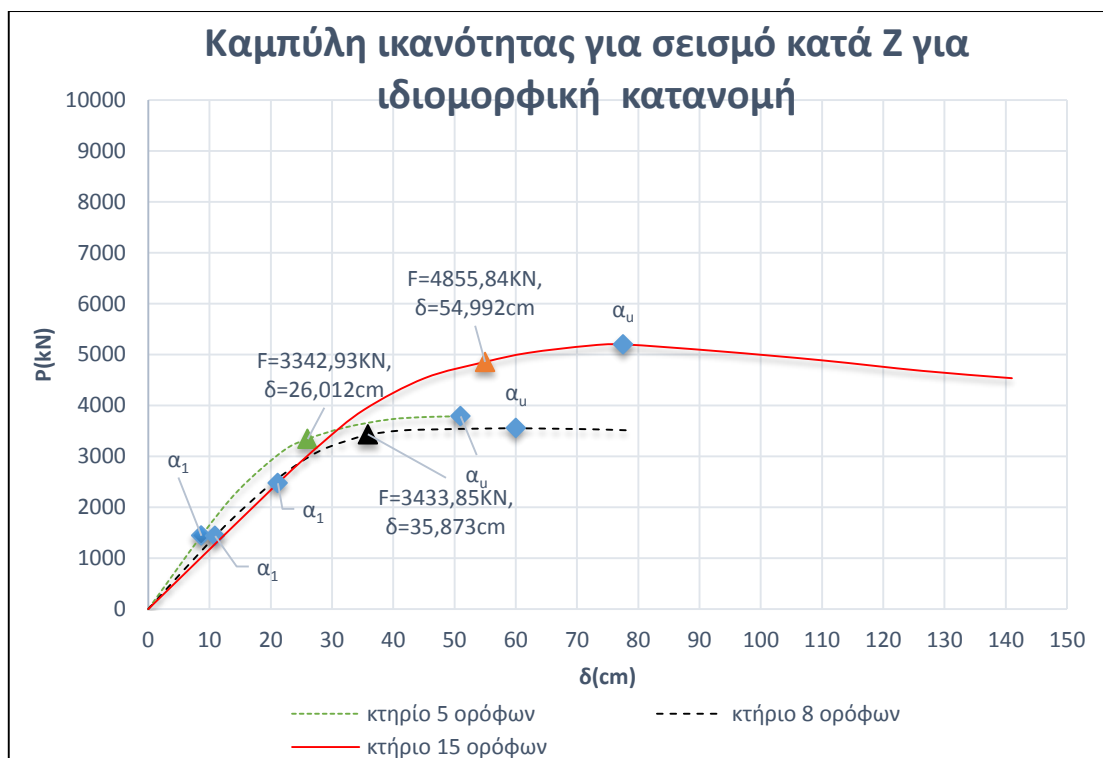
- Το κτήριο με 5 ορόφους έχει μεγαλύτερη αρχική δυσκαμψία από το οκταόροφο, ενώ και το κτήριο με 8 ορόφους έχει μεγαλύτερη δυσκαμψία από το κτήριο με 15 ορόφους. Συγκεκριμένα  $K_{5\text{όροφων}}=2273,8kN/0,102m=22292,16kN/m$ , ενώ  $K_{8\text{όροφων}}$  και  $K_{15\text{όροφων}}$  είναι  $2580,3/0,14049=18366,43kN/m$  και  $4258,13/0,23971=17763,67kN/m$  αντίστοιχα. Από την αύξηση των ορόφων από 5 σε 8 η αρχική δυσκαμψία μειώθηκε κατά 17,61%, ενώ από την αύξηση από 8 σε 15 μειώθηκε κατά 3,28%.
- Οι πρώτες διατμητικές αστοχίες για την συγκεκριμένη φόρτιση σεισμού κατά X και την ομοιόμορφη κατανομή καθ' ύψος εμφανίζονται στις ίδιες δοκούς και στους τρεις φορείς. Συγκεκριμένα αστοχούν σε διάτμηση πρώτα οι δοκοί 2.2 και 3.2 της οροφής του ισογείου σε όλα τα κτήρια, ενώ στο φορέα με τους 15 ορόφους αστοχούν μαζί με αυτές τις δοκούς και οι δοκοί 2.2 και 3.2 της οροφής του 1<sup>ου</sup> ορόφου.
- Όσον αυξάνεται ο αριθμός των ορόφων σημειώνεται αύξηση της δύναμης και της μετακίνησης για την οποία σημειώνεται αστοχία σε διάτμηση στο μέλος του φορέα. Από την αύξηση των ορόφων από 5 σε 8 η τέμνουσα βάσης για την οποία αστοχεί μέλος του φορέα σε διάτμηση αυξάνεται κατά 13,56% και η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου αυξάνεται κατά 47,53%. Για την αύξηση των ορόφων από 8 σε 15 τα ποσοστά αύξησης είναι 25,17% και 12,34% για δύναμη και μετακίνηση κατ' αντιστοιχία.
- Επίσης όσο αυξάνονται οι όροφοι του κτηρίου αυξάνεται και η πλαστική παραμόρφωση του φορέα  $\delta p = \delta u - \delta y$

Για το φορέα με 5 ορόφους  $\delta p_{5\text{όροφων}}=23,46cm$

Για το φορέα με 8 ορόφους  $\delta p_{8\text{όροφων}}=26,52cm$

Για το φορέα με 15 ορόφους  $\delta p_{15\text{όροφων}}=43,709cm$

Από αύξηση των ορόφων από 5 σε 8 σημειώνεται αύξηση 13,04% και από αύξηση των ορόφων από 8 σε 15 αύξηση 64,81%.



**Διάγραμμα 9.10** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας των φορέων για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για κτήριο με 5 ορόφους (πράσινη γραμμή) και β) για κτήριο με 8 ορόφους (μαύρη γραμμή) και για κτήριο με 15 ορόφους (κόκκινη γραμμή). η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση Z και για γωνία σεισμικής δράσης 90° για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Με τρίγωνο σημειώνονται τα σημεία που εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία στον φορέα.

	5 όροφοι	8 όροφοι	15 όροφοι
$\delta y(cm)$	8,672	10,913	21,152
$Fy(kN)$	1440,83	1434,19	2473,18
$\delta u(cm)$	51,002	60,053	77,552
$Fu(kN)$	3788,53	3556,11	5199,85

**Πίνακας 9.6** Χαρακτηριστικά σημεία καμπυλών ικανότητας για σεισμό κατά Z για ιδιομορφική κατανομή

Από τις καμπύλες βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το κτήριο με 5 ορόφους έχει μεγαλύτερη αρχική δυσκαμψία από το οκταόροφο, ενώ και το κτήριο με 8 ορόφους έχει μεγαλύτερη δυσκαμψία από το κτήριο με 15 ορόφους. Συγκεκριμένα  $K_{5\text{όροφων}}=1440,83kN/0,08672m=16614,74kN/m$ , ενώ  $K_{8\text{όροφων}}$  και  $K_{15\text{όροφων}}$  είναι  $1434,19/0,10913=13141,12kN/m$  και  $2473,18/0,21152=11692,42kN/m$  αντίστοιχα. Από την αύξηση των ορόφων από 5 σε 8 η αρχική δυσκαμψία μειώθηκε κατά 20,90%, ενώ από την αύξηση από 8 σε 15 μειώθηκε κατά 11,02%.
- Οι πρώτες διατμητικές αστοχίες για την συγκεκριμένη φόρτιση σεισμού κατά X και την ομοιόμορφη κατανομή καθ' ύψος δεν εμφανίζονται στις ίδιες

δοκούς και στους τρεις φορείς. Συγκεκριμένα αστοχούν για το κτήριο με 5 ορόφους σε διάτμηση πρώτα οι δοκοί 6.1 και 7.1 της οροφής του ισογείου και του 1<sup>ου</sup> ορόφου, ενώ για το κτήριο με 8 ορόφους αστοχούν οι δοκοί 6.1 και 7.1 της οροφής του 2<sup>ου</sup> ορόφου. Τέλος για το κτήριο με 15 ορόφους η πρώτη διατμητική αστοχία παρατηρείται στις δοκούς 6.1 και 7.1 της οροφής του 3<sup>ου</sup> ορόφου.

- Όσον αυξάνεται ο αριθμός των ορόφων σημειώνεται αύξηση της δύναμης και της μετακίνησης για την οποία σημειώνεται αστοχία σε διάτμηση στο μέλος του φορέα. Από την αύξηση των ορόφων από 5 σε 8 η τέμνουσα βάσης για την οποία αστοχεί μέλος του φορέα σε διάτμηση αυξάνεται κατά 2,72% και η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου αυξάνεται κατά 37,91%. Για την αύξηση των ορόφων από 8 σε 15 τα ποσοστά αύξησης είναι 41,41% και 53,29% για δύναμη και μετακίνηση κατ' αντιστοιχία.
- Επίσης όσο αυξάνονται οι όροφοι του κτηρίου αυξάνεται και η πλαστική παραμόρφωση του φορέα  $\delta p = \delta u - \delta y$

Για το φορέα με 5 ορόφους  $\delta p_{5\text{ορόφων}}=42,33\text{cm}$

Για το φορέα με 8 ορόφους  $\delta p_{8\text{ορόφων}}=49,14\text{cm}$

Για το φορέα με 15 ορόφους  $\delta p_{15\text{ορόφων}}=56,4\text{cm}$

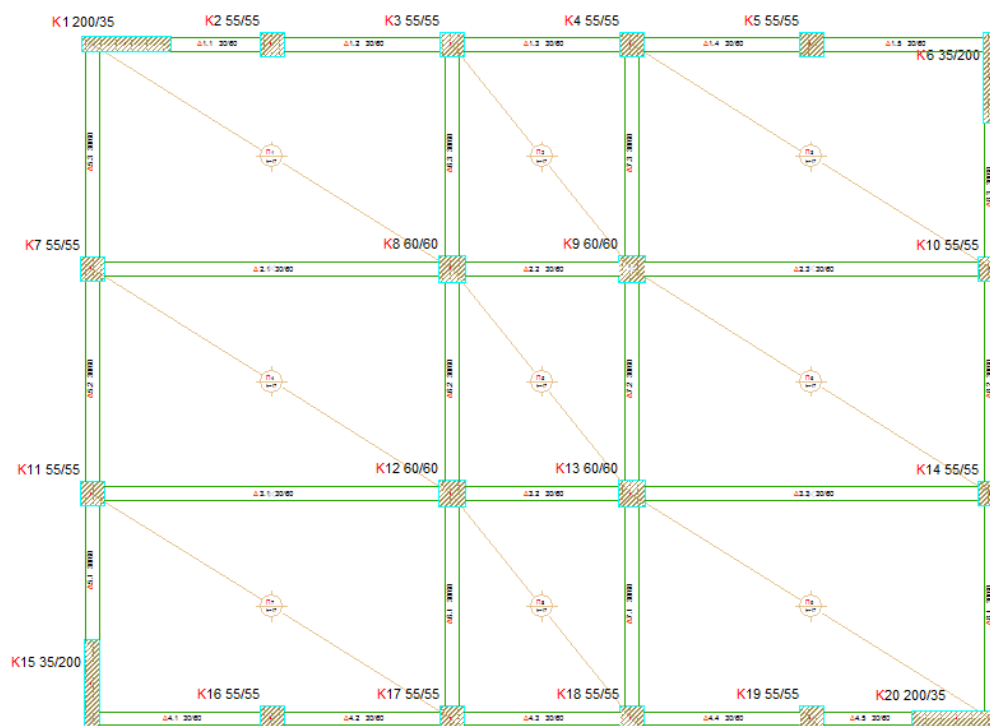
Από την αύξηση των ορόφων από 5 σε 8 σημειώνεται αύξηση 16,08% και από αύξηση των ορόφων από 8 σε 15 αύξηση 14,77%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 10.1 Κατασκευή περιμετρικών τοιχωμάτων

#### 10.1.1 Εισαγωγή

Τα υποστυλώματα K1, K6, K15 και K20 μετατρέπονται σε τοιχώματα διαστάσεων 200x35 (cm) σε όλο το ύψος του δομήματος. Βασικό κριτήριο για το πρόγραμμα FESPA για το εάν το μέλος θα διαστασιολογηθεί ως υποστύλωμα ή ως τοίχωμα αποτελεί ο λόγος πλευρών  $l_w/b_w \geq 4$ . Στην περίπτωση μας ισχύει, οπότε ικανοποιείται το κριτήριο. Το μέλος κατατάσσεται ως πλάστιμο τοίχωμα και οπλίζεται βάσει των διατάξεων του EC8-1. Ακολουθεί κάτωψη του ορόφου του ισογείου που δείχνει τη διάταξη και τη θέση των τοιχωμάτων στους ορόφους.



*Σχήμα 10.1* Κάτωψη ορόφου για το σενάριο κατασκευής περιμετρικών τοιχωμάτων. Το κτήριο είναι συμμετρικό σε κάτωψη ως προς σημείο (κέντρο μάζας του ορόφου).

Το στατικό σύστημα του κτηρίου προκύπτει πλαισιωτό ή ισοδύναμο διπλό σύστημα και για τις δύο διευθύνσεις X και Z. Όπως και στις προηγούμενες επιλύσεις επιλέγεται ο συντελεστής συμπεριφοράς να καθορίζεται από ανελαστική στατική ανάλυση. Το κτήριο επιλύεται και οπλίζεται για ΚΠΜ. Επομένως  $q_x = q_z = 4.50$ . Η

διαφορά σε σχέση με τα άλλα κτήρια με υποστυλώματα για ΚΠΜ είναι ο τρόπος θεμελίωσης. Επιλέγεται εσχάρα πεδιλοδοκών με διαστάσεις:

- $b_w=0.45\text{m}$ ,  $b_{eff}=1,70\text{m}$
- $h=0.90\text{m}$ ,  $h_{fπλάκας}=0,35\text{m}$

Μέθοδος επίλυσης με σεισμό επιλέγεται η δυναμική με μετατόπιση μαζών. Για την επίλυση και όπλιση του φορέα εισάγεται τυχηματική εκκεντρότητα 5% της διάστασης του ορόφου. Τα φασματικά δεδομένα είναι τα ίδια με τις προηγούμενες επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική

Μετά τον καθορισμό της θεμελίωσης και εντολές «Όλοι οι όροφοι (προσαρμογή, κατακορύφωση, μέλη για διαστασιολόγηση» και «Παραγωγή δυσμενών δράσεων» επιλέγεται η εντολή «Επίλυση και Όπλιση του κτηρίου».

Κτίριο	Προσαρμογή δοκών-πλάκων	Μέλη για διαστασιολόγηση	Προσαρμογή δοκών-στύλων	Φορτία	Συνδετήριες	Πεδιλοδοκοί	Τοποθέτηση	Όλα
Τύπος διατομής								Av. Πλακοδοκός
Πλάτος κορμού (bw) [m]								0.45
Ύψος (h) [m]								0.90
Συνεργαζόμενο πλάτος (beff) [m]								1.70
Πάχος πλάκας (hf) [m]								0.35
Φτερό αριστερά (beff1) [m]								0.63
Επικάλυψη enom [m]								0.040

**Σχήμα 10.2** Εντολή «Παραγωγές» > «Πεδιλοδοκοί». Επιλέγονται οι τιμές των διαστάσεων των διατομών των πεδιλοδοκών που θα παραχθούν από την εντολή «Παραγωγή εσχάρας θεμελίωσης».

### 10.1.2 Επίλυση και όπλιση κτηρίου

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
<b>K2</b>	55/55	14Φ20+4Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K3</b>	55/55	14Φ18+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K4</b>	55/55	10Φ20+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K5</b>	55/55	4Φ20+10Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K7</b>	55/55	16Φ20+6Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K8</b>	60/60	22Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K9</b>	60/60	16Φ18+6Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K10</b>	55/55	20Φ20+4Φ16	4τμ ΣΦ8/13

<b>K11</b>	55/55	20Φ20+4Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K12</b>	60/60	16Φ18+6Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K13</b>	60/60	22Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K14</b>	55/55	16Φ20+6Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K16</b>	55/55	4Φ20+10Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K17</b>	55/55	10Φ20+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K18</b>	55/55	14Φ18+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K19</b>	55/55	14Φ20+4Φ18	4τμ ΣΦ8/14

**Πίνακας 10.1** Οπλισμοί υποστλωμάτων που προήλθαν από τη διαστασιολόγηση του προγράμματος FESPA. Οι παραπάνω οπλισμοί ισχύουν για τη στάθμη του ισογείου του δομήματος.

