



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

“Δομοστατικά έργα”

*Διπλωματική Εργασία*

**Η χρήση αποσβεστήρων ως μέσο ενίσχυσης υφιστάμενου κτιρίου.**

**The use of Dampers for the seismic strengthening of an existing building.**

του

**Ανέστη Σ. Μπερμπέρη.**

Επιβλέπων καθηγητής: **Γιαρλέλης Χρήστος**

---

**ΑΘΗΝΑ, 2021**

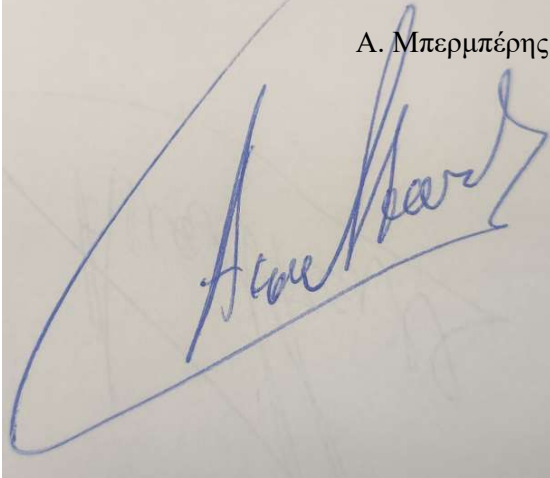
## ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΥΠΟΦΡΑΦΕΣ		
Επιβλέπων καθη- γητής	Γιαρλέλης Χρήστος	
Μέλος	Δημάκος Κωνσταντίνος	
Μέλος	Ρεπαπής Κωνσταντίνος	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μπερμπέρης Ανέστης του Σταύρου με Α.Μ: 009, φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Δομοστατικά Έργα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου». Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 30/09/2022 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών  
Α. Μπερμπέρης



Κεφάλαιο 1.....	13
1.1 Γενική Ανασκόπηση .....	13
1.2 Σκοπός της Εργασίας .....	13
Κεφάλαιο 2.....	14
2.1 Ιστορική Αναδρομή .....	14
2.2 Ιξώδεις Αποσβεστήρες στην Αυτοκινητοβιομηχανία - Βελτιστοποίηση μέσω της Εξέλιξης.....	15
2.3 1946-1990 Ψυχρός Πόλεμος - Οι Ιξώδεις Αποσβεστήρες στα Καταφύγια .....	16
2.4 Μετά τον Ψυχρό Πόλεμο – Η Μετάβαση της Αμυντικής Τεχνολογίας στον .....	17
Ιδιωτικό Τομέα.....	17
Κεφάλαιο 3.....	19
Έτσι, ανάλογα με τον τύπο απορρόφησης της ενέργειας, οι αποσβεστήρες χωρίζονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες: που εξαρτώνται από την κίνηση, από την μετατόπιση, από την επιτάχυνση και άλλου τύπου αποσβεστήρες που δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τα παραπάνω.....	19
3.2 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Κίνηση .....	20
3.3 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Μετατόπιση.....	21
3.4 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Επιτάχυνση .....	22
3.5 Άλλου Τύπου που δεν Μπορούν να Κατηγοριοποιηθούν Σύμφωνα με τα.....	23
Παραπάνω .....	23
Κεφάλαιο 4.....	24
4.1 Κριτήρια Επιλογής Θέσεων και Επιλογή Τύπου Αποσβεστήρα .....	24
4.2 Περίληψη Κατασκευής, Υστερητικής Συμπεριφοράς, Φυσικών Μοντέλων, Πλεονεκτημάτων και Μειονεκτημάτων Παθητικών Συσκευών Ενεργειακής Απόσβεσης για Εφαρμογές Σεισμικής Προστασίας.....	24
4.3 Διαγώνιοι .....	28
.....	31
4.4 Τύπου Λ (Chevron) .....	31
4.5 Εναλλασσόμενοι (Toggle up, bottom, reverse) & Di Paola & Navara .....	32
Εικόνα 4.7 Εναλλασσόμενος ιξώδης αποσβεστήρας (Toggle).....	33
4.6 Ψαλιδωτοί (Scissor) .....	34
4.7 Μοχλός (Lever).....	35
4.8 Αποσβεστήρας Στοιχείων Συνδέσμου.....	36
4.9 Διαγώνιες Στρώσεις με Διασύνδεση (Cross-layer interconnection) .....	37
4.10 Σύνδεση σε Εξωτερικό Στήριγμα Ακάτου.....	38
4.11 Αποσβεστήρες Τοίχου .....	39
4.12 Οριζόντιοι Συζευγμένοι Αποσβεστήρες (Coupling dampers) .....	40
4.13 Οριζόντιοι Αποσβεστήρες με Συρματόσχοινα (VE Dampers with cable) .....	41

Κεφάλαιο 5.....	42
5.1 Ανάλυση Αποσβεστήρων που Εξαρτώνται από την Επιτάχυνση .....	42
5.2 Ανάλυση των Ιξώδων Αποσβεστήρων .....	42
5.3 Ιξωδοελαστικοί Αποσβεστήρες.....	56
5.4 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Μετατόπιση.....	62
5.5 Τυπικές Συσκευές Απόσβεσης.....	63
5.5 Αποσβεστήρες και Κανονισμοί.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	86
6.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	86
6.2. Υλικά Δόμησης ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	92
6.3 Διερεύνηση Εδάφους Θεμελίωσης ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	93
ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ-ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	94
ΦΑΣΜΑ EC8 ΚΑΙ ΛΟΙΠΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ .....	94
6.4 Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου με την Τοιχοπλήρωση .....	96
6.5. Δείκτες ανεπάρκειας λ ροπών κάμψης και τεμνουσών.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο .....	103
7.1 ΕΠΕΜΒΑΣΗ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ .....	103
7.2 Εισαγωγή εξωσκελετού στο κτίριο, εντοπισμός βέλτιστης τοποθεσίας. ....	107
7.3 Δείκτες ανεπάρκειας λ.....	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 .....	110
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑ .....	110
8.1 Ενίσχυση και έλεγχος του κτιρίου με ιξώδεις αποσβεστήρες (FLUID DAMPER) .....	110
8.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ .....	115
8.3 Ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας .....	117
8.4. Μέγιστες μετατοπίσεις οροφής και σχετικές μετατοπίσεις ορόφων ενισχυμένου κτιρίου με ιξώδεις αποσβεστήρες 1ης διάταξης.....	121
8.5 Εντατικά μεγέθη αποσβεστήρων. ....	132
8.6 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ.....	136

<i>Εικόνα 2.1</i> Ιξώδης Αποσβεστήρας ως σύστημα ανάκρουσης σε κανόνι .....	14
<i>Σχήμα 2.2</i> Σχέδιο πιστοποίησης- Ralph Peo- Ιξώδης αποσβεστήρας. ....	15
<i>Εικόνα 2.3</i> Τυπική διάταξη ιξώδους αποσβεστήρα. ....	17
<i>Σχήμα 2.4</i> Προδιαγραφές ιξώδων αποσβεστήρων στο Ιατρικό Κέντρο San Bernardino Καλιφόρνια .....	18
<i>Εικόνα 2.5</i> Ιατρικό Κέντρο San Bernardino Καλιφόρνια. Φαίνονται οι ιξώδεις αποσβεστήρες οι οποίοι ταιριάζουν αρμονικά με την αρχιτεκτονική του κτιρίου .....	19
<i>Εικόνα 3.1</i> Αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας .....	20
.....	20
<i>Εικόνα 3.2:</i> Αποσβεστήρας συντονισμένης υγρής στήλης.....	20
<i>Εικόνα 3.3</i> Αποσβεστήρας συντονισμένου υγρού .....	21
<i>Εικόνα 3.4</i> Μεταλλικοί αποσβεστήρες .....	21
<i>Εικόνα 3.5</i> Αυτόματα κεντραρισμένοι αποσβεστήρες.....	22
<i>Εικόνα 3.6</i> Ιξώδεις αποσβεστήρες .....	22
<i>Εικόνα 3.7</i> Αποσβεστήρες τριβής.....	23
<i>Εικόνα 3.8</i> Ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες.....	23
<i>Σχήμα 4.1</i> Διαγώνιοι και εσωτερικά διαγώνιοι αποσβεστήρες.....	29
<i>Σχήμα 4.2.</i> Σχέδιο μετατόπισης με διαγώνιο ιξώδη αποσβεστήρα.....	30
<i>Σχήμα 4.3.</i> Σχέδιο μετατόπισης με κεκλιμένο ιξώδη αποσβεστήρα, με κάθετες και οριζόντιες παραμορφώσεις.....	30
<i>Εικόνα 4.4</i> Διαγώνιος ιξώδης αποσβεστήρας.....	31
.....	31
<i>Σχήμα 4.5</i> Αποσβεστήρες Chevron και Ψαλιδωτοί .....	31
<i>Εικόνα 4.6</i> Ιξώδης αποσβεστήρας A-Chevron.....	32
<i>Σχήμα 4.9.</i> Τύποι εναλλασσόμενων αποσβεστήρων.....	34
<i>Εικόνα 4.10</i> Ψαλιδωτός ιξώδης αποσβεστήρας (Scissor) .....	35
<i>Σχήμα 4.11</i> Αποσβεστήρας τύπου μοχλού .....	35
<i>Εικόνα 4.13</i> Ιξώδης αποσβεστήρας στοιχείων συνδέσμου .....	36
Πηγή: <i>Damping Technologies for Tall Buildings (Lago-Trabucco-Wood 2019)</i> .....	36
<i>Εικόνα 4.14</i> Ιξώδης αποσβεστήρας διαγώνιων στρώσεων με διασύνδεση.....	37
<i>Σχήμα 4.15</i> Αποσβεστήρας σε εξωτερικό σύνδεσμο ακάτου (Χριστόπουλος και Μοντγκόμερι, 2013) .....	38
<i>Εικόνα 4.16</i> Κτίριο DOCOMA TOKYO .....	39
<i>Σχήμα 4.17</i> Συζευγμένοι αποσβεστήρες .....	40
<i>Σχήμα 4.18</i> Αποσβεστήρες με συρματόσχοινα (Α) συνεχόμενου τύπου και (Β) διακοπτόμενου.....	41
<i>Σχήμα 5.1</i> Τομή ιξώδους αποσβεστήρα και τα μέρη του .....	43
<i>Σχήμα 5.2</i> Σχέση δύναμης-επιτάχυνσης για ιξώδεις αποσβεστήρες.....	45
<i>Εικόνα 5.3</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Agom .....	49
<i>Εικόνα 5.4</i> Ιξώδης αποσβεστήρας FIP Industriale.....	50
<i>Εικόνα 5.5</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Douce Hydro.....	50
<i>Εικόνα 5.6</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Freyssinet .....	51
<i>Εικόνα 5.7</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Dorman Long Technology .....	52
<i>Εικόνα 5.8</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Maurer.....	53
<i>Εικόνα 5.9</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Brant Hydraulics Corporation .....	53
<i>Εικόνα 5.10</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Jinan Baidungs Machinery Equipment Co.....	54
<i>Εικόνα 5.11.</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Oiles .....	54
<i>Εικόνα 5.12.</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Endine.....	55
<i>Εικόνα 5.13</i> Ιξώδης αποσβεστήρας Taylor.....	55
<i>Σχήμα 5.14</i> Παράδειγμα ιξωδοελαστικού αποσβεστήρα.....	57
<i>Σχήμα 5.15</i> Τύποι ιξωδοελαστικού υλικού απόσβεσης VE: (α) 3M ISD υλικό και (β) υψηλής σκληρότητας καουτσούκ .....	57
<i>Σχήμα 5.16.</i> Στέρεο μοντέλο Kelvin αποτελούμενο από ελατήριο και ένα ταμπλό .....	58

Σχήμα 5.17 Υστερητική συμπεριφορά ιξωδοελαστικού αποσβεστήρα με καουτσούκ υψηλής απόσβεσης .....	60
Εικόνα 5.18 Ιξωδοελαστικός αποσβεστήρας Sumitomo Riko.....	61
Εικόνα 5.19 Ιξωδοελαστικός αποσβεστήρας VLS International .....	62
Εικόνα 5.20 Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης (TADAS) .....	64
Εικόνα 5.21 Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης (ADAS) .....	65
Σχήμα 5.22 Υστερητικός βρόγχος συσκευής και παράμετροι διαστάσεων .....	66
Εικόνα 5.23 Σύστημα TADAS εγκατεστημένο σε κτίριο στο TAIPEI LIVING MALL .....	67
Εικόνα 5.24. Ρομβοειδείς αποσβεστήρες .....	67
Εικόνα 5.25 Κυψελωτοί αποσβεστήρες.....	68
Εικόνα 5.26 Κυψελωτοί αποσβεστήρες.....	69
Εικόνα 5.27 Μεταλλικοί αποσβεστήρες διπλής λειτουργίας και διαγράμματα υστερήσεως αυτών.....	71
Εικόνα 5.28 Αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή εγκατεστημένο σε στήριγμα Λ (chevron) .....	72
Εικόνα 5.29 Πειραματικές δοκιμές σε αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή, εγκατεστημένο σε στήριγμα Λ (chevron).....	73
Εικόνα 5.30 Παραμορφώσεις έπειτα από πειραματικές δοκιμές σε αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή εγκατεστημένο σε στήριγμα Λ (chevron).....	73
Εικόνα 5.31 Τυπική διάταξη σε αποσβεστήρα κυκλικής πλάκας.....	74
Εικόνα 5.32 Επίδραση της ενίσχυσης στο περίγραμμα τάσης von Mises και το παραμορφωμένο σχήμα.....	75
Εικόνα 5.33. Μονοαξονική διάταξη αποσβεστήρα σχήματος U.....	76
Εικόνα 5.34 Διαξονική διάταξη αποσβεστήρα σχήματος U.....	77
Εικόνα 5.35 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποσβεστήρα σχήματος U.....	77
Εικόνα 5.36 Σύστημα στήριξης απόδοσης (Παραμόρφωσης) χάλυβα (YBS).....	78
Εικόνα 5.37.Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποσβεστήρα στήριξης κόμβου (γόνατου).....	79
Εικόνα 5.38 Μέγιστη μετατόπιση του μεμονωμένου στήριγματος κόμβου-.....	79
πλαίσιο με την αντίστοιχη συχνότητα.....	79
Εικόνα 5.39 Μέγιστη μετατόπιση του διπλού αποσβεστήρα κόμβου-.....	79
πλαίσιο με την αντίστοιχη συχνότητα.....	79
(Πηγή: International Research Journal of Engineering and Technology).....	79
Εικόνα 5.40 Αποσβεστήρας SYC όπως κατασκευάστηκε αριστερά και έπειτα από 80mm μετατόπιση δεξιά.....	80
Εικόνα 5.41 Αποσβεστήρας SYC σε πείραμα στο Πανεπιστήμιο του TORONTO .....	81
Εικόνα 5.42 Αποσβεστήρας SYC σε πείραμα στο Πανεπιστήμιο του TORONTO.....	82
Εικόνα 5.43 Συσκευές απόσβεσης εξώθησης μολύβδου.....	83
Εικόνα 6. 1: Κάτοψη ισογείου και τυπικού ορόφου κλ.1/100.....	87
Εικόνα 6.2: Τομή κλ. 1/100.....	88
Εικόνα 6.3: Θεμελίωση (μεμονωμένα πέλδια) .....	89
Εικόνα 6.4: Ξυλότυπος ισογείου κλ. 1/100.....	90
Εικόνα 6.5: Ξυλότυπος Α' ορόφου (τυπικός) κλ.1/100.....	91
Εικόνα 6.6: Οι χαρακτηριστικές τιμές σκυροδέματος σε περιβάλλον ETABS .....	92
Εικόνα 6.7: Οι χαρακτηριστικές τιμές χάλυβα σε περιβάλλον ETABS.....	92
Εικόνα 6.8: Πίνακας Σ4.4 ΚΑΝ.ΕΠΕ. [14] .....	95
Εικόνα 6.9 : Μέγεθος διατομής Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης. ....	96
Εικόνα 6.10 : Ιδιότητες υλικών τοιχοπλήρωσης.....	97
Εικόνα 6.11 : Τρισδιάστατη απεικόνιση προσομοιώματος κτιρίου στο Etabs μετά την αρχική ανάλυση .....	98
Εικόνα 6.12 : Ιδιόμορφες και ιδιοπερίοδοι.....	99
Εικόνα 6.13 : Πίνακες μέγιστης μετατοπίσεως κατά x και y.....	99
Εικόνα 6.14 : Σημείο μέγιστης μετατοπίσεως.....	100
Πίνακας 6.15. Δείκτες ανεπάρκειας ροπών κάμψης λ για τα υποστυλώματα ισογείου του κτιρίου	101
Πίνακας 6.16. Δείκτες ανεπάρκειας τεμνουσών λ για τα υποστυλώματα ισογείου του κτιρίου .....	102

Εικόνα 7.1 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο αγκυρωμένος επί στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος με χημικά βύσματα. ....	103
Εικόνα 7.2 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο. Διακρίνεται η επιλογή που έχει γίνει σε συγκεκριμένα ανοίγματα τα οποία δεν διαταράσσουν την λειτουργία του κτιρίου.....	104
Εικόνα 7.3. εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο. Διακρίνεται η ένωση των διαγώνιων στοιχείων με τα κάθετα και τα κατακόρυφα. Στην προκειμένη περίπτωση έχει επιλεγεί η ηλεκτροσυγκόλληση. .	105
Εικόνα 7.4 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο. Διακρίνεται η ένωση των διαγώνιων στοιχείων με τα κάθετα και τα κατακόρυφα καθώς και η αγκύρωση του μεταλλικού στοιχείου στην θεμελίωση. Στην προκειμένη περίπτωση έχει επιλεγεί η ηλεκτροσυγκόλληση. ....	106
Εικόνα 7.5 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο καθώς και αποσβεστήρας. Ο εξωσκελετός έχει ακυρωθεί τοπικά στην συμβολή υποστυλωμάτων και δοκών με μεταλλικές φλάντζες. ....	106
Εικόνα 7.6. Φορέας στο SCADA PRO με την ενίσχυση με εξωσκελετό και διαγώνιους μεταλλικούς συνδέσμους. ....	107
Εικόνα 7.7. Φορέας στο SCADA PRO. Επιλεγμένη διατομή ενίσχυσης με εξωσκελετό. ....	108
Πίνακας 7.8. : Δείκτες ανεπάρκειας λ ροπών κάμψης υποστυλωμάτων ισογείου. ....	109
Πίνακας 7.9. : Δείκτες ανεπάρκειας λ τεμνουσών υποστυλωμάτων ισογείου.....	109
<b>EIKONA 8.1</b> Ιδιότητες αποσβεστήρων της εταιρείας TAYLOR που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο λογισμικό ETABS.....	111
<b>EIKONA 8.2</b> Εξιδανίκευση συστήματος 2οροφών με υποτιθέμενη διαμόρφωση απόσβεσης και μεταβλητές μορφής Modal Shape.....	112
EIKONA 8.3 Μοντέλο ελατηρίου κατά Maxwell.....	113
EIKONA 8.4 Επιλογή παραμέτρων ιζώδων αποσβεστήρων στο ETABS.....	114
<b>EIKONA 8.5</b> Διαγώνιοι αποσβεστήρες σε διάταξη στο ETABS σε δυο διαφορετικούς τρόπους ...	115
<b>EIKONA 8.6</b> Κάτοψη διάταξης διαγώνιων αποσβεστήρων στο ETABS.....	116
<b>Εικόνα 8.7:</b> Φάσμα κανονισμού και επιταχυνσιογραφήματα επιλεγμένων σεισμών. ....	117
Εικόνα 8.8: Επιταχυνσιογραφήμα KERN στο Etabs .....	117
Εικόνα 8.9: Επιταχυνσιογραφήμα Lower California και El Centro στο Etabs.....	118
Εικόνα 8.10: Δημιουργία Χρονοϊστορίας στο Etabs.....	118
Εικόνα 8.11: Δημιουργία Χρονοϊστορίας στο etabs.....	119
Εικόνα 8.12: Μέγιστη μετατόπιση ενισχυμένου κτιρίου με ιζώδεις αποσβεστήρες.....	120
Εικόνα 8.13: διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας ενισχυμένου κτιρίου για προσομοίωση στο σεισμικό φάσμα του El Centro .....	121
Εικόνα 8.14: διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας ενισχυμένου κτιρίου για προσομοίωση στο σεισμικό φάσμα του KERN.....	122
Εικόνα 8.15: Διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας ενισχυμένου κτιρίου για προσομοίωση στο σεισμικό φάσμα του Lower California .....	122
Εικόνα 8.16: Διάταξη διαγώνιων αποσβεστήρων στον άξονα 4 στην πλευρά με τους εξώστες.....	123
Εικόνα 8.17.Υστερητικό διάγραμμα αποσβεστήρα K14 Time history 3 Lower California.....	124
Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 731,95 KN .....	124
Εικόνα 8.18.Υστερητικό διάγραμμα αποσβεστήρα K14 Time history 1 El Centro. ....	125
Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 748,68 KN .....	125
Εικόνα 8.19.Υστερητικό διάγραμμα αποσβεστήρα K14 Time history 2 Kern.....	125
Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 769,76 KN .....	125
Εικόνα 8.20.Διάταξη διαγώνιων αποσβεστήρων στον άξονα 1.....	126
Εικόνα 8.21.Διάταξη διαγώνιων αποσβεστήρων στον άξονα 4.....	127
Εικόνα 8.22 Υστερητικά διαγράμματα αποσβεστήρα K15 και K16 στον 1 <sup>ο</sup> όροφο σε διαγώνια διάταξη από κόμβο σε κόμβο μέσω δοκού. Time history 3 Lower California. ....	128
Εικόνα 8.23 Υστερητικά διάγραμμα αποσβεστήρα K15 και K16 στον 1 <sup>ο</sup> όροφο σε διαγώνια διάταξη από κόμβο σε κόμβο. Time history 3 Lower California. Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 577 KN .....	128
Πίνακας 8.24. Δείκτες ανεπάρκειας λ ροπών κάμψης στα υποστυλώματα του ισογείου.....	130
Πίνακας 8.25. Δείκτες ανεπάρκειας λ τεμνουσών στα υποστυλώματα του ισογείου.....	131



<i>Πίνακας 8.26..Απορροφούμενη ενέργεια ανά αποσβεστήρα και ανά χρονοϊστορία. ....</i>	<i>136</i>
<i>Αναφέρεται μόνο το άκρο I το οποίο είναι ίδιο με το J.....</i>	<i>136</i>
<i>Εικόνα 8.27 Χαρακτηριστικά ιξώδων αποσβεστηρών καθώς και τμημάτων σύνδεσης αυτών.....</i>	<i>137</i>
<i>Εικόνα 8.28. Λεπτομέρεια σύνδεσης ιξώδων αποσβεστηρών στην υφισταμένη κατασκευή καθώς και τμημάτων σύνδεσης αυτών.....</i>	<i>138</i>
<i>Εικόνα 8.29. Λεπτομέρεια σύνδεσης ιξώδων αποσβεστηρών στην υφισταμένη κατασκευή καθώς και τμημάτων σύνδεσης αυτών.....</i>	<i>138</i>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενίσχυσή υφισταμένων κτηρίων από Ω/Σ και η εναρμόνηση τους με τους συγχρονούς αντισεισμικούς κανονισμούς τα τελευταία χρόνια αποτελεί μια πραγματική προκλήση για τους πολιτικούς μηχανικούς σε ολόκληρη την Ελλάδα. Υπάρχουν διαφορετικές μεθοδοί ενίσχυσης ανάλογα με το υλικό ενίσχυσης που θα επιλεγεί καθώς και τις ανάγκες του πελάτη για χρονό-χώρο και λειτουργικότητα.

Στο θεωρητικό σκελός της εργασίας πραγματοποιείται μια ουσιαστική ενημέρωση για τα συστήματα αποσβεστής ενεργείας την κατηγοριοποίηση αυτών σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας και τα υλικά κατασκευής αυτών.

Στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας έχει επιλεγεί ένα τυπικό πενταόροφο κτήριο από Ω/Σ που έχει κατασκευαστεί με προγενέστερους κανονισμούς, και στο οποίο πραγματοποιήθηκαν δυο διαφορετικές προτάσεις ενίσχυσης. Η πρώτη με μεταλλικές δοκούς και προσθήκη δυσκαμψίας και η δεύτερη πρόταση με υλικά που δεν έχουν εφαρμοστεί ακόμα στην Ελλάδα όπως είναι οι Ιξώδεις Αποσβεστήρες που αποσκοπούν στην απορρόφηση της σεισμικής ενεργείας.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης των ιξώδων αποσβεστήρων ως αποτελεσματική μέθοδος ενίσχυσης υφισταμένων κτηρίων στο κελυφός τους, χωρίς να απαιτείται η ριζική ανακαίνιση που εφαρμοζέται με άλλες μεθόδους.

Επείτα αναλύεται με τη βοήθεια προγραμματός Ηλεκτρονικού υπολογιστή με πεπερασμένα στοιχεία «ETABS» η συμπεριφορά του κτηρίου σύμφωνα με τους σημερινούς κανονισμούς, και εντοπίζονται οι μεγιστές μετατοπίσεις. Στη συνέχεια με το πρόγραμμα SCADA πραγματοποιείται ανάλυση και υπολογίζονται οι δείκτες ανεπαρκείας λ σε υποστυλώματα και δοκούς στο ισογείο όπου είναι και τα πιο καταπονημένα. Ακολουθεί ενισχύση με μεταλλικούς συνδεσμούς δυσκαμψίας και επαναυπολογισμός των δεικτών ανεπαρκείας λ.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται στο ETABS ενισχύση με ιξώδεις αποσβεστήρες καθώς και ελεγχός ιστορίας και αφού εξαχθούν τα δεδομένα επιλέγονται οι καταλλήλοι αποσβεστήρες και εξαγόνται και τα διαγράμματα απορρόφησης ενεργείας.

Τελός πραγματοποιείται μελέτη εφαρμογής για την συνδέση με ελάσματα των ιξώδων αποσβεστήρων στην κατασκευή στο εξωτερικό μέρος των πλαισίων από Ω/Σ.

## ABSTRACT

The strengthening of existing buildings by reinforced concrete and their harmonization with contemporary anti-seismic regulations in recent years is a real challenge for civil engineers throughout Greece. There are different reinforcement methods depending on the reinforcement material to be chosen as well as the client's needs for time-space and functionality.

In the theoretical part of the work, a substantial update on energy damping systems is carried out, their categorization according to their mode of operation and their construction materials

In the practical part of the work, a typical five-story building from reinforced concrete has been chosen, which has been built with previous regulations, and in which two different support proposals were made. The first with metal beams and added stiffness and the second proposal with materials that have not yet been applied in Greece such as the Viscous Dampers that aim to absorb seismic energy.

The purpose of the work is to investigate the use of viscous dampers as an effective method of strengthening existing buildings in their shell, without requiring the radical renovation applied with other methods.

The behavior of the building is then analyzed with the help of the Finite Element Computer program "ETABS" according to the current regulations, and the maximum displacements are identified. Then, with the SCADA Program, an analysis is carried out and the deficiency indices  $\lambda$  are calculated in columns and beams on the Ground Floor where they are the most stressed. This is followed by reinforcement with metallic stiffness links and a recalculation of the deficiency indices.

Then, in ETABS, reinforcement with viscous dampers as well as a time history check is carried out and after the data is extracted, the appropriate dampers are selected and the energy absorption diagrams are also extracted.

Finally, an application study is being carried out for the connection with plates of the viscous dampers in the construction of the outer part of the frames from reinforced concrete.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαρίστω ιδιαίτερα τον καθήγητη μου Κο Γιαρλέλη Χρήστο για το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα που μου προτείνει καθώς και για ολή την βοήθεια που μου παρείχε καθόλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστώ τη συζυγό μου Στέλλα και τα παιδιά μου Αθηνά και Μαξίμο για την στηριξή που μου παρείχαν ως εργαζόμενου γονίου που προσπαθεί να εκπονήσει και μια ιδιαίτερη εργασία με απαιτησεις σε θεωρητικές γνωσεις και πολλαπλές δοκιμές αναλυσης και συλλογής συμπερασμάτων.