<b>ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΙ</b>	<b>ΕΣΧΑΡΕΣ</b>	<b>l<sub>c</sub>(cm) - ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>K1</b>	200/35	6Φ16+8Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
<b>K6</b>	35/200	6Φ16+12Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	55 - 4τμ ΣΦ8/11
<b>K15</b>	35/200	6Φ16+12Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	55 - 4τμ ΣΦ8/11
<b>K20</b>	200/35	6Φ16+8Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11

**Πίνακας 10.2** Οπλισμοί τοιχωμάτων που προέκυψαν από τη διαστασιολόγηση του προγράμματος FESPA. Οι παραπάνω οπλισμοί ισχύουν για τη στάθμη του ισογείου του δομήματος.

<b>ΔΟΚΟΣ</b>	<b>ΘΕΣΗ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( L )</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ( R )</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>1.1</b>	Άνω	5Φ18+1Φ12	5Φ18+2Φ12	2τμ Φ10/14
	Κάτω	6Φ18	11Φ18	
<b>1.2</b>	Άνω	5Φ18+1Φ12	3Φ12+3Φ20	2τμ Φ8/10

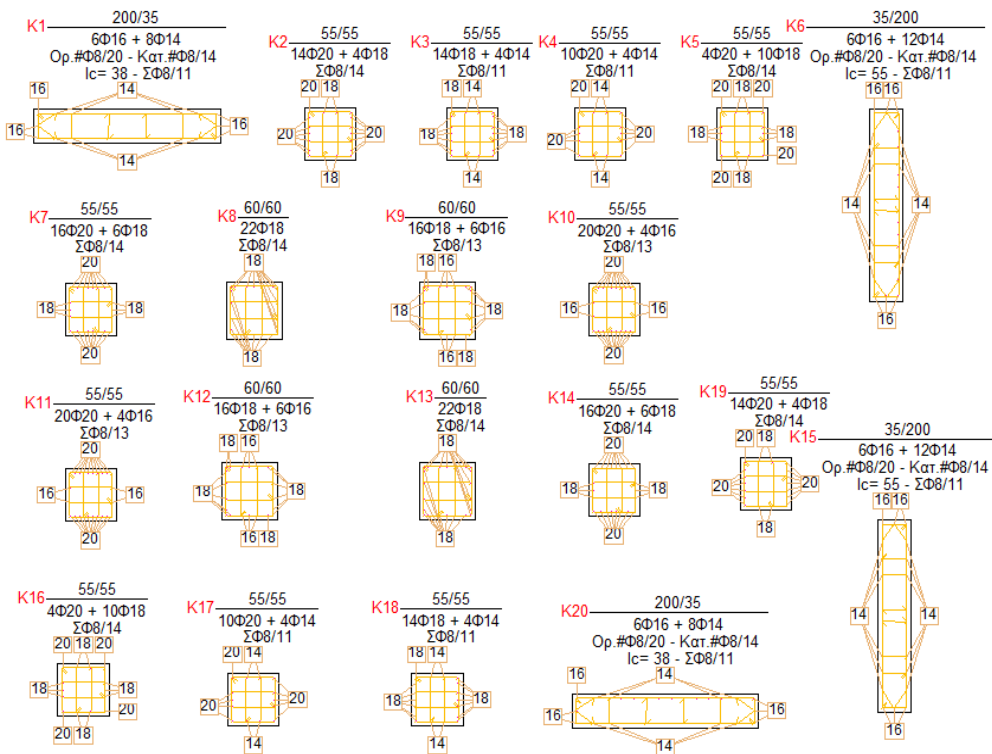
	Κάτω	11Φ18	5Φ18+4Φ20	
<b>1.3</b>	Άνω	3Φ12+3Φ20	3Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	5Φ18+4Φ20	4Φ20+7Φ14	
<b>1.4</b>	Άνω	3Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	4Φ20+7Φ14	7Φ14+4Φ18	
<b>1.5</b>	Άνω	2Φ12+4Φ18	4Φ18	2τμ Φ8/14
	Κάτω	7Φ14+4Φ18	4Φ18	
<b>2.1</b>	Άνω	2Φ12+6Φ18	2Φ12+4Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	5Φ20	8Φ20	
<b>2.2</b>	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
<b>2.3</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+6Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	5Φ20	
<b>3.1</b>	Άνω	2Φ12+6Φ18	2Φ12+4Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	5Φ20	8Φ20	
<b>3.2</b>	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
<b>3.3</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+6Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	5Φ20	
<b>4.1</b>	Άνω	4Φ18	2Φ12+4Φ18	2τμ Φ8/14
	Κάτω	4Φ18	7Φ14+4Φ18	
<b>4.2</b>	Άνω	2Φ12+4Φ18	3Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	7Φ14+4Φ18	4Φ20+7Φ14	
<b>4.3</b>	Άνω	3Φ20+2Φ12	3Φ12+3Φ20	2τμ Φ8/15
	Κάτω	4Φ20+7Φ14	5Φ18+4Φ20	
<b>4.4</b>	Άνω	3Φ12+3Φ20	5Φ18+1Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	5Φ18+4Φ20	11Φ18	
<b>4.5</b>	Άνω	5Φ18+2Φ12	5Φ18+1Φ12	2τμ Φ10/14
	Κάτω	11Φ18	6Φ18	

<b>5.1</b>	Άνω	5Φ20+1Φ12	5Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	5Φ20	10Φ20	
<b>5.2</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	9Φ20	
<b>5.3</b>	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+1Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	9Φ20	4Φ20	
<b>6.1</b>	Άνω	4Φ20	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
<b>6.2</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
<b>6.3</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	4Φ20	2τμ Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
<b>7.1</b>	Άνω	4Φ20	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	8Φ20	
<b>7.2</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	8Φ20	8Φ20	
<b>7.3</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	4Φ20	2τμ Φ8/15
	Κάτω	8Φ20	4Φ20	
<b>8.1</b>	Άνω	4Φ20+1Φ12	2Φ12+4Φ20	2τμ Φ8/15
	Κάτω	4Φ20	9Φ20	
<b>8.2</b>	Άνω	2Φ12+4Φ20	5Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	9Φ20	10Φ20	
<b>8.3</b>	Άνω	5Φ20+2Φ12	5Φ20+1Φ12	2τμ Φ8/10
	Κάτω	10Φ20	5Φ20	

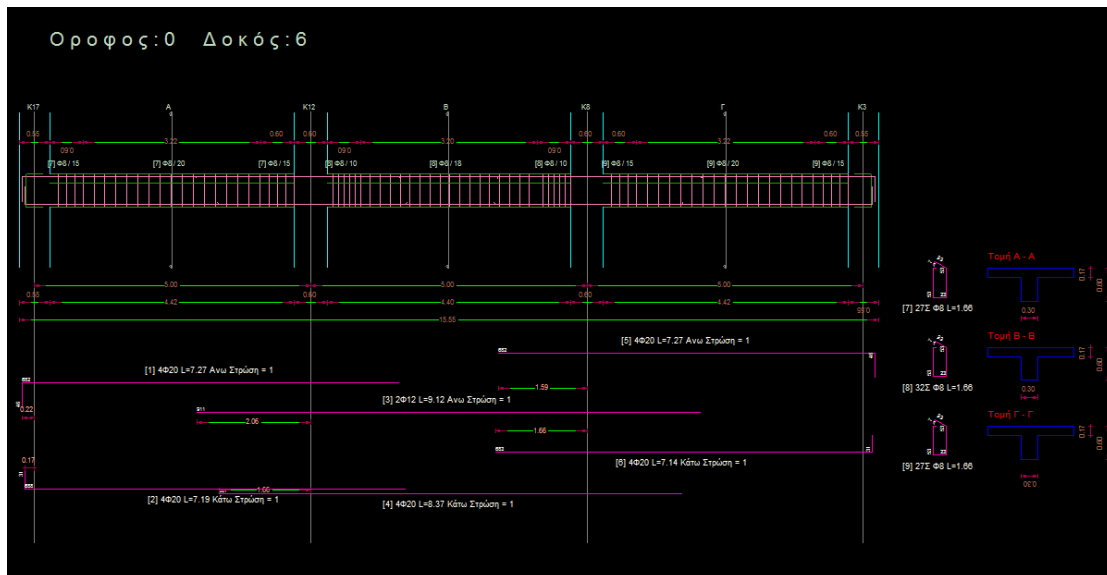
**Πίνακας 10.3** Οπλισμοί δοκών οροφής ισογείου που προέκυψαν από το πρόγραμμα FESPA κατά τη διαστασιολόγηση του κτηρίου.

Ακολουθούν οι λεπτομέρειες όπλισης υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων, καθώς και η τομή μιας δοκού.





**Σχήμα 10.3** Λεπτομέρειες όπλισης υποστυλωμάτων της στάθμης του ισογείου σύμφωνα με τον EC2 και EC8 για ΚΙΠΜ. Τα υποστυλώματα K1, K6, K15 και K10 οπλίζονται ως πλάστιμα τοιχώματα.



**Σχήμα 10.4** Τομή δοκού 6 της στάθμης του ισογείου και αναπτύγματα οπλισμών. Η όπλιση έγινε σύμφωνα με τον EC2 και EC8 για ΚΙΠΜ

### 10.1.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

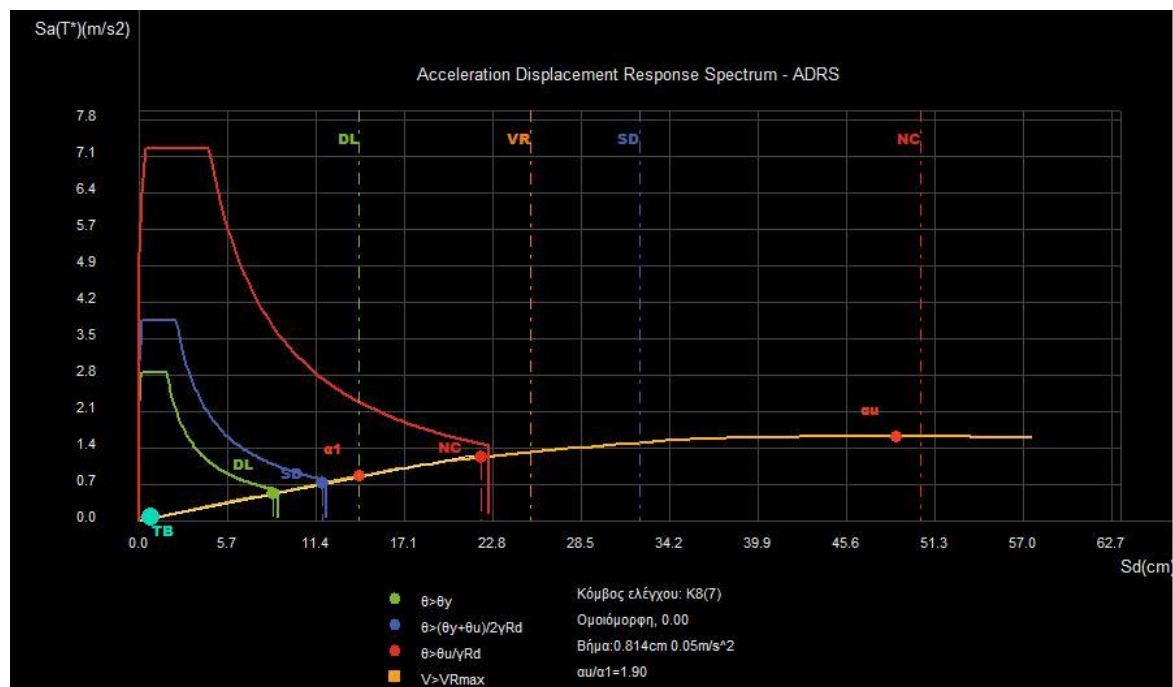
Επίπεδο	Υψόμετρο (m)	$\theta$	dsX (cm)	dsZ(cm)	max(drX)*v/h	max(drZ)*v/h
1	5	0.127	3.68	4.00	0.00368	0.00400
2	8	0.105	5.56	6.13	0.00317	0.00359
3	11	0.092	7.31	8.12	0.00293	0.00333
4	14	0.079	8.92	9.95	0.00272	0.00309
5	17	0.066	10.39	11.62	0.00249	0.00283
6	20	0.054	11.72	13.11	0.00225	0.00255
7	23	0.043	12.89	14.43	0.00200	0.00226
8	26	0.035	13.93	15.60	0.00178	0.00201

Πίνακας 10.4 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

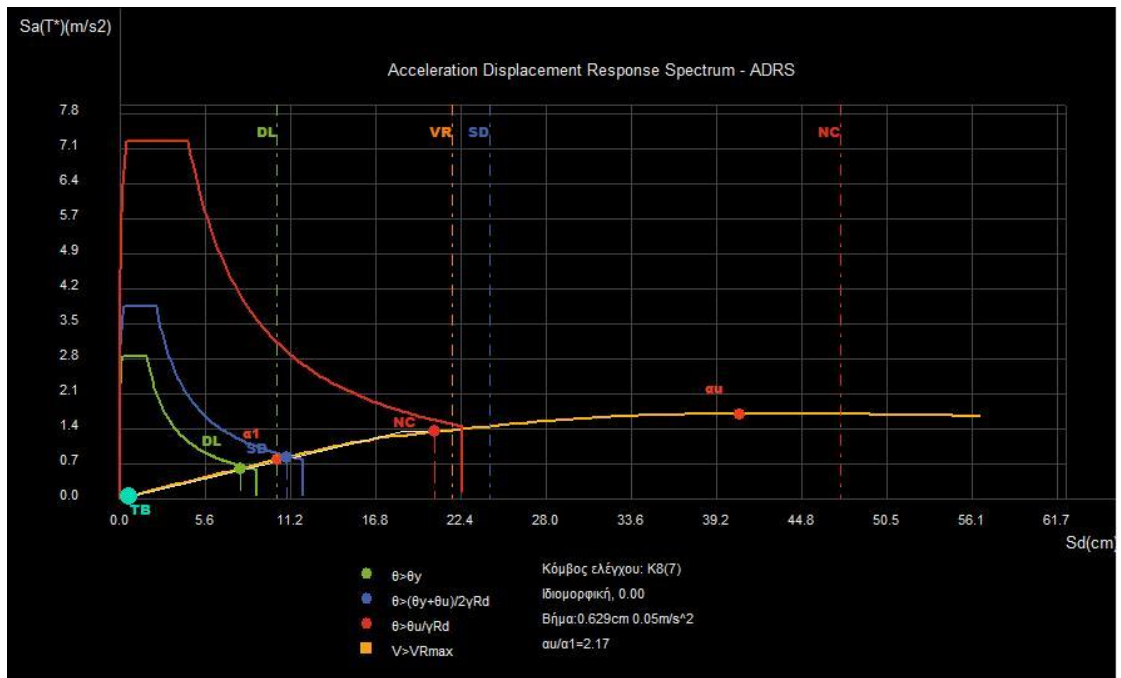
### 10.1.4 Ανελαστική στατική ανάλυση

Παρατίθενται τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας ADRS. Τα διαγράμματα καμπύλης ικανότητας του κτηρίου θα παρατεθούν στο τέλος του κεφαλαίου συγκρινόμενα με άλλα κτήρια. Επίσης θα γίνει και έλεγχος του συντελεστή συμπεριφοράς σε αυτό το κεφάλαιο μέσω του λόγου υπεραντοχής.

Σεισμική δράση κατά X

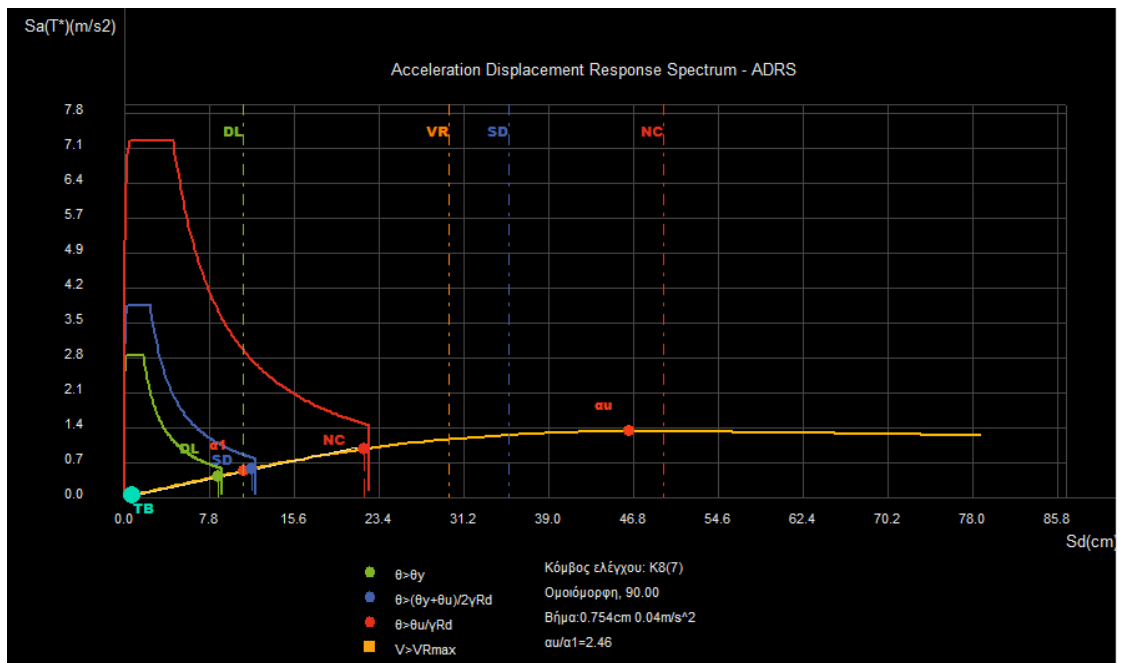


Διάγραμμα 10.1 Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.

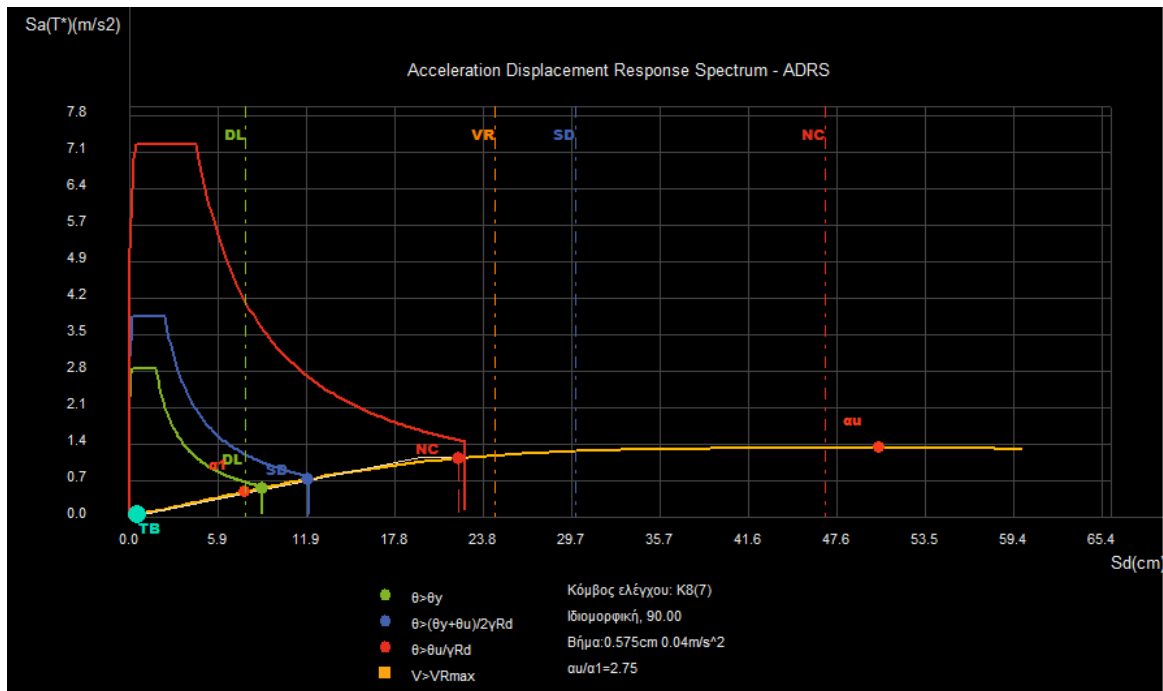


**Διάγραμμα 10.2** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

### Σεισμική δράση κατά Z



**Διάγραμμα 10.3** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.



**Διάγραμμα 10.4** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

Επίσης στις εικόνες με τα διαγράμματα ADRS απεικονίζονται και οι λόγοι υπεραντοχής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{a_u}{a_1} = 1,90$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{a_u}{a_1} = 2,17$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{a_u}{a_1} = 2,46$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{a_u}{a_1} = 2,75$

Παρατηρείται ότι όλοι οι λόγοι υπεραντοχής είναι μεγαλύτεροι του λόγου υπεραντοχής που χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό  $\frac{a_u}{a_1} = 1,50$ , οπότε ο συντελεστής συμπεριφοράς  $\eta$  και στις δύο διευθύνσεις επαληθεύτηκε από ανελαστική στατική ανάλυση.

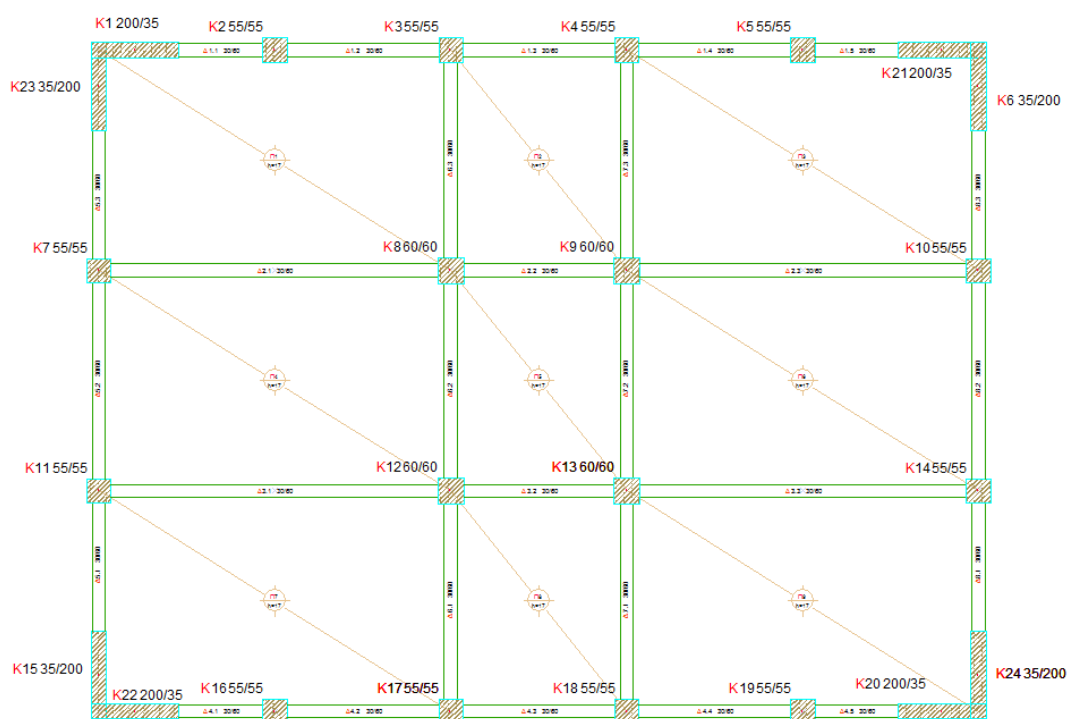
Από τα φάσματα απαίτησης – ικανότητας παρατηρείται ότι δεν έχει συμβεί καμία υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης οποιασδήποτε εκ των δύο σταθμών επιτελεστικότητας Προστασίας Ζωής (SD) και Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Επίσης για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης NC (Οιονεί Κατάρρευση) δεν έχει σημειωθεί διατμητική αστοχία σε κάποιο μέλος του φορέα. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές, που δηλώνουν το σημείο όπου κάποιο μέλος του φορέα υπερβαίνει τα όρια κάποιας στάθμης επιτελεστικότητας ή εμφανίζει διατμητική αστοχία, βρίσκονται δεξιά από τις στοχευόμενες μετακινήσεις των αντίστοιχων σταθμών επιτελεστικότητας. Ωστόσο για την στάθμη επιτελεστικότητας Περιορισμού Βλαβών (DL) για ιδιομορφική κατανομή καθ' ύψος και σεισμική δράση κατά Z με διεύθυνση σεισμικής δύναμης 90° παρατηρείται από το

αντίστοιχο διάγραμμα υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης. Ουσιαστικά αυτό σημαίνει ότι για τη συγκεκριμένη φόρτιση κάποιο μέλος διαρρέει σε μικρότερη μετακίνηση από την προβλεπόμενη σύμφωνα με τον Κανονισμό.

## 10.2 Κατασκευή γωνιακών τοιχωμάτων

### 10.2.1 Εισαγωγή

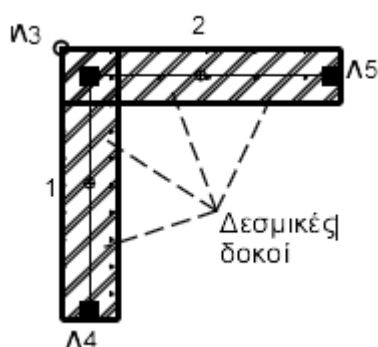
Όπως και στην προηγούμενη μελέτη τα υποστυλώματα K1, K6, K15 και K20 θα αντικατασταθούν από τοιχώματα. Η διατομή των τοιχωμάτων που θα τοποθετηθούν σε αυτή τη μελέτη θα είναι μορφής τύπου Γ. Παρακάτω παρατίθεται η κάτοψη των ορόφων όπως διαμορφώνεται με τα νέα τοιχώματα.



**Σχήμα 10.5** Κάτοψη ορόφου για το σενάριο κατασκευής γωνιακών τοιχωμάτων διατομής Γ. Το κτήριο είναι συμμετρικό σε κάτοψη.

Λόγω των διαστάσεων των τοιχωμάτων που έχουμε εισάγει, το πρόγραμμα δεν αναγνωρίζει τα τοιχώματα ως μια διατομή τύπου Γ, αλλά ως μια σύνθετη διατομή που αποτελείται από δύο ανεξάρτητες ορθογώνιες διατομές διαστάσεων 200x35(cm) και 35x200(cm), οι οποίες επικαλύπτονται. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα οι δύο αυτές ανεξάρτητες διατομές που αποτελούν ένα τοίχωμα να χαρακτηριστούν ως «Ομάδα Υποστυλωμάτων» προκειμένου να οπλιστούν ενιαία και να εμφανίζονται σωστά οι

επικαλυπτόμενες περιοχές στις λεπτομέρειες υποστυλωμάτων. Οι ενέργειες που πρέπει να εκτελέσει ο μελετητής για την εισαγωγή μιας σύνθετης διατομής υποστυλωμάτων στο πρόγραμμα FESPA είναι οι εξής:



**Σχήμα 10.6** Σύνθετη διατομή τοιχωμάτων στο FESPA

1. Καθορισμός των παραμέτρων της K1
2. Εισαγωγή της K1
3. Καθορισμός των παραμέτρων της K2
4. Εισαγωγή της K2 με κοινή την σταθερή κορυφή της με αυτήν της K2
5. Εντολή «Κόμβοι Τοιχώματος» της παραμέτρου του προγράμματος «Λοιπός κόμβος». Έτσι τοποθετούνται τρεις λοιποί κόμβοι, όπως φαίνονται και στην εικόνα.
6. Εισαγωγή των τεσσάρων δεσμικών δοκών των τοιχωμάτων
7. Εντολή «Ομάδα υποστυλωμάτων» της οντότητας «Υποστύλωμα», ορισμός ονόματος ομάδας και επιλογή των K1 και K2 για να οπλιστούν ενιαία. Στύλοι με αριθμό ομάδας 0 είναι ανεξάρτητοι (δεν αποτελούν μέρος σύνθετης διατομής). Οι ομάδες των υποστυλωμάτων φαίνονται στον πίνακα 205.1 «Στατικά – γενικά υποστυλωμάτων»

Μετά την επίλυση και όπλιση των υποστυλωμάτων τα υποστυλώματα της ίδιας ομάδας έχουν κοινό περίγραμμα. Αυτό φαίνεται στις λεπτομέρειες όπλισης των υποστυλωμάτων.

Το στατικό σύστημα του φορέα λόγω της προσθήκης και άλλων 4 τεσσάρων ουσιαστικά τοιχωμάτων προκύπτει ισοδύναμο προς τοιχώματα διπλό σύστημα. Και σε αυτή την περίπτωση ο λόγος υπεραντοχής ελέγχεται από ανάλυση Pushover. Έτσι για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ) ο μέγιστος συντελεστής συμπεριφοράς για τον σχεδιασμό της κατασκευής προκύπτει  $q_x = q_z = 4.50$ .

Για τη θεμελίωση της κατασκευής επιλέγεται εσχάρα πεδילוδοκών. Οι διαστάσεις των πεδילוδικών είναι ίδιες με την προηγούμενη επίλυση, με μόνη εξαίρεση το  $b_{eff}=1,70m$ , ενώ στην προηγούμενη περίπτωση είχε ληφθεί  $b_{eff}=1,80m$ . Τέλος τα φασματικά δεδομένα και γενικότερα όλα τα υπόλοιπα δεδομένα είναι ίδια με την προηγούμενη επίλυση με τοιχώματα και με τις επιλύσεις για ΚΠΜ και ΚΠΥ του κτηρίου μόνο με υποστυλώματα.