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Το αντικείμενο της διπλωματικής εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της αντισεισμικής ενίσχυσης και θωράκισης των υφιστάμενων κατασκευών. Συγκεκριμένα, γίνεται μια εισαγωγή στους αποσβεστήρες και τη χρήση τους και εξετάζεται η ενίσχυση του κτιρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα 4<sup>ων</sup> οροφών, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στις μελέτες εφαρμοσιμότητας του ΚΑΝΕΠΕ. Η ανάγκη ενίσχυσης και αποκατάστασης ολοένα και περισσότερων κτιρίων στη χώρα, μας καθοδηγεί στο να βρούμε λύσεις δοκιμασμένες, αποδοτικές, γρήγορες και οικονομικές. Συνήθως οι ενισχύσεις πραγματοποιούνται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Gunitite), το οποίο αυξάνει τον όγκο των δομικών στοιχείων, έχει υψηλό κόστος και παράλληλα απαιτεί την εκκένωση του κτιρίου προς ενίσχυση καθώς και την ολική ανακατασκευή του. Στην παρούσα εργασία με την χρήση αποσβεστήρων εξετάζεται η ενίσχυση σε συγκεκριμένους κόμβους καθώς και η ταχύτητα κατασκευής.

## 1.2 Σκοπός της Εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει την αποτελεσματικότητα των αποσβεστήρων ως λύση ενίσχυσης υφιστάμενων κτιρίων από σκυρόδεμα καθώς και την αποδοτικότητα τους έναντι σεισμικών φορτίων. Ο λόγος δεν είναι μόνο η προστασία των κτιρίων από κατάρρευση αλλά και η θωράκιση τους, ώστε να είναι λειτουργικά ακόμη και μετά από έναν μεγάλο σεισμό. Επιπλέον, ο περιορισμός των παραμορφώσεων σε πολώροφα κτίρια από σεισμικά φορτία ή αλλού τύπου τυχηματική δράση, συμβάλει σαφέστατα στον περιορισμό των βλαβών σε δομικά και μη, στοιχεία της κατασκευής.

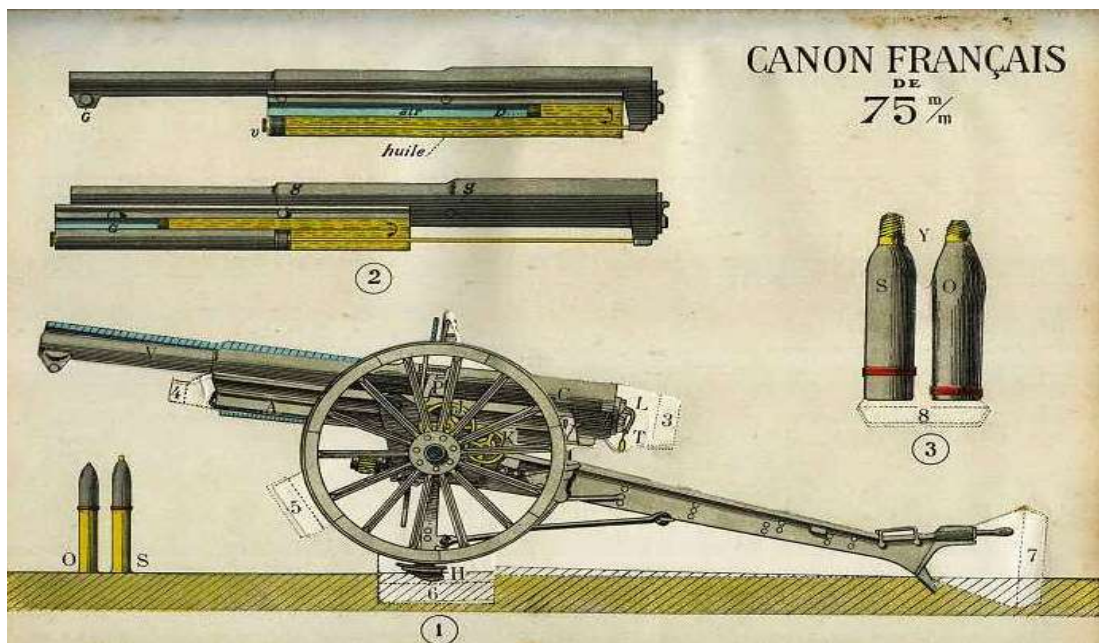
## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Ιστορική Αναδρομή

Στη χώρα μας, στο χώρο των κατασκευών, η λέξη ιξώδης αποσβεστήρας δεν είναι ακόμη ευρύτερα γνωστή. Αντίθετα, σε πολλές άλλες χώρες όπως στις ΗΠΑ, στην Ιαπωνία και τον Καναδά, ήδη από τις αρχές του 1990 και μετά το τέλος του ψυχρού πολέμου, οι αποσβεστήρες είναι μια λύση η οποία εφαρμόζεται ευρέως σε έργα Πολιτικών Μηχανικών.

Ιστορικά, η εξέλιξη των μεγάλων αποσβεστήρων ξεκίνησε με την έλευση μεγάλων κανονιών το 1860. Πριν από αυτό, τα κανόνια αναγομώνονταν από το ρύγχος με έναν πολύ χρονοβόρο και επικίνδυνο τρόπο, ο οποίος εξέθετε το πλήρωμα σε πυρά σκοπευτών: μετά την πυροδότηση, το πυροβόλο ήταν ελεύθερο να κινηθεί προς τα πίσω από ένα μέχρι και οκτώ μέτρα, ανάλογα με το έδαφος, την κλίση κλπ. Τα αντίστοιχα κανόνια στα πλοία χρησιμοποιούσαν επιφάνειες τριβής-ολίσθησης ή κεκλιμένες επιφάνειες, βοηθούμενες από μηχανισμούς μπλοκαρίσματος και αντιμετώπισης κρούσης, προκειμένου να τερματιστεί η κίνηση από την πυροδότηση. Μετά τη βολή, το πλήρωμα ωθούσε το πυροβόλο πάλι πίσω στη θέση του και το ετοίμαζε για την επόμενη ρίψη. Κατόπιν, υπήρξαν αρκετές ανεπιτυχείς προσπάθειες εκ νέου σχεδιασμού της ανάκρουσης όπλων, οι οποίες αφορούσαν τους δύο τροχούς και τα λαστιχένια μπλοκ. Στο μεταξύ, οι εφευρέτες εκείνης της εποχής ερευνούσαν το νέο πεδίο της υδραυλικής.

Στα τέλη του 1860, πραγματοποιήθηκαν πειράματα χρησιμοποιώντας ιξώδεις αποσβεστήρες στα όπλα. Αναφέρεται από τον Hogg [1] ότι ο βρετανικός στρατός ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε υδραυλική ανάκρουση με αποσβεστήρες στα βαγόνια όπλων, το 1862. Το πλεονέκτημα των εκ της θαλάμης γέμισμα των οπλών επέτρεψε την ταχύτερη και ασφαλέστερη φόρτωση του όπλου καθώς και ένα υψηλότερο ποσοστό πυροδότησης.



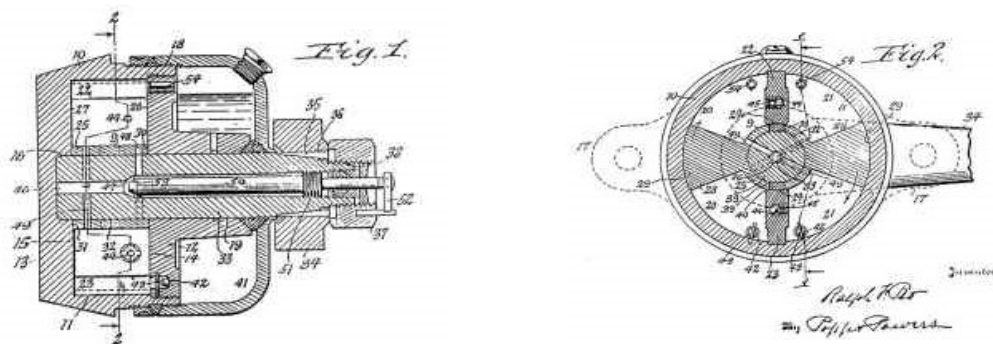
Εικόνα 2.1 Ιξώδης Αποσβεστήρας ως σύστημα ανάκρουσης σε κανόνι

Η πρώτη μαζική παραγωγή ιξώδων αποσβεστήρων ανάκρουσης χρησιμοποιήθηκε στο Γαλλικό κανόνι 75 mm, μοντέλο M1897, το οποίο χαιρετίστηκε ως ένα πραγματικό τεχνολογικό θαύμα και θεωρείται το πρώτο σύγχρονο πυροβολικό. Η μεταφορά του κανονιού περιλάμβανε έναν ολισθήρα, ο οποίος στηριζόταν στο ίδιο το κανόνι και έναν αποσβεστήρα ρευστού 122 cm, σε συνδυασμό με ένα ελαφρύ ελατήριο για εξασθένηση και ανάκτηση της ενέργειας προκειμένου το όπλο να επιστρέφει στην αρχική του θέση. Το συγκεκριμένο πυροβόλο χρησιμοποιήθηκε ευρέως και στους δύο παγκόσμιους πολέμους. Ήταν τέτοια η χρησιμότητα του ώστε στο Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η Αεροπορία των ΗΠΑ το ενσωμάτωσε με επιτυχία στο ρύγχος ενός βομβαρδιστικού B-25 "Mitchel", χωρίς να προκαλούνται ζημιές στο αεροσκάφος από την ανάκρουση του όπλου. Μέχρι το τέλος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, δεκάδες χιλιάδες ιξώδεις αποσβεστήρες είχαν χρησιμοποιηθεί στο πυροβολικό, το ναυτικό, σε παράκτια και σιδηροδρομικά πυροβόλα όπλα. Μερικοί αποσβεστήρες αυτής της περιόδου ήταν ακόμη και ημι-ενεργού τύπου. Αυτό επέτρεπε την αλλαγή της γωνίας ανύψωσης του όπλου, η οποία άλλαζε την προκύπτουσα δύναμη απόσβεσης με τη χρήση ενός γραναζιού μεταξύ του οχήματος και του αποσβεστήρα.

## 2.2 Ιξώδεις Αποσβεστήρες στην Αυτοκινητοβιομηχανία - Βελτιστοποίηση μέσω της Εξέλιξης

Η δεκαετία του 1920 και του 1930 ήταν μια περίοδος κατά την οποία το αυτοκίνητο έγινε κυρίαρχο χαρακτηριστικό του αμερικανικού πολιτισμού, δεδομένου ότι ήταν ένα σχετικά νέο προϊόν σε μια νέα αγορά, την αυτοκινητοβιομηχανία. Ο ανταγωνισμός ανάγκασε τους κατασκευαστές να παράγουν ένα προϊόν, το οποίο θα ήταν ελκυστικό στον καταναλωτή. Το καλύτερο χαρακτηριστικό που θα μπορούσε να διαθέτει ένα αυτοκίνητο ήταν η ομαλή και εύκολη κίνηση σε όλες τις πιθανές επιφάνειες του δρόμου. Αυτό αποδείχθηκε πραγματική πρόκληση για τους μηχανικούς αυτοκινήτων εκείνης της περιόδου. Η υψηλή συντήρηση και η οριακή βελτίωση η οποία επιτεύχθηκε με τριβή και αποσβεστήρες από καουτσούκ, προκάλεσαν τους προμηθευτές ανταλλακτικών αυτοκινήτων να αναζητήσουν γρήγορα και βελτιωμένα συστήματα απόσβεσης. Έτσι, οι αποσβεστήρες υγρών εισήλθαν γρήγορα στη σκηνή.

Το 1925, ο Ralph Peo της Houdaille Company στο Buffalo της Νέας Υόρκης, επανασχεδιάζει τον ιξώδη αποσβεστήρα ώστε να χρησιμοποιήσει ένα περιστρεφόμενο έμβολο καθώς και ένα συγκρότημα ράβδων και πτερυγίων. Με αυτόν τον τρόπο, αντικατέστησε τη μεγάλη διαδρομή που χρειαζόταν ο αποσβεστήρας προκειμένου να πραγματοποιήσει την ολισθαίνουσα κίνηση στεγανοποίησης, με μια περιστροφή 60-120 μοιρών.



Σχήμα 2.2 Σχέδιο πιστοποίησης- Ralph Peo- Ιξώδης αποσβεστήρας.

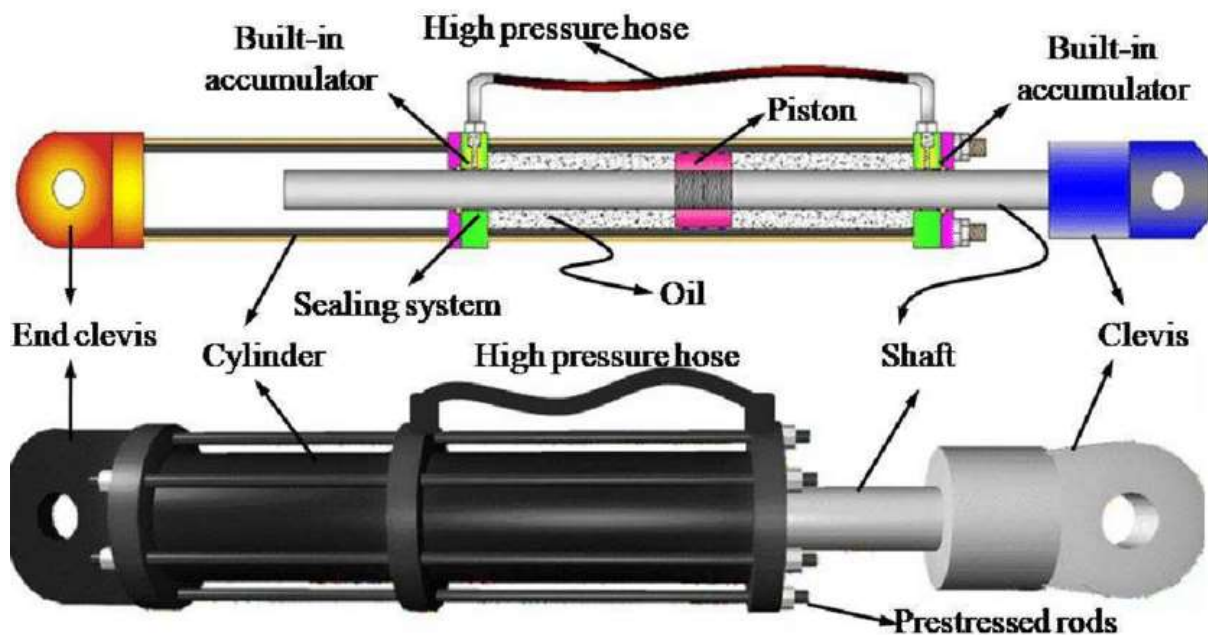
Η σύντομη περιστροφική διαδρομή της τσιμούχας επέτρεπε περίπου 10.000 μίλια των οδικών ταξιδιών πριν γίνει απαραίτητη η αντικατάσταση της στο θάλαμο. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται το αρχικό σχέδιο ευρεσιτεχνίας που απεικονίζει την εφεύρεση του Ρεο, το 1925. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, τα περισσότερα αυτοκίνητα χρησιμοποιούσαν τον περιστροφικό αποσβεστήρα Houdaille.

### **2.3 1946-1990 Ψυχρός Πόλεμος - Οι Ιξώδεις Αποσβεστήρες στα Καταφύγια**

Στις αρχές του Ψυχρού Πόλεμου και οι δύο υπερδυνάμεις, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Σοβιετική Ένωση άρχισαν να αναπτύσσουν διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους (ICBM), εξοπλισμένους με πυρηνικές κεφαλές. Ωστόσο, οι περισσότεροι αναλυτές άμυνας δήλωναν ότι πάγια στρατηγική των ΗΠΑ είναι να μην εκτοξεύουν πυρηνικούς πυραύλους έως ότου δεχθούν αντίστοιχη επίθεση, η οποία θα έχει πυροδοτηθεί στον αέρα ή στο έδαφος τους. Με αυτό το σκεπτικό, προκειμένου να ξεκινήσει η Αμερική μια αντεπίθεση, οι πύραυλοι της έπρεπε να έχουν σχεδιαστεί ώστε να μπορούν να επιβιώσουν από μια πυρηνική επίθεση χωρίς ζημιά. Αρχικά, οι χειραίοι βαλλιστικοί πύραυλοι τοποθετήθηκαν υπόγεια σε ενισχυμένα σιλό εκτόξευσης, τα οποία επικοινωνούσαν με υπόγεια κτιρίων, όπου βρίσκονταν οι εγκαταστάσεις διοίκησης. Ωστόσο, καθώς εξελίχθηκαν τα συστήματα καθοδήγησης πυραύλων και η ακρίβεια τους βελτιώθηκε, η ανάγκη για συσκευές απομόνωσης έγινε εμφανής.

Οι απομονωτές πυραύλων αποτελούνται από απλά ελατήρια με ιξώδεις αποσβεστήρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μονάδες ελατηρίων χρησιμοποιήθηκαν για να απομονώσουν τους ίδιους τους πυραύλους και διάφορα κρίσιμα αντικείμενα μέσα στο συγκρότημα εκτόξευσης. Σε άλλες περιπτώσεις, ολόκληρες κατασκευές ήταν απομονωμένες σε κατακόρυφα και οριζόντια επίπεδα. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, έγινε αδύνατο να παρέχονται αρκετά μεγάλα μηχανικά ελατήρια για την βέλτιστη απομόνωση και έτσι οι ιξώδεις αποσβεστήρες μετατράπηκαν στους εξαιρετικά ισχυρούς αποσβεστήρες ιξώδους-ελατηρίου. Εκεί, το υγρό λειτουργίας συμπίεζεται και διοχετεύεται ταυτόχρονα. Έτσι, επιλέγοντας ειδικά υγρά με υψηλή συμπίεσιμότητα, ήταν δυνατό να παραχθούν εξίσου υψηλές δυνάμεις απόσβεσης και ελατηρίου, σε ένα εξαιρετικά μικρό πακέτο. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980, μερικοί από τους συγκεκριμένους αποσβεστήρες μπορούσαν ταυτόχρονα να παρέχουν δυνάμεις ελατηρίου 50 τόνων και δυνάμεις απόσβεσης 150 τόνων από μια συσκευή διαμέτρου 18cm. Η επιτυχημένη χρήση των ιξώδων αποσβεστήρων υψηλής χωρητικότητας καθώς και των αποσβεστήρων ελατηρίου σε βαλλιστικούς πυραύλους οδήγησε στην περαιτέρω εφαρμογή τους σε πυραύλους πλοίων, υποβρυχίων και σχετικού εξοπλισμού αντικείμενα. Μέχρι το τέλος του Ψυχρού Πολέμου, ένα τυπικό πολεμικό πλοίο των ΗΠΑ θα είχε περισσότερους από 1.000 ιξώδεις αποσβεστήρες εγκατεστημένους στους πυραύλους και τα πρωτογενή ηλεκτρονικά συστήματα. Αυτές οι συσκευές παρέχουν από 1 - 50 τόνους δύναμη απόσβεσης.





*Εικόνα 2.3 Τυπική διάταξη ιζώδους αποσβεστήρα.*

Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, μετά την πτώση του τείχους του Βερολίνου και το τέλος του Ψυχρού Πολέμου σε συνδυασμό με το πολιτικό και οικονομικό κλίμα που διαμορφώθηκε, προκλήθηκε μια δραματική συρρίκνωση των αμυντικών δαπανών των ΗΠΑ. Ταυτόχρονα, οι περιορισμοί ασφάλειας οι οποίοι αφορούσαν την πώληση και την εμπορική χρήση της τεχνολογίας του Ψυχρού Πολέμου είχαν αρθεί σε μεγάλο βαθμό.

## **2.4 Μετά τον Ψυχρό Πόλεμο – Η Μετάβαση της Αμυντικής Τεχνολογίας στον Ιδιωτικό Τομέα**

Όταν ο Ψυχρός Πόλεμος τελείωσε, οι αμυντικές βιομηχανίες βρήκαν πολύ λίγες νέες ευκαιρίες στις παραδοσιακές τους αγορές. Ορισμένες εταιρείες συρρικνώθηκαν ή σημείωναν χαμηλά επίπεδα πωλήσεων και έτσι προέκυψαν επώδυνες συγχωνεύσεις ή ενοποιήσεις. Σχετικά λίγες εταιρείες κατάφεραν να μεταφέρουν την τεχνολογία, τα προϊόντα και την τεχνογνωσία τους στην εμπορική αγορά. Προκειμένου να επιβιώσουν κάποιες από αυτές επέλεξαν να ακολουθήσουν εμπορικές εφαρμογές, οι οποίες σχετίζονταν με σεισμική και υψηλή αιολική προστασία δομών και κατασκευών. Με αυτόν τον τρόπο, εισήλθαν στον τομέα των κατασκευών οι ιζώδεις αποσβεστήρες. Την ίδια περίοδο, κατά τη διεξαγωγή έρευνας σχετικά με τις κτιριακές κατασκευές και τη χρήση ιζώδων αποσβεστήρων με τη συμμετοχή του Εθνικού Κέντρου Έρευνας για τη Σεισμομηχανική (NCEER) καθώς και ιδιωτικές εταιρείες εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα. Η έρευνα αφορούσε τη λήψη υφιστάμενων στρατιωτικών συσκευών ιζώδους απόσβεσης και την εγκατάστασή τους σε κλιμακωτά μοντέλα κατασκευών πολιτικού μηχανικού ως συμπληρωματικά στοιχεία. Κατόπιν, οι κατασκευές υποβλήθηκαν σε σεισμικές παροδικές δοκιμές στο Πανεπιστήμιο, σε μεγάλη σεισμική τράπεζα. Όλες οι δοκιμές αποδείχθηκαν εξαιρετικές, με πολύ μεγάλες μειώσεις των παραμορφώσεων κατά την προσθήκη ιζώδων αποσβεστήρων, στο 15-40% του κρίσιμου εύρους.

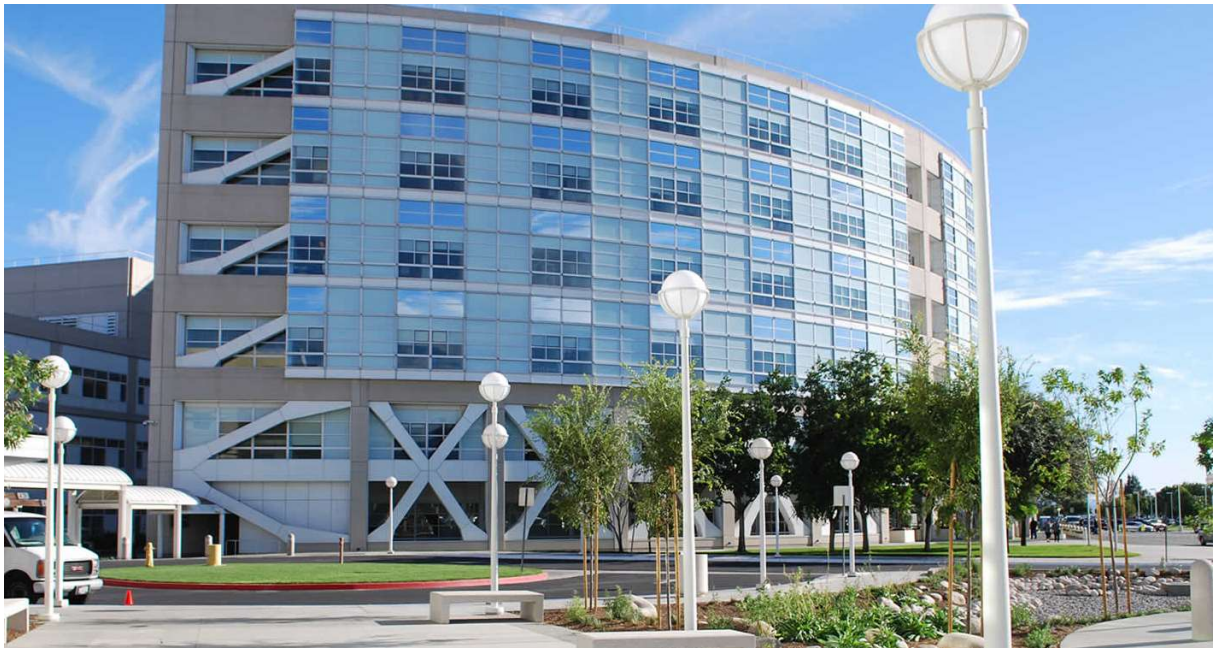
Γενικά, διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη κρίσιμης απόσβεσης σε βαθμό 20% σε μια κατασκευή θα τριπλασιάσει την σεισμική της αντίσταση, χωρίς την αύξηση της καταπόνησης. Πολυάριθμες εκθέσεις δημοσιεύθηκαν από το NCEER και τα Πανεπιστήμια, τεκμηριώνοντας τις βελτιώσεις που επιτυγχάνονται με ιξώδεις αποσβεστήρες. Το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ αποδείχθηκε πολύ συνεργάσιμο στο να επιτρέψει στις εταιρείες αμυντικής βιομηχανίας να χρησιμοποιήσουν τα προϊόντα τους για εμπορική χρήση. Με αυτόν τον τρόπο αποδείχθηκε ότι δεν υπήρχαν εμπόδια στην εμπορική εφαρμογή των ιξώδων αποσβεστήρων. Η εταιρεία Taylor το 1993, ήταν η πρώτη η οποία έλαβε μια παραγγελία για 186 ιξώδεις αποσβεστήρες ώστε να χρησιμοποιηθούν στα πέντε κτίρια του νέου περιφερειακού Ιατρικού Κέντρου Arrowhead στο Colton της Καλιφόρνια. Προδιαγραφές για αυτούς τους αποσβεστήρες παρέχονται στο Σχήμα 2.4 και ακολουθεί μια φωτογραφία ενός ολοκληρωμένου κτιρίου στην εικόνα 2.5. Επιπλέον, το 1995 με τη χρήση ιξώδων αποσβεστήρων κατασκευάστηκε το κτίριο “Pacific Bell Operations” στο Σακραμέντο της Καλιφόρνιας. Μέσα στα επόμενα, χρόνια εκατοντάδες έργα κτιρίων και γεφυρών ακολούθησαν την παραγγελία του Arrowhead Medical Center.

**Προδιαγραφές ιξώδους αποσβεστήρων:**

Ιατρικό Κέντρο San Bernardino Καλιφόρνια	Ποσότητα	Μον.
Μετατόπιση	121,92	cm
Μέγιστη δύναμη απόσβεσης	1440	KN
Μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας	152,4	cm/sec
Ισχύς διάχυσης	2.170.000	watts
Μήκος	4,42	m
Διάμετρος	35,56	cm
Βάρος	1335	Kgr
Απαιτούμενη ποσότητα	186	τεμ

***Σχήμα 2.4 Προδιαγραφές ιξώδων αποσβεστήρων στο Ιατρικό Κέντρο San Bernardino Καλιφόρνια***

Πηγή: *Taylor Devices Inc.*



*Εικόνα 2.5* Ιατρικό Κέντρο San Bernardino Καλιφόρνια. Φαίνονται οι ιζώδεις αποσβεστήρες οι οποίοι ταιριάζουν αρμονικά με την αρχιτεκτονική του κτιρίου

## Κεφάλαιο 3

### 3.1 Κατηγορίες Αποσβεστήρων

Οι αποσβεστήρες διακρίνονται ανάλογα με το είδος της λειτουργίας τους: σε ενεργούς, ημιενεργούς και παθητικούς. Οι δύο πρώτες κατηγορίες έχουν λιγότερο διαδεδομένη χρήση και θεωρούνται πολύπλοκες και δαπανηρές λύσεις. Εκτός των άλλων, εμπεριέχουν και τον κίνδυνο δυσλειτουργίας σε περίπτωση σεισμού επειδή εξαρτώνται από εξωτερική πηγή ενέργειας. Επομένως, οι πλέον διαδεδομένοι αποσβεστήρες είναι οι παθητικοί, οι οποίοι με τη σειρά τους χωρίζονται σε πληθώρα κατηγοριών ανάλογα με τον τύπο και την εταιρεία κατασκευής τους. Ενδεικτικά θα αναφερθούν μερικοί καθώς και κάποιες από τις εταιρείες που τους κατασκευάζουν, οι οποίες διατηρούν τα πνευματικά δικαιώματα, την τεχνογνωσία και το δικαίωμα της παραγωγής τους.

Έτσι, ανάλογα με τον τύπο απορρόφησης της ενέργειας, οι αποσβεστήρες χωρίζονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες: που εξαρτώνται από την κίνηση, από την μετατόπιση, από την επιτάχυνση και άλλου τύπου αποσβεστήρες που δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τα παραπάνω.

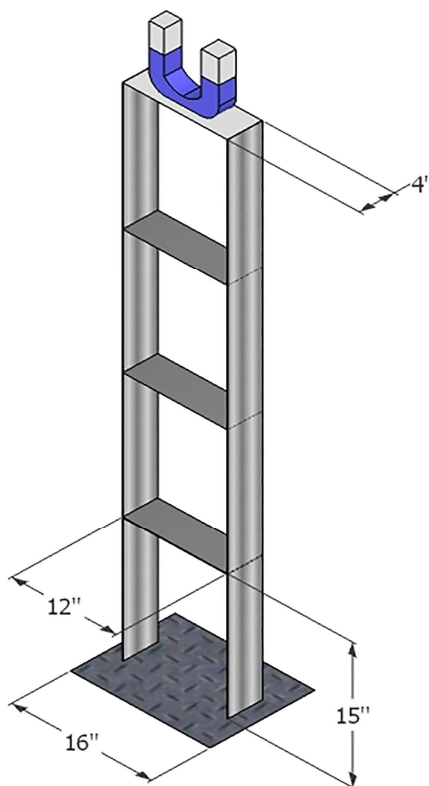
### 3.2 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Κίνηση

Σε αυτή την κατηγορία υπάρχουν οι: αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας, αποσβεστήρες συντονισμένου υγρού και οι αποσβεστήρες συντονισμένης υγρής στήλης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε ανεμογεννήτριες.