### 10.2.2 Επίλυση και όπλιση κτηρίου

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>K2</b>	55/55	10Φ20+7Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K3</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K4</b>	55/55	8Φ18+6Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K5</b>	55/55	14Φ18+4Φ14	4τμ ΣΦ8/13
<b>K7</b>	55/55	16Φ20+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K8</b>	60/60	18Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K9</b>	60/60	18Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K10</b>	55/55	16Φ20+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K11</b>	55/55	16Φ20+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K12</b>	60/60	18Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K13</b>	60/60	18Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K14</b>	55/55	16Φ20+4Φ14	4τμ ΣΦ8/11
<b>K16</b>	55/55	10Φ20+4Φ18	4τμ ΣΦ8/14
<b>K17</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K18</b>	55/55	8Φ18+6Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K19</b>	55/55	14Φ18+4Φ14	4τμ ΣΦ8/13

*Πίνακας 10.5 Οπλισμοί υποστυλωμάτων που προήλθαν από τη διαστασιολόγηση του προγράμματος FESPA. Οι παραπάνω οπλισμοί ισχύουν για τη στάθμη του ισογείου του δομήματος.*

<b>ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ</b>	<b>ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΙ</b>	<b>ΕΣΧΑΡΕΣ</b>	<b>IC(cm)- ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
1	K1	200/35	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
	K23	35/200	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
2	K6	35/200	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
	K21	200/35	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11

3	K15	35/200	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
	K22	200/35	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
4	K20	200/35	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11
	K24	35/200	10Φ16+7Φ14	Ορ. Φ8/20 Κατ. Φ8/14	38 - 3τμ ΣΦ8/11

*Πίνακας 10.6 Οπλισμοί τοιχωμάτων που προέκυψαν από τη διαστασιολόγηση του προγράμματος FESPA. Οι παραπάνω οπλισμοί ισχύουν για τη στάθμη του ισογείου του δομήματος.*

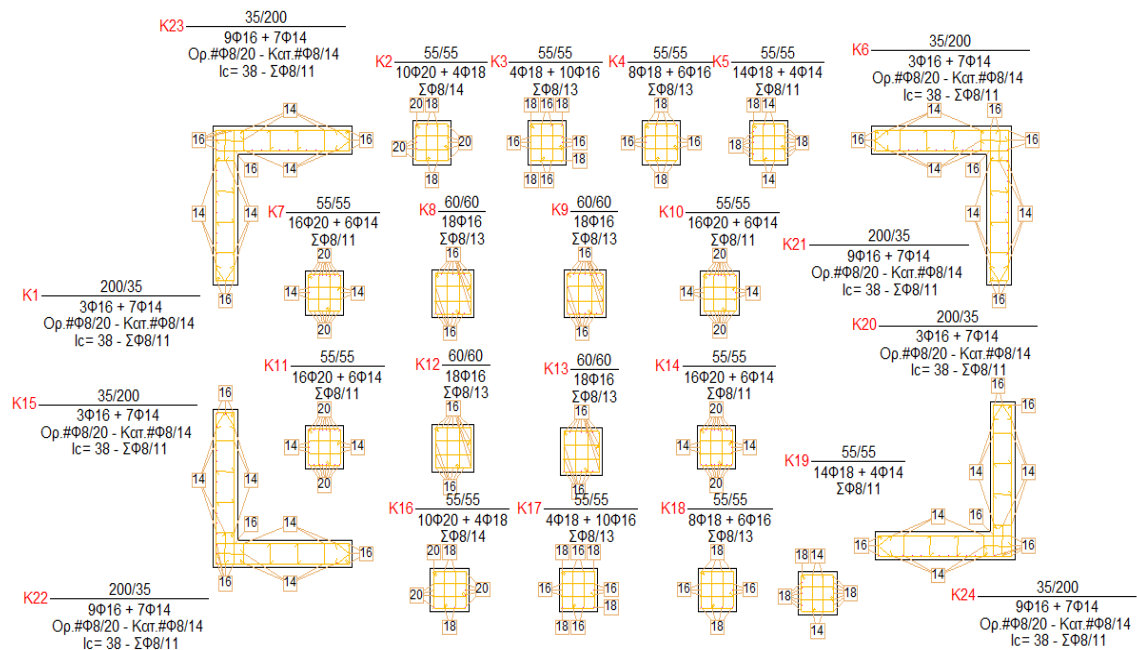
ΔΟΚΟΣ	ΘΕΣΗ	Οπλισμός ( L )	Οπλισμός ( R )	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
1.1	Άνω	4Φ18+1Φ12	4Φ18+2Φ12	2τμ Φ8/12
	Κάτω	5Φ18	9Φ18	
1.2	Άνω	4Φ18+2Φ12	2Φ12+3Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	9Φ18	4Φ18+3Φ20	
1.3	Άνω	2Φ12+3Φ18	3Φ18+2Φ14	2τμ Φ8/14
	Κάτω	4Φ18+3Φ20	3Φ20+7Φ14	
1.4	Άνω	3Φ18+2Φ14	2Φ14+4Φ18	2τμ Φ8/11
	Κάτω	3Φ20+7Φ14	7Φ14+5Φ18	
1.5	Άνω	2Φ14+4Φ18	4Φ18	2τμ Φ8/12
	Κάτω	7Φ14+5Φ18	5Φ18	
2.1	Άνω	2Φ12+5Φ18	2Φ12+3Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	4Φ20	6Φ20	
2.2	Άνω	2Φ12+3Φ20	3Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	6Φ20	6Φ20	
2.3	Άνω	3Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	6Φ20	4Φ20	
3.1	Άνω	2Φ12+5Φ18	2Φ12+3Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	4Φ20	6Φ20	
3.2	Άνω	2Φ12+3Φ20	3Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/15
	Κάτω	6Φ20	6Φ20	



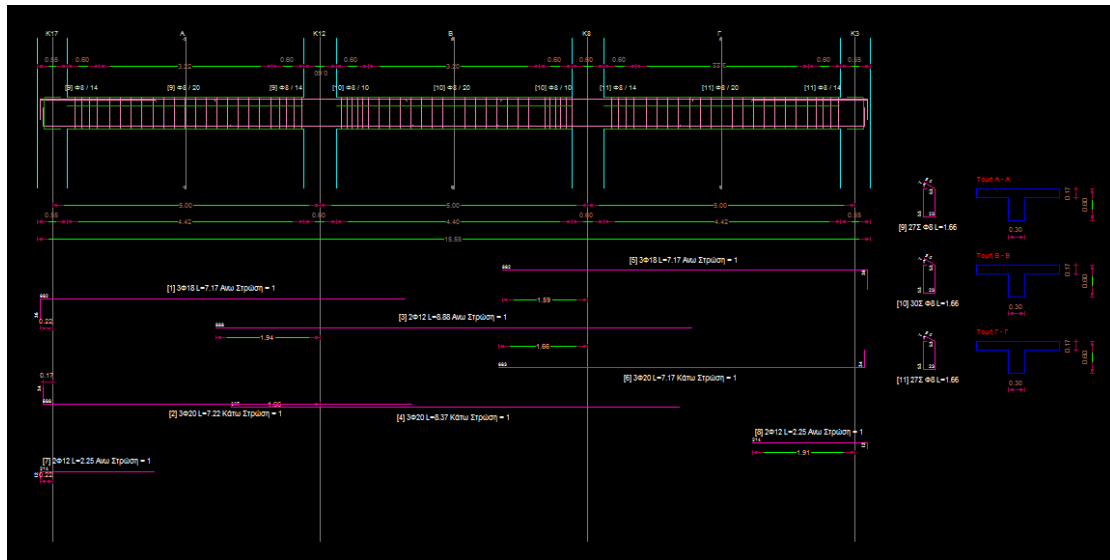
<b>3.3</b>	Άνω	3Φ20+2Φ12	2Φ12+5Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	6Φ20	4Φ20	
<b>4.1</b>	Άνω	4Φ18+1Φ12	4Φ18+2Φ12	2τμ Φ8/12
	Κάτω	5Φ18	9Φ18	
<b>4.2</b>	Άνω	4Φ18+2Φ12	2Φ12+3Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	9Φ18	4Φ18+3Φ20	
<b>4.3</b>	Άνω	2Φ12+3Φ18	3Φ18+2Φ14	2τμ Φ8/14
	Κάτω	4Φ18+3Φ20	3Φ20+7Φ14	
<b>4.4</b>	Άνω	3Φ18+2Φ14	2Φ14+4Φ18	2τμ Φ8/11
	Κάτω	3Φ20+7Φ14	7Φ14+5Φ18	
<b>4.5</b>	Άνω	2Φ14+4Φ18	4Φ18	2τμ Φ8/12
	Κάτω	7Φ14+5Φ18	5Φ18	
<b>5.1</b>	Άνω	4Φ20+1Φ12	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/13
	Κάτω	5Φ20	9Φ20	
<b>5.2</b>	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	9Φ20	9Φ20	
<b>5.3</b>	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+1Φ12	2τμ Φ8/13
	Κάτω	9Φ20	5Φ20	
<b>6.1</b>	Άνω	3Φ18+2Φ12	3Φ18+2Φ12	2τμ Φ8/14
	Κάτω	3Φ20	6Φ20	
<b>6.2</b>	Άνω	3Φ18+2Φ12	2Φ12+3Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	6Φ20	6Φ20	
<b>6.3</b>	Άνω	2Φ12+3Φ18	3Φ18+2Φ12	2τμ Φ8/14
	Κάτω	6Φ20	3Φ20	
<b>7.1</b>	Άνω	3Φ18+2Φ12	3Φ18+2Φ12	2τμ Φ8/14
	Κάτω	3Φ20	6Φ20	
<b>7.2</b>	Άνω	3Φ18+2Φ12	2Φ12+3Φ18	2τμ Φ8/10
	Κάτω	6Φ20	6Φ20	
<b>7.3</b>	Άνω	2Φ12+3Φ18	3Φ18+2Φ12	2τμ Φ8/14

	Κάτω	6Φ20	3Φ20	
8.1	Άνω	4Φ20+1Φ12	4Φ20+2Φ12	2τμ Φ8/13
	Κάτω	5Φ20	9Φ20	
8.2	Άνω	4Φ20+2Φ12	2Φ12+4Φ20	2τμ Φ8/10
	Κάτω	9Φ20	9Φ20	
8.3	Άνω	2Φ12+4Φ20	4Φ20+1Φ12	2τμ Φ8/13
	Κάτω	9Φ20	5Φ20	

**Πίνακας 10.7** Οπλισμοί δοκών οροφής ισογείου που προέκυψαν από το πρόγραμμα FESPA κατά τη διαστασιολόγηση του κτηρίου.



**Σχήμα 10.7** Λεπτομέρειες όπλισης υποστυλωμάτων της στάθμης του ισογείου σύμφωνα με τον EC2 και EC8 για ΚΠΜ. Διακρίνονται οι τέσσερις ομάδες υποστυλωμάτων, αποτελούμενες η κάθε μία από 2 πλάσιμα τοιχώματα, οι οποίες οπλίζονται ως μια ενιαία σύνθετη διατομή



Σχήμα 10.8 Τομή δοκού 6 της στάθμης του ισογείου και αναπτύγματα οπλισμών. Η όπλιση έγινε σύμφωνα με τον EC2 και EC8 για ΚΠΜ

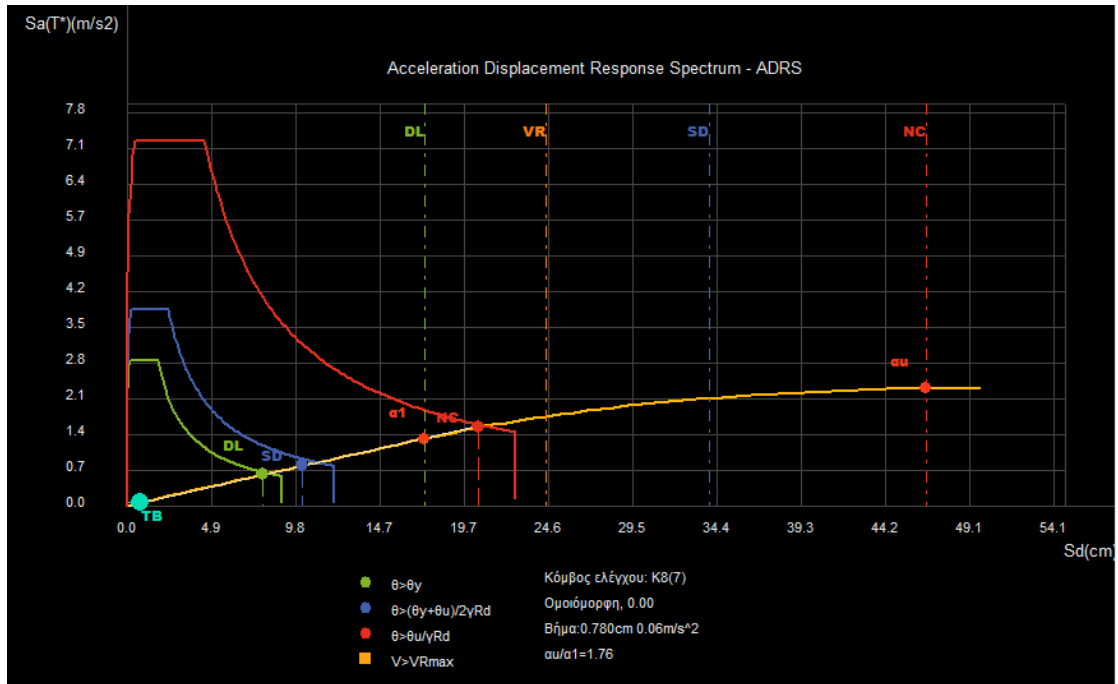
### 10.2.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

Επίπεδο	Υψόμετρο (m)	$\theta$	dsX (cm)	dsZ(cm)	$\max(drX)*v/h$	$\max(drZ)*v/h$
1	5	0.127	3.68	4.00	0.00368	0.00400
2	8	0.105	5.56	6.13	0.00317	0.00359
3	11	0.092	7.31	8.12	0.00293	0.00333
4	14	0.079	8.92	9.95	0.00272	0.00309
5	17	0.066	10.39	11.62	0.00249	0.00283
6	20	0.054	11.72	13.11	0.00225	0.00255
7	23	0.043	12.89	14.43	0.00200	0.00226
8	26	0.035	13.93	15.60	0.00178	0.00201

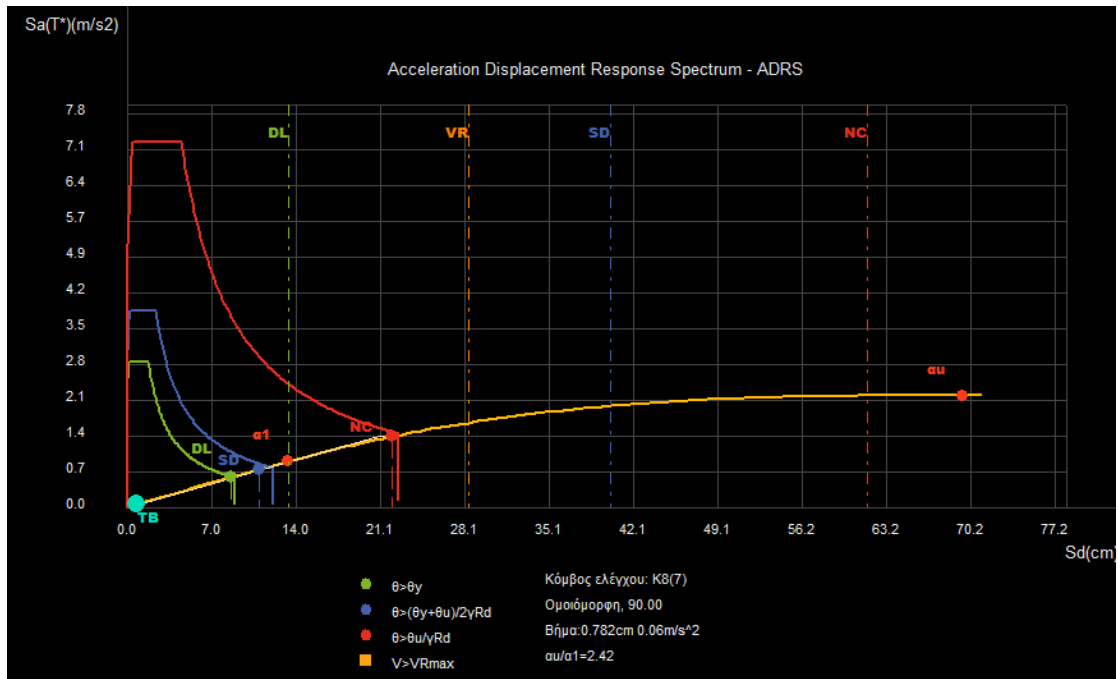
Πίνακας 10.8 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

### 10.2.4 Ανελαστική στατική ανάλυση

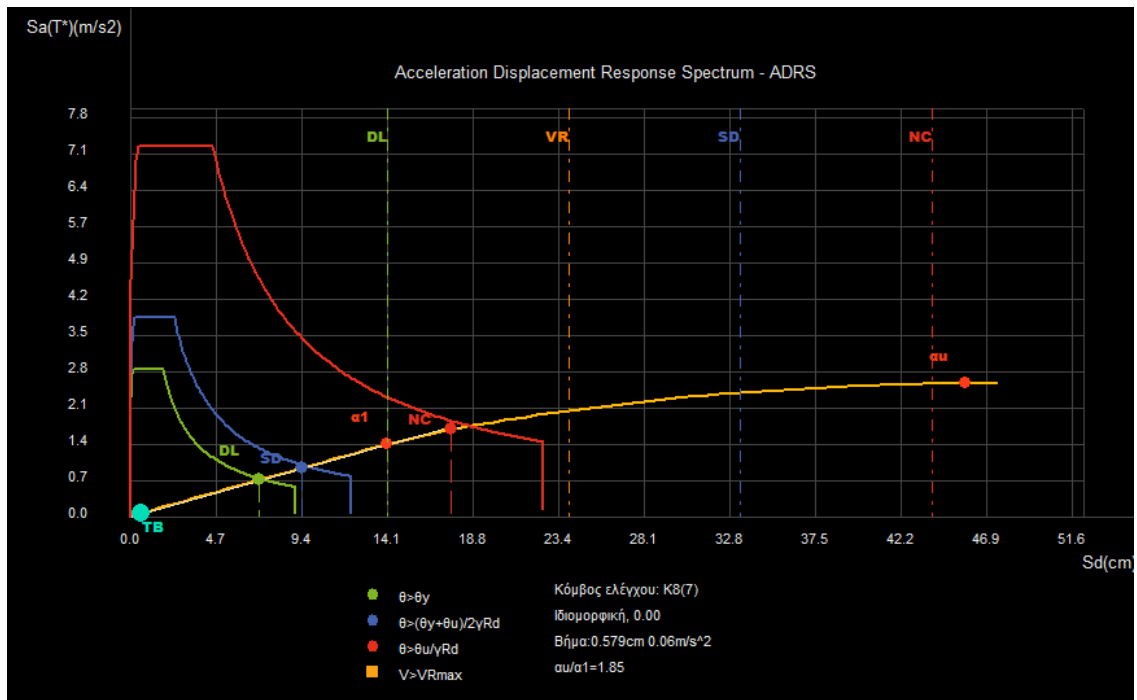
Σεισμική δράση κατά X και σεισμική δράση κατά Z