Οι αποσβεστήρες που εξαρτώνται από την κίνηση, εξαρτώνται από τη δόνηση ενός δευτερεύοντος συστήματος, το οποίο συνήθως συντονίζεται ώστε να συμβαδίζει με το κυρίως κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο, το δευτερεύον σύστημα ταλαντεύεται εκτός φάσης με το κύριο σύστημα, μειώνοντας έτσι την επίδραση της εξωτερικής ενέργειας.

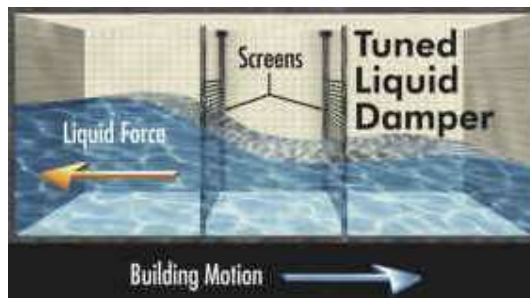


*Εικόνα 3.1* Αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας



*Εικόνα 3.2:* Αποσβεστήρας συντονισμένης υγρής στήλης

Ένα παράδειγμα αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας είναι ο ΤΑΪΠΕΪ 101, ο μεγαλύτερος και ο βαρύτερος αποσβεστήρας για ανεμοπιέσεις. Η διάμετρος του είναι 5,5 m και μειώνει κατά 40% την μετακίνηση του κτιρίου. Σύμφωνα με τις αρχές της Ταϊπέι, ο 101 αποσβεστήρας κατέγραψε την μεγαλύτερη μετακίνηση του λόγω σεισμού στις 18 Απριλίου 2019, όταν κινήθηκε 20 εκατοστά ως αποτέλεσμα σεισμού μεγέθους 6,1 με επίκεντρο τα ανοικτά των ακτών της κομητείας Χουαλιέν στα ανατολικά της Ταϊβάν, όπου σημείωσε ένταση 7, το υψηλότερο επίπεδο στην κλίμακα έντασης της Ταϊβάν. Η ένταση που καταγράφηκε στη Νέα Ταϊπέι ήταν 5 και στην Ταϊπέι 4. Πριν από αυτό, ο αποσβεστήρας 101 κινήθηκε 100 εκατοστά λόγω ισχυρών ανέμων που έφερε ο τυφώνας Soudelor στις 8 Αυγούστου 2015. Αυτή είναι η μεγαλύτερη μετακίνηση που υπήρξε στην ιστορία του κτιρίου.



*Εικόνα 3.3 Αποσβεστήρας συντονισμένου υγρού*

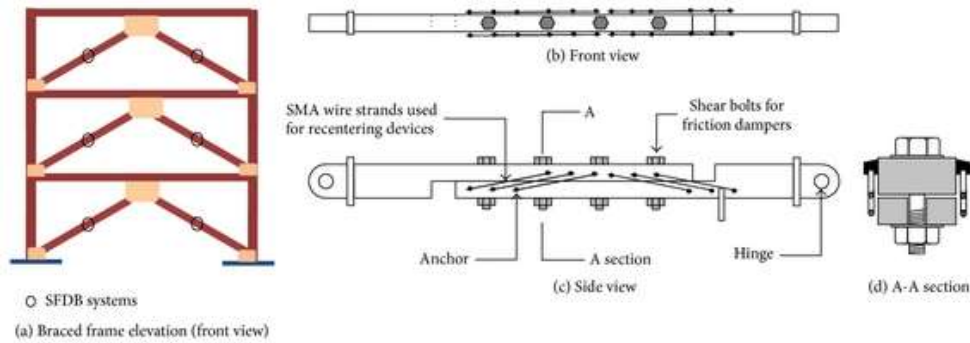
Πηγή: Council on Tall Buildings and Urban Habitat.com

### **3.3 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Μετατόπιση**

Σε αυτή την κατηγορία υπάρχουν οι μεταλλικοί αποσβεστήρες και οι αυτόματα κεντραρισμένοι αποσβεστήρες.



*Εικόνα 3.4 Μεταλλικοί αποσβεστήρες*



**Εικόνα 3.5** Αυτόματα κεντραρισμένοι αποσβεστήρες

Οι αποσβεστήρες που εξαρτώνται από την μετατόπιση δεν εξαρτώνται από τη συχνότητα κίνησης και οι δυνάμεις που παράγονται από αυτές τις συσκευές είναι συνήθως σε φάση με τις αδρανειακές δυνάμεις από την εξωτερική διέγερση. Η ενέργεια που απορροφάται είναι συνάρτηση της σχετικής μετατόπισης μεταξύ των άκρων του αποσβεστήρα.

### 3.4 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Επιτάχυνση

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι ιξώδεις αποσβεστήρες. Οι εξαρτώμενοι από την επιτάχυνση αποσβεστήρες, εξαρτώνται μόνο από τη στιγμιαία διαφορική ταχύτητα μεταξύ των άκρων του αποσβεστήρα. Επομένως, οι δυνάμεις είναι συνήθως εκτός φάσης με τις δυνάμεις που κινούν το δομικό σύστημα. Κατά τη διέγερση, η μέγιστη δύναμη του αποσβεστήρα συμπίπτει με τη μέγιστη ταχύτητα ενώ οι τάσεις παραμόρφωσης είναι στο ελάχιστο. Αντιθέτως, η δύναμη απόσβεσης μηδενίζει στη μέγιστη μετατόπιση, όταν οι δομικές τάσεις εκτροπής είναι στη μέγιστη τιμή τους. Συνεπώς, η ενέργεια που απορρίπτεται σχετίζεται με τη σχετική ταχύτητα μεταξύ των ακρών του αποσβεστήρα.



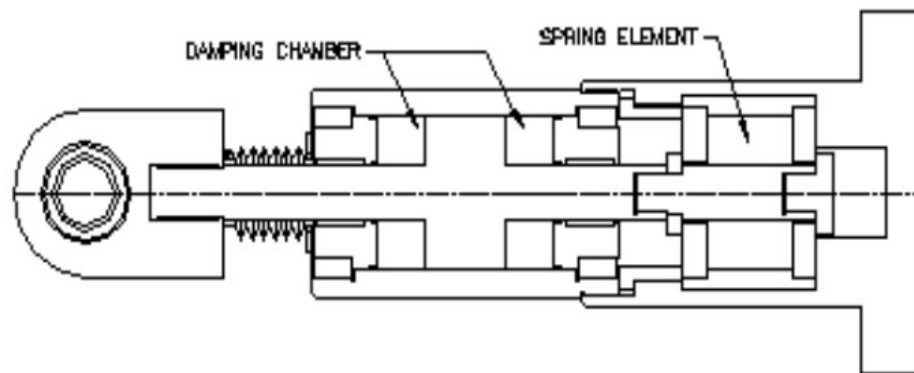
**Εικόνα 3.6** Ιξώδεις αποσβεστήρες

### 3.5 Άλλου Τύπου που δεν Μπορούν να Κατηγοριοποιηθούν Σύμφωνα με τα Παραπάνω

Σε αυτή την κατηγορία υπάρχουν οι: αποσβεστήρες τριβής και οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες. Οι αποσβεστήρες τριβής αντιδρούν με σχετικά σταθερή δύναμη, αν και αυτή η δύναμη μπορεί να αλλάξει λόγω χρόνου και/ή εξωτερικών παραγόντων, όπως είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες (Klemczyk, 2009). Στην ακόλουθη ενότητα, οι ιξώδεις αποσβεστήρες (fluid viscous dampers) και οι συμπληρωματικές συσκευές απόσβεσης επανεξετάζονται σε βάθος. Τα συμπεράσματα βασίζονται στον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές είναι εγκατεστημένες σε ένα κτίριο: είτε διανέμονται σε ολόκληρο ή σε διακριτές θέσεις του κτιρίου.



*Εικόνα 3.7* Αποσβεστήρες τριβής



**FVED**

*Εικόνα 3.8* Ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες

## Κεφάλαιο 4

### 4.1 Κριτήρια Επιλογής Θέσεων και Επιλογή Τύπου Αποσβεστήρα

Η πιο αποτελεσματική τοποθεσία για την τοποθέτηση των αποσβεστήρων είναι εκεί όπου υπάρχουν οι μεγαλύτερες παραμορφώσεις των κτιρίων. Ωστόσο, οι μεγάλες παραμορφώσεις του κτιρίου οδηγούν σε προβλήματα λειτουργικότητας. Επομένως, ο σχεδιασμός ενός καταναμημένου συστήματος απόσβεσης είναι μια συνδυασμένη προσπάθεια ελαχιστοποίησης των παραμορφώσεων του κτιρίου. Η καταναμημένη απόσβεση μπορεί να είναι επωφελής τόσο για την κύρια όσο και για την δευτερεύουσα λειτουργία σε ένα κτίριο αλλά είναι επίσης η πιο δαπανηρή λύση τόσο λόγω του αυξημένου αριθμού αποσβεστήρων που απαιτούνται, όσο και επειδή δεν είναι αποκλειστικά εστιασμένοι στα σημεία όπου οι κτιριακές κινήσεις είναι οι μεγαλύτερες. Προκειμένου να εφαρμόζουν απόσβεση σε ένα κτίριο ή μηχανισμό, οι καταναμημένοι αποσβεστήρες χρειάζεται να τοποθετηθούν σε πολλές θέσεις στο κτίριο.

*Πηγή: Προσαρμογή από τους Symans, M.D., Charney, F.A., Whittaker, A.S., Constantinou, M.C., Kircher, C.A., Johnson, M.W., et al., 2008. Συστήματα ενεργειακής διάσπασης για σεισμική Εφαρμογές: Τρέχουσα πρακτική και πρόσφατες εξελίξεις. J. Struct*

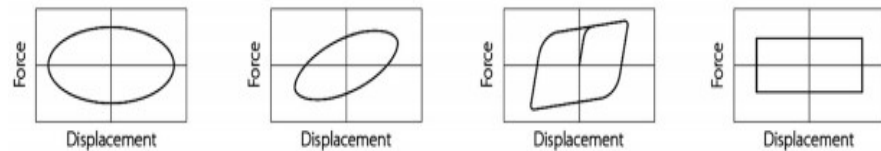
### 4.2 Περίληψη Κατασκευής, Υστερητικής Συμπεριφοράς, Φυσικών Μοντέλων, Πλεονεκτημάτων και Μειονεκτημάτων Παθητικών Συσκευών Ενεργειακής Απόσβεσης για Εφαρμογές Σεισμικής Προστασίας.

	Ιξώδεις αποσβεστήρες	Ιξοδοελαστικοί αποσβεστήρες	Μεταλλικοί (BRB)	Αποσβεστήρες Τριβής
--	----------------------	-----------------------------	------------------	---------------------

Βασική κατασκευή



Εξιδανικευμένη υστερητική συμπεριφορά



Εξιδανικευμένο μηχανικό μοντέλο





<b>Πλεονεκτήματα</b>	<p>Ενεργοποίηση σε χαμηλές μετατοπίσεις</p> <p>Ελάχιστη δύναμη επαναφοράς</p> <p>Για γραμμικό αποσβεστήρα: Απλοποιημένο μοντέλο</p> <p>Ιδιότητες ανεξάρτητες από τις θερμοκρασίες</p>	<p>Ενεργοποίηση σε χαμηλές μετατοπίσεις</p> <p>Παρέχει δύναμη επαναφοράς</p> <p>Γραμμική συμπεριφορά</p> <p>Απλοποιημένο μοντέλο</p> <p>Ισχυρή μακροπρόθεσμη συμπεριφορά</p>	<p>Σταθερή υστερητική συμπεριφορά</p> <p>Μακροπρόθεσμη αξιοπιστία</p> <p>Δεν επηρεάζεται από θερμοκρασίες περιβάλλοντος</p> <p>Υλικό και συμπεριφορά γνωστή στους ασκώντες μηχανικούς</p>	<p>Μεγάλη απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο</p> <p>Ανεξάρτητο από θερμοκρασίες περιβάλλοντος</p>
<b>Μειονεκτήματα</b>	<p>Πιθανή διαρροή υγρού</p>	<p>Περιορισμένη ικανότητα παραμόρφωσης. Επηρεάζεται από θερμοκρασιακές μεταβολές και μεταβολές στις συχνότητες</p>	<p>Η κατασκευή παθαίνει ζημιές μετά από σεισμούς (χρειάζεται αντικατάσταση)</p> <p>Μη γραμμική συμπεριφορά (μπορεί να χρειαστεί μη γραμμική ανάλυση)</p>	<p>Οι συνθήκες απόσβεσης της επιφάνειας διεπαφής ενδέχεται να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου (μειωμένης αξιοπιστίας)</p> <p>Ισχυρή μη γραμμική συμπεριφορά, απαιτεί περαιτέρω ανάλυση και μη γραμμική ανάλυση</p> <p>Μόνιμη μετατόπιση εάν δεν υπάρχει δύναμη επαναφοράς</p>

Αρκετές γεωμετρικές εφαρμογές έχουν κατασκευαστεί και δοκιμαστεί, από τα πειραματικά δεδομένα προέκυψε το συμπέρασμα ότι η απόδοση του αποσβεστήρα ενισχύεται αυξάνοντας το μέγεθος του. Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και παραμόρφωσης μέσω της κίνησης του αποσβεστήρα, έχει εισαχθεί και εφαρμοστεί στο σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ο παρακάτω πίνακας παρέχει τις διαφορετικές, γεωμετρικές

κατανεμημένες διαμορφώσεις αποσβεστήρων, οι οποίες χρησιμοποιούνται, συνοψίζοντας τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

### Κατανεμημένη απόσβεση γεωμετρικών διαμορφώσεων: Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα

<b>Γεωμετρικό σχήμα</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
<b>1. Διαγώνιοι</b>	Απλή κατανομή καθ' ύψος	Περιορισμένη σχετική παραμόρφωση (περιορισμένη απόδοση)  Σημαντική απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)
<b>2. Τύπου Λ (Chevron)</b>	Πλήρης μεταφορά οριζόντιας κίνησης από κτίριο σε αποσβεστήρα	Λιγότερη απόδοση λόγω περιορισμένης δυσκαμψίας υπό μικρή κίνηση  Μεγαλύτερη απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)
<b>3. Εναλλασσόμενοι (Toggle up, bottom &amp; reverse)</b>	Καλή απόδοση μικρών κινήσεων λόγω ενίσχυσης (περίπου 2- 3 φορές)  Ίδια αποτελεσματικότητα με εκείνους της διαγώνιας διαμόρφωσης με λιγότερο αριθμό αποσβεστήρων	Πιο περίπλοκος σχεδιασμός και βιομηχανοποίηση  Πιο δύσκολη μοντελοποίηση του συναλλασσόμενου συστήματος  Μεγαλύτερη απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)
<b>4. Ψαλιδωτοί (Scissor)</b>	Καλή απόδοση/πιο συμπαγής από το σύστημα εναλλαγής (εξοικονόμηση χώρου)  Απλούστερη εγκατάσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων με μικρότερη απόσταση	Λιγότερη απόδοση σε σύγκριση με τους εναλλασσόμενους
<b>5. Μοχλοί (Lever)</b>	Υψηλότερη απόδοση από το ψαλιδωτό σύστημα λόγω υψηλότερης ενίσχυσης	Μεγαλύτερη απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)

<p><b>6. Σύνδεσμοι στοιχείων αποσβεστήρων</b></p>	<p>Υψηλή απόδοση και στις δύο διευθύνσεις-οριζόντια και κάθετη</p> <p>Λιγότερος αριθμός συσκευών απαιτείται έναντι διαγώνιας παραμόρφωσης.</p>	<p>Μεγαλύτερη απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)</p>
<p><b>7. Διαγώνιες στρώσεις με διασύνδεση (Cross-layer interconnection)</b></p>	<p>Υψηλότερη απόδοση από τη βασική διαγώνια διαμόρφωση λόγω επίτευξης μεγαλύτερης κίνησης από πολλαπλούς ορόφους</p>	<p>Μεγαλύτερη απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)</p>
<p><b>8. Σύνδεση σε Εξωτερικό στήριγμα ακάτου</b></p>	<p>Πιο κατάλληλο για ψηλά κτίρια</p> <p>Σε υψηλότερες καμπτικές παραμορφώσεις αύξηση του επιπέδου απόσβεσης και μείωση της αποτελεσματικότητας της δυναμικής φόρτισης</p>	<p>Περισσότερη ένταση και παραμόρφωση στα εξωτερικά υποστυλώματα του κτιρίου</p> <p>Δεν είναι κατάλληλο για κατασκευές με μεγάλη παραμόρφωση λόγω διάτμησης (χαμηλά κτίρια)</p>
<p><b>9. Αποσβεστήρες τοίχου</b></p>	<p>Πλήρης οριζόντια κίνηση διάτμησης μεταφοράς από κτίριο σε αποσβεστήρα</p> <p>Απλούστερη εγκατάσταση σε σύγκριση με τη διαγώνια διαμόρφωση</p> <p>Απλή αντικατάσταση για μετασκευή-επισκευή</p>	<p>Σημαντική απαίτηση χώρου (λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία)</p>
<p><b>10. Οριζόντιοι Συζευγμένοι αποσβεστήρες (Coupling dampers)</b></p>	<p>Πιο κατάλληλο για ψηλά κτίρια</p> <p>Σε υψηλότερες καμπτικές παραμορφώσεις χρήσιμο για ακραία σεισμικά γεγονότα συμπεριλαμβάνοντας στοιχεία ασφάλειας</p>	<p>Δεν είναι κατάλληλο για κατασκευές όπου κυριαρχεί η διάτμηση (χαμηλά κτίρια)</p> <p>Αποκλειστικά χρήσιμο σε συνδυασμό με συστήματα τοίχου</p>

	Κατάλληλο για αρχιτεκτονική διαμόρφωση (εξοικονόμηση χώρου)  Απλή αντικατάσταση για μετασκευή-επισκευή	
<b>11. Οριζόντιοι Αποσβεστήρες με συρματόσχοινα (VE Dampers with cable)</b>	Σημαντική μείωση του μεγέθους του αποσβεστήρα συγκριτικά με τα συμβατικά σχήματα εγκατάστασης (π.χ. διαγώνια ή τιράντες chevron)	Πρόβλημα χαλάρωσης λόγω τάσης στα συρματόσχοινα.

Πηγή: *Damping Technologies for Tall Buildings (Lago-Trabucco-Wood 2019)*

Όλα τα παραπάνω συστήματα απαιτούν τη δημιουργία διάφορων συσκευών με τη μορφή μηχανισμών, ώστε να διευκολύνουν την ενίσχυση των διαφορετικών κινήσεων στα άκρα των αποσβεστήρων. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η απόδοσή τους. Επιπλέον, προκειμένου να εκτιμηθεί συνολικά ένας αποσβεστήρας λαμβάνεται υπόψη τόσο το υποβαθμιστικό αποτέλεσμα της ακαμψίας ή της ευελιξίας αυτών των συσκευών όσο και τα χαρακτηριστικά ενίσχυσης (Huang, 2004). Στη συνέχεια, για κάθε διαφορετικό γεωμετρικό σύστημα εξετάζεται με ιδιαίτερο τρόπο η σημασία της ενίσχυσης των κτιρίων βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των συσκευών απόσβεσης.

### 4.3 Διαγώνιοι

Σε διαγώνια σχήματα στήριξης, οι αποσβεστήρες απορροφούν ένα μέρος από την πλήρη ισχύ διότι η οριζόντια κίνηση του κτιρίου επιτρέπει μόνο μια γωνιακή ισχύ της πλήρους φόρτισης να απορροφηθεί από τον αποσβεστήρα. Οι αποσβεστήρες μεταφέρουν την φόρτιση κατευθείαν στο επίπεδο του επόμενου ορόφου, μέσω μελών- εξαρτημάτων ισχυρής έντασης/συμπίεσης. Συχνά, αυτό το σχήμα διαγώνιας στήριξης θεωρείται η πιο βασική μέθοδος για την εφαρμογή κατανεμημένης απόσβεσης σε ένα κτίριο. Δεδομένου ότι οι αποσβεστήρες κλίνουν οριζόντια, πρέπει η διαφραγματική μετατόπιση να τροποποιηθεί, ώστε να ληφθεί υπόψη η πραγματική μετατόπιση των άκρων του αποσβεστήρα.

Κοιτάζοντας την περίπτωση των διαγώνιων αποσβεστήρων στηρίγματος, εάν το σύστημα μονού βαθμού ελευθερίας (SDOF) έχει οριζόντια μετατόπιση  $u$ , η παραμόρφωση του αποσβεστήρα  $ud$  δίνεται από:

$$ud = u * G_{ah} = u * \sigma \nu \theta$$

όπου  $\theta$  η γωνία μεταξύ του αποσβεστήρα και της οριζόντιας κατεύθυνσης

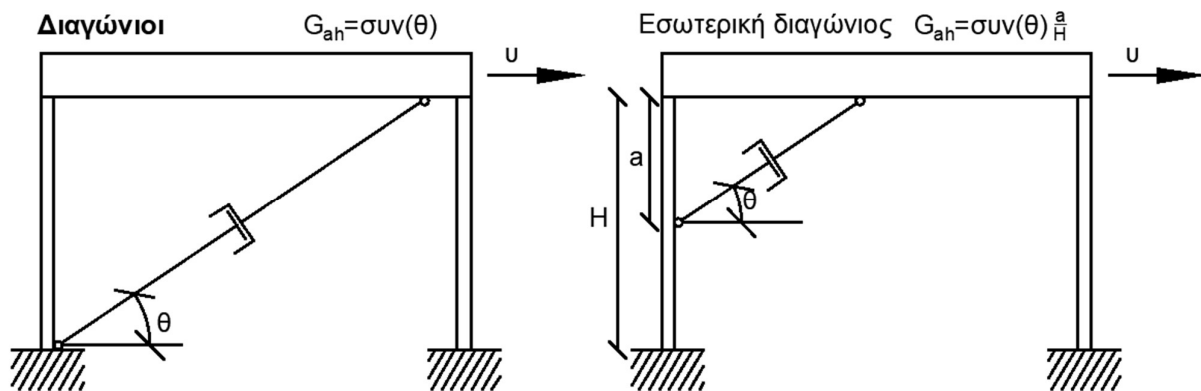
Επομένως, η δύναμη του αποσβεστήρα σχετίζεται με την οριζόντια μετατόπιση  $F$ , όπως:

$$F_d = F/G_{ah} = F/\sigma\upsilon\nu(\theta)$$

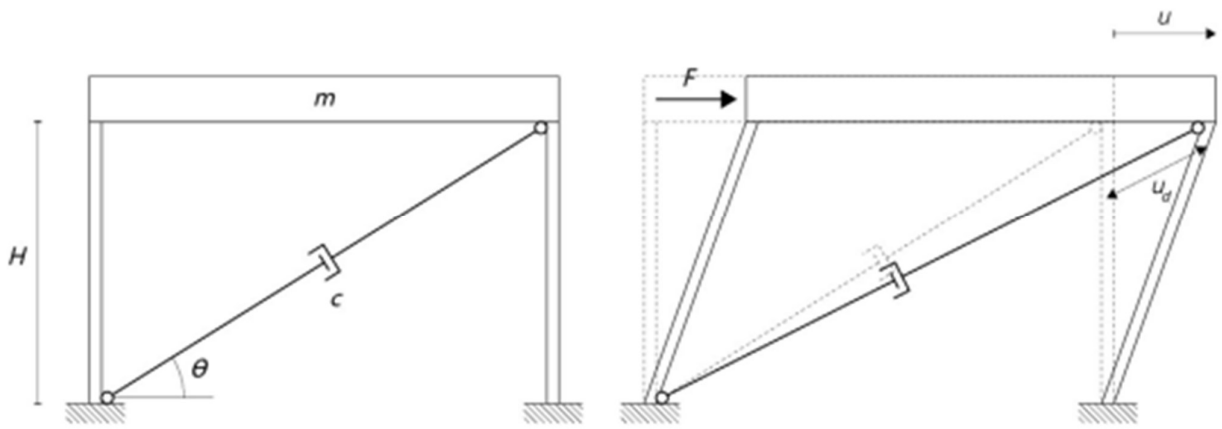
Κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου υπό σεισμικά φορτία, μια από τα πρώτες υποθέσεις που γίνονται συνήθως είναι ότι το κτίριο έχει κυρίως διατμητικές παραμορφώσεις. Ωστόσο, όταν οι κατασκευές αυξάνονται σε ύψος, αυτή η υπόθεση γίνεται πιο ανακριβής, καθώς οι καμπτικές παραμορφώσεις γίνονται συγκρίσιμες με τις διατμητικές παραμορφώσεις. Υπολογίζοντας τόσο για διάτμηση όσο και για κάμψη, η παραμόρφωση είναι πολύ σημαντική, ειδικά κατά την εκτίμηση του αξονικού φορτίου σε παραμορφώσεις για κεκλιμένους αποσβεστήρες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυνητικά μη συντηρητικά σφάλματα κατά την εκτίμηση του προστιθέμενου ισοδύναμου ιξώδους απόσβεσης που δίνεται από τον αποσβεστήρα. Σε αυτήν την περίπτωση, οι παραμορφώσεις λόγω κάμψης (δηλαδή, η κατακόρυφη παραμόρφωση μεταξύ των άκρων του αποσβεστήρα) γίνεται συγκρίσιμη, εάν δεν είναι διαδεδομένη, στις διατμητικές παραμορφώσεις (δηλαδή στην οριζόντια παραμόρφωση μεταξύ των άκρων του αποσβεστήρα). Στην περίπτωση των διαγώνιων αποσβεστήρων στηρίγματος, η καμπτική καμπύλη στην αξονική παραμόρφωση του αποσβεστήρα υπολογίζεται ως εξής:

$$ud = u \cdot G_{ah} - v \cdot G_{av} = u \cdot \sigma\upsilon\nu(\theta) - v \cdot \eta\mu(\theta)$$

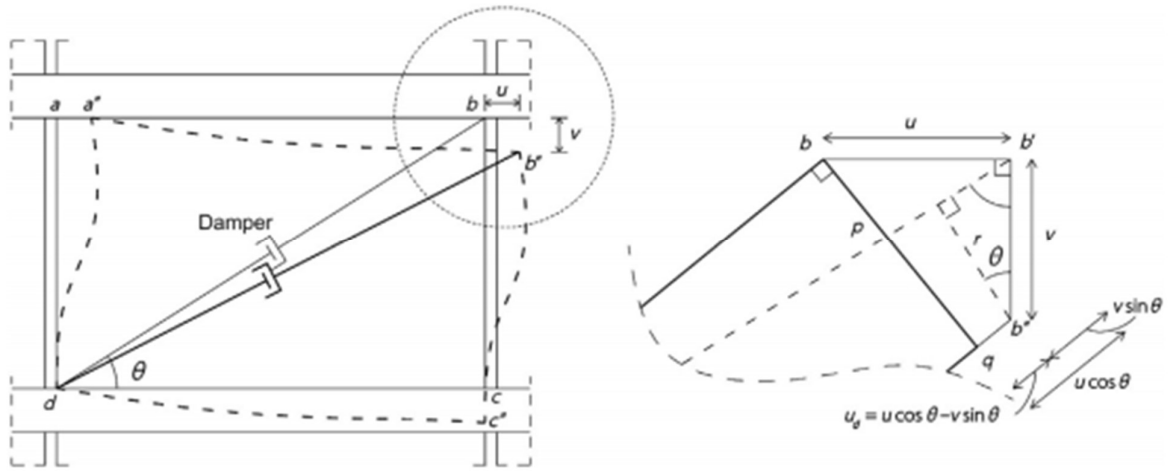
όπου  $v$  και  $G_{av}$  είναι η κατακόρυφη μετατόπιση και ο συντελεστής κάθετης γεωμετρικής ενίσχυσης, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1 Διαγώνιοι και εσωτερικά διαγώνιοι αποσβεστήρες



Σχήμα 4.2. Σχέδιο μετατόπισης με διαγώνιο ιζώδη αποσβεστήρα



Σχήμα 4.3. Σχέδιο μετατόπισης με κεκλιμένο ιζώδη αποσβεστήρα, με κάθετες και οριζόντιες παραμορφώσεις

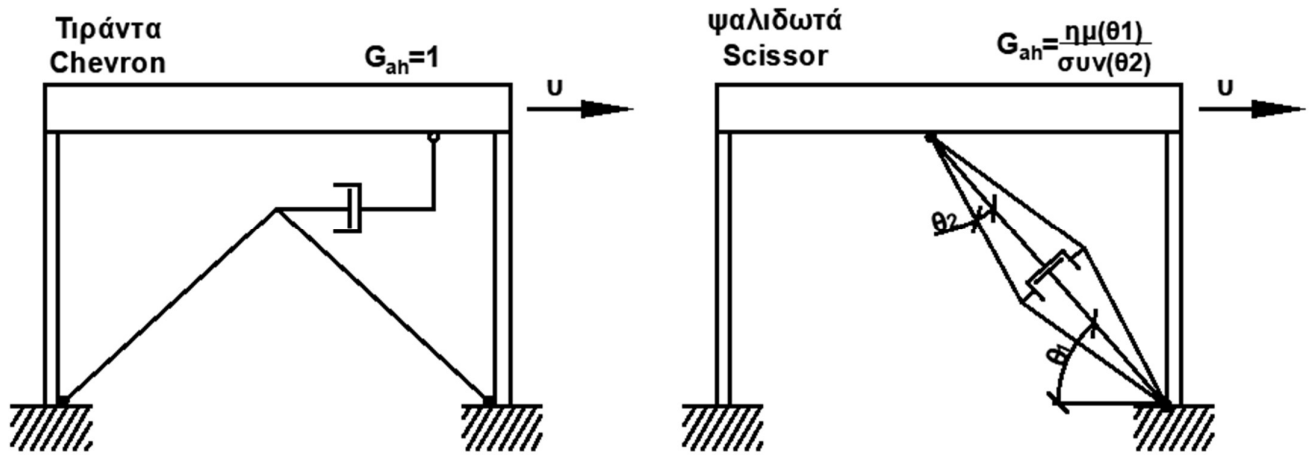
Πηγή: *Damping Technologies for Tall Buildings* (Lago-Trabucco-Wood 2019)



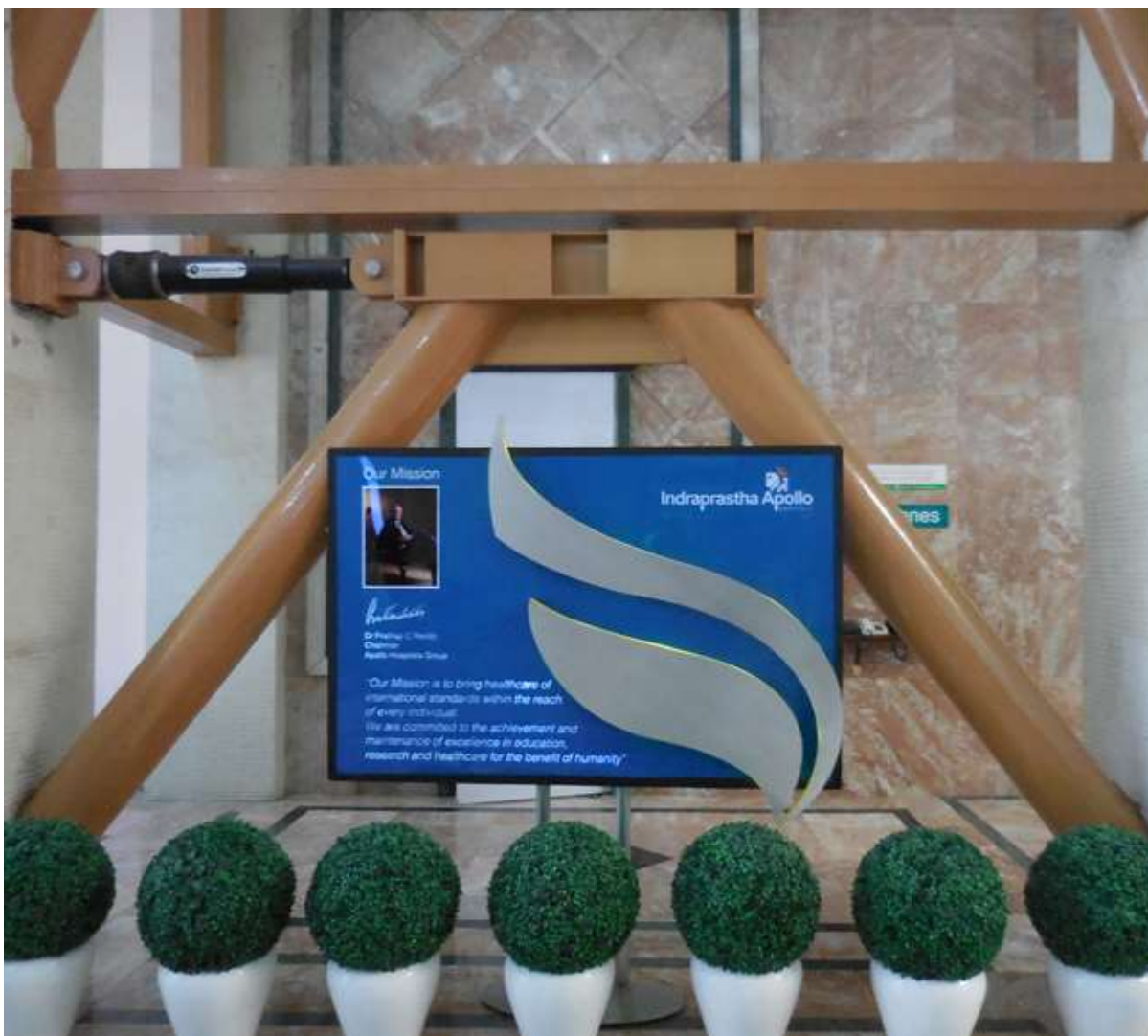
**Εικόνα 4.4**  
 Διαγώνιος ιζώδης αποσβεστήρας

#### 4.4 Τύπου Λ (Chevron)

Τα πλαίσια Chevron απεικονίζονται στο Σχ. 4.5. Σε αυτήν τη διαμόρφωση, οι αποσβεστήρες τοποθετούνται οριζόντια, συνδέοντας ένα σχεδόν άκαμπτο πλαίσιο (chevron) στο πάτωμα. Το πλεονέκτημα αυτού του άμεσου προσανατολισμού απόσβεσης είναι ότι η οριζόντια ευκαμψία της κτιρίου, εισάγει πλήρη κίνηση απευθείας στον οριζόντιο προσανατολισμό του αποσβεστήρα. Παρόλα αυτά, μια μικρή ποσότητα κίνησης μπορεί να χαθεί στους περιορισμούς της εφικτής δυσκαμψίας ενός οικοδομικού πλαισίου chevron. Παρόμοιοι με τη διαγώνια διαμόρφωση είναι και οι γεωμετρικοί παράγοντες για το chevron.



**Σχήμα 4.5** Αποσβεστήρες Chevron και Ψαλιδοτά



*Εικόνα 4.6* Ιξώδης αποσβεστήρας *A-Chevron*

#### **4.5 Εναλλασσόμενοι (Toggle up, bottom, reverse) & Di Paola & Navara**

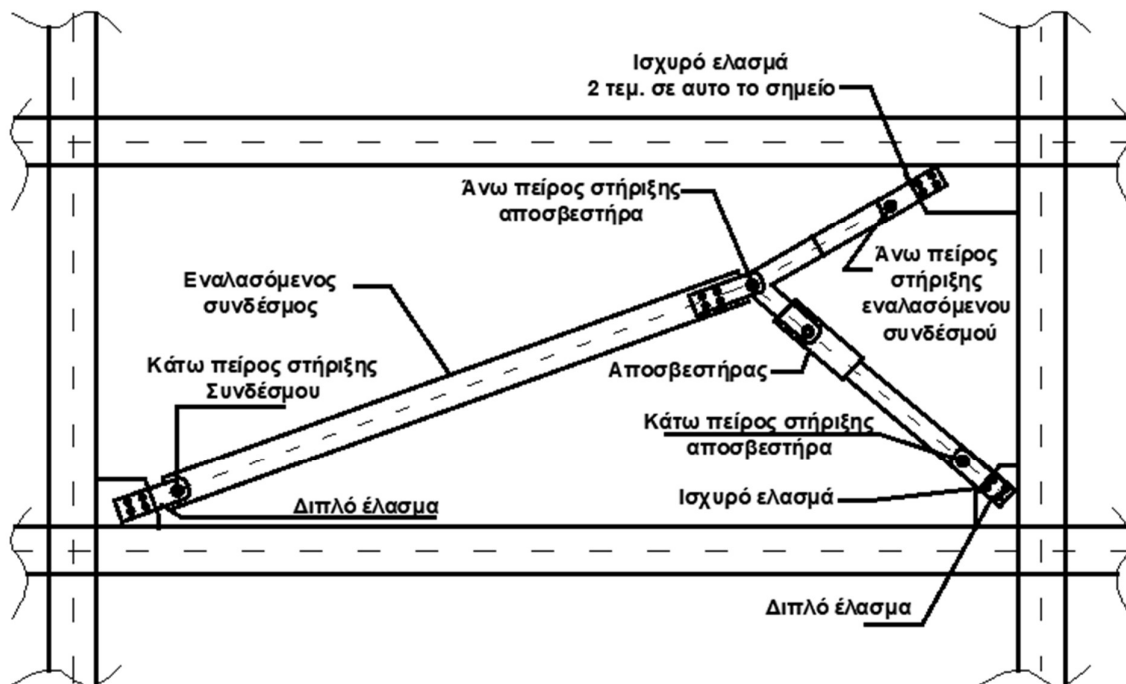
Ο εναλλασσόμενος αποσβεστήρας (toggle-brace) είναι κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από την εταιρεία Taylor Devices Inc., στις Ηνωμένες Πολιτείες. Προκειμένου να μπορέσει να εφαρμοστεί σε ένα κτίριο, πρέπει να γίνει ανάλυση από εξουσιοδοτημένο σχεδιαστή ή κατασκευαστή. Ακόμη, οι εναλλασσόμενοι αποσβεστήρες πλαισίων, όπως φαίνονται στο Σχ. 4.7, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως μηχανισμοί ενίσχυσης παραμορφώσεων στον αποσβεστήρα σε δύσκολες ή μικροσκοπικές καταστάσεις εκτροπής δημιουργώντας ένα πιο αποτελεσματικό σύστημα απόσβεσης. Επιπλέον, οι εναλλασσόμενοι αποσβεστήρες, υπό την ίδια διάταξη των παραμέτρων απόσβεσης, είναι περίπου 2 - 3 φορές πιο αποτελεσματικοί εάν συγκριθούν με τους αντίστοιχους διαγώνιους. Έτσι, τα πλαίσια εναλλαγής παρέχουν μια αποτελεσματική λύση απόσβεσης αλλά απαιτούν περισσότερο περίπλοκο σχεδιασμό και χρειάζεται να κατασκευαστούν προσαρμοσμένοι μηχανισμοί ή συστήματα ώστε να λειτουργούν σωστά. Από την άλλη μεριά, βασικά προβλήματα αυτής της διαμόρφωσης είναι η εναλλαγή μοντελοποίησης, η απαραίτητη



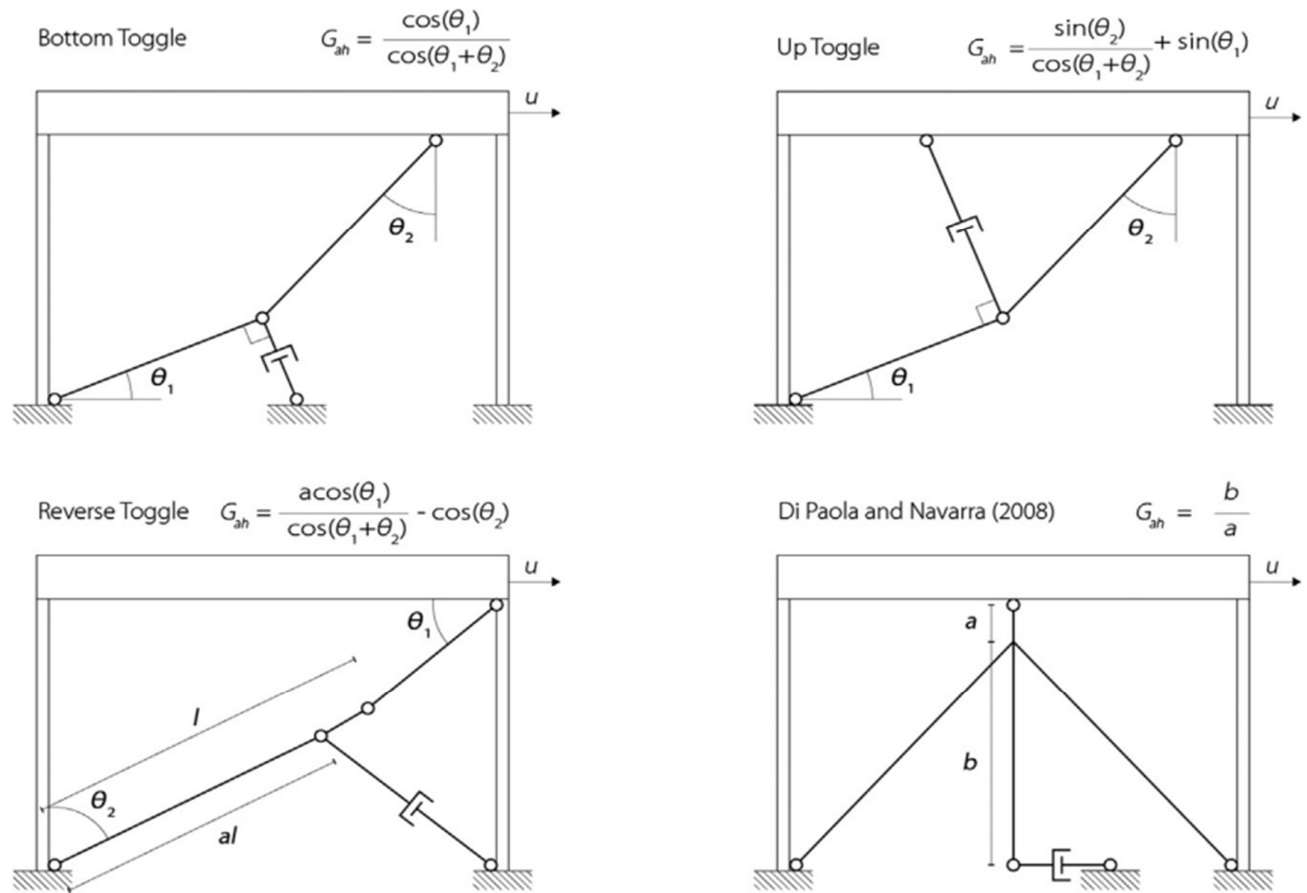
προσοχή που πρέπει να δοθεί στους περιορισμούς που υφίστανται κάθε φορά καθώς και οι τοποθεσίες των τμημάτων του κτιρίου στις οποίες πρόκειται να εγκατασταθούν οι αποσβεστήρες



Εικόνα 4.7 Εναλλασσόμενος ιζώδης αποσβεστήρας (Toggele)



Σχήμα 4.8 Εναλλασσόμενοι αποσβεστήρες



**Σχήμα 4.9.** Τύποι εναλλασσόμενων αποσβεστήρων

### 4.6 Ψαλιδωτοί (Scissor)

Η διαμόρφωση ψαλιδιού, η οποία είναι κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Κωνσταντίνου (2002) (Εικ. 4.5), μπορεί επίσης να προσδώσει στον αποσβεστήρα τη διπλάσια αποτελεσματικότητα σε σύγκριση με το διαγώνιο σχήμα (Εικ. 4.2). Ακόμη, είναι πιο συμπαγής από τους εναλλασσόμενους (Toggle) αποσβεστήρες πλαισίων, οπότε η εγκατάσταση σε δομές με μικρότερη απόσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων, είναι πιο εύκολη.

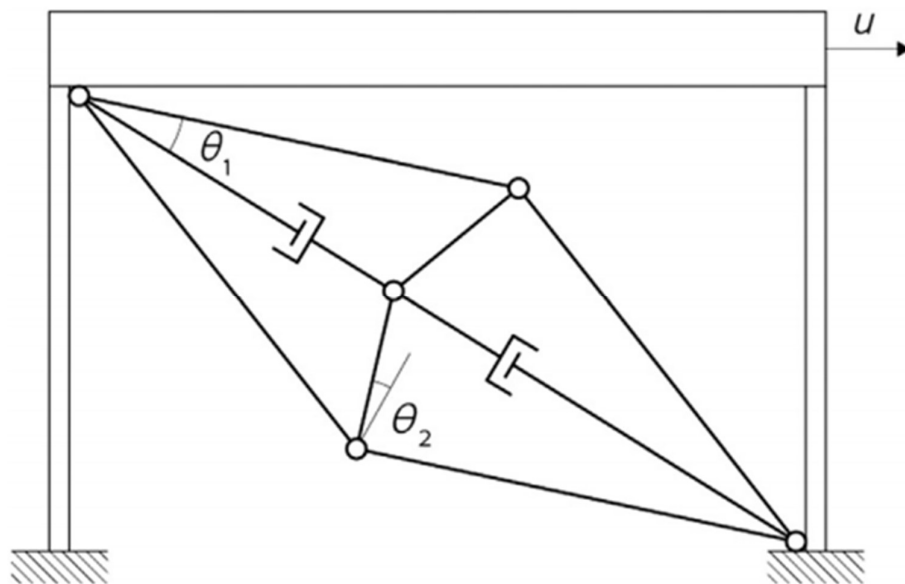


*Εικόνα 4.10 Ψαλιδωτός ιξώδης αποσβεστήρας (Scissor)*

*Πηγή: Damping Technologies for Tall Buildings (Lago-Trabucco-Wood 2019)*

#### 4.7 Μοχλός (Lever)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γεωμετρική διάταξη ενός αποσβεστήρα τύπου μοχλού, ο οποίος προτάθηκε από τον Rahimian (2009). Σύμφωνα με εκείνον, η ικανότητα της ενίσχυσης της απόσβεσης μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω εκθετικά.

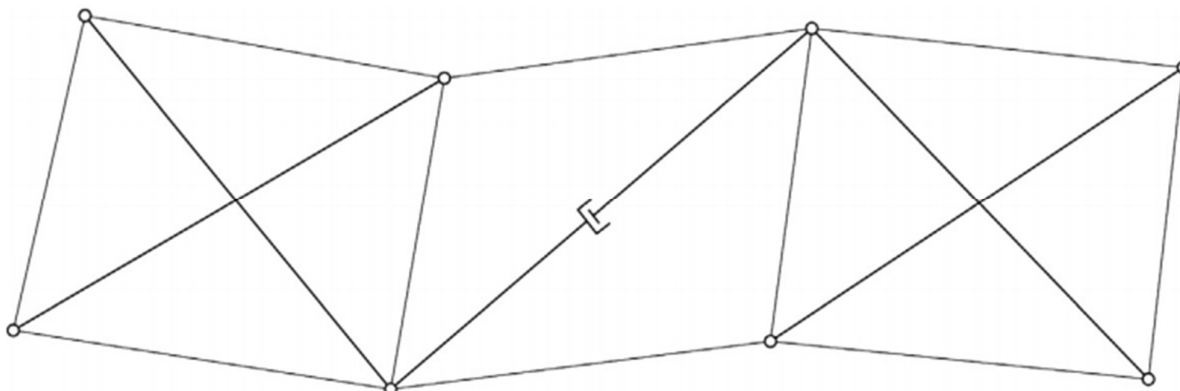


*Σχήμα 4.11 Αποσβεστήρας τύπου μοχλού*

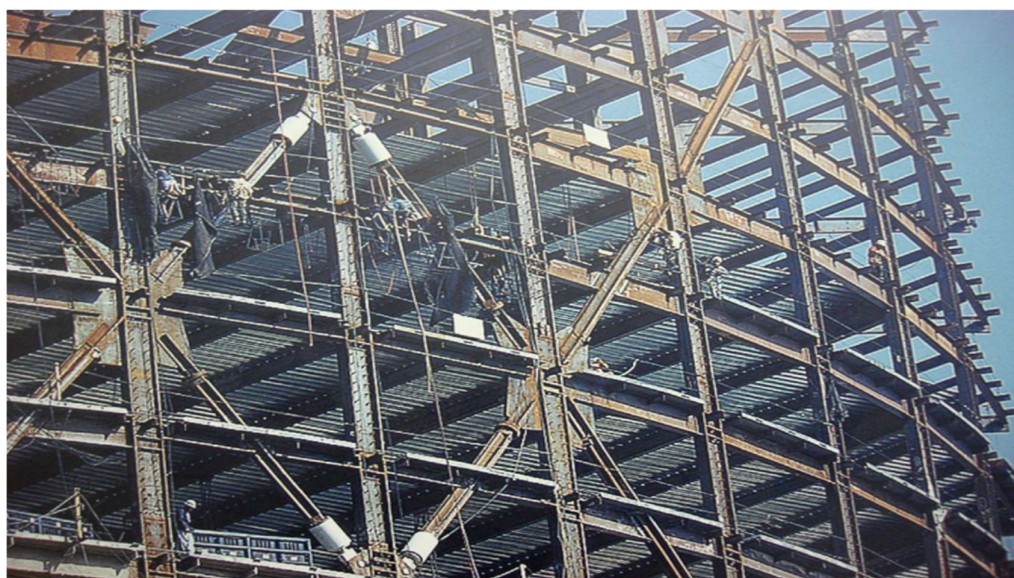
## 4.8 Αποσβεστήρας Στοιχείων Συνδέσμου

Οι αποσβεστήρες στοιχείων συνδέσμου (Rahimian, 1999, 2007) είναι ένα παράδειγμα αναφορικά με τη βελτίωση που επιτυγχάνεται από τη χρήση των διαφορικών κάθετων κινήσεων του δομικού κόμβου σε συνδυασμό με τις οριζόντιες κινήσεις. Εδώ το ένα άκρο των αποσβεστήρων συνδέεται με δοκάρια ή στοιχεία τοίχου και το άλλο άκρο σε υποστύλωμα ή ανεξάρτητη δοκό, το οποίο δεν είναι αναπόσπαστο στο κύριο σύστημα ζευκτόν. Με αυτό τον τρόπο, οι αποσβεστήρες δημιουργούν ένα δυναμικά συνδεδεμένο σύστημα όπου η κάθετη κίνηση του άκρου των αποσβεστήρων, σε συνδυασμό με την πλευρική κίνηση της διαμέτρου, δημιουργεί σημαντική ενίσχυση της αντιληπτής κίνησης του αποσβεστήρα και επομένως της απόδοσης του. Γραφικά φαίνεται η αντιληπτή κίνηση του αποσβεστήρα υπό πλευρική και κατακόρυφη κίνηση.

Αυτό το σύστημα εφαρμόστηκε στον σχεδιασμό και στην κατασκευή του πύργου γραφείων Torre Mayor, 57 ορόφων, ύψους 225 μέτρων στην Πόλη του Μεξικό, στο Μεξικό (Εικ. 4.13). Λόγω της εξαιρετικά αποτελεσματικής φύσης του προτεινόμενου συστήματος απαιτήθηκαν μόνο 12 αποσβεστήρες, στις προσόψεις του Βορρά και του Νότου του κτιρίου, ως απόκριση στη σεισμική κίνηση προς την ανατολική και δυτική κατεύθυνση (Rahimian and Martinez, 1998).



*Σχήμα 4.12 Αποσβεστήρας στοιχείων συνδέσμου*



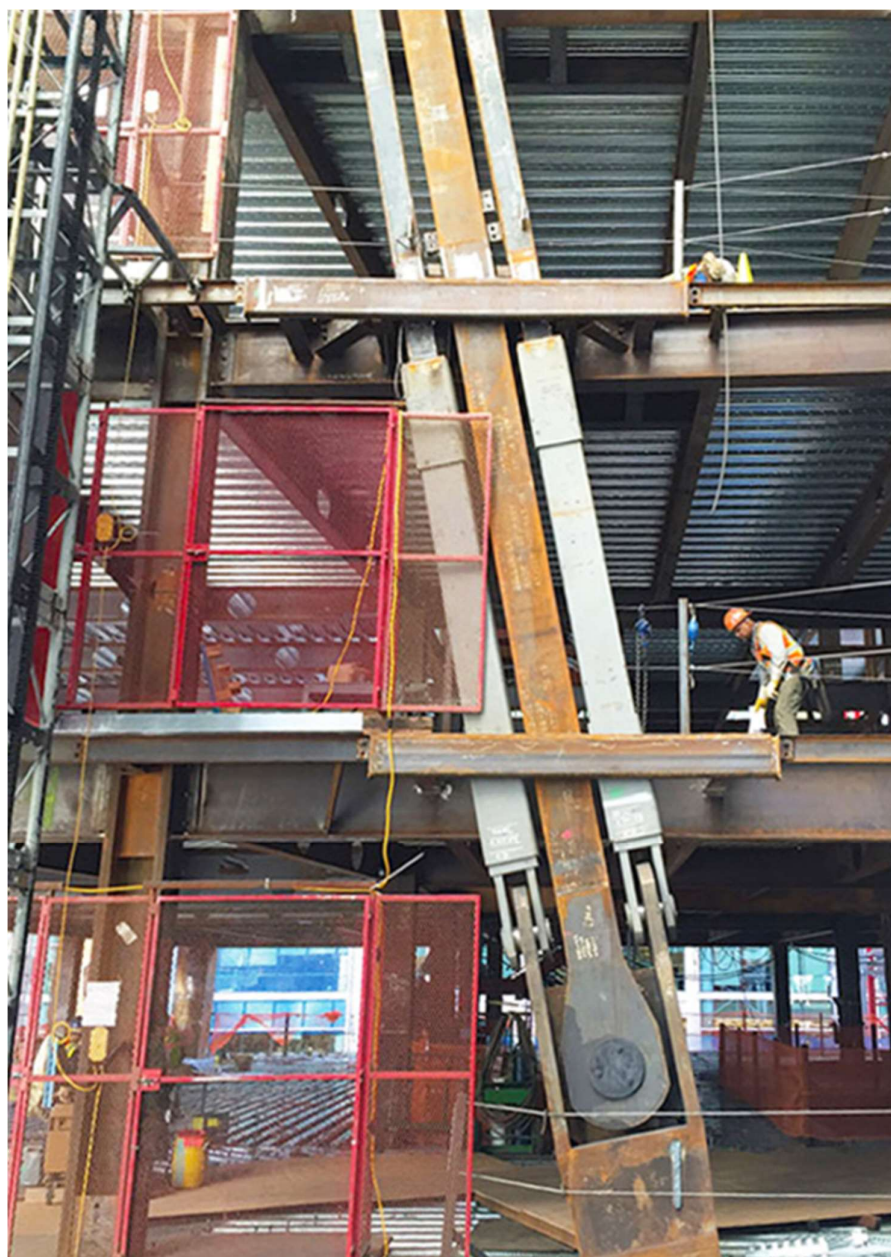
*Εικόνα 4.13 Ιξώδης αποσβεστήρας στοιχείων συνδέσμου*

*Πηγή: Damping Technologies for Tall Buildings (Lago-Trabucco-Wood 2019)*

#### 4.9 Διαγώνιες Στρώσεις με Διασύνδεση (Cross-layer interconnection)

Η διασύνδεση πολλαπλών στρώσεων λειτουργεί χρησιμοποιώντας τις παραμορφώσεις σε πολλούς ορόφους και επίπεδα. Συλλέγει τη μεγαλύτερη κίνηση από τα επίπεδα αυτά και την μεταβιβάζει μέσω του αποσβεστήρα ενέργειας σε μεγάλους δομικούς κόμβους. Η συγκεκριμένη ιδέα λειτουργεί παρόμοια με τη διαγώνια στήριξη αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Η σύνδεση πολλαπλών επιπέδων για αποσβεστήρες εφαρμόστηκε με επιτυχία στο κτίριο 181 Fremont Street (Εικ. 4.14) στο Σαν Φρανσίσκο. Εκεί, υπάρχουν τέσσερις αποσβεστήρες σε κάθε μεγάλο (mega) στήριγμα και τρία μεγάλα (mega) στηρίγματα σε κάθε ύψος. Επομένως, συνολικά χρησιμοποιούνται 32 ερμητικοί αποσβεστήρες χωρίς τριβή για τον έλεγχο της δόνησης της κατασκευής, υπό συνθήκες σεισμού και ανέμου.