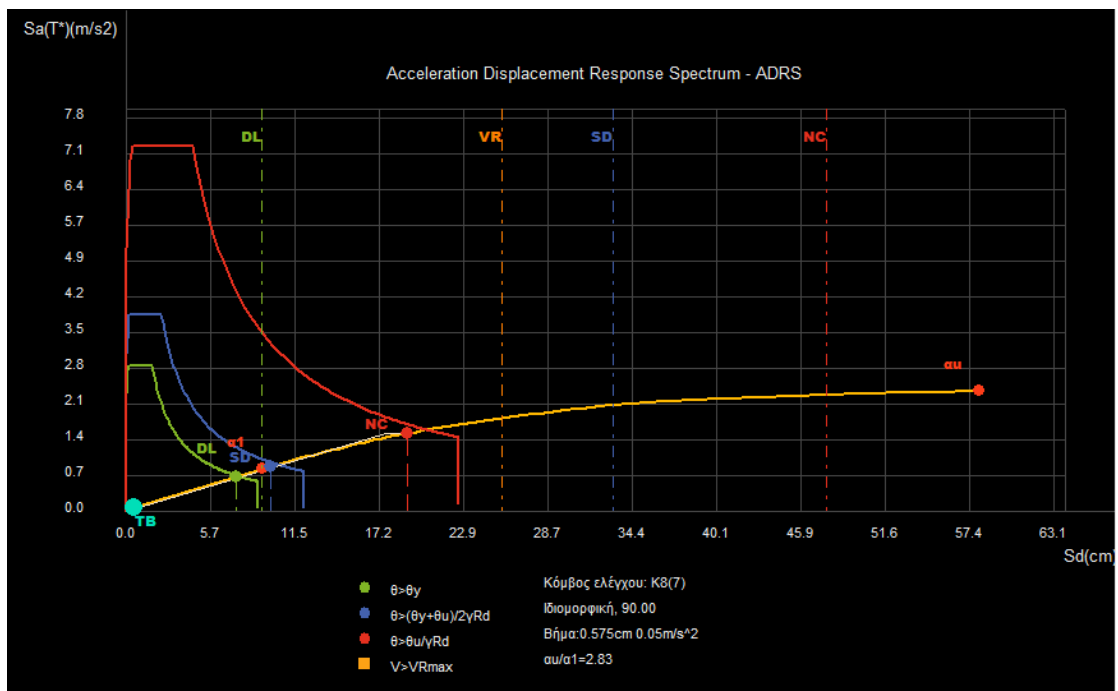
**Διάγραμμα 10.5** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα μορφής Γ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.



**Διάγραμμα 10.6** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα μορφής Γ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$  και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



**Διάγραμμα 10.7** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα μορφής Γ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση X, γωνία σεισμικής δράσης 0° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.



**Διάγραμμα 10.8** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με γωνιακά τοιχώματα μορφής Γ για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

Από τα φάσματα απαίτησης – ικανότητας παρατηρείται ότι δεν έχει συμβεί καμία υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης οποιασδήποτε εκ των τριών σταθμών επιτελεσματικότητας. Επίσης για τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης NC (Οιονεί Κατάρρευση) δεν έχει σημειωθεί διατμητική αστοχία σε κάποιο μέλος του φορέα.

Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές, που δηλώνουν το σημείο όπου κάποιο μέλος του φορέα υπερβαίνει τα όρια κάποιας στάθμης επιτελεστικότητας ή εμφανίζει διατμητική αστοχία, βρίσκονται δεξιά από τις στοχευόμενες μετακινήσεις των αντίστοιχων σταθμών επιτελεστικότητας.

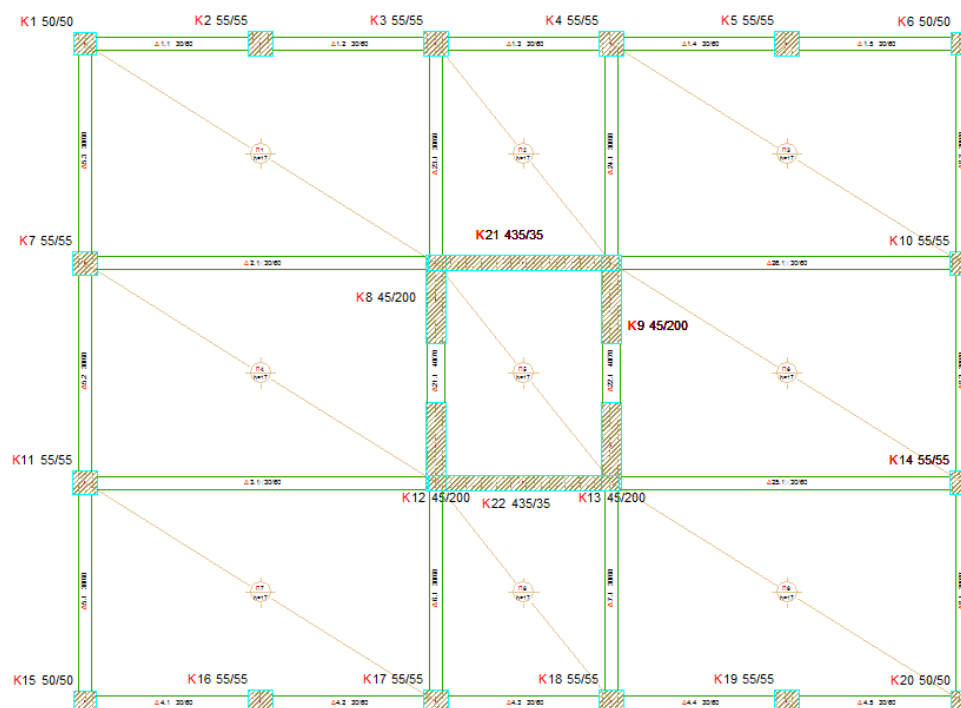
Επίσης στις εικόνες με τα διαγράμματα ADRS απεικονίζονται και οι λόγοι υπεραντοχής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 1,76$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{a1}{au} = 1,85$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{au}{a1} = 2,42$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{a1}{au} = 2,83$

## 10.3 Κατασκευή πυρήνα τοιχωμάτων

### 10.3.1 Εισαγωγή

Στην συγκεκριμένη μελέτη οι δοκοί 2.2 και 3.2 του κτηρίου θα αντικατασταθούν από τοιχώματα διαστάσεων 435x35, ενώ τα υποστύλωματα K8, K9, K12 και K13 θα αντικατασταθούν από πλάστιμα τοιχώματα διαστάσεων 45x200. Η κάτοψη ενός ορόφου της κατασκευής, όπως διαμορφώνεται μετά τις αλλαγές φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 10.9** Κάτοψη ορόφου για το σενάριο κατασκευής γωνιακών τοιχωμάτων διατομής Γ. Το κτήριο είναι συμμετρικό σε κάτοψη.

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο για τις ομάδες τοιχωμάτων στο συγκεκριμένο κτήριο έχουμε δύο (2) ομάδες. Η ομάδα 1 συμπεριλαμβάνει τα τοιχώματα K8, K9 και K21 και η ομάδα 2 τα τοιχώματα K12, K13 και K22. Οι ομάδες παραμένουν ίδιες και περιλαμβάνουν τα ίδια τοιχώματα σε όλους τους ορόφους.

Το στατικό σύστημα της κατασκευής προκύπτει ισοδύναμο προς τοιχώματα διπλό σύστημα κατά τη διεύθυνση X και σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων κατά τη διεύθυνση Z. Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  καθορίζεται από Pushover, επομένως λαμβάνεται  $q_x = q_z = 4.50$  που είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει κατά το σχεδιασμό κτηρίου για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέσης (ΚΠΜ).

Σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων είναι ένα σύστημα δύο ή περισσότερων τοιχωμάτων που συνδέονται σε τυπικές αποστάσεις μεταξύ τους με πλαστικές δοκούς σύζευξης. Στο κτήριο πλαστικές δοκοί σύζευξης είναι οι δοκοί Δ13.1 και Δ14.1 διαστάσεων διατομής 40x70 (cm) στην οροφή του ισογείου και 30x60 (cm) σε όλους τους υπερκείμενους ορόφους. Αυτό συμβαίνει λόγω της προσθήκης τοιχωμάτων η οποία επηρεάζει αρνητικά τις δοκούς που συνδέονται σε αυτά. Τα τοιχώματα εκτείνονται σε όλο το ύψος του κτηρίου και έχουν πολύ μεγάλη δυσκαμψία με αποτέλεσμα να συγκεντρώνουν πολύ μεγάλο μέρος των σεισμικών δυνάμεων που δέχεται το κτήριο, οι οποίες επηρεάζουν και τις δοκούς που συνδέουν τα τοιχώματα αυτά μεταξύ τους.

Για τη θεμελίωση της κατασκευής επιλέγεται εσχάρα πεδילוδοκών. Οι διαστάσεις των πεδילוδικών είναι ίδιες με την προηγούμενη επίλυση, με μόνη εξαίρεση το  $b_{eff}=1,80m$  και το  $b_w=0,50m$ . Τέλος τα φασματικά δεδομένα και γενικότερα όλα τα υπόλοιπα δεδομένα είναι ίδια με την προηγούμενη επίλυση με τοιχώματα και με τις επιλύσεις για ΚΠΜ και ΚΠΥ του κτηρίου μόνο με υποστυλώματα.

### 10.3.2 Επίλυση και Όπλιση κτηρίου

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ</b>
<b>K1</b>	50/50	8Φ20	3τμ ΣΦ8/16
<b>K2</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K3</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K4</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K5</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K6</b>	50/50	8Φ20	3τμ ΣΦ8/16
<b>K7</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K10</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K11</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K14</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K15</b>	50/50	8Φ20	3τμ ΣΦ8/16
<b>K16</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K17</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K18</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13

<b>K19</b>	55/55	4Φ18+10Φ16	4τμ ΣΦ8/13
<b>K20</b>	50/50	8Φ20	3τμ ΣΦ8/16

*Πίνακας 10.9* Οπλισμοί υποστλωμάτων που προήλθαν από τη διαστασιολόγηση του προγράμματος FESPA. Οι παραπάνω οπλισμοί ισχύουν για τη στάθμη του ισογείου του δομήματος.

<b>ΟΜΑΔΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ</b>	<b>ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΟΙ</b>	<b>ΕΣΧΑΡΕΣ</b>	<b>ΙC - ΣΥΝΑΕΤΗΡΕΣ</b>
1	K8	45/200	10Φ16+15Φ14	Ορ. Φ8/12 Κατ. Φ8/11	70 - 5τμ ΣΦ8/11
	K9	45/200	10Φ16+15Φ14	Ορ. Φ8/12 Κατ. Φ8/11	70 - 5τμ ΣΦ8/11
	K21	435/35	14Φ16+10Φ14	Ορ. Φ8/13 Κατ. Φ8/14	65 - 4τμ ΣΦ8/11
2	K12	45/200	10Φ16+15Φ14	Ορ. Φ8/12 Κατ. Φ8/11	70 - 5τμ ΣΦ8/11
	K13	45/200	10Φ16+15Φ14	Ορ. Φ8/12 Κατ. Φ8/11	70 - 5τμ ΣΦ8/11
	K22	435/35	14Φ16+10Φ14	Ορ. Φ8/13 Κατ. Φ8/14	65 - 4τμ ΣΦ8/11

*Πίνακας 10.10* Οπλισμοί σύνθετης διατομής τοιχωμάτων που προήλθαν από τη διαστασιολόγηση του προγράμματος FESPA. Οι παραπάνω οπλισμοί ισχύουν για τη στάθμη του ισογείου του δομήματος.

### 10.3.3 Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

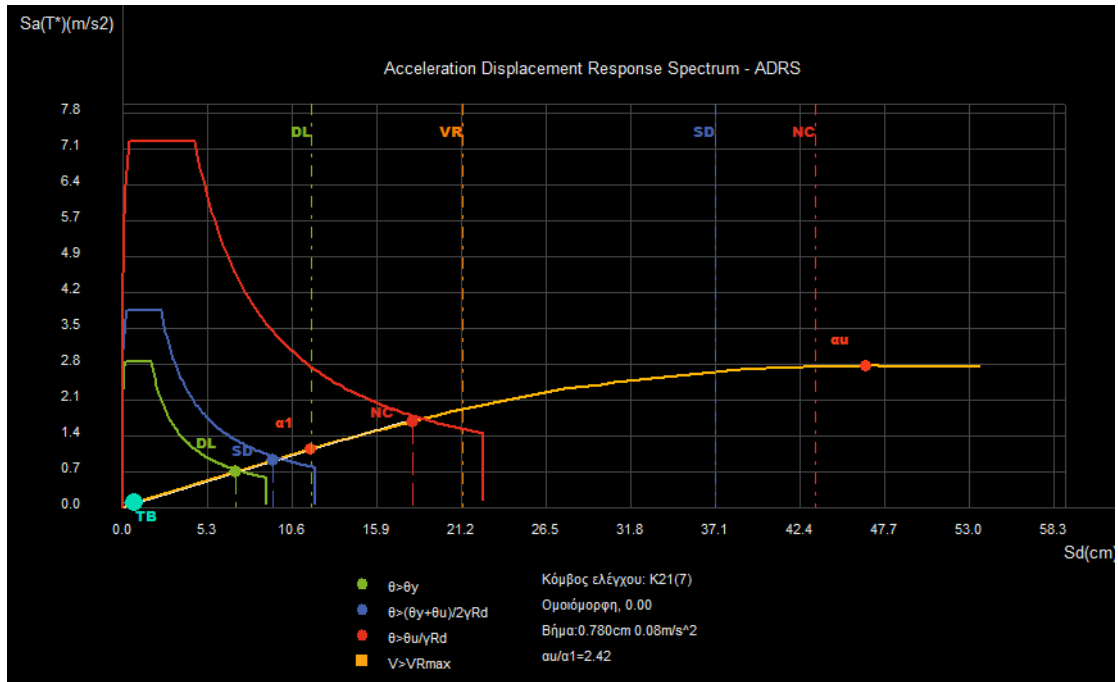
<b>Επίπεδο</b>	<b>Υψόμετρο (m)</b>	<b>θ</b>	<b>dsX (cm)</b>	<b>dsZ(cm)</b>	<b>max(drX)*v/h</b>	<b>max(drZ)*v/h</b>
1	5	0.067	3.68	4.00	0.00368	0.00400
2	8	0.057	5.56	6.13	0.00317	0.00359
3	11	0.053	7.31	8.12	0.00293	0.00333
4	14	0.048	8.92	9.95	0.00272	0.00309
5	17	0.042	10.	11.62	0.00249	0.00283
6	20	0.037	11.27	13.11	0.00225	0.00255
7	23	0.032	12.64	14.43	0.00200	0.00226
8	26	0.028	13.86	15.60	0.00178	0.00201