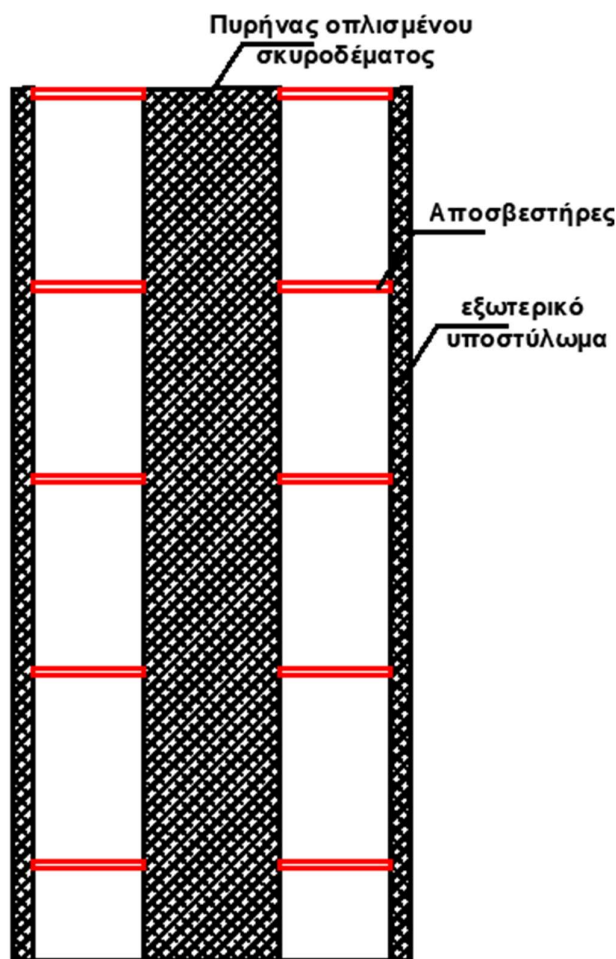


*Εικόνα 4.14* Ιξώδης αποσβεστήρας διαγώνιων στρώσεων με διασύνδεση  
*Πηγή: Damping Technologies for Tall Buildings (Lago-Trabucco-Wood 2019)*

#### 4.10 Σύνδεση σε Εξωτερικό Στήριγμα Ακάτου

Αποτελεί μια λύση απόσβεσης ακραίων μεγεθών, η οποία ισχύει για ψηλά και λεπτά κτίρια. Το πλεονέκτημα της είναι η τάση και η συμπίεση που ασκεί στα εξωτερικά υποστυλώματα της κατασκευής, ενισχύοντας τις κινήσεις του κεντρικού πυρήνα στη θέση των εξωτερικών στηριγμάτων. Συχνά, η απόσβεση των εξωτερικών στηριγμάτων μπορεί να επιτευχθεί δημιουργώντας ένα άκαμπτο επίπεδο κοντά στην κορυφή ενός κτιρίου, το οποίο κινείται με τον πυρήνα και συνδέει τους αποσβεστήρες μεταξύ του άκαμπτου επιπέδου και των εξωτερικών υποστυλωμάτων του κτιρίου. Το σύστημα είναι πολύ αποδοτικό λόγω των ενισχυμένων θέσεων που έχουν επιτευχθεί. Ωστόσο, σε περίπτωση που υπάρχουν πολλά επίπεδα εξωτερικών στηριγμάτων στο κτίριο, το σύστημα αρχίζει να γίνεται λιγότερο αποτελεσματικό από ένα κατανεμημένο σύστημα, το οποίο έχει διαφορετική μορφή λειτουργίας.

Μια εναλλακτική διαμόρφωση ζυγού είναι η χρήση αποσβεστήρων ζεύξης VE (VCD) όπως φαίνεται στο Σχ. 4.15 (Χριστόπουλος και Μοντγκόμερι, 2013). Το όφελος του υλικού VE σε αυτήν τη διαμόρφωση είναι ότι προσθέτει σε μια στιγμιαία μετατόπιση, ταχύτερη και ισχυρότερη δύναμη αποκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο, ο αποσβεστήρας παρέχει ταυτόχρονα σκληρότητα και γρήγορη απόσβεση στο κτίριο. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για όλα τα πλευρικά φορτία: από συχνές καταπονήσεις λόγω ανέμων έως και των μέγιστων αναμενόμενων σεισμών.



Σχήμα 4.15 Αποσβεστήρας σε εξωτερικό σύνδεσμο ακάτου (Χριστόπουλος και Μοντγκόμερι, 2013)

## 4.11 Αποσβεστήρες Τοίχου

Υπάρχουν δύο διαμορφώσεις αποσβεστήρων τοίχου, βάσει των οποίων παρέχεται απόσβεση διάτμησης: οι ιξώδεις αποσβεστήρες τοίχου και οι αποσβεστήρες τοίχου VE. Η απόσβεση επιτυγχάνεται καθώς δύο δάπεδα κινούνται αντίθετα το ένα από το άλλο, καταπονώντας σε διάτμηση τον αποσβεστήρα.

Οι ιξώδεις αποσβεστήρες τοίχου αποτελούνται από μια στενή δεξαμενή γεμάτη με πολύ παχύρρευστο υγρό, το οποίο συνδέεται με την κάτω επιφάνεια (πλάκα) και ένα πτερύγιο, το οποίο συνδέεται με την άνω δοκό και βυθίζεται στο ιξώδες υγρό. Όπως η άνω δοκός κινείται, το επάνω πτερύγιο κινείται σε σχέση με τη δεξαμενή και πιέζει το υλικό. Το σχέδιο αυτό εφαρμόστηκε στο κτίριο DoCoMo ύψους 240 μέτρων, στο Τόκιο (Wada et al., 2000). Αυτό το κτίριο έχει δύο μέρη: ένα χαμηλότερο μέρος με γραφείο σε 27 ορόφους και το πάνω μέρος με 24 ορόφους. Σε αυτό το κτίριο, εγκαταστάθηκαν 76 αποσβεστήρες παχύρρευστου τοίχου στις δύο κύριες κατευθύνσεις του καθώς και ατσάλινα πλαίσια στο κάτω μέρος του κτιρίου. Κατά συνέπεια, η ισοδύναμη απόσβεση 5% κατά μήκος των δύο κατευθύνσεων, επιτυγχάνεται με τη χρήση αυτών των αποσβεστήρων και το ατσάλινο πλαίσιο που υπάρχει είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να συμπεριφέρεται ως ελαστικό υπό σεισμική φόρτιση.

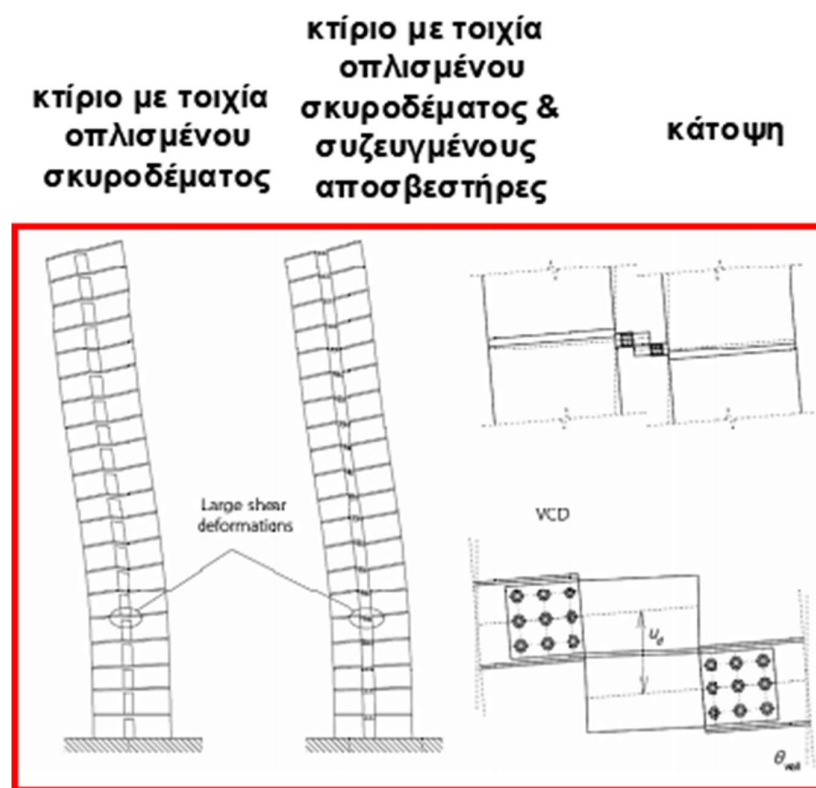
Οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες τοίχου (VE) αποτελούνται από ιξωδοελαστικό υλικό (VE) που συνδέεται με χαλύβδινες πλάκες. Όταν οι χαλύβδινες πλάκες κινούνται η μια με την άλλη συμπιέζουν το ιξωδοελαστικό υλικό VE, προσθέτοντας απόσβεση στο κτίριο. Αυτό το σχέδιο εφαρμόστηκε στον 24όροφο ουρανοξύστη στο δίδυμο κτίριο SEAVANS (που αποτελείται από νότια και βόρεια κτίρια), στο Τόκιο (Yokota et al., 1992). Το κύριο δομικό σύστημα αυτού του κτιρίου είναι ατσάλινα πλαίσια, όπου οι αποσβεστήρες είναι εγκατεστημένοι κατά μήκος του νότιου κτιρίου προκειμένου να μετριαστούν οι δονήσεις που προκαλούνται από τον άνεμο και τους σεισμούς. Το υλικό απόσβεσης είναι θερμοπλαστικό καουτσούκ και ένωση ασφάλτου. Το συγκεκριμένο σύστημα κατασκευάζεται από την Showa Shell Sekiyu K.K. και Shimizu Corporation.



*Εικόνα 4.16 Κτίριο  
DOCOMO TOKYO*

## 4.12 Οριζόντιοι Συζευγμένοι Αποσβεστήρες (Coupling dampers)

Οι οριζόντιοι συζευγμένοι αποσβεστήρες (ζεύξης), προτάθηκαν για την αντιμετώπιση των μηχανισμών παραμόρφωσης και μετακινήσεων των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα κύρια δομικά τοιχώματα παραμορφώνονται με παραμόρφωση των δοκών ζεύξης σε διάτμηση, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.17 (Christopoulos and Montgomery, 2013).



**Σχήμα 4.17** Συζευγμένοι αποσβεστήρες

Πηγή: Μοντγκόμερι, 2011

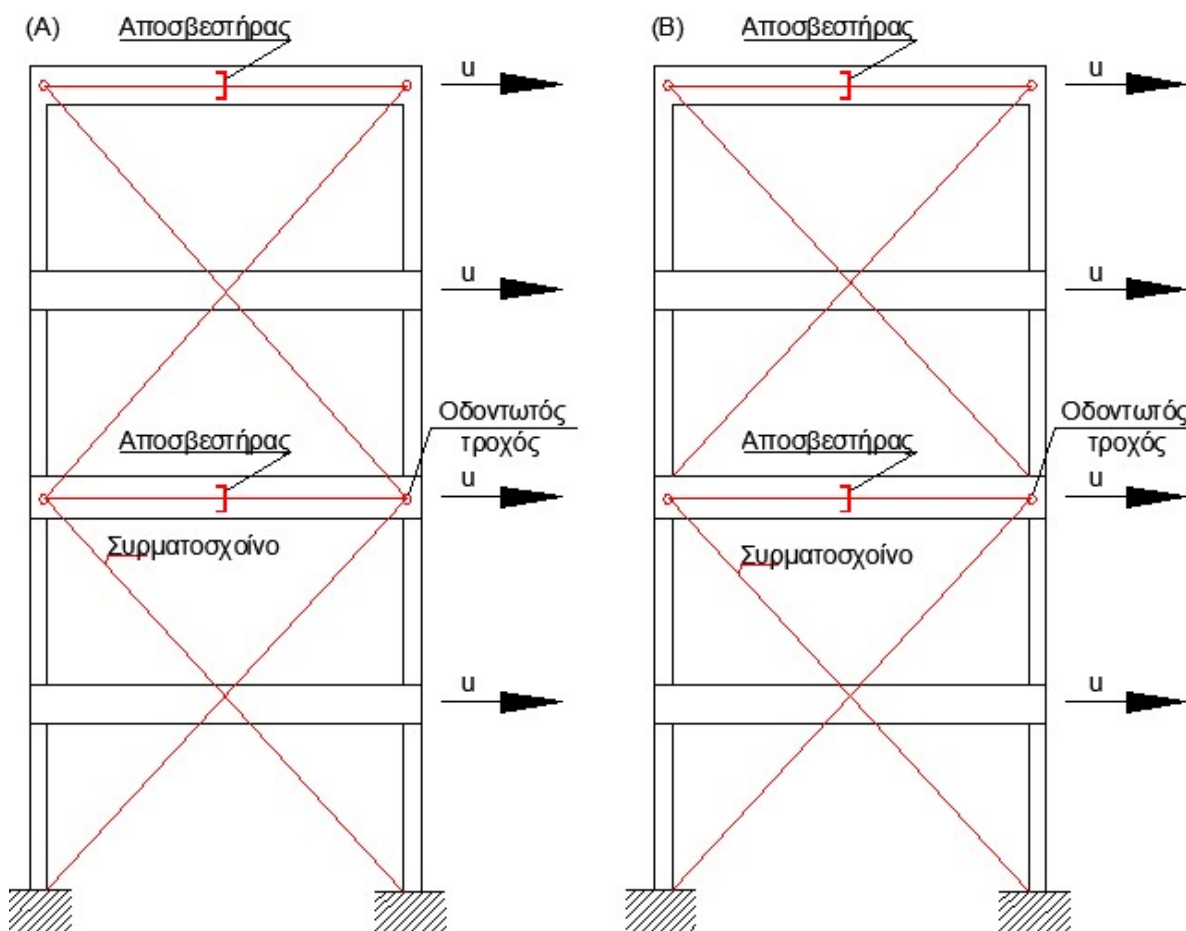
Οι συζευγμένοι αποσβεστήρες αποτελούνται από στρώματα υλικού VE που συνδέονται μεταξύ των χαλύβδινων πλακών, με κάθε διαδοχικό χαλύβδινο στρώμα να εκτείνεται μέχρι την απέναντι πλευρά και να αγκυρώνεται στους δομικούς τοίχους. Οι αποσβεστήρες αντικαθιστούν δομικά μέλη, όπως δοκοί ζεύξης και συνεπώς δεν επηρεάζουν την αρχιτεκτονική των κτιρίων με οποιονδήποτε τρόπο. Όταν το κτίριο παραμορφώνεται πλευρικά ή στρεπτικά, τα τοιχώματα παραμορφώνονται το ένα με το άλλο, προκαλώντας διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση εντός της ζεύξης και είναι τα στοιχεία που παραμορφώνουν τα στρώματα υλικού VE σε διάτμηση. Οι συζευγμένοι αποσβεστήρες παρέχουν ταυτόχρονα μετατόπιση και δύναμη επαναφοράς στο κτίριο. Αυτό εξαρτάται από τη δύναμη που συνδέει τους τοίχους, παρέχοντας στιγμιαία συμπληρωματική ιξώδη απόσβεση στο κτίριο. Εφόσον είναι κατανεμημένοι σωστά σε όλο το ύψος του κτιρίου, οι αποσβεστήρες παρέχουν και διανεμούν ιξώδη απόσβεση σε όλους τους πλευρικούς και στρεπτικούς τρόπους δόνησης από τη φόρτιση του ανέμου και του σεισμού. Επίσης μπορούν να περιλαμβάνουν δομικά στοιχεία, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να ενεργοποιούνται και να προσθέτουν περαιτέρω υστερη-



τική απόσβεση στο σύστημα υπό ακραία σεισμική φόρτιση. Οι συγκεκριμένοι αποσβεστήρες παράγονται από την εταιρεία Nirron Steel και Sumikin Engineering και χρησιμοποιούν υλικό 3M ISD-111H.

#### 4.13 Οριζόντιοι Αποσβεστήρες με Συρματόσχοινα (VE Dampers with cable)

Το 2010, οι Choi και Kim πρότειναν ένα νέο σχέδιο εγκατάστασης για οριζόντιους αποσβεστήρες VE με τη χρήση καλωδίων (Εικ. 4.18). Με τη βοήθεια αυτού του συστήματος, η μετατόπιση που επιτυγχάνεται (μετατόπιση ορόφου) μεταξύ του καλωδίου και του κυρίως κτιρίου οδηγεί σε σημαντική μείωση του μεγέθους των αποσβεστήρων έναντι των συμβατικών συστημάτων εγκατάστασης (π.χ. διαγώνια ή Chevron). Τα συρματόσχοινα μπορούν να εγκατασταθούν συνεχόμενα ή διακοπτόμενα μεταξύ των κτιρίων στη βάση και πάνω (Εικ. 4.18). Ένα παρόμοιο σχέδιο εγκατάστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με άλλους τύπους αποσβεστήρων, όπως π.χ. με αποσβεστήρες τριβής. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα του συστήματος μπορεί να μειωθεί λόγω τεντώματος και χαλάρωσης του συρματόσχοινου.



**Σχήμα 4.18** Αποσβεστήρες με συρματόσχοινα (A) συνεχόμενου τύπου και (B) διακοπτόμενου (CHOI H, KIM J, 2010)

## Κεφάλαιο 5

### 5.1 Ανάλυση Αποσβεστήρων που Εξαρτώνται από την Επιτάχυνση

Οι συγκεκριμένοι αποσβεστήρες διαθέτουν ισχύ εξόδου, η οποία ορίζεται ως συνάρτηση της σχετικής (μεταξύ των άκρων του αποσβεστήρα) επιτάχυνσης, της μετατόπισης και της συχνότητας. Σε αυτή την κατηγορία, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι συσκευών απόσβεσης: οι ιξώδεις (γραμμικοί και μη γραμμικοί) και οι ιξώδοελαστικοί. Στην ενότητα αυτή, γίνεται αναφορά και στους δύο τύπους συσκευών, ωστόσο αναλύονται και εξετάζονται λεπτομερώς οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ιξώδων αποσβεστήρων, οι οποίοι αποτελούν τη βάση της παρούσας εργασίας.

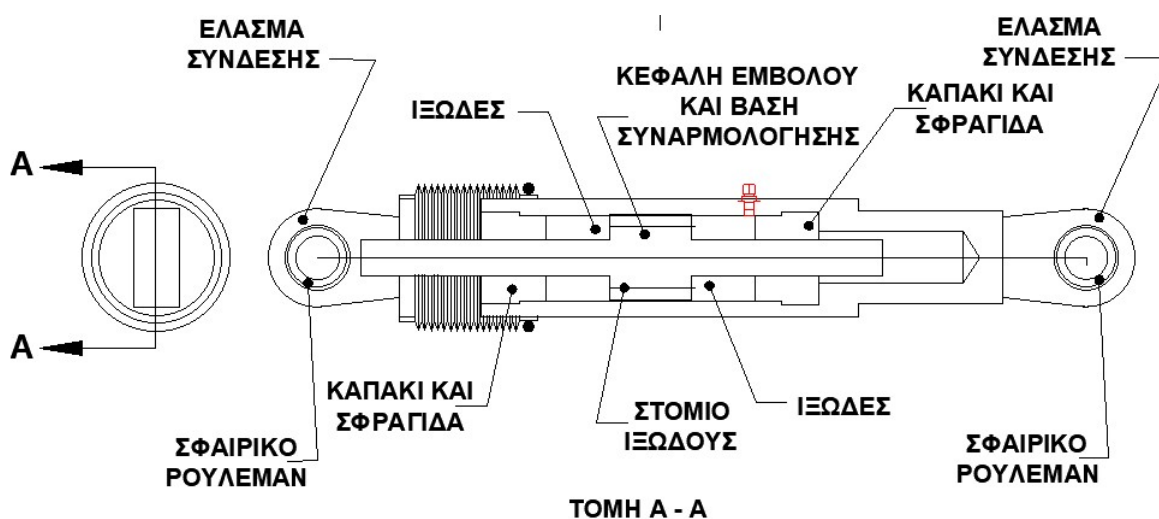
### 5.2 Ανάλυση των Ιξώδων Αποσβεστήρων

Οι αποσβεστήρες αυτού του τύπου, λειτουργούν παρέχοντας δύναμη αντίστασης μόνο όταν κινούνται. Συνήθως δεν προσθέτουν ακαμψία σε ένα κτίριο και δεν φέρουν κανένα στατικό φορτίο. Ένας ιξώδης αποσβεστήρας αποτελείται από ένα έμβολο που κινείται εμπρός και πίσω μέσω ενός ιξώδους υγρού, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο υψηλή πίεση και αντίσταση. Αυτά τα έμβολα διαθέτουν ειδικά σχεδιασμένα στόμια που παράγουν μια βελτιστοποιημένη σχέση απόδοσης χρησιμοποιώντας την εκάστοτε πίεση (δύναμη), η οποία ποικίλλει ανάλογα με την ταχύτητα. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίσταση που παράγεται (Klembczyk, 2014). Εφόσον, οι ιξώδεις αποσβεστήρες παράγουν μια δύναμη αντίστασης ενώ κινούνται και δεν υπάρχει δύναμη αποκατάστασης (ελατήριο), η παραγόμενη ενέργεια απορροφάται πλήρως στον ιξώδη αποσβεστήρα και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η απορροφούμενη ενέργεια αποτελεί το άθροισμα της απόσβεσης, το οποίο πολλαπλασιάζεται με την παραμόρφωση. Επιπλέον, ορισμένοι ιξώδεις αποσβεστήρες υγρών είναι σχεδιασμένοι ώστε να δημιουργούν πίεση έως 69.000 kPa δύναμη. Συνεπώς, η απορροφούμενη ενέργεια μπορεί να είναι σχετικά υψηλή. Η ενέργεια αυτή μειώνει σημαντικά την ανάγκη για δομικά στοιχεία, τα οποία απορροφούν ενέργεια στο κτίριο μέσω των δοκών και των υποστυλωμάτων, ενώ ελαχιστοποιούνται οι ζημιές που προκαλούνται σε αυτά.

Ωστόσο, είναι σημαντικός όχι μόνο ο τρόπος με τον οποίο οι ιξώδεις αποσβεστήρες απορροφούν την παραγόμενη ενέργεια αλλά και πότε το πράττουν (Klembczyk, 2014; Christopoulos and Filiatrault, 2006). Ένα παράδειγμα είναι, όταν ένα κτίριο παραμορφώνεται λόγω παροδικής καταπόνησης. Η σημαντικότερη απόκριση αυτού του κτιρίου είναι κατά μήκος της κυρίαρχης φυσικής συχνότητας αυτής της καταπόνησης, ως ημιτονοειδές κύμα. Μέχρι το κτίριο να επανέλθει στην αρχική του θέση, η τάση παραμόρφωσης είναι μηδέν. Εν αντιθέσει, η ταχύτητα είναι στο μέγιστο και ο αποσβεστήρας αντιδρά με τη μέγιστη δύναμη του. Όμως, καθώς το κτίριο φτάνει στο αποκορύφωμα της παραμόρφωσης του και όσο μακρύτερα από την αρχική του θέση μπορεί, η επιτάχυνση μηδενίζεται και έτσι ο αποσβεστήρας αντιδρά με μηδενική δύναμη εκείνη τη στιγμή (Klembczyk, 2014). Παρατηρείται ότι το πλεονέκτημα των ιξώδων αποσβεστήρων είναι ότι βρίσκονται εκτός φάσης με την τάση παραμόρφωσης και αυτό δεν συμβαίνει με στοιχεία που αυξάνουν την ακαμψία

ή στοιχεία που δεν είναι ευαίσθητα στην ταχύτητα, όπως είναι οι αποσβεστήρες τριβής ή οι συνδεσμοί δυσκαμψίας (BRB). Αντίθετα, το στοιχείο δυσκαμψίας VE του αποσβεστήρα δεν είναι εκτός φάσης με τη δομική εκτροπή ενώ η απόσβεση ως μέγεθος, είναι. Επιπλέον, οι ιξώδεις αποσβεστήρες μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να μην χρειάζονται σχεδόν ποτέ συντήρηση και να διατηρούν την πλήρη λειτουργικότητα τους ακόμη και μετά από ένα σημαντικό σεισμικό συμβάν (Klembczyk, 2014).

Υπάρχουν λίγα βασικά στοιχεία σχεδίασης ενός ιξώδους αποσβεστήρα. Ωστόσο, η λεπτομέρεια αυτών των στοιχείων ποικίλλει πολύ και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να γίνει δύσκολη και περίπλοκη. Το παρακάτω σχήμα 5.1 απεικονίζει το παράδειγμα ενός ιξώδους αποσβεστήρα και τα μέρη από τα οποία αποτελείται (TAYLOR).



**Σχήμα 5.1** Τομή ιξώδους αποσβεστήρα και τα μέρη του

Ο αποσβεστήρας που απεικονίζεται στο Σχ. 5.1 εμφανίζεται στη θέση της μεσαίας διαδρομής. Ο κύλινδρος είναι εντελώς γεμάτος με ιξώδες ρευστό συμπεριλαμβανομένου του θαλάμου 1 και του θαλάμου 2. Η ράβδος του εμβόλου προσαρτάται στην κεφαλή του εμβόλου. Στο αριστερό άκρο της ράβδου εμβόλου υπάρχει ένα έλασμα σύνδεσης με οπή που χρησιμοποιείται για την προσάρτηση του αποσβεστήρα στο κτίριο. Όταν ο αποσβεστήρας παλινδρομεί κατά τη διάρκεια ενός δυναμικού συμβάντος, η σχισμή, το έμβολο και η κεφαλή του εμβόλου κινούνται ως ένα εξάρτημα, ενώ όλα τα άλλα μέρη παραμένουν σταθερά. Καθώς υποβάλλεται σε δύναμη συμπίεσης, το έμβολο μετακινεί το ιξώδες ρευστό από το θάλαμο 2 στον θάλαμο 1, έτσι ώστε η δύναμη του αποσβεστήρα που προκύπτει να είναι ανάλογη με τη διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο θαλάμων. Καθώς η κεφαλή του εμβόλου κινείται, το ιξώδες και στις δύο πλευρές του ωθείται μέσω των στομιών, στην κεφαλή του εμβόλου. Στην αριστερή πλευρά του κυλίνδρου, υπάρχει ένα στεγανό εξάρτημα συγκράτησης για να ενθυλακώσει το ρευστό, έναντι της στατικής και της δυναμικής πίεσης. Στη δεξιά πλευρά του κυλίνδρου, υπάρχει ο θύλακας κεφαλής ράβδου και ο απαραίτητος χώρος ώστε να κινείται. Αυτός ο θύλακας αποτελείται από ένα πολυμερές υλικό με φυσαλίδες κλειστού αέρα, ο οποίος δέ-

χεται τον μετατοπισμένο όγκο του εμβόλου της ράβδου κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος, μετακινώντας αντίστοιχα την κατεύθυνση της συμπίεσης του ιξώδους. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δεν θα αναπτυχθεί υψηλή πίεση εντός του αποσβεστήρα. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής επέκτασης, η βαλβίδα ελέγχου ανοίγει, επιτρέποντας στο υγρό να ρέει ελεύθερα πίσω στον θάλαμο του κυλίνδρου 2, ώστε να είναι έτοιμο για την επόμενη διαδρομή συμπίεσης. Και οι δύο προεξοχές είναι συνήθως εξοπλισμένες με σφαιρικά ρουλεμάν τόσο για να επιτρέψουν κάποιο επίπεδο ευθυγράμμισης με το περιβάλλον και το κτίριο, όσο και για την προστασία του αποσβεστήρα από διατμητικές και καμπτικές δυνάμεις. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταλλικές φλάντζες όπως στον ερμητικό, χωρίς τριβή αποσβεστήρα. Στην περίπτωση αυτή, ο παχύρρευστος αποσβεστήρας παρέχει μεγαλύτερη ισχύ ενώ η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να απορροφηθεί ανά πάσα στιγμή. Επομένως, ο αποσβεστήρας μπορεί να αντέξει υψηλότερη εσωτερική θερμοκρασία χωρίς ζημιά ή φθορά, παραμένοντας ανθεκτικός και σταθερός. Επιπλέον, οι αποσβεστήρες με μεταλλικές φουσούνες δεν έχουν σχεδόν καθόλου τριβές.

Οι ιξώδεις αποσβεστήρες συνήθως τοποθετούνται σε δομικές τοποθεσίες, όπου ορισμένες ελαστικές δυνάμεις επαναφοράς παρέχονται από το ίδιο το δομικό πλαίσιο. Η ικανότητα μετατόπισης των ιξώδων αποσβεστήρων εξαρτάται από το μήκος της συσκευής. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι ιδιότητες απόσβεσης δεν είναι υστερικές αλλά έχουν ιξώδη προέλευση, οι συσκευές δεν παρέχουν αντίσταση στην ικανότητα επαναφοράς. Προκειμένου να παρέχεται πρόσθετη δύναμη επαναφοράς ενδέχεται να είναι δυνατή η προένταση της συσκευής ή η συναρμολόγηση της παράλληλα με ένα ελατήριο, το επονομαζόμενο ιξώδες αμορτισέρ ελατηρίου (CEN, 2009). Ωστόσο, σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει σημαντική μείωση της απόσβεσης ενώ η ικανότητα επαναφοράς στο τέλος της κίνησης του εδάφους είναι σημαντική, με χαμηλή αναμενόμενη υπολειμματική μετατόπιση.