*Πίνακας 10.11* Αποτελέσματα επίλυσης φορέα

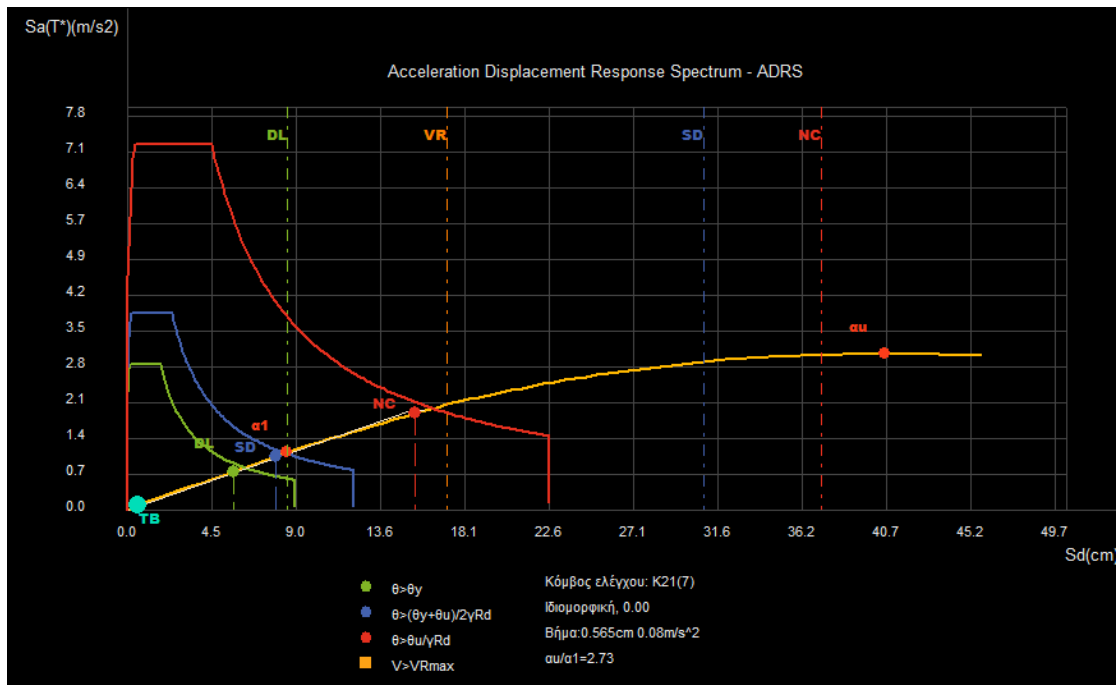


### 10.3.4 Ανελαστική στατική ανάλυση

Σεισμική δράση κατά  $X$

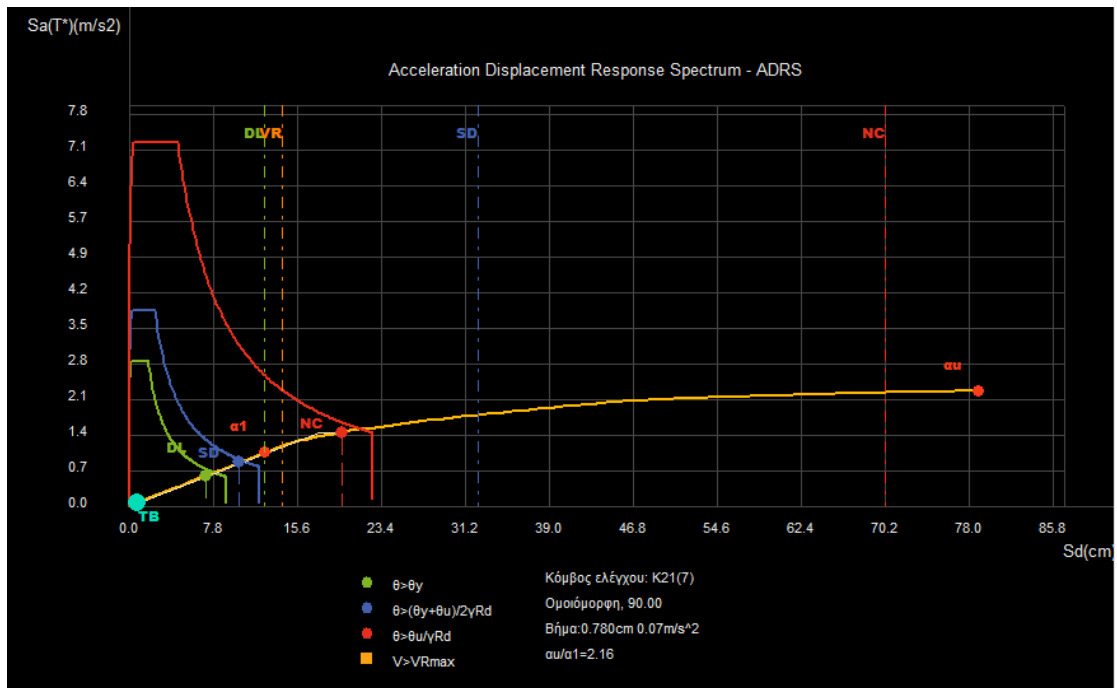


**Διάγραμμα 10.9** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με πυρήνα τοιχωμάτων για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση  $X$ , γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη.

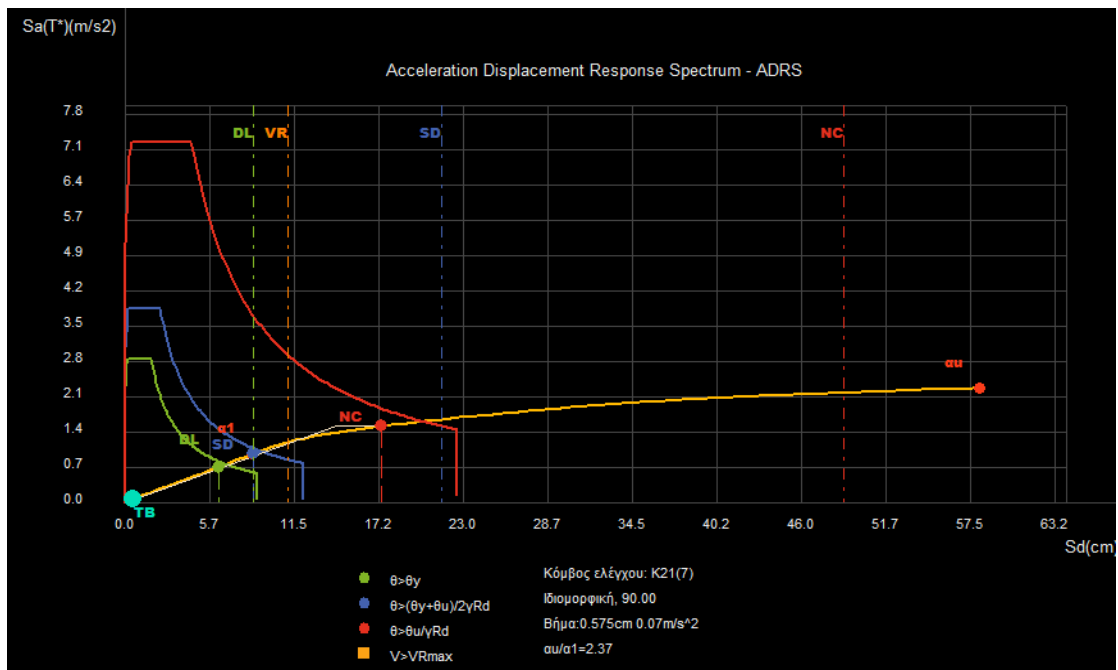


**Διάγραμμα 10.10** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με πυρήνα τοιχωμάτων για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση  $X$ , γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική.

Σεισμική δράση κατά Z



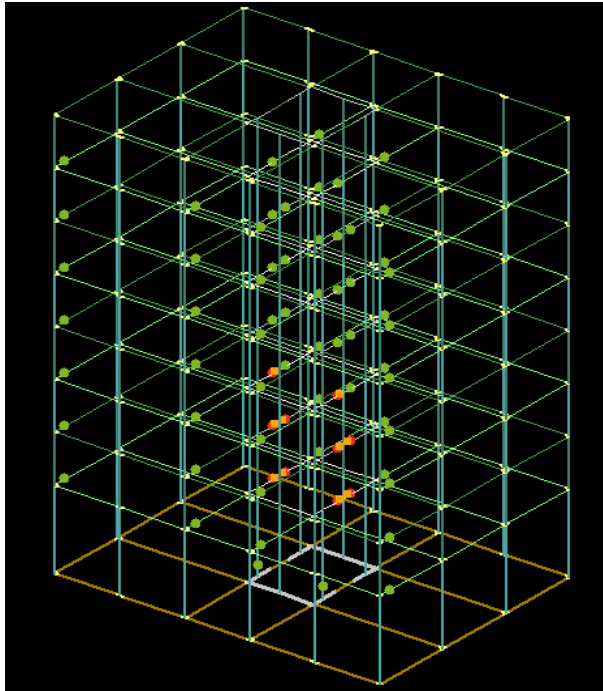
**Διάγραμμα 10.11** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με πυρήνα τοιχωμάτων για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ομοιόμορφη



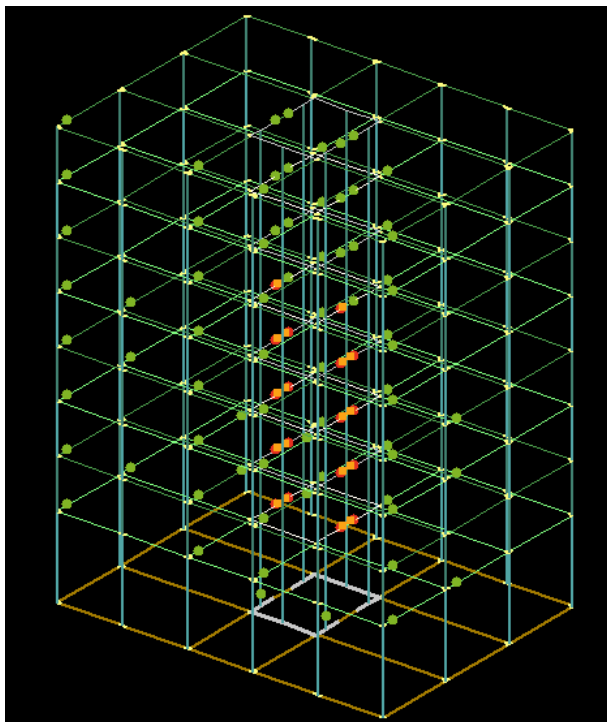
**Διάγραμμα 10.12** Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος ΚΠΜ με πυρήνα τοιχωμάτων για φόρτιση σεισμού κατά διεύθυνση Z, γωνία σεισμικής δράσης 90° και καθ' ύψος κατανομή σεισμικού φορτίου ιδιομορφική

Από τα διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας για σεισμική δράση κατά Z παρατηρείται υπέρβαση της στάθμης επιτελεστικότητας προστασίας ζωής λόγω διατμητικής αστοχίας μελών του φορέα.

Ακολουθούν εικόνες του φορέα στο βήμα της στοχευόμενης μετακίνησης της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης για την δύο κατανομές φορτίων καθ' ύψος της σεισμικής δράσης κατά Z.



*Σχήμα 10.10* Εικόνα παραμορφωμένου φορέα για ομοιομορφική κατανομή.



*Σχήμα 10.11* Εικόνα παραμορφωμένου φορέα για ιδιομορφική κατανομή.

Για την ομοιόμορφη κατανομή φορτίων για το βήμα της στοχευόμενης μετακίνησης της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης οι δοκοί σύζευξης των τοιχωμάτων στις οροφές του ισογείου, 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> ορόφου έχουν αστοχήσει σε διάτμηση. Για την ιδιομορφική κατανομή έχουν αστοχήσει οι δοκοί σύζευξης των τοιχωμάτων ης οροφής του ισογείου, 1<sup>ου</sup>, 2<sup>ου</sup>, 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου. Η διατμητική αστοχία των δοκών συμβαίνει λόγω της προσθήκης του πυρήνα τοιχωμάτων. Ο πυρήνας τοιχωμάτων λόγω της μεγάλης του δυσκαμψίας σε σχέση με τα υποστυλώματα αναλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των σεισμικών δυνάμεων, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται αρνητικά και οι δοκοί που συνδέονται μεταξύ τους, όπως έχει προαναφερθεί σε αυτό το κεφάλαιο. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, ώστε να ικανοποιείται η στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC) θα πρέπει να υπάρξει αύξηση των διαστάσεων της διατομής των δοκών που αστοχούν ή ενίσχυση τους με μεταλλικά ελάσματα.

Για την σεισμική δράση κατά X δεν υπάρχει καμία υπέρβαση της στοχευόμενης μετακίνησης κάποιας από τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Ακόμη για την μετακίνηση της δυσμενέστερης στάθμης (NC) δεν έχει αστοχήσει κανένα μέλος του φορέα διατμητικά.

Παρακάτω παρατίθενται οι λόγοι υπεραντοχής που προήλθαν από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις:

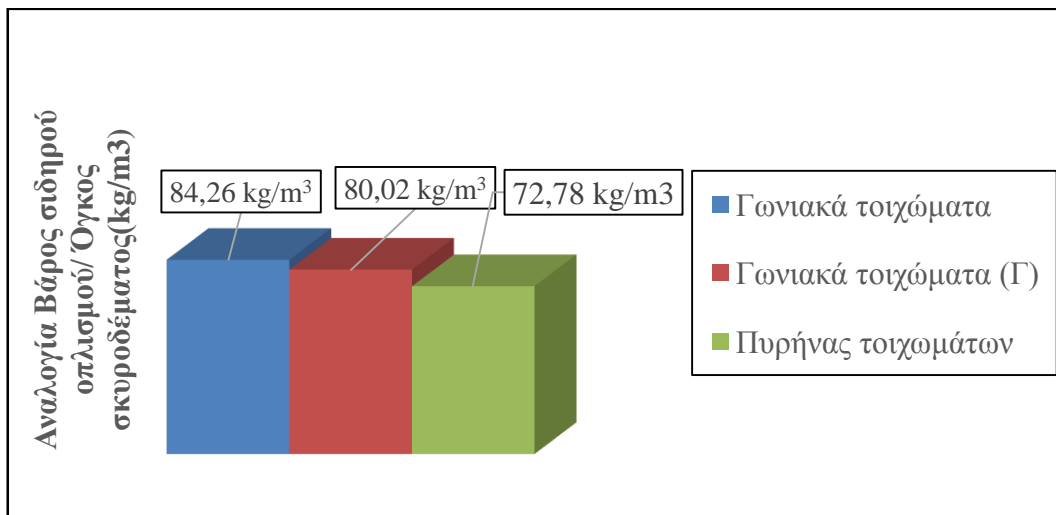
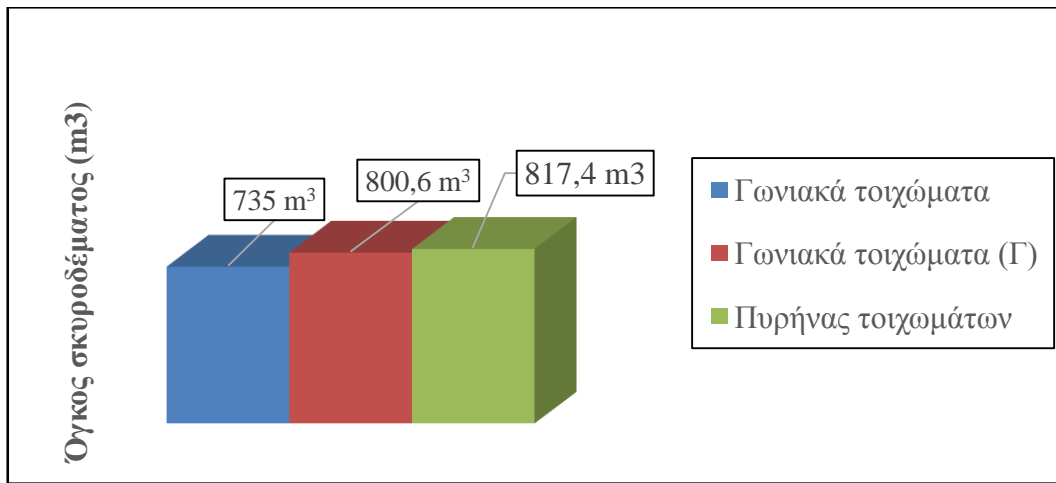
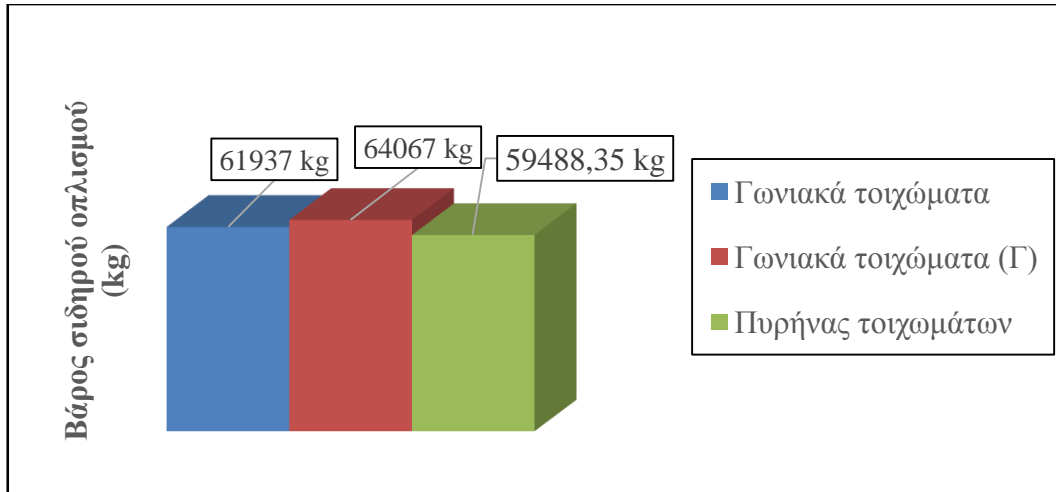
Επίσης στις εικόνες με τα διαγράμματα ADRS απεικονίζονται και οι λόγοι υπεραντοχής. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha u}{a_1} = 2,42$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά X  $\rightarrow \frac{\alpha u}{a_1} = 2,73$
- Ομοιόμορφη κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha u}{a_1} = 2,16$
- Ιδιομορφική κατανομή και σεισμική δράση κατά Z  $\rightarrow \frac{\alpha u}{a_1} = 2,37$

Διαπιστώνεται ότι είναι η πρώτη αποτίμηση φέρουσας ικανότητας στην παρούσα διπλωματική για το συγκεκριμένο κτήριο που οι λόγοι υπεραντοχής κατά Z είναι μικρότεροι από τους λόγους υπεραντοχής κατά X.