Η εξαρτώμενη από την ταχύτητα σχέση δύναμης των ιξώδων αποσβεστήρων χαρακτηρίζεται τυπικά από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_d = c_v |\dot{u}_d|^a \operatorname{sgn}(\dot{u}_d)$$

όπου  $C_v$  είναι η ιξώδης σταθερά του αποσβεστήρα, η οποία είναι ανεξάρτητη κατά την κίνηση (δηλαδή, βαθμωτό μέγεθος)

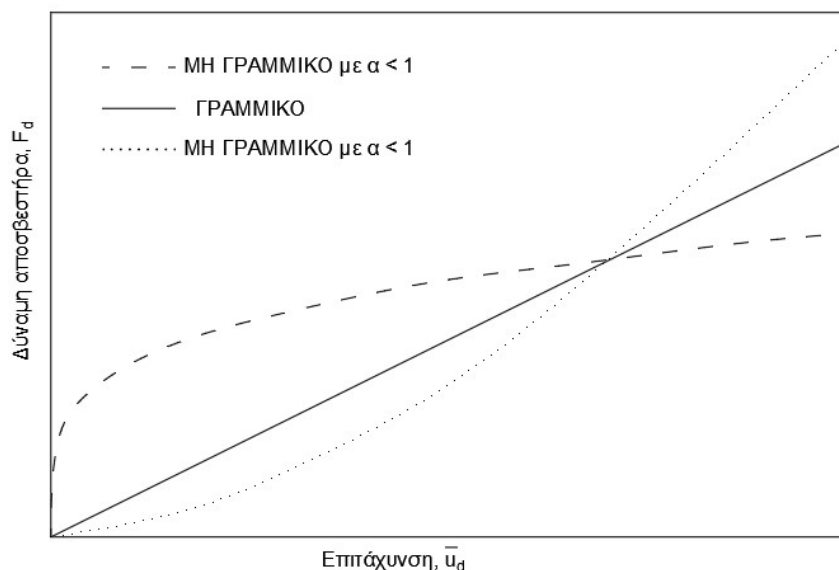
$\dot{u}_d$  είναι η επιτάχυνση του ιξώδη αποσβεστήρα

$a$  αναφέρεται ως ο εκθέτης ταχύτητας του αποσβεστήρα και

$\operatorname{sgn}(\cdot)$  είναι η συνάρτηση του σχήματος.

Αυτός ο εκθέτης συνήθως μπορεί να ρυθμιστεί σε οποιοδήποτε αριθμό μεταξύ 0,1 (ή ακόμα λιγότερο) έως 2,0 ανάλογα με την εφαρμογή. Οι αποσβεστήρες με εκθέτη 1 θεωρούνται γραμμικοί, διαφορετικά ονομάζονται μη γραμμικοί αποσβεστήρες.

Οι γραμμικοί ιξώδεις αποσβεστήρες (Linear Viscous Damper) συχνά χρησιμοποιούνται επειδή είναι οι λιγότερο δύσκολοι να μοντελοποιηθούν λόγω του ότι χαρακτηρίζονται από σχέση γραμμικής ταχύτητας και δύναμης ΣΧ. 5.2. Έτσι, η δύναμη που παράγεται από τα LVD είναι εκτός φάσης με την απόκριση του δομικού συστήματος. Αυτό θεωρείται πλεονέκτημα σε σύγκριση με τους υστερικούς αποσβεστήρες, οι οποίοι δημιουργούν τη μέγιστη δύναμη στη μέγιστη μετατόπιση.



**Σχήμα 5.2** Σχέση δύναμης-επιτάχυνσης για ιξώδεις αποσβεστήρες

Οι μη γραμμικοί ιξώδεις αποσβεστήρες (NLVDs) έχουν δύναμη (Σχ. 5.2) που εξαρτάται από την επιτάχυνση και αυξάνεται εκθετικά,  $\alpha \neq 1$ . Συνήθως, οι αποσβεστήρες με πολύ χαμηλούς εκθέτες, δηλαδή χαμηλότεροι από 0,1, παράγουν αυτή τη σχέση μέσω της πίεσης στις ανακουφιστικές βαλβίδες (PRV). Ο συγκεκριμένος τύπος διαμόρφωσης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση του, καθώς τα PRV είναι συχνά ευαίσθητα στην επιτάχυνση, στην υψηλή συχνότητα και περιέχουν κινούμενα μέρη. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των συσκευών είναι ότι στην περίπτωση της απότομης αύξησης της επιτάχυνσης, η δύναμη που παράγεται από ένα αποσβεστήρα με χαμηλή τιμή  $\alpha$  μπορεί να ελεγχθεί χωρίς να υπερφορτωθεί το σύστημα. Στην σεισμική εφαρμογή, ο εκθέτης  $\alpha$  κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1, συνήθως στην περιοχή 0,1 έως 0,5 (Asher et al., 1996; Rodriguez et al., 1994). Συνήθως, προτιμάται η χαμηλή τιμή του  $\alpha$  (χαμηλότερη από 0,4), επειδή απορροφάται πολύ ενέργεια σε σύντομο χρονικό διάστημα. Εάν συγκρίνουμε αποσβεστήρες για  $\alpha = 1$  και με  $\alpha$  χαμηλότερη από 0,2 συμπεραίνεται ότι οι δεύτεροι μπορούν να δώσουν την ίδια μέγιστη μετατόπιση με μειωμένη την μέγιστη δύναμη που μεταδίδεται στο κτίριο. Εναλλακτικά μπορούν να μειώσουν τη μετατόπιση διατηρώντας την ίδια μέγιστη δύναμη. Αντίστροφα, όταν ο άνεμος είναι η μόνη δυναμική καταπόνηση, μια πολύ χαμηλή τιμή του συντελεστή  $\alpha$  μπορεί να απορροφήσει πάρα πολύ ενέργεια και έτσι να αυξηθεί κατά πολύ η θερμοκρασία. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας του αποσβεστήρα μπορεί να είναι δύσκολα διαχειρίσιμη για καταπονήσεις που διαρκούν μέρες και δεν είναι τόσο σύντομες όπως ένας σεισμός. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο για την εφαρμογή ανέμου, συνήθως προτιμάται η χρήση αποσβεστήρων με  $\alpha = 1$  ή υψηλότερη έως περίπου 1,8-2.

Οι ιξώδεις αποσβεστήρες ρυθμίζονται από τους κατασκευαστές τους για κάθε έργο ξεχωριστά ώστε να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως καθορίζονται κάθε φορά από τον πελάτη. Οι απαιτούμενες παράμετροι περιλαμβάνουν:

- Μέγιστη ονομαστική δύναμη (καθώς και η μέγιστη ταχύτητα σχεδίασης)
- Μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού
- Ελάχιστοι παράγοντες ασφάλειας για απόδοση
- Ελάχιστη απαιτούμενη χρησιμοποιήσιμη εκτροπή από ουδέτερη θέση
- Ακαμψία σύνδεσης με τις γύρω κύριες κατασκευές

- Σταθερά απόσβεσης
- Εκθέτης απόσβεσης
- Θερμοκρασία λειτουργίας
- Μέγιστη ισχύς αιολικής ενέργειας (εάν υπάρχει)
- Μέγιστο όριο του αποσβεστήρα
- Διαμόρφωση απόσβεσης στερέωσης, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου αντικατάστασης εάν είναι εφικτό
- Διαθέσιμος χώρος για εγκατάσταση
- Απαιτήσεις δοκιμών

Η μέγιστη ονομαστική δύναμη του αποσβεστήρα είναι συνήθως η μέγιστη αναμενόμενη δύναμη που θα προκληθεί κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος (σεισμός ή ανεμοπίεση) για το οποίο έχει σχεδιαστεί η συσκευή. Ο συντελεστής ασφάλειας της απόδοσης της κατασκευής βασίζεται είτε στη μέγιστη ονομαστική δύναμη είτε στην επιτάχυνση για την οποία εμφανίζεται η μέγιστη δύναμη. Συνήθως, ο συντελεστής ασφάλειας για τα LVDs είναι από 1,5 έως 2,0. Αυτό σημαίνει ότι ο αποσβεστήρας δεν θα αποδώσει όταν υποβάλλεται σε δύναμη ή ταχύτητα από 150% έως 200% της ονομαστικής μέγιστης δύναμης ή επιτάχυνσης (FEMA, 2000d). Εναλλακτικά, ο κανονισμός κατά EN 15129 (CEN, 2009), ενισχύει τις δυνάμεις σχεδιασμού χρησιμοποιώντας έναν παράγοντα αξιοπιστίας SF, ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$SF = (1 + dt) 1.5^a$$

όπου **dt** είναι η ανοχή αντίδρασης σχεδιασμού που δίνεται από τον κατασκευαστή.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για τα NLVD δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται υψηλοί συντελεστές ασφαλείας καθώς η ίδια η μη γραμμικότητα είναι αυτή που ελέγχει τη μέγιστη δύναμη όταν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την τιμή σχεδιασμού. Ο συντελεστής απόσβεσης, ο εκθέτης απόσβεσης και τα εύρη θερμοκρασίας μπορούν να εκφραστούν εύκολα σε γράφημα, ορίζοντας το επιτρεπόμενο εύρος ζώνης της απόδοσης του αποσβεστήρα σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη θερμοκρασία λειτουργίας (TAYLOR, 1999). Επιπρόσθετα, οι δοκιμές των ιξώδων αποσβεστήρων πρέπει να είναι επαρκείς ώστε να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης ζωής τους. Συγκεκριμένα, συνιστάται η εκτέλεση δοκιμών πλήρους κλίμακας στις συσκευές, έως τη μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού. Όταν μια δοκιμή δεν επαληθεύει όλες τις απαιτήσεις, απαιτούνται περαιτέρω αναλύσεις και δοκιμές για να επιτευχθεί ο κατάλληλος σχεδιασμός για οποιαδήποτε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Οι ιξώδεις αποσβεστήρες χρησιμοποιούν για τη στεγανοποίηση τσιμούχες-σφραγίδες, τα στεγανοποιητικά των οποίων είναι απαραίτητο να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, τουλάχιστον 25 χρόνια, χωρίς να απαιτείται περιοδική αντικατάσταση. Ωστόσο, ο χρόνος ζωής βάσει σχεδιασμού στα περισσότερα κτίρια είναι από 50 έως 100 χρόνια, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι αποσβεστήρες θα πρέπει κάποια στιγμή να αντικατασταθούν. Επιπλέον, τα υλικά στεγανοποίησης πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά ώστε να μεγιστοποιούν την αντοχή στο χρόνο καθώς και τη συμβατότητα με το ιξώδες υλικό του αποσβεστήρα. Δεδομένου ότι οι ιξώδεις αποσβεστήρες στις κατασκευές συχνά υπόκεινται σε μεγάλες περιόδους σπάνιας χρήσης, οι σφραγίδες-τσιμούχες δεν πρέπει να παρουσιάζουν μακροχρόνιες αποκολλήσεις, ούτε να επιτρέπουν την αργή διαρροή υγρού. Οι περισσότεροι αποσβεστήρες χρησιμοποιούν δυναμικές σφραγίδες-τσιμούχες για τη διασύνδεση

της ράβδου του εμβόλου και στατικές σφραγίδες-τσιμούχες στα σημεία όπου βρίσκονται τα ακραία καλύμματα ή οι συγκρατήρες στεγανοποίησης, προσαρτημένοι στον κύλινδρο. Όσον αφορά στα στατικά στεγανοποιητικά, τα συμβατικά ελαστομερή στεγανοποιητικά Ο-δακτυλίου έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά. Επίσης, οι δυναμικές σφραγίδες για το έμβολο πρέπει να κατασκευάζονται από δομικά πολυμερή υψηλής αντοχής προκειμένου να εξαιρεθεί ο κίνδυνος αποκόλλησης ή συμπίεσης κατά τη διάρκεια μεγάλων περιόδων αδράνειας. Τα δομικά πολυμερή δεν γερνούν και δεν αλλοιώνονται με τον χρόνο, υποβαθμίζοντας έτσι τον κίνδυνο διαφυγής ιξώδους με την πάροδο του χρόνου. Συγκριτικά, τα συμβατικά ελαστομερή απαιτούν περιοδικά αντικατάσταση εάν χρησιμοποιηθούν σε δυναμική σφραγίδα αποσβεστήρα. Οι ιξώδεις αποσβεστήρες είναι ουσιαστικά γεμάτοι με υγρούς μηχανισμούς που πρέπει να είναι ικανοί για μακροχρόνια υπηρεσία χωρίς συντήρηση. Εκτός από την απαίτηση υλικών που είναι εγγενώς ανθεκτικά στη διάβρωση, τα υλικά ενός ιξώδη αποσβεστήρα έχουν πρόσθετους περιορισμούς, όπως χαμηλή ευαισθησία στην εγκοπή, απαλλαγή από το σπάσιμο οφειλόμενο στο στρες (κόπωση) καθώς και υψηλή αντίσταση στις κρούσεις. Αυτά ισχύουν ειδικά για τον κύλινδρο του αποσβεστήρα, ο οποίος είναι δοχείο πίεσης και πρέπει να δέχεται σημαντικές τριαξονικές καταπονήσεις (Taylor, 1999).

Αναφορικά με την συντήρηση, ένας σωστά σχεδιασμένος και κατασκευασμένος αποσβεστήρας δεν πρέπει να απαιτεί καμίας μορφής συντήρηση. Κάτι τέτοιο συμβαίνει όταν ο κατασκευαστής επιλέγει τη σωστή στεγανοποίηση του αποσβεστήρα. Συγκεκριμένα, ο ιξώδης αποσβεστήρας είναι ερμητικά σφραγισμένος και στεγανός, με υψηλές δυνάμεις στεγανοποίησης να χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη τυχόν στατικής διαρροής στις σφραγίδες-τσιμούχες. Στην διάρκεια της κατασκευής των πρώτων αποσβεστήρων, τα περισσότερα στεγανοποιητικά κατασκευάστηκαν για χρήση σε ιξώδη συστήματα με κυλίνδρους, οι οποίοι εκτελούσαν τις κινήσεις. Δεδομένου ότι ένας ιξώδης κύλινδρος έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί και να μετακινείται με ακρίβεια σε συγκεκριμένες θέσεις, ακόμη και οι μικρές ποσότητες απώλειας υγρού από αστοχία της στεγανοποίησης, υποβάθμιζαν την ανάλυση και την απόδοση του ιξώδους συστήματος. Αυτός είναι ο λόγος που τα περισσότερα συστήματα απόσβεσης χρησιμοποιούν συστήματα δυναμικής στεγανοποίησης, τα οποία προορίζονται ώστε να αποτρέπουν τις διαρροές, τόσο στατικά όσο και δυναμικά. Δεδομένου ότι οι αποσβεστήρες είναι παθητικά στοιχεία, η ανάλυση του συστήματος δεν είναι παράμετρος σχεδιασμού. Έτσι, κάθε κατασκευαστής αποσβεστήρων έχει αναπτύξει διαφορετικές μεθόδους στεγανοποίησης, προκειμένου να αποτρέψει οποιαδήποτε μετρήσιμη διαρροή κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Από την άλλη μεριά, οι τύποι δυναμικών σφραγίδων (τσιμουχών), οι οποίες χρησιμοποιούνται σε αποσβεστήρες περιορίζονται από τη διάρκεια ζωής της στεγανοποίησης, καθώς η φθορά εμφανίζεται με την πάροδο του χρόνου όταν η ράβδος του εμβόλου κινείται εμπρός και πίσω. Γενικά, η διάρκεια ζωής της στεγανοποίησης καθορίζεται με μέτρηση της μετατόπισης της ράβδου, κατά τη διάρκεια της ζωής του αποσβεστήρα. Τα σημερινά σχέδια σφραγίδων θεωρούνται αρκετά ανθεκτικά ώστε ένας αποσβεστήρας καλής κατασκευής πρέπει να έχει εγγυημένη απόδοση και μηδενική απώλεια ιξώδους από τον κατασκευαστή για περίοδο τουλάχιστον 25 χρόνων.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στεγανοποίησης, το οποίο παρουσιάζουν οι ιξώδεις αποσβεστήρες που χρησιμοποιούνται σε Tunned Mass Damper είναι ότι πρέπει να προσαρμόζονται σε μεγάλες αποστάσεις, σχεδόν συνεχώς, σε ολόκληρη τη ζωή του κτιρίου. Αυτό αναδεικνύει φυσικά το ζήτημα της φθοράς της τσιμούχας, η οποία από μόνη της συνδυάζεται με το TMD που απαιτεί πολύ χαμηλή τριβή σφράγισης προκειμένου να επιτρέψει στη μάζα να κινείται ελεύθερα.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι ένας συμβατικός αποσβεστήρας τροποποιημένος με σφραγίδες χαμηλής τάσης που χρησιμοποιείται σε σύστημα συντονισμένης μάζας, θα απαιτήσει την αντικατάσταση των σφραγίδων σε καθορισμένα διαστήματα. Αυτό, μπορεί επίσης να ισχύει και για αποσβεστήρες, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις του ανέμου σε ψηλά κτίρια. Μια εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της αντικατάστασης των σφραγίδων είναι να χρησιμοποιηθεί ένας αποσβεστήρας, ο οποίος δεν διαθέτει συρόμενες σφραγίδες. Σε αυτόν τον σχεδιασμό, όλα τα σημεία του αποσβεστήρα που διαθέτουν ένα συρόμενο σφράγισμα, αντικαθίστανται με ρουλεμάν. Στη συνέχεια, ευέλικτες μεταλλικές φιάλες συνδέονται πάνω στη ράβδο του εμβόλου για να συγκρατούν το ιξώδες. Η χρήση τους προέρχεται από το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ, όπου η χρήση ιξώδων εξαρτημάτων στο περιβάλλον κενού του διαστήματος απαιτεί να είναι το ρευστό ερμητικά σφραγισμένο κάθε στιγμή, προκειμένου να αποφευχθεί η εκροή αερίων (στο διάστημα, τα υγρά υλικά που εκτίθενται σε κενό μετατρέπονται σε αέριο νέφος, το οποίο μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία ηλεκτρονικών ή οπτικών συστημάτων). Οι φιάλες αυτές είναι κατασκευασμένες από πολλαπλά φύλλα από ανοξείδωτο ατσάλι, συγκολλημένα στην άκρη ώστε να σχηματίζουν σχήμα φυσητήρα. Η επιθυμητή διαδρομή του αποσβεστήρα μπορεί να επιτευχθεί με συγκόλληση σε περισσότερα φύλλα. Δεδομένου ότι ο μεταλλικός αποσβεστήρας σφραγίζει κάμπτοντας τα φύλλα, όσοι χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο στεγανοποίησης έχουν σχεδόν μηδενική τριβή, σε συνδυασμό με μεγάλη διάρκεια ζωής. Μοναδικό μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί ότι οι μεταλλικές φιάλες είναι ποιοτικά απαιτητικές κατασκευές και συνεπώς πολύ δαπανηρές (Taylor, 1999).

Προκειμένου να αποφευχθεί η υπερθέρμανση στα εσωτερικά μέρη του αποσβεστήρα κατά τη διάρκεια χρήσης, οι κατασκευαστές οφείλουν να υπολογίσουν τη θερμική απόκριση στο εσωτερικό του. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ζημιά υπερθέρμανσης εκδηλώνεται με διαρροή, η οποία προκαλείται από μια μαλακή ή λιωμένη δυναμική σφράγιση. Εάν οι υπολογισμοί δείχνουν ότι η υπερθέρμανση είναι το ζήτημα, τότε στις περισσότερες περιπτώσεις, το φυσικό περίβλημα του αποσβεστήρα αυξάνεται σε μέγεθος μέχρι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία να είναι αρκετά χαμηλή και ασφάλης για τα εσωτερικά μέρη. Η θερμοδυναμική μας διδάσκει ότι ορίζονται τρεις διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας, ως μεταφορά, ως αγωγιμότητα και ακτινοβολία. Στις περισσότερες περιπτώσεις ψηλών κτιρίων, η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας είναι ένας συνδυασμός και των τριών. Πολύ σημαντικό είναι, οι διαδικασίες αυτές να υπολογίζονται σωστά κατά τον σχεδιασμό και αυτό είναι ευθύνη του κατασκευαστή του αποσβεστήρα (Taylor, 1999).

Στην αγορά υπάρχει μεγάλη ποσότητα διαθέσιμων τύπων ιξώδων αποσβεστήρων και σχετικών κατασκευών. Οι ειδικές τεχνικές καθώς και τα δεδομένα για κάθε συσκευή είναι πατενταρισμένα και οι κατασκευαστές δεν παρέχουν λεπτομέρειες αναφορικά με τον σχεδιασμό και την λειτουργία τους. Σε αυτήν την περίπτωση, οι δομικοί μηχανικοί, οι αρχιτέκτονες ή οι κατασκευαστές θα πρέπει να επικοινωνήσουν με τους κατασκευαστές της επιλογής τους ώστε να λάβουν πληροφορίες για τον σχεδιασμό των συσκευών απόσβεσης. Μια συνοπτική λίστα με τους μεγαλύτερους κατασκευαστές και τους αντίστοιχους τύπους παχύρρευστων αποσβεστήρων που παρέχουν είναι η εξής:

- **AGOM (Ιταλία):** Οι αντισεισμικές ιξώδεις συσκευές AGOM, που ονομάζονται H-Safe, αποτελούνται από έναν κύλινδρο γεμάτο με ρευστό πυριτίου και ένα κινητό έμβολο. Το υλικό που χρησιμοποιείται για το έμβολο είναι ανοξείδωτος χάλυβας ή χάλυβας υψηλής αντοχής επιχρωμιωμένος για συμβατότητα με τις σφραγίδες. Όλα τα άλλα δομικά μέρη



(κύλινδρος, συνδέσεις κλπ.) κατασκευάζονται από χάλυβα (S355JR και / ή S275JR) (CEN, 2005). Ο ευρωπαϊκός τυποποιημένος κώδικας αναφοράς είναι EN15129 (CEN, 2009).



*Εικόνα. 5.3* Ιξώδης αποσβεστήρας Agom

- **FIP Industriale (Ιταλία):** Η FIP παράγει δύο διαφορετικές κατηγορίες συσκευών: OP/OTP (ιξώδεις παχύρρευστοι αποσβεστήρες) και OVE/OVE (ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες ιξώδους ελατηρίου). Η πρώτη κατηγορία είναι ένας κλασικός ιξώδης αποσβεστήρας ενώ η δεύτερη είναι ο ίδιος αποσβεστήρας με την προσθήκη ενός ελατηρίου και εάν ζητηθεί με προ-εντεταμένη δύναμη, η οποία θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για την αποφυγή μετατόπισης σε λειτουργία συνθήκης φόρτισης. Οι κλασικοί ιξώδεις αποσβεστήρες (σειρά OTP) χρησιμοποιούνται συχνότερα σε κτίρια ενώ μερικές φορές χρησιμοποιούνται αποσβεστήρες με ιξώδη ελατήρια σε γέφυρες. Η σειρά OP είναι μια συσκευή, η οποία συμπεριφέρεται ως ιξώδης αποσβεστήρας μόνο όταν ξεπερνάει μια συγκεκριμένη δύναμη. Αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε γέφυρες προκειμένου να διατηρείται οριζόντια η δύναμη στη σταθερή προβλήτα. Επιπλέον, ο εκθέτης των αποσβεστήρων αυτής της εταιρείας είναι χαμηλότερος από 0,1 όταν πρόκειται για σεισμό ενώ είναι 1 ή περισσότερο όταν πρόκειται για την ταχύτητα του ανέμου.



*Εικόνα 5.4* Ιξώδης αποσβέστηρας FIP Industriale

- **Douce Hydro (Γαλλία):** Η Douce Hydro παράγει ιξώδεις παχύρρευστους αποσβεστήρες με Τεχνολογία Zero Leakage (μηδενικής διαρροής) και συντελεστή ταχύτητας από 0,15 έως 0,20.



*Εικόνα 5.5* Ιξώδης αποσβέστηρας Douce Hydro

- **Freyssinet (Γαλλία):** Η Freyssinet παράγει μια οικογένεια ιξωδών αποσβεστήρων, η οποία ονομάζεται TRANSPEC SHA. Αυτός ο τύπος αποσβεστήρων έχει εσωτερικό θάλαμο αντιστάθμισης ώστε να επιτρέπει να ληφθεί υπόψη η διακύμανση του όγκου του λαδιού, λόγω της θερμοκρασίας. Επιπλέον, παράγει τον Isosism FD που είναι μια κλασική παχύρρευστη συσκευή αποσβεστήρα γεμάτη με υγρό πυριτίου. Το χρησιμοποιούμενο ρευστό σιλικόνης έχει χαμηλή συμπιεσιμότητα (EN 2500 MPa) προκειμένου να αποφευχθεί η αποθήκευση ενός μέρους της ελαστικής ενέργειας. Επιπροσθέτως, οι σφραγίδες είναι κατασκευασμένες από συνθετικό υλικό με αντοχή στη φθορά, ώστε να μπορούν να αντέξουν τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, παρέχεται επαρκή προστασία από τη διάβρωση σύμφωνα

με το πρότυπο EN1337 (CEN, 2004) και τον ευρωπαϊκό τυποποιημένο κώδικα αναφοράς EN15129 (CEN, 2009).



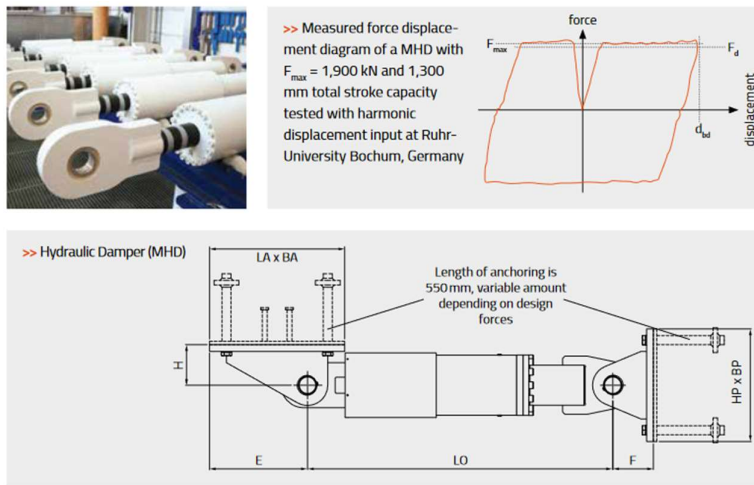
*Εικόνα 5.6* Ιξώδης αποσβεστήρας Freyssinet

- **Dorman Long Technology (Ηνωμένο Βασίλειο):** Οι ιξώδεις αποσβεστήρες χρησιμοποιούν λάδι σιλικόνης ως μέσο απόσβεσης, το οποίο δίνει πολύ σταθερή και ανθεκτική απόδοση ενώ έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες από -50 C έως 250 C. Σε αυτούς τους αποσβεστήρες η αντίσταση φορτίου κυμαίνεται μεταξύ 60 και 3000 kN με μέγιστη διαδρομή  $\pm 500$  mm.



*Εικόνα 5.7* Ιξώδης αποσβεστήρας *Dorman Long Technology*

- **ERB Schwingungsisolierungen GmbH & Co (Γερμανία):** Παράγει έναν τύπο αποσβεστήρα ιξώδους τοιχώματος, ο οποίος αποτελείται από μια χαλύβδινη θήκη συνδεδεμένη στο κάτω πάτωμα, ένα έμβολο στον επάνω όροφο και ένα ιξώδες υγρό μεταξύ των δύο μερών. Οι τυπικές διαστάσεις της συσκευής είναι 1,5 X 0,3 X 1,1 m<sup>3</sup> (μήκος/πλάτος/ύψος). Το πλεονέκτημα του είναι ότι αυτό το προϊόν δεν χρειάζεται συντήρηση.
- **Maurer (Γερμανία):** Ο ιξώδης αποσβεστήρας Maurer μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετατοπίσεις μεγαλύτερες από ±10 mm. Σε χαμηλή ταχύτητα (< 0,1 mm/s), μια μικρή δύναμη (FT < 2% της μέγιστης δύναμης, FI) αυξάνεται και έτσι το ιξώδες ρέει από τη μία πλευρά στην άλλη. Σε υψηλότερες ταχύτητες (0,7 mm / s), η δύναμη περιορίζεται στο μέγιστο όριο (FI). Αυτή η δύναμη είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα. Ο προτεινόμενος εκθέτης ταχύτητας απόσβεσης κυμαίνεται μεταξύ 0,015 και 0,4 και η αποδεκτή μέγιστη ταχύτητα είναι 1500 mm / s. Ακόμη, η διάρκεια ζωής της συσκευής είναι 40 χρόνια και το εύρος λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ -40 C και +80 C με ανοχές της δύναμης απόκρισης μικρότερες από ± 5%.



Εικόνα 5.8 Ιξώδης αποσβέστηρας Maurer

- **Brant Hydraulics Corporation (Ταϊβάν):** Οι ιξώδεις αποσβεστήρες παράγονται από την συγκεκριμένη εταιρεία για εφαρμογή σε ιδιωτικά έργα.



Εικόνα 5.9 Ιξώδης αποσβέστηρας Brant Hydraulics Corporation

- **Jinan Baidungs Machinery Equipment Co., Ltd (Κίνα):** Ο B. Don είναι ένας ιξώδης αποσβεστήρας, ο οποίος ελέγχεται θερμοστατικά και δεν επηρεάζεται από θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ  $-50\text{ C}$  έως  $+70\text{ C}$ . Σε αυτόν, τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι ελαστομερές και ανοξείδωτες ράβδοι εμβόλου για όλα τα μοντέλα.



**Jinan Baidungs Machinery Equipment Co., Ltd**

*Εικόνα 5.10* Ιξώδης αποσβέστηρας *Jinan Baidungs Machinery Equipment Co*

- **Oiles (Γαπωνία):** Ο αποσβεστήρας ιξώδους τοίχου Oiles είναι ένας εξασθενητής δόνησης ο οποίος χρησιμοποιεί τη δύναμη αντίστασης σε διάτμηση ενός πολύ ιξώδους υγρού. Αποτελείται από εξωτερικό χαλύβδινο δοχείο γεμάτο με ιξώδες υγρό και εσωτερική πλάκα διάτμησης. Το ιξώδες ρευστό που χρησιμοποιείται έχει ιδιότητες ιξώδους υψηλής ποιότητας και είναι σταθερό κάτω από επαναλαμβανόμενες διατμητικές δυνάμεις χωρίς υποβάθμιση των δυνατοτήτων και της συμπεριφοράς του.



*Εικόνα 5.11.* Ιξώδης αποσβέστηρας *Oiles*

- **TT Endine (Ηνωμένες Πολιτείες):** Προμηθευτής ιξωδών αποσβεστήρων τόσο για σεισμικά φορτία όσο και για εφαρμογές ανέμου. Οι ιξώδεις συσκευές απόσβεσης (VDDs) που κατασκευάζουν, ανταποκρίνονται σε πολλούς και διαφορετικούς τύπους ανέμων TMD.



*Εικόνα 5.12. Ιξώδης αποσβέστηρας Endine*

- **Taylor Devices (Ηνωμένες Πολιτείες):** Η Taylor πήρε την τεχνολογία του Ψυχρού Πολέμου από τις στρατιωτικές και τις αεροδιαστημικές εφαρμογές και χρησιμοποίησε αυτήν την τεχνολογία για χρήση στους δομικούς αποσβεστήρες. Όλοι οι ιξώδεις αποσβεστήρες της Taylor χρησιμοποιούν στερεές ανοξείδωτες χαλύβδινες ράβδους εμβόλου, οι οποίες εμποτίζονται με Teflon. Στις εφαρμογές μακράς διάρκειας, η ράβδος του εμβόλου προστατεύεται από την κάμψη μέσω ενός μακρύ εξωτερικού τοίχου σαν σωλήνα. Επιπλέον, ο κύλινδρος, το καπάκι και το χιτώνιο είναι κατασκευασμένα από κράμα χάλυβα και προστατεύονται από τη διάβρωση είτε με βαφή είτε με επιχρωμίωση. Ακόμη, οι τσιμούχες-«σφραγίδες» είναι στεγανές και δεν χρειάζονται συντήρηση. Η Taylor Devices χρησιμοποιεί ένα σύστημα ποιότητας σύμφωνα με το AS9100 (AS, 2016), το οποίο χρησιμοποιείται στον αμερικάνικο στρατό και τις αεροδιαστημικές εφαρμογές. Το ίδιο σύστημα ποιότητας, (το οποίο πληροί και υπερβαίνει το ISO 9001, 2015), χρησιμοποιείται σε όλους τους δομικούς αποσβεστήρες της εταιρείας.



*Εικόνα 5.13 Ιξώδης αποσβέστηρας Taylor*

Μία από τις σημαντικότερες συσκευές που ανέπτυξε η Taylor είναι ο αποσβεστήρας, ο οποίος είναι ερμητικά κλειστός με μεταλλικές τσιμούχες (σφραγίδες). Αυτός αναπτύχθηκε με βάση τη στρατιωτική έρευνα της NASA και των ΗΠΑ και έπρεπε να μπορεί να λειτουργεί σε ακραίες θερμοκρασίες και σε κενό χώρου. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε μια σφραγισμένη, μεταλλική, εύκαμπτη φιάλη, η οποία σφράγιζε τον αποσβεστήρα. Η συγκεκριμένη φιάλη αποτελείται από λεπτούς δίσκους ανοξείδωτου χάλυβα συγκολλημένους μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν έναν φυσητήρα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η μηδενική διαρροή κάθε συγκρότημα φυσητήρα τοποθετείται μέσα σε έναν θάλαμο κενού, γεμισμένο με αέριο ήλιο. Η στεγανότητα του θαλάμου ελέγχεται με φασματόμετρο μάζας. Σε γενικές γραμμές, οι ερμητικοί αποσβεστήρες είναι αξιόπιστοι σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων 0 - 500 Hz (Taylor, 2002). Επιπλέον, δεδομένου ότι οι συνδυασμένες τάσεις των μεταλλικών φυσητήρων συγκρατούνται κάτω από το όριο αντοχής της κόπωσης των μετάλλων, οι μεταλλικοί αποσβεστήρες φυσητήρων έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής.

Ακόμη, η εταιρεία παράγει και αποσβεστήρες με ειδικές βαλβίδες ανακούφισης πίεσης (PRV). Αυτές επιτρέπουν στον αποσβεστήρα να έχει διαφορετικές επιδόσεις, ανάλογα με τα φορτία. Όταν η ανακουφιστική βαλβίδα είναι κλειστή, ο αποσβεστήρας λειτουργεί είτε ως αποσβεστήρας είτε ως συσκευή ασφάλισης, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για απόσβεση της ανεμοπίεσης. Όταν υπάρχει υψηλότερη επιτάχυνση όπως ένας σεισμός, οι PRV θα αρχίσουν να ανοίγουν, περιορίζοντας τη μεταδιδόμενη δύναμη και απορροφώντας μια καθορισμένη ποσότητα ενέργειας, σύμφωνα με την απαίτηση της απόσβεσης. Μετά τον σεισμό, ο αποσβεστήρας επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να παραχθεί μια μοναδική συσκευή, η οποία ενδείκνυται τόσο για την αντιμετώπιση της ανεμοπίεσης όσο και για τη σεισμική διέγερση. Επιπλέον, η Taylor κατασκευάζει ελατήρια για ιζώδεις αποσβεστήρες ελατηρίου. Τα ελατήρια αυτά κατασκευάζονται από ειδικά πολυμερή στοιχεία και είναι είτε μηχανικά ελατήρια ή υγρά ελατήρια υψηλής πίεσης. Παρέχουν δε, μεγάλη δύναμη αποκατάστασης και μεγάλες ποσότητες απόσβεσης σε μια μοναδική συσκευή. Δεδομένου ότι τα ελατήρια και ο αποσβεστήρας αποτελούν δύο ξεχωριστά μέρη, οι συνδυασμοί μεταξύ τους είναι απεριόριστοι.

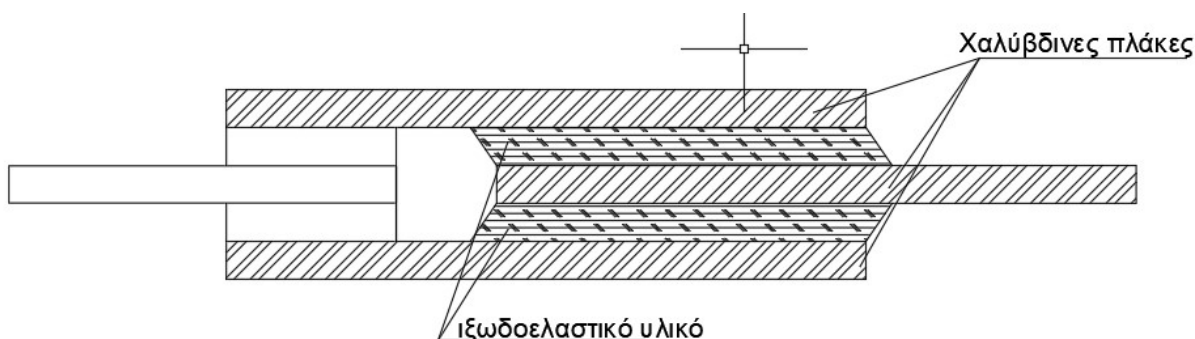
### 5.3 Ιξωδοελαστικοί Αποσβεστήρες

Οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες (VE) περιλαμβάνουν στερεά φύλλα ιξωδοελαστικού υλικού VE, τα οποία συνδέονται άκαμπτα με χαλύβδινες πλάκες (Σχήμα 5.14) και είναι αγκυρωμένα στην πλευρική κατασκευή αντίστασης φορτίου. Συνεπώς, το ιξωδοελαστικό υλικό VE εμπλέκεται στιγμιαία σε διάτμηση υπό πλευρική φόρτιση. Δεδομένου ότι και τα δύο υλικά εμπλέκονται στιγμιαία στη διάτμηση, προσθέτουν απόσβεση σε ένα κτίριο ανάλογα με την υστερητική απόκρισή τους, για όλους τους τύπους φόρτισης: συχνούς ανέμους χαμηλής έντασης, ανέμους μεγάλης έντασης, σεισμούς μικρής κλίμακας, σεισμούς σχεδιασμού και μέγιστους θεωρητικούς σεισμούς. Ακόμη, η ανεξαρτησία πίεσης είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του ιξωδοελαστικού υλικού VE, το οποίο του δίνει την αξιοπιστία να προσθέτει απόσβεση σε εξαιρετικά μικρά επίπεδα παραμόρφωσης, όπως είναι οι συχνές εκδηλώσεις ανέμου. Εντούτοις, η απόδοση των ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων VE κάτω από τέτοια γεγονότα θα πρέπει να επιβεβαιωθεί, λαμβάνοντας υπόψη το ανώτερο και το κατώτερο όριο της θερμοκρασίας του υλικού, υπό τις

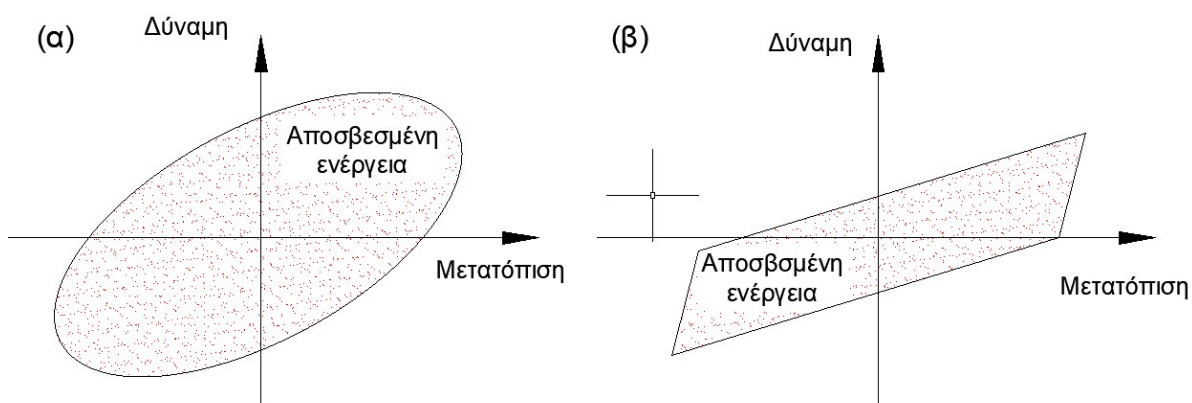


συχνότητες και τις συνθήκες ενδιαφέροντος (Christopoulos and Montgomery, 2013; Montgomery and Christopoulos, 2015).

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο τύποι ιξωδοελαστικών υλικών, οι οποίοι διατίθενται στο εμπόριο για ιδιωτικές εφαρμογές: από υλικό VE και από καουτσούκ. Το υλικό VE παράγεται από την 3M και ήταν το πρώτο σύστημα απόσβεσης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε κτίρια το 1969 (Mahmoodi et al., 1987). Μέχρι σήμερα, έχει εφαρμοστεί σε περισσότερα από 250 κτίρια, τόσο για τον μετριασμό των ανέμων όσο και για τη σεισμική φόρτιση. Μία από τις σειρές υλικών που παράγει η 3M, η ISD, έχει πολύ υψηλή απόκριση καθαρής απόσβεσης VE, η οποία αποτελεί το άθροισμα της ελαστικής και της ιξώδους δύναμης αποκατάστασης (Σχ. 5.15). Οι μηχανικές ιδιότητες τις οποίες διαθέτει, είναι συνεπείς σε όλα τα επίπεδα παραμορφώσεων, ακόμη και στο επίπεδο του μικροχιλιοστού για μια δεδομένη συχνότητα (Ooki et al., 2004). Το άλλο υλικό, το οποίο υπάρχει στην αγορά είναι ένα καουτσούκ υψηλής σκληρότητας που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στις οικοδομικές κατασκευές το 2006 (Christopoulos and Montgomery, 2013). Το υλικό αυτό, έχει μια ελαστοπλαστική δύναμη αποκατάστασης (Σχ. 5.15) και συμμετέχει στιγμιαία, σε διαφορετικά επίπεδα παραμόρφωσης.



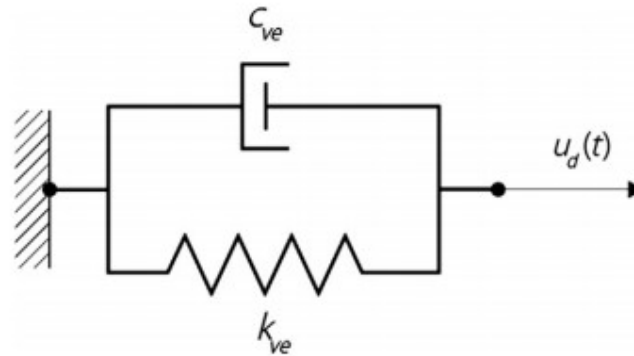
**Σχήμα 5.14** Παράδειγμα ιξωδοελαστικού αποσβεστήρα



**Σχήμα 5.15** Τύποι ιξωδοελαστικού υλικού απόσβεσης VE: (α) 3M ISD υλικό και (β) υψηλής σκληρότητας καουτσούκ

Προκειμένου να σχεδιαστεί η οριακή κατάσταση συντήρησης και για τα δύο υλικά, χρειάζεται να προσδιοριστεί η αναλογία στατικής και δυναμικής φόρτισης με το αιολικό φορτίο, η οποία γίνεται με τη βοήθεια επαγγελματιών της αιολικής σήραγγας. Οι σχετικές στατικές και δυναμικές αποκρίσεις που προκύπτουν πρέπει να αξιολογούνται ξεχωριστά (Christopoulos and Montgomery, 2013). Δεδομένου ότι τα συχνά περιστατικά ανέμου συνήθως έχουν μεγάλη χρονική διάρκεια, οι δύο τύποι υλικών VE, οι οποίοι περιγράφηκαν νωρίτερα πρέπει να διαθέτουν υψηλή αντοχή έως τη γήρανση και κόπωση. Έτσι δεν θα απαιτούν κάποιο πρόγραμμα συντήρησης και παρακολούθησης τους, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επαρκής απόδοση τους, κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου.

Εν αντιθέσει με τους ιξώδεις αποσβεστήρες του προηγούμενου κεφαλαίου, οι οποίοι παρέχουν μόνο μια δύναμη που εξαρτάται από την επιτάχυνση, οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες VE παρέχουν επιπλέον μια ελαστική δύναμη αποκατάστασης, η οποία εξαρτάται από την μετατόπιση. Ακόμη, η συμπεριφορά του ιξωδοελαστικού υλικού VE μπορεί να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα απλό στερεό μοντέλο Kelvin (Σχ. 5.16), το οποίο αποτελείται από ένα ελατήριο και ένα ταμπλό παράλληλα (Christopoulos and Filiatrault, 2006).



**Σχήμα 5.16.** Στέρεο μοντέλο Kelvin αποτελούμενο από ελατήριο και ένα ταμπλό

Η υστερητική απόκριση μετατόπισης δύναμης ενός ιξωδοελαστικού αποσβεστήρα VE, (ο οποίος αποτελείται από μια σειρά από χαλύβδινες πλάκες και στρώματα ιξωδοελαστικού υλικού VE, συνδυασμένα στις διάφορες διαμορφώσεις που περιγράφηκαν νωρίτερα) μπορεί να οριστεί, λαμβάνοντας υπόψη ένα στρώμα υλικού VE με πάχος διάτμησης  $h_s$  και ολική αντίσταση σε διάτμηση για όλες τις περιοχές και για όλα τα επίπεδα VE,  $A_s$  όπως:

$$F_{D,VE}^{(t)} = K_{ve} u_d(t) + c_{ve} \dot{u}_d(t)$$

όπου οι συντελεστές δυσκαμψίας και απόσβεσης αποσβεστήρα διαβάζονται αντίστοιχα:

$$k_{ve} = G_E A_s / h_s$$

$$c_{ve} = G_c A_s / h_s$$

που η  $G_E$  είναι ο συντελεστής ελαστικής διάτμησης και η  $G_c$  είναι η σταθερά απόσβεσης ιξώδους διάτμησης. Δεδομένων των ιδιοτήτων του υλικού VE ( $h_s$ ,  $G_E$  και  $k_{ve}$ ), στη συχνότητα και τη

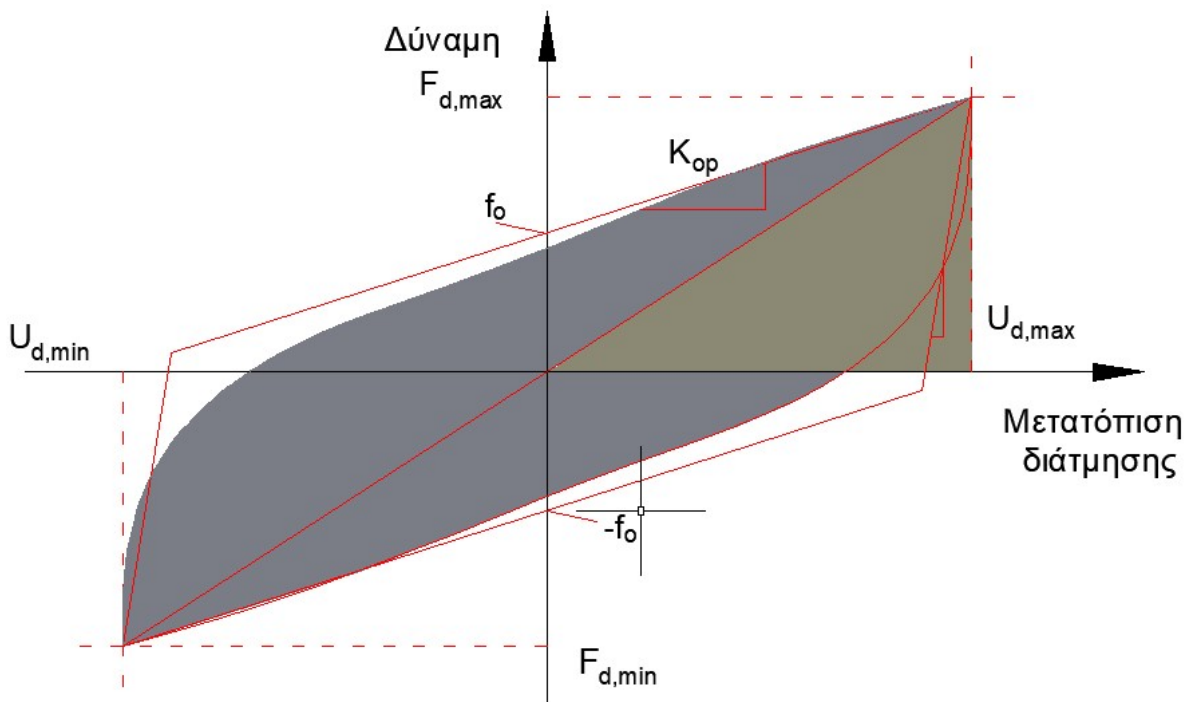
θερμοκρασία σχεδιασμού, η περιοχή του αποσβεστήρα (As), η οποία καταπονείται σε διάτμηση (συγκολλημένη), μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$k_{ve} = G_E A_S / h_s$$

Από την προηγούμενη παράγραφο, καθίσταται σαφές ότι οι κύριοι παράγοντες για τον σχεδιασμό των ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων VE είναι οι ιδιότητες των: διαμορφωτικών μονάδων αποθήκευσης της διάτμησης, διαμορφωμένων διατμητικών στοιχείων καθώς και των παραγόντων απώλειας ενέργειας. Αναφορικά με τις μονάδες, αυτές εξαρτώνται από διαφορετικές παραμέτρους όπως είναι η συχνότητα διέγερσης, το επίπεδο καταπόνησης διάτμησης και τη διακύμανση της θερμοκρασίας του υλικού. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, πραγματοποιήθηκαν πολλές μελέτες προκειμένου να κατανοηθεί η εξάρτηση αυτή (Chang et al. (1991), Tsai (1994) και Samali και Kwok (1995)), ωστόσο η πλειονότητα τους διεξάχθηκε σε ιξωδοελαστικά υλικά VE, τα οποία έχουν διακοπή πλέον στις δομικές εφαρμογές. Σε γενικές γραμμές, οι πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι τόσο ο συντελεστής διάτμησης των ιξωδοελαστικού υλικού VE όσο και ο παράγοντας απώλειας είναι σχετικά σταθεροί, σε λογικά επίπεδα καταπόνησης ενώ αυξάνονται, υπό μειωμένη θερμοκρασία και αυξημένη συχνότητα. Επιπλέον, οι προμηθευτές υλικών VE παρέχουν την αντίστοιχη ενημέρωση σχετικά με τις ιδιότητες τους, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μελέτη εφαρμογής τους υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Οι διαθέσιμοι στο εμπόριο δομικοί αποσβεστήρες χρησιμοποιούν υλικά 3M ISD111 και ISD111H VE. Το υλικό ISD111H αναπτύχθηκε ειδικά για εφαρμογές πολυώροφων κτιρίων με μεγαλύτερη ακαμψία, ανθεκτικότητα και λιγότερη θερμοκρασιακή εξάρτηση από τις προηγούμενες δοκιμασμένες εκδόσεις 3M, ISD109 και ISD110. Αυτό αποδείχθηκε κατά τη διάρκεια δοκιμής ενός ιξωδοελαστικού υλικού VCD πλήρους κλίμακας, το οποίο έχει δοκιμαστεί μονοαξονικά σε μια δυναμική μηχανή MTS στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο. Η δοκιμή διεξήχθη με αρμονική συχνότητα 0,15 Hz (κοινή συχνή δόνηση) και αυξάνοντας προοδευτικά τα πλάτη τάσης. Αυτή η δοκιμή κατέδειξε τις ιδιότητες του ιξωδοελαστικού υλικού VE, οι οποίες εξαρτώνται από τα πλάτη μετατόπισης  $\pm 0,003$  έως  $\pm 9$  mm. Με αυτόν τον τρόπο αποδεικνύεται ότι οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες VE, οι οποίοι χρησιμοποιούν υλικό 3M VE, είναι από τους τύπους αποσβεστήρων που μπορούν να προσθέσουν ισχυρή ιξώδη απόσβεση από συχνές δονήσεις ανέμων καθώς και για τους μέγιστους αναμενόμενους σεισμούς. Σχετικά με τα παραπάνω, οι κατασκευαστές ιξωδοελαστικών υλικών VE μπορούν να παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες αναφορικά με όλους τους τύπους συνθηκών φόρτισης βάσει των δοκιμών τους.

Η υστερητική συμπεριφορά του αποσβεστήρα καουτσούκ υψηλής απόσβεσης απεικονίζεται στο Σχ. 5.17, το οποίο είναι παρόμοιο με ένα ελαστικό ρουλεμάν υψηλής απόσβεσης (HDRB). Ορισμένες παράμετροι, όπως είναι ο ισοδύναμος συντελεστής διάτμησης  $G_{eq}$  και ο ισοδύναμος λόγος απόσβεσης  $\zeta_{eq}$  μπορούν να οριστούν από τον κατασκευαστή. Το  $\zeta_{eq}$  μπορεί να υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση, όπου η ενέργεια που διαχέεται ανά κύκλο (ED) είναι η περιοχή κάτω από τον σχετικό υστερητικό βρόχο και η διαθέσιμη ενέργεια καταπόνησης ( $E_{S0}$ ) είναι  $k_{eff} u_d$ ;  $\max = 2$ .

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$$



**Σχήμα 5.17** Υστερητική συμπεριφορά ιξωδοελαστικού αποσβεστήρα με καουτσούκ υψηλής απόσβεσης

Διάφορα αριθμητικά μοντέλα είναι διαθέσιμα για μοντελοποίηση ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων VE. Τα απλά μοντέλα διατίθενται ευρέως σε εμπορικά πακέτα πεπερασμένων στοιχείων και συνήθως επαρκούν για το σχεδιασμό ή για την αξιολόγηση της απόσβεσης του κτιρίου. Περισσότερο εξελιγμένα μοντέλα είναι επίσης διαθέσιμα, μερικές φορές από τον κατασκευαστή για λεπτομερείς αναλύσεις των ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων VE. Συνήθως είναι πιο απαιτητικά υπολογιστικά και πιο περίπλοκα. Ωστόσο, οι εκάστοτε μελετητές θα πρέπει να συμβουλευθούν ειδικούς όταν χρησιμοποιούν αυτά τα μοντέλα. Τυπικά για τους σκοπούς της μελέτης, οι κατασκευαστές ιξωδοελαστικών υλικών VE παρέχουν τις ιδιότητες του υλικού, του άνω και κάτω ορίου με βάση τις αναμενόμενες συνθήκες (συχνότητα, θερμοκρασία και πίεση). Όσον αφορά τον σχεδιασμό του κτιρίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα απλό μοντέλο Kelvin ή ελαστοπλαστικό. Σε κάθε περίπτωση, συνίσταται η επικοινωνία με τους προμηθευτές του ιξωδοελαστικού υλικού VE, ώστε να ενημερωθούν για τις ιδιότητες του υλικού με βάση τα αποτελέσματα δοκιμών πλήρους κλίμακας. Επιπλέον, οι ακόλουθοι παράμετροι χρειάζεται να καθοριστούν από τους κατασκευαστές των αποσβεστήρων VE:

- Μέγιστη ονομαστική δύναμη
- Μέγιστη τάση σχεδιασμού ή/και μετατόπιση
- Θερμοκρασία λειτουργίας
- Προσαρμογή της απόσβεσης
- Διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση
- Απαιτούμενες δοκιμές

Μερικοί από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων παγκοσμίως είναι οι:

- **FIP Industriale (Ιταλία):** Η FIP προμηθεύει αποσβεστήρες VE με βάση ελαστικές ενώσεις υψηλής απόσβεσης.
- **3M:** Η 3M είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων VE στον κόσμο για εφαρμογές κτιρίων, με περισσότερους από 40.000 αποσβεστήρες να έχουν πουληθεί σε πάνω από 250 έργα. Επί του παρόντος, υπάρχουν δύο τύποι υλικών της σειράς ISD διαθέσιμοι για οικοδομικά έργα, το ISD-111 και το ISD -111H. Στο παρελθόν, παρήγαγαν υλικό VE το ISD-110 και το ISD-109. Αυτό χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη υλοποίηση δομικής απόσβεσης το 1969.
- **Nippon Steel and Sumikin Engineering (Ιαπωνία):** Η Nippon Steel και η Sumikin Engineering παράγουν προϊόντα αποσβεστήρων VE χρησιμοποιώντας το υλικό 3M VE. Προς το παρόν παράγουν VCD (αποσβεστήρες ζεύξης), αξονικούς αποσβεστήρες και αποσβεστήρες τοίχων.
- **Sumitomo Riko Company Limited (Ιαπωνία):** Η Sumitomo Riko Company Limited ανέπτυξε αποσβεστήρες τοίχου και Chevron, εξοπλισμένους με καουτσούκ υψηλής απόδοσης. Το υλικό έχει εξαιρετική απόδοση απόσβεσης και αντοχή στις μεταβολές της θερμοκρασίας.