## 10.4 Συνολική προμέτρηση

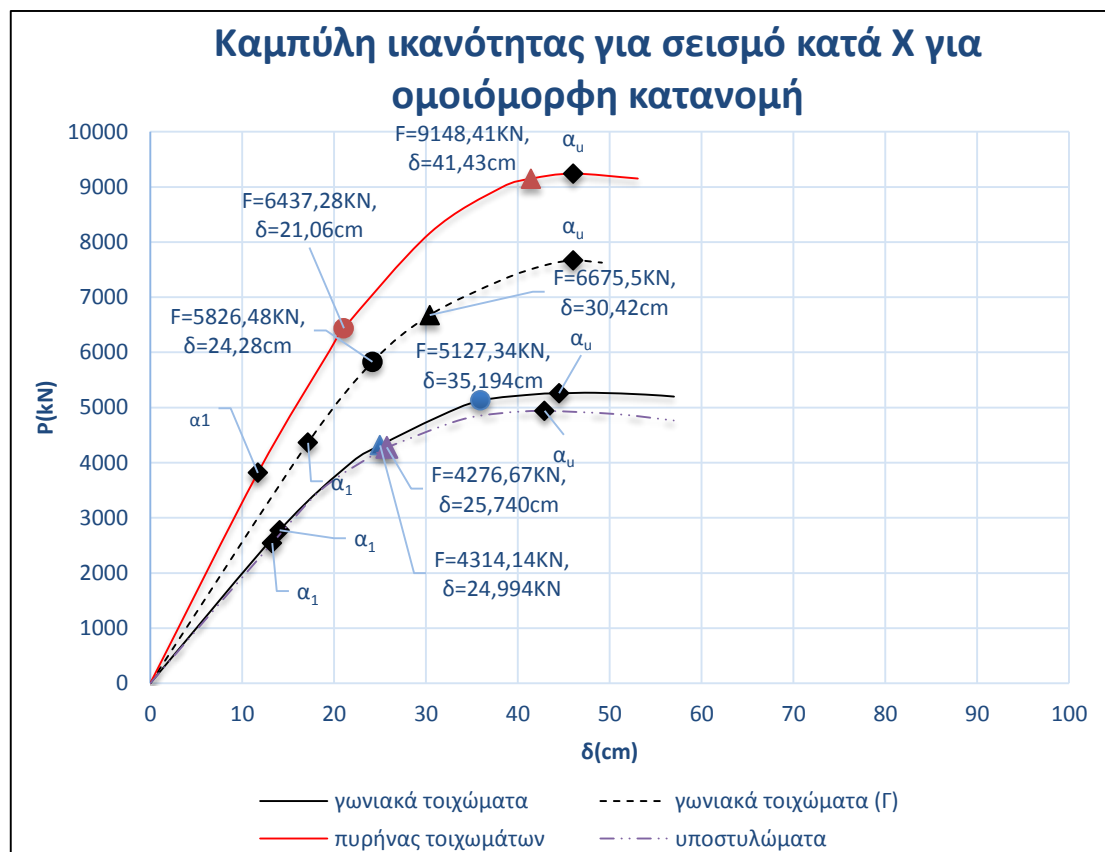
Παρατίθεται παρακάτω η συνολική προμέτρηση για τα τρία σενάρια κατασκευής τοιχωμάτων. Παρουσιάζονται τρεις πίνακες με το βάρος του σιδηρού οπλισμού, τον όγκο του σκυροδέματος που απαιτείται και την αναλογία αυτών των δύο μεταξύ τους.



*Σχήμα 10.12 Συνολική προμέτρηση για τα τρία σενάρια κατασκευής τοιχωμάτων*

## 10.5 Σύγκριση καμπυλών ικανότητας φορέων

### 10.5.1 Ομοιόμορφη κατανομή



**Διάγραμμα 10.13** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας των φορέων για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για κτήριο με υποστυλώματα (μωβ γραμμή) και β) για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα (μαύρη γραμμή), για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα διατομής Γ (μαύρη διακεκομμένη) και για κτήριο με πυρήνα τοιχωμάτων (κόκκινη γραμμή) η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση X και για γωνία σεισμικής δράσης 0° για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Με τρίγωνο σημειώνονται τα σημεία που εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία στον φορέα σε δοκό, ενώ με κύκλο απεικονίζεται το σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία τοιχώματος στο φορέα.

	Γωνιακά τοιχώματα	Γωνιακά τοιχώματα(Γ)	Πυρήνας τοιχωμάτων	Υποστυλώματα
$\delta y(cm)$	14,074	17,16	11,7	13,26
$Fy(kN)$	2775,35	4360,92	3815,41	2541,73
$\delta u(cm)$	48,394	46,02	46,02	42,9
$Fu(kN)$	5269,6	7663,36	9240,38	4939,4

**Πίνακας 10.12** Χαρακτηριστικά σημεία καμπυλών ικανότητας του διαγράμματος 10.9

Παρατηρείται από τις καμπύλες ανελαστικής στατικής ανάλυσης ότι αναφορικά με την αρχική δυσκαμψία των φορέων ισχύει:

$$K_{\text{πυρήνας τοιχωμάτων}} > K_{\text{τοιχώματα(Γ)}} > K_{\text{τοιχώματα}} > K_{\text{υποστυλώματα}} \rightarrow \\ 32610,34\text{KN/m} > 24777,96\text{KN/m} > 19719,70\text{KN/m} > 19168,40\text{KN/m}$$

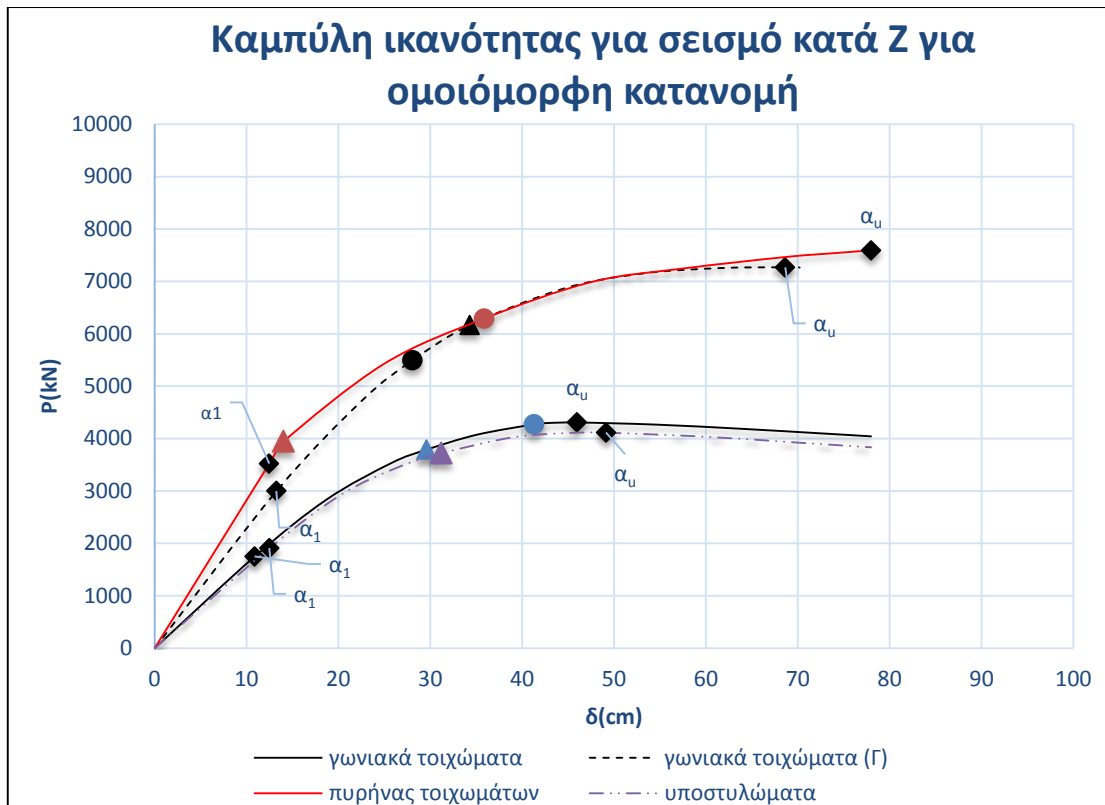
Επίσης παρατηρείται ότι όσο προστίθενται στον φορέα όλο και μεγαλύτερα σε διαστάσεις τοιχώματα αυξάνεται και η μέγιστη τέμνουσα βάσης που αναπτύσσει ο φορέας ( $F_{\max}$ ), αντίθετα όμως δεν συμβαίνει το ίδιο και με τη μετατόπιση μηχανισμού κατάρρευσης  $\delta_u$ , η παραμένει στα ίδια περίπου επίπεδα τιμών. Σε σχέση με τον φορέα με τα υποστυλώματα, στον φορέα με τα γωνιακά τοιχώματα η  $F_{\max}$  αυξήθηκε κατά 6,67%, στον φορέα με τα γωνιακά τοιχώματα μορφής Γ παρουσιάστηκε αύξηση 55,15%, ενώ στο κτήριο με τον πυρήνα τοιχωμάτων παρουσιάστηκε αύξηση 87,08%.

Επίσης στους φορείς με τα γωνιακά τοιχώματα (Γ) και τον πυρήνα τοιχωμάτων η διατμητική αστοχία τοιχώματος προηγείται της διατμητικής αστοχίας δοκού, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα. Συγκεκριμένα στον φορέα με τα γωνιακά τοιχώματα η δύναμη που προκαλεί διατμητική αστοχία κάποιας δοκού είναι 1,146 φορές μεγαλύτερη της τέμνουσας βάσης του φορέα για την οποία αστοχεί σε διάτμηση κάποιο τοίχωμα, ενώ στον φορέα με τον πυρήνα τοιχωμάτων είναι 1,421 φορές μεγαλύτερη.

Επίσης όσο ο φορέας αποτελείται από περισσότερα τοιχώματα η μετακίνηση κορυφής για την οποία αστοχεί κάποιο τοίχωμα μειώνεται. Συγκρίνοντας τους δύο φορείς με τα γωνιακά τοιχώματα, τοποθετώντας στην κατασκευή τοιχώματα διατομής Γ μειώνει τη μετακίνηση κορυφής για την οποία αστοχεί κάποιο τοίχωμα διατμητικά κατά 31,01%. Για το κτήριο με τον πυρήνα τοιχωμάτων η μετακίνηση διατμητικής αστοχίας τοιχώματος μειώθηκε κατά 13,26% σε σχέση με το κτήριο με γωνιακά τοιχώματα τύπου Γ και κατά 40,16% σε σχέση με το άλλο.

Ακόμη για την ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης και κυρίως τη σεισμική δράση κατά X παρατηρείται ότι όσο προστίθενται μεγαλύτερα και περισσότερα τοιχώματα στον φορέα, καθυστερεί η εμφάνιση διατμητικών αστοχιών στις δοκούς. Συγκεκριμένα στον φορέα με τα γωνιακά τοιχώματα τύπου (Γ) η τέμνουσα βάσης και η μετακίνηση κόμβου ελέγχου(κορυφής) είναι κατά 56,07% και 21,71% αυξημένες σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη για το κτήριο με γωνιακά τοιχώματα. Για την κατασκευή με πυρήνα σε σύγκριση με τα τοιχώματα τύπου Γ η αύξηση είναι 37,05% και 36,19% αντίστοιχα.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με τις καμπύλες ικανότητας των τεσσάρων φορέων για σεισμική δράση κατά X και ιδιομορφική κατανομή καθ' ύψος και για σεισμική δράση κατά Z για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή.

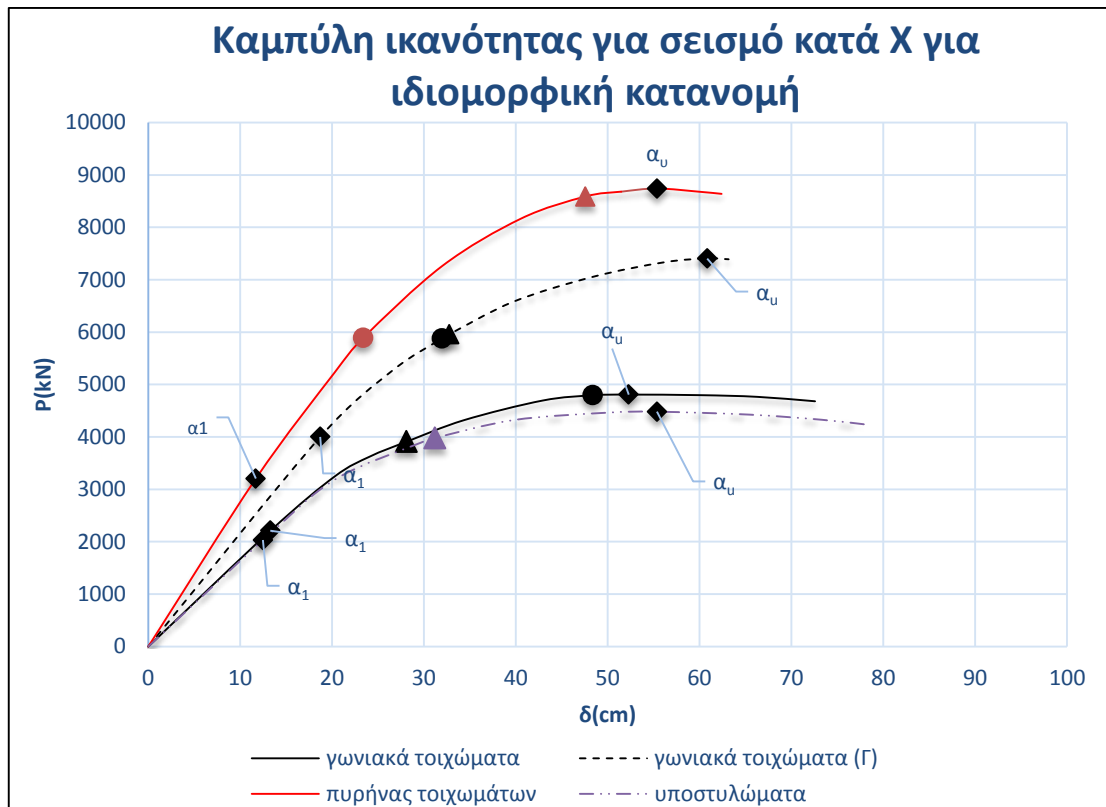


**Διάγραμμα 10.14** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας του φορέων για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για κτήριο με υποστυλώματα (μωβ γραμμή) και β) για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα (μαύρη γραμμή), για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα διατομής  $\Gamma$  (μαύρη διακεκομμένη) και για κτήριο με πυρήνα τοιχωμάτων (κόκκινη γραμμή) η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση Z και για γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$  για καθ' ύψος ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Με τρίγωνο σημειώνονται τα σημεία που εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία στον φορέα σε δοκό, ενώ με κύκλο απεικονίζεται το σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία τοιχώματος στο φορέα.