*Εικόνα 5.18* Ιξωδοελαστικός αποσβεστήρας Sumitomo Riko

- **VSL International Ltd:** Η VSL International Ltd. προμηθεύει μια ποικιλία συσκευών απόσβεσης VE, χρησιμοποιώντας ελαστικό υψηλής απόσβεσης. Οι συσκευές αποτελούνται από αποσβεστήρες τύπου στήριξης τοίχου για εφαρμογές σε κτίρια και μπορούν να προσαρμοστούν στις συγκεκριμένες ανάγκες διαφορετικών τύπων κτιρίων και καταπόνησης, τόσο σε νέες κατασκευές όσο και σε ανακατασκευές. Οι λύσεις περιλαμβάνουν προκατασκευασμένα χαλύβδινα πάνελ διάτμησης, μονόδρομα ατσάλινα στηρίγματα και τσιράντες τύπου K με κόμβους απόσβεσης καθώς και ειδικές λύσεις για άλλα δομικά στοιχεία.



*Εικόνα 5.19* Ιξωδοελαστικός αποσβεστήρας VLS International

#### **5.4 Αποσβεστήρες που Εξαρτώνται από την Μετατόπιση**

Οι αποσβεστήρες, οι οποίοι εξαρτώνται από την μετατόπιση, άρχισαν να δοκιμάζονται και να χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του 1960. Τότε, η πλαστική παραμόρφωση των χαλύβδινων δοκών χρησιμοποιήθηκε ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη απόσβεση σε δομικές κατασκευές, οι οποίες υπέστησαν σεισμική φόρτιση (Ρορον, 1966). Το 1968, τέτοιου είδους αποσβεστήρες, κατασκευασμένοι από χάλυβα (αποσβεστήρες χάλυβα-δοκού) αναπτύχθηκαν κυρίως από την Kelly, στην ενότητα Σεισμολογία Μηχανικών του Εργαστηρίου Φυσικής και Μηχανικής (DSIR, Lower Hutt, Νέα Ζηλανδία), (Skinner et al., 1993). Εκεί, οι αποσβεστήρες έδειξαν πολύ καλύτερη συμπεριφορά, π.χ. καλύτερη αντοχή στην κόπωση, σε σύγκριση με τις δομικές δομές από χάλυβα. Υπάρχουν αρκετές αναφορές που περιγράφουν τους αποσβεστήρες χάλυβα-δοκού (Kelly et al., 1972, Skinner et al., 1974, 1975a, b; Tyler, and Skinner, 1977; Tyler, 1978; Cousins et al., 1991), ωστόσο ταξινομούνται κυρίως σε τρεις κατηγορίες (Skinner et al., 1993): αποσβεστήρες περιστρεφόμενης δέσμης, αποσβεστήρες κωνικών δοκών και αποσβεστήρες ομοιόμορφης ροπής. Οι δύο πρώτες κατηγορίες χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε συστήματα απομόνωσης βάσης ενώ η τρίτη κατηγορία χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή γεφυρών, οι οποίες έχουν σεισμική μόνωση στη βάση. Στην προσπάθεια να βελτιωθεί η σεισμική απόδοση της κατασκευής γεφυρών και να προστεθεί μια επιπλέον απόσβεση, ενσωματώθηκαν μερικές υστερητικές συσκευές διάχυσης

ενέργειας, οι οποίες λειτουργούσαν με κυκλική κάμψη ή στρεπτική απόδοση χάλυβα ή σε εξώθηση ή διάτμηση μολύβδου (Blakeley, 1979).

Οι συσκευές που εξαρτώνται από την μετατόπιση, οι οποίες εφαρμόζονται σε ψηλές κατασκευές κτιρίων, ταξινομούνται ανάλογα τις διαφορετικές ιδιότητες των υλικών, το σχήμα, το υλικό κατασκευής κλπ.

### **Τυπικές συσκευές απόσβεσης**

- Χαλύβδινοι αποσβεστήρες (πρόσθετης απόσβεσης - πρόσθετης ακαμψίας, ADAS, τριγωνική προσθήκη απόσβεση-πρόσθετη ακαμψία, TADAS, ρομβικό, κυψελωτοί, διπλής λειτουργίας μεταλλικοί, χαλύβδινος σχισμής)
- Αποσβεστήρας κυκλικού ελάσματος (πλάκας- λαπάτσα)
- Μεταλλικός αποσβεστήρας σχήματος U
- Αποσβεστήρας στήριξης από χάλυβα
- Αποσβεστήρας στήριξης τύπου «Γόνατου»
- Συνδετήρας απόδοσης τύπου «Σκορπιού»
- Συσκευές απόσβεσης εξώθησης μολύβδου

### **Υλικά κατασκευής**

- Χαλύβδινοι
- Μολύβδου
- Χαλκού
- Κράματα αλουμινίου
- Κράματα μνήμης σχήματος (SMA)

### **Ειδικές συσκευές σύνδεσης**

- Αποσβεστήρες τριβής
- Αυτοκεντραρισμένα συστήματα
- Συστήματα που χρησιμοποιούν το βάρος της κατασκευής

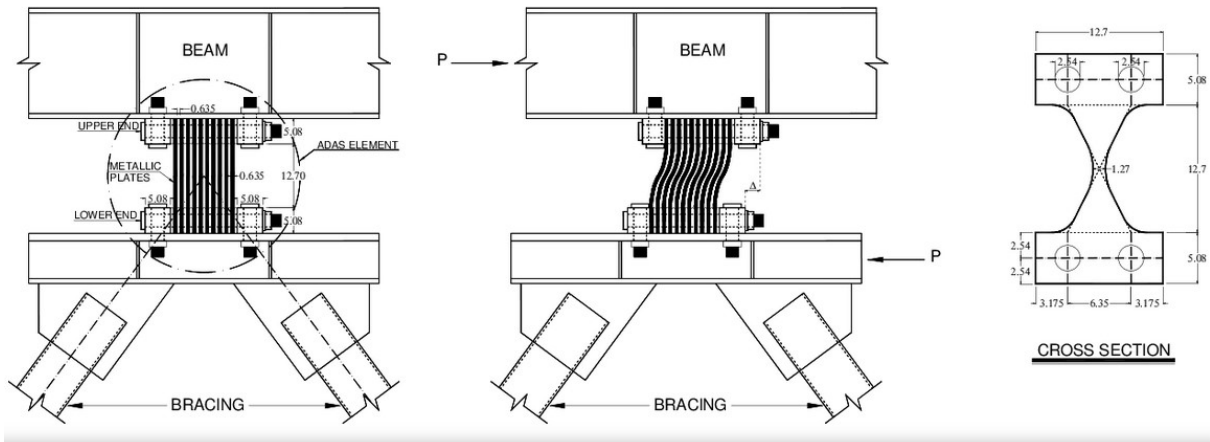
### **Ειδικά δομικά μέλη**

- Αποσβεστήρας πάνελ διάτμησης
- Αποσβεστήρας συγκράτησης λυγισμού
- Αποσβεστήρας σωλήνας εντός σωλήνα

## **5.5 Τυπικές Συσκευές Απόσβεσης**

Οι πιο κοινές συσκευές υστέρησης είναι οι εξής:

- Αποσβεστήρες πρόσθετης απόσβεσης και πρόσθετης ακαμψίας (ADAS)



**Εικόνα 5.20** Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης (TADAS)

- Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης (TADAS)
- Ρομβοειδή
- Κυψελωτοί αποσβεστήρες (HDS)
- Μεταλλικοί αποσβεστήρες διπλής λειτουργίας (DFMD)
- Αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή (SSD)
- Αποσβεστήρας κυκλικής πλάκας (φλάντζας) (CPD)
- Μεταλλικός αποσβεστήρας σχήματος U
- Σύστημα στήριξης απόδοσης (παραμόρφωσης) χάλυβα (YBS)
- Σύστημα στήριξης «Γόνατο» (KBS)
- Σύνδεσμος απόσβεσης τύπου «Σκορπιού» (SYC)
- Συσκευές εξώθησης μολύβδου (LEDs)

**Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης:** Το σύστημα ADAS αποτελείται από μια σειρά από χαλύβδινες πλάκες, οι οποίες παραμορφώνονται σε κάμψη εντός σταθερών όριων (Χριστόπουλος και Filiatrault, 2006). Αυτό το σύστημα που αναπτύχθηκε από την Betchel Power Corporation, συνήθως συνδέει την κορυφή ενός στηρίγματος chevron με το κάτω μέρος μιας επάνω δοκού και διαχέει την ενέργεια μέσω της σχετικής μετατόπισης μεταξύ της κορυφής του στηρίγματος και της δοκού. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες αναφορικά με το βέλτιστο σχήμα των χαλύβδινων πλακών, ώστε να επιτραπεί η ταυτόχρονη επίτευξη της πλαστικής ροπής σε κάθε πλάκα. Μερικές από τις μελέτες που έγιναν στο παρελθόν είναι οι ακόλουθες: Whittaker et al. (1991) και Tsai et al. (1993). Από τις παραπάνω μελετές προέκυψε ότι το βέλτιστο σχήμα των χαλύβδινων πλακών είναι σε σχήμα X και τριγωνικό (Χριστόπουλος και Filiatrault, 2006). Οι συγγραφείς πρότειναν τη διαστασιακή μεταβολή των πλακών για 1) σταθερό πλάτος  $b_0$  και μεταβλητό βάθος,  $d \times \delta \cdot P$  και 2) σταθερό βάθος  $d_0$  και μεταβλητό πλάτος  $b \times \delta \cdot P$ , ως εξής:

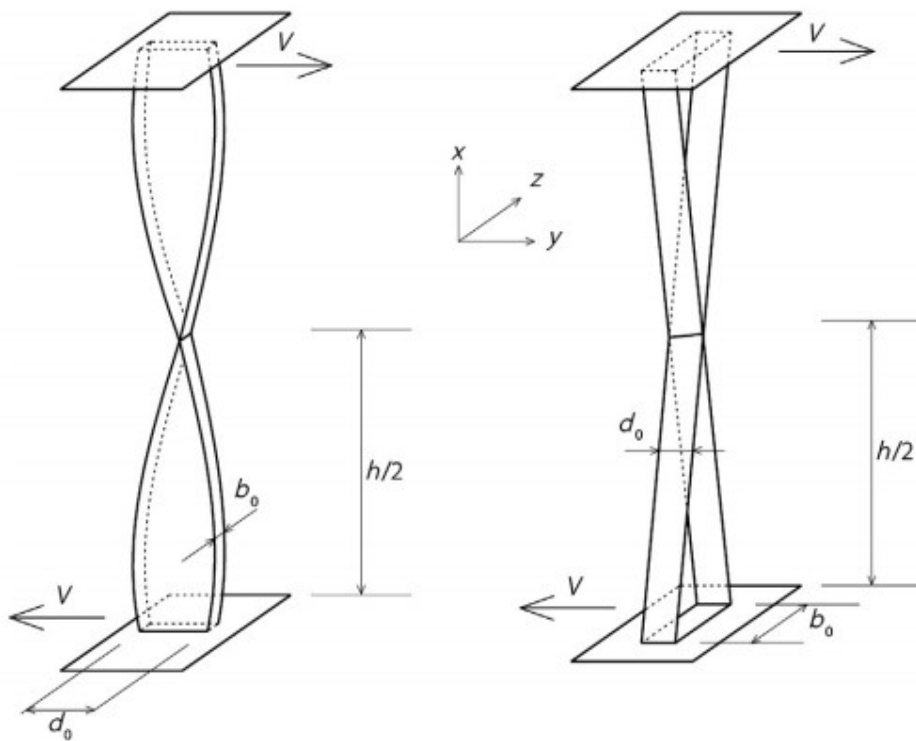


$$d(x) = d_0 \sqrt{\frac{2x}{h}}$$

$$b(x) = \frac{2x}{h} b_0$$

Από το Σχήμα 5.21 φαίνεται ότι το βάθος της πλάκας δεν μπορεί να είναι μηδέν επειδή στο μέσο ύψος  $h$  πρέπει να υπάρχει αντίσταση στην αντίστοιχη δύναμη διάτμησης ενώ η ροπή είναι  $M_{po} = 0$ :

$$V = \frac{2M_{po}}{h}$$

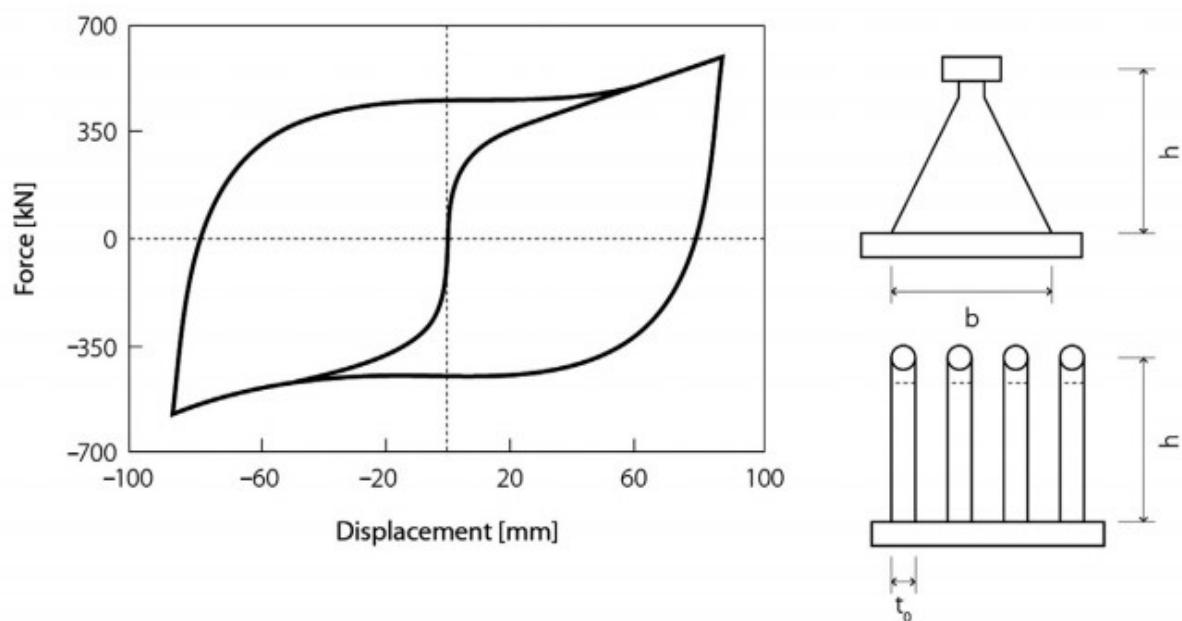


**Εικόνα 5.21** Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης (ADAS)

Σχετικά με την βέλτιστη γεωμετρία των μεταλλικών αποσβεστήρων για: α) σταθερό πλάτος και μεταβλητό βάθος και β) σταθερό βάθος και μεταβλητό πλάτος, οι Χριστόπουλος και Filiatrault (2006), αναφέρουν ότι η δεύτερη επιλογή είναι καλύτερη εφόσον το μεταβλητό πλάτος είναι πολύ μικρότερο από το μεταβλητό βάθος.

**Τριγωνικά πρόσθετα συστήματα ακαμψίας απόσβεσης (TADAS):** Αυτή η κατηγορία αποσβεστήρων αναπτύχθηκε από τους Tsai et al. (1993), βασισμένη στο σύστημα ADAS με τριγωνικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές είναι συγκολλημένες στο επάνω μέρος, σε μια ενιαία, μεταλλική πλάκα αλλά διαθέτουν σχισμές στο κάτω μέρος για σύνδεση στην πλάκα βάσης. Με αυτό

τον τρόπο δεν μεταφέρεται κανένα φορτίο βαρύτητας στον αποσβεστήρα και δεν απαιτείται κάποια κατασκευή έναντι περιστροφής στην κορυφή του στηρίγματος για να συνδέει τις πλάκες.



**Σχήμα 5.22** Υστερητικός βρόγχος συσκευής και παράμετροι διαστάσεων  
(Προσαρμοσμένο από Chang, S., Tsai, K., Chen, K., «Βελτιωμένη ενσωμάτωση χρόνου για σεισμοδυναμικές δοκιμές», 1998)

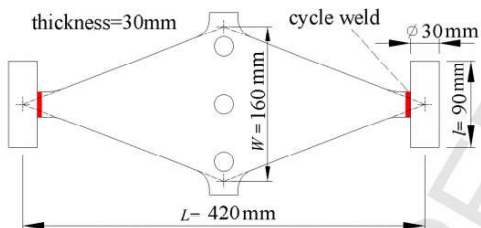
**Ρομβοειδείς αποσβεστήρες:** Τα συστήματα ADAS και TADAS επηρεάζονται από συγκολλησίες και αξονικές δυνάμεις καθιστώντας δύσκολη την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς τους σε δυναμική και παραμόρφωση, ειδικά όταν η σκλήρυνση της τάσης βρίσκεται στη μη γραμμική περιοχή του διαγράμματος τάσης παραμόρφωσης (Shih και Sung, 2005). Έτσι, μια ρομβική πλάκα ενσωματωμένη στο σύστημα ADAS (Εικ. 5.24) για σεισμική αποσβέση, προτάθηκε από τους Shih et al. (2004) και Shih and Sung (2005). Η προτεινόμενη συσκευή έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Η αντίδραση της ροής σταθερού άκρου του συστήματος TADAS αναπτύσσεται στο κέντρο της χαλύβδινης πλάκας, εξαλείφοντας εκδόσεις με μη ποιοτικά συγκολλημένα μέλη.



*Εικόνα 5.23 Σύστημα TADAS εγκατεστημένο σε κτίριο στο TAIPEI LIVING MALL*

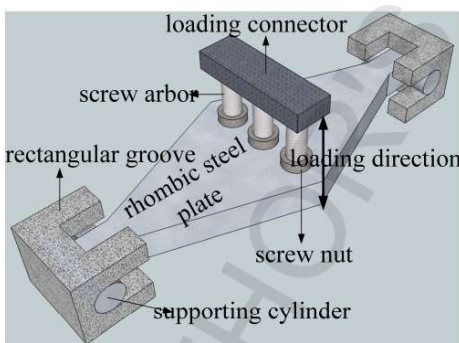
Η σύνδεση μέσω κυλίνδρου και στα δύο άκρα εξαλείφει το πρόβλημα μεταφοράς αξονικών φορτίων.



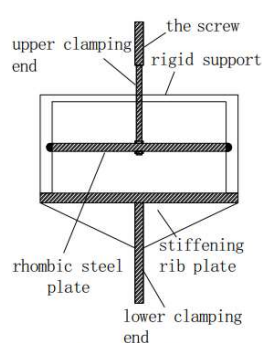
**Fig. 1.** Schematic size of the rhombic mild steel plate damper



**Fig. 2.** Specimen of the rhombic steel damper



**Fig. 3.** Installation diagram



**Fig. 4.** Testing layout of rhombic steel plate dampers

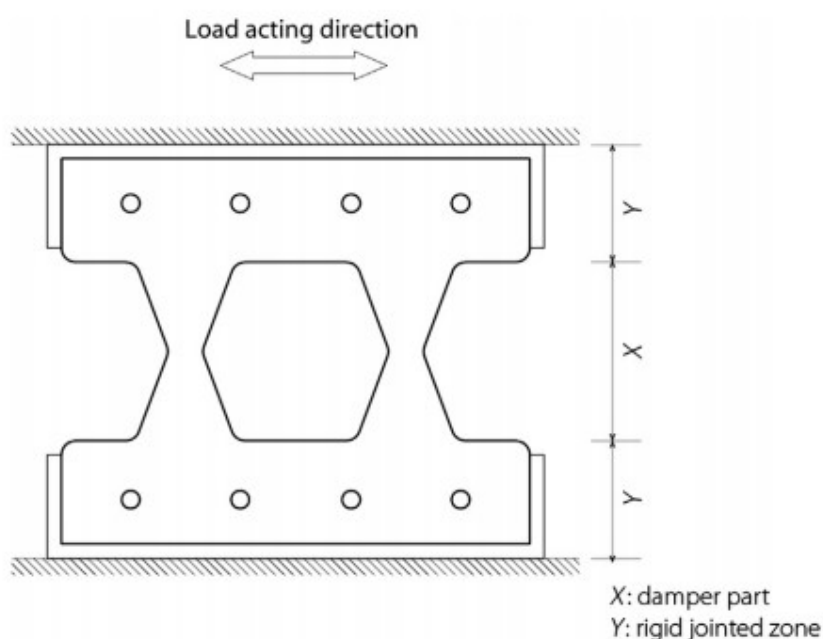


*Εικόνα 5.24. Ρομβοειδείς αποσβέστηρες*

Η πλάκα μπορεί να αποδώσει ομοιόμορφα όπως φαίνεται από πειραματικές δοκιμές (Shih και Sung, 2005).

Για τη μοντελοποίηση της υστερετικής συμπεριφοράς αυτής της συσκευής, οι Shih και Sung (2005) πρότειναν τη χρήση του μοντέλου Barber and Wen (Barber and Wen, 1980) αντι του τυπικού μοντέλου Wen (Wen, 1976). Αυτό το μοντέλο έχει βαθμονομηθεί μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων και οι αναγνώστες θα πρέπει να αναφέρονται στους Shih και Sung (2005) για μια λεπτομερή εξήγηση της προσέγγισης της μοντελοποίησης.

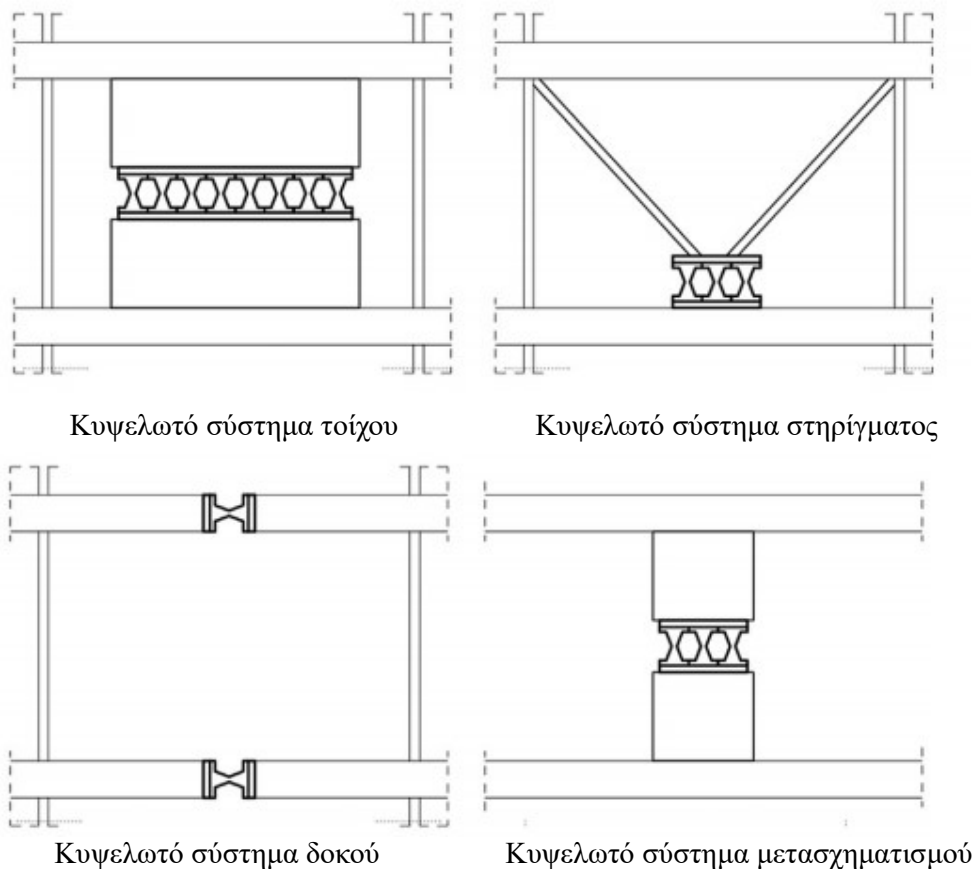
**Κυψελωτοί αποσβεστήρες. (HDS)** Ο κυψελωτός αποσβεστήρας αναπτύχθηκε αρχικά από τον Kobori et al. (1992) και αποτελείται από χαλύβδινες πλάκες με ανοίγματα σε σχήμα κυψέλης που λειτουργούν μόνο για να απορροφήσουν φορτία που δρουν μέσα στο δικό του επίπεδο (Εικ. 5.25). Υπάρχουν συνήθως τέσσερις διαφορετικές διαμορφώσεις για κυψελωτούς αποσβεστήρες: συστήματα τοίχου, στηρίγματος, δοκού και μετασχηματισμού



**Εικόνα 5.25** Κυψελωτοί αποσβεστήρες

Ανάπτυξη και εφαρμογή αποσβεστήρων χάλυβα υστέρησης.

Μια πρόσφατη πειραματική μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Teguna et al. (2015) σε κυψελωτούς αποσβεστήρες με διαφορετικές γεωμετρικές εισόδους για να κατανοήσουν τις ενεργειακές τους δυνατότητες διάχυσης. Η μελέτη έδειξε ότι οι αποσβεστήρες έχουν σταθερούς υστερετικούς βρόχους και επαρκή ακαμψία.



**Εικόνα 5.26** Κυψελωτοί αποσβεστήρες

**Μεταλλικοί αποσβεστήρες διπλής λειτουργίας. (DFMD):** Οι αποσβεστήρες DFMD αναπτύχθηκαν από τους Li και Li (2008). Οι συγγραφείς έκαναν μια μελέτη για διαφορετικές γεωμετρικές διαμορφώσεις μεταλλικών αποσβεστήρων και συνέκριναν τις ιδιότητές τους μέσω πειραματικών αναλύσεων

Μεταλλικός αποσβεστήρας σχήματος X: Έχει υψηλή αρχική ακαμψία και μεγάλη φέρουσα ικανότητα. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα υστέρησης (Εικ. 5.27), υπάρχει μια προοδευτική επιδείνωση της περιστροφικής ακαμψίας στη μέση, κυρίως λόγω της συγκέντρωσης τάσης στη μέση και τη γωνία του αποσβεστήρα και επίσης επειδή η παραμόρφωση λόγω διάτμησης θα μπορούσε να είναι υψηλότερη από την παραμόρφωση λόγω κάμψης. Για τους λόγους αυτούς, δεν θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογή.

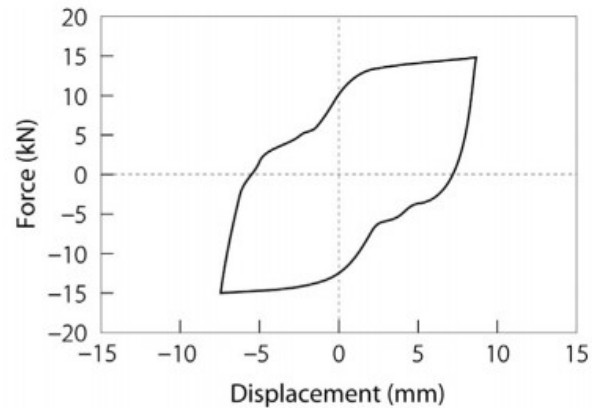
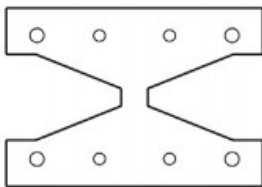
Μεταλλικός αποσβεστήρας διπλής στρογγυλής οπής: Ενώ έχει υψηλή αρχική ακαμψία, αυτή η διαμόρφωση του αποσβεστήρα είναι ανεπιθύμητη, επειδή οι δοκιμές αποκάλυψαν ρωγμές μόλις επιτευχθεί μια μικρή παραμόρφωση (6 mm). Για το λόγο αυτό, δεν θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογή.

Αποσβεστήρας λωρίδας: Αυτός ο τύπος αποσβεστήρα έχει υψηλή αρχική ακαμψία και καλή πλαστική παραμόρφωση, εκτός από το φορτίο που μειώνεται λόγω λυγισμού. Για το λόγο αυτό, δεν θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογές.

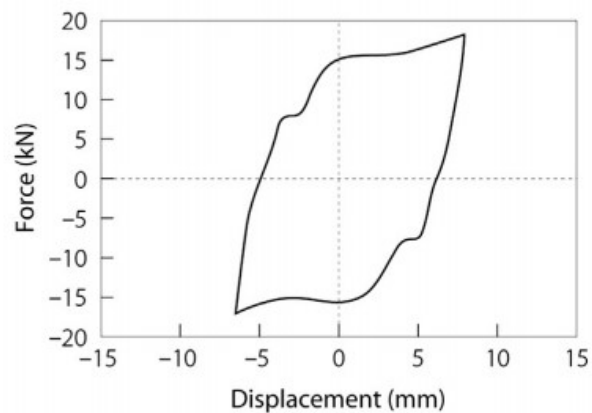