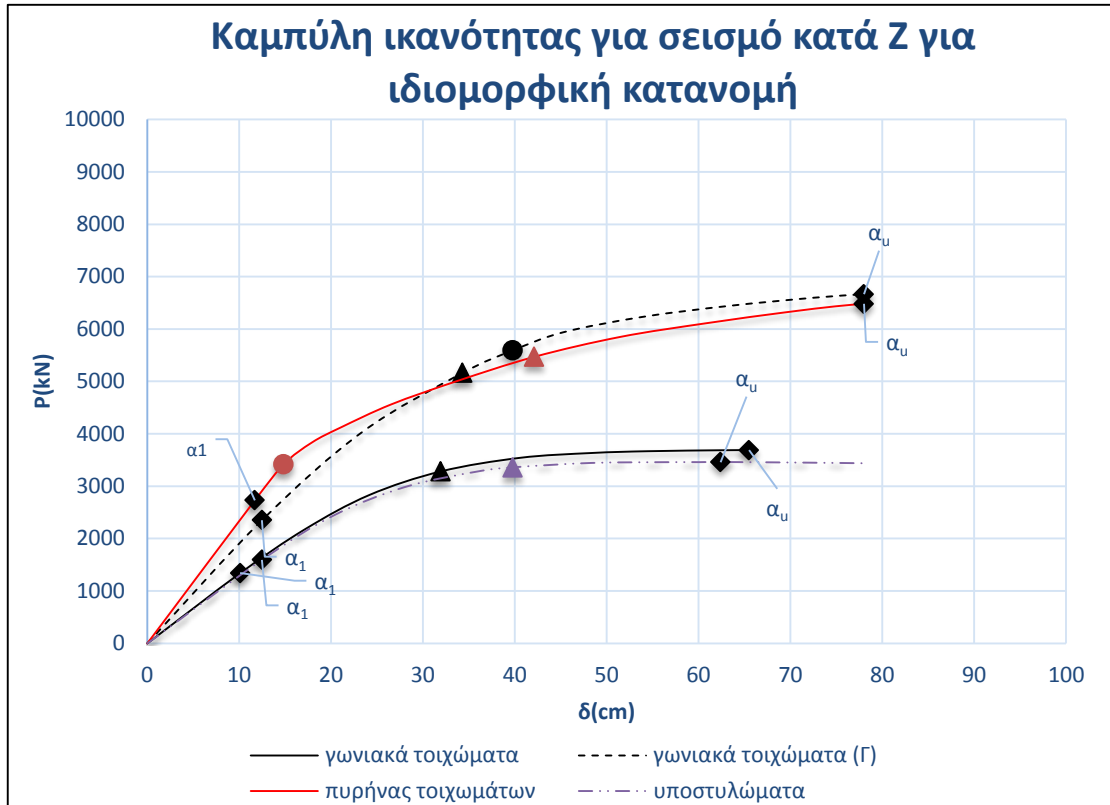
Στο διάγραμμα παρατηρείται ότι στο κτήριο με πυρήνα τοιχωμάτων για σεισμική δράση κατά Z αστοχεί διατμητικά πρώτα η δοκός και μετά το τοίχωμα, και μάλιστα για τιμές τέμνουσας βάσης και μετακίνησης πολύ κοντά στο σημείο διαρροής. Από το διάγραμμα ADRS είχε επισημανθεί ότι για σεισμική δράση κατά Z ο φορέας δεν ικανοποιεί τη στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης λόγω διατμητικών αστοχιών των δοκών σύζευξης των τοιχωμάτων. Η πρώτη διατμητική αστοχία συμβαίνει στις δοκούς σύζευξης των τοιχωμάτων της οροφής του 1<sup>ου</sup> ορόφου για τέμνουσα βάσης  $F=3945,69\text{KN}$  και μετακίνηση του κόμβου ελέγχου 14,04cm. Οι τιμές αυτές είναι κατά 1,12 μεγαλύτερες από τις τιμές τους 1<sup>ου</sup> σημείου διαρροής του φορέα. Επίσης λόγω των πολλών διατμητικών αστοχιών που έχουν σημειωθεί στις δοκούς η εναπομένουσα δυσκαμψία του φορέα για πυρήνα τοιχωμάτων είναι μικρότερη από την εναπομένουσα δυσκαμψία για γωνιακά τοιχώματα τύπου  $\Gamma$ .



## 10.5.2 Ιδιομορφική κατανομή



**Διάγραμμα 10.15** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας του φορέων για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για κτήριο με υποστυλώματα (μωβ γραμμή) και β) για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα (μαύρη γραμμή), για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα διατομής  $\Gamma$  (μαύρη διακεκομμένη) και για κτήριο με πυρήνα τοιχωμάτων (κόκκινη γραμμή) η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση X και για γωνία σεισμικής δράσης  $0^\circ$  για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Με τρίγωνο σημειώνονται τα σημεία που εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία στον φορέα σε δοκό, ενώ με κύκλο απεικονίζεται το σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία τοιχώματος στο φορέα.



**Διάγραμμα 10.16** Σύγκριση καμπυλών ικανότητας του φορέων για τις περιπτώσεις διαστασιολόγησης α) για κτήριο με υποστυλώματα (μωβ γραμμή) και β) για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα (μαύρη γραμμή), για κτήριο με γωνιακά τοιχώματα διατομής  $\Gamma$  (μαύρη διακεκομμένη) και για κτήριο με πυρήνα τοιχωμάτων (κόκκινη γραμμή) η ανάλυση έγινε για σεισμική φόρτιση μόνο κατά τη διεύθυνση Z και για γωνία σεισμικής δράσης  $90^\circ$  για καθ' ύψος ιδιομορφική κατανομή φορτίου. Με τρίγωνο σημειώνονται τα σημεία που εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία στον φορέα σε δοκό, ενώ με κύκλο απεικονίζεται το σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η πρώτη διατμητική αστοχία τοιχώματος στο φορέα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε μια νέα πολυώροφη κατασκευή με το λογισμικό πρόγραμμα FESPA 10R. Πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση και όπλιση της κατασκευής για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση και Υψηλή σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς EC2 και EC8-1, καθώς και εκτελέσθηκε ανελαστική στατική ανάλυση με στόχο την κατασκευή της καμπύλης ικανότητας για τη μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς σύμφωνα με τις διατάξεις των κανονισμών ΚΑΝΕΠΕ και EC8-3, για αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας. Έγινε σύγκριση των καμπυλών ικανότητας για τις δύο (2) Κατηγορίες Πλαστιμότητας. Στη συνέχεια με το λογισμικό FESPA 10R με τη βοήθεια της ανελαστικής στατικής ανάλυσης και της καμπύλης ικανότητας μελετήθηκε η επίδραση της αραίωσης του διατμητικού οπλισμού των δομικών στοιχείων δοκών και υποστυλωμάτων στην συμπεριφορά της κατασκευής. Επίσης έγινε αύξηση και μείωση του αριθμού ορόφων της κατασκευής σε δεκαπέντε (15) και πέντε (5) αντίστοιχα και εκτελέσθηκε ανελαστική στατική ανάλυση για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος εξετάστηκε η επίδραση της κατασκευής τοιχωμάτων στο κτήριο, με τρία σενάρια κατασκευής τοιχωμάτων για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση. Με τη βοήθεια της ανάλυσης Pushover συγκρίθηκε η σεισμική απόκριση των τριών νέων κτηρίων.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το κτήριο οκτώ (8) ορόφων διαστασιολογήθηκε και οπλίστηκε για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση και Υψηλή. Παρόλο που η διαστασιολόγηση και όπλιση για ΚΠΥ πραγματοποιήθηκε για συντελεστή συμπεριφοράς  $q=6.75$ , προέκυψαν μεγαλύτερες διαστάσεις στα υποστυλώματα. Αυτό οφείλεται λόγω του συντελεστή σχετικής μετακίνησης ορόφου  $\theta$ , ο οποίος αυξάνεται λόγω αύξησης του συντελεστή συμπεριφοράς. Η παράμετρος αυτή σε συνδυασμό με την υψηλή τιμή των κατακόρυφων σεισμικών φορτίων στο ισόγειο λόγω του μεγάλου αριθμού ορόφων έχει ως συνέπεια την αύξηση των διαστάσεων των διατομών των κατακόρυφων στοιχείων. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τις διατάξεις που ισχύουν για ΚΠΥ για αστοχία θλιπτήρα σκυροδέματος κόμβου δοκού – υποστυλώματος και για αστοχία λόγω συνάφειας στον τελευταίο όροφο. Το ποσοστό διαμήκους οπλισμού στα υποστυλώματα είναι μικρότερο για ΚΠΥ από την περίπτωση για ΚΠΜ. Ωστόσο για την ΚΠΥ πρέπει να επισημάνουμε ότι ο EC8-1 περιέχει αυστηρότερες διατάξεις για τους συνδετήρες των δομικών στοιχείων, γεγονός που και αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο βάρος σιδηρού οπλισμού για ΚΠΥ.
- Εκτελώντας ανελαστική στατική ανάλυση και κατασκευάζοντας τις καμπύλες ικανότητας για ΚΠΜ και ΚΠΥ παρατηρείται αύξηση της πλαστιμότητας, όπως είναι αναμενόμενο για ΚΠΥ. Επίσης λόγω των αυξημένων διαστάσεων των υποστυλωμάτων για ΚΠΥ η καμπύλη ικανότητας παρουσιάζει μεγαλύτερη τέμνουσα βάση. Τέλος όσον αφορά τις καθ' ύψος κατανομές φορτίων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τις καμπύλης ικανότητας παρατηρήθηκε ότι για

το συγκεκριμένο κτήριο η τριγωνική κατανομή παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα με την ιδιομορφική κατανομή. Αυτό φαίνεται από τις καμπύλες ικανότητας για τις δύο (2) κατανομές όπου όλα τα σημεία τους σχεδόν ταυτίζονται.

- Η επόμενη συγκριτική μελέτη αφορούσε την επίδραση στη σεισμική συμπεριφορά του διατμητικού οπλισμού των δομικών στοιχείων. Από τα φάσματα απαίτησης ικανότητας ADRS γίνεται αντιληπτή η διατμητική αστοχία των δοκών σε μετακίνηση μικρότερη της στοχευόμενης μετακίνησης της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης, καθώς γίνεται αραίωση της διάταξης των συνδετήρων. Οι δοκοί που δεν ικανοποιούν την στοχευόμενη μετακίνηση της στάθμης επιτελεστικότητας και έχουν αστοχήσει σε διάτμηση πρέπει να ενισχυθούν. Επίσης όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων σημειώνεται όλο και μεγαλύτερη μείωση της τέμνουσας βάσης της καμπύλης ικανότητας. Όσο αφορά το διατμητικό οπλισμό των υποστυλωμάτων κυρίαρχο ρόλο παίζει η επιρροή ή όχι της περίσφιγξης. Η περίσφιγξη αυξάνει σε πολύ μεγάλο ποσοστό την οριακή καμπυλότητα αστοχίας στα υποστυλώματα με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της πλαστιμότητας που εμφανίζει η κατασκευή. Η τέμνουσα βάσης λόγω περίσφιγξης παρουσιάζει μικρή αύξηση, καθώς η ροπή αντοχής των δομικών στοιχείων δεν αυξάνεται τόσο πολύ λόγω περίσφιγξης του σκυροδέματος.

- Παρατηρήθηκε επίσης ότι η αύξηση του αριθμού ορόφων οδηγεί σε μείωση της δυσκαμψίας της κατασκευής, ενώ η μείωση οδηγεί αντίστοιχα σε αύξηση. Στις καμπύλες ικανότητας παρουσιάζονται μεγαλύτερες τέμνουσες βάσεις και μετακινήσεις κορυφής για περισσότερους ορόφους και μικρότερες για λιγότερους.

- Παρουσιάστηκαν τρία σενάρια κατασκευής τοιχωμάτων. Λόγω της αυξημένης δυσκαμψίας των τοιχωμάτων ικανοποιήθηκε ο συντελεστής σχετικής μετακίνησης του τελευταίου ορόφου χωρίς να απαιτηθεί αύξηση των διαστάσεων των υπόλοιπων υποστυλωμάτων, όπως σημειώθηκε στην διαστασιολόγηση για ΚΠΜ με υποστυλώματα. Από τους τρεις φορείς τοιχωμάτων καλύτερη σεισμική συμπεριφορά παρουσιάζει ο φορέας με τα γωνιακά τοιχώματα τύπου Γ. Στον φορέα με το πυρήνα τοιχωμάτων από τα φάσματα απαίτησης – ικανότητας ADRS παρατηρείται διατμητική αστοχία των δοκών σύζευξης τοιχωμάτων στη σεισμική διέγερση κατά Z και μη-ικανοποίηση της στοχευόμενης μετακίνησης της στάθμης επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης (NC). Αντίθετα για τη διεύθυνση X ο φορέας με τον πυρήνα παρουσιάζει τη καλύτερη σεισμική συμπεριφορά από τους υπόλοιπους φορείς. Απαιτείται ενίσχυση των δοκών αυτών έναντι διάτμησης. Επίσης και στους δύο φορείς με τα γωνιακά τοιχώματα τύπου Γ και τον πυρήνα τοιχωμάτων παρατηρείται από τις καμπύλες ικανότητας ότι τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως είναι αμελητέα, καθώς το σημείο μηχανισμού κατάρρευσης είναι συνήθως το τελευταίο σημείο της καμπύλης, και σε περίπτωση που δεν είναι, η καμπύλη συνεχίζεται με πολύ μικρή μείωση της τέμνουσας βάσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γιάννης Ν. Ψυχάρης «Βασικές Αρχές ΕΚ8», Αθήνα 2014
- Γιάννης Ν. Ψυχάρης «Αντισεισμικός σχεδιασμός με στάθμες επιτελεστικότητας, Σημειώσεις για το Μάθημα Αντισεισμική Τεχνολογία ΙΙ», Αθήνα 2014
- Ο.Α.Σ.Π., «ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ), 1η Αναθεώρηση Ιούλιος 2013»
- Θ. Π. Τάσιος, Ε. Βιντζηλαίου, Π. Γιαννόπουλος, Ι. Γ. Τσουκάντας, «Οπλισμένο Σκυρόδεμα», 1998
- Θ. Π. Τάσιος, Ε. Βιντζηλαίου, Π. Γιαννόπουλος, Π. Πλαίνης, Ι. Σιγάλας, Κ. Τρέζος και Σ. Τσουκάντας, «Σημειώσεις για τις Κατασκευές από ΩΣ», 2003
- LH Λογισμική, «FESPA 10, Ευρωκώδικες, ΚΑΝ.ΕΠΕ» Αθήνα 2013
- LH Λογισμική, «FESPA 10, Pushover - Θεωρητικά στοιχεία», Αθήνα 2013
- European Committee for Standardization, «Eurocode 8 (Design of structures for earthquake resistance) Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. EN 1998-1:2004», 2004
- European Committee for Standardization, «Eurocode 2 (Design of concrete structures) Part 1-1: General rules for buildings. E.N 1992-1-1: 2004
- European Committee for Standardization, «Eurocode 8 (Design of structures for earthquake resistance) Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. EN 1998 – 2005», 2005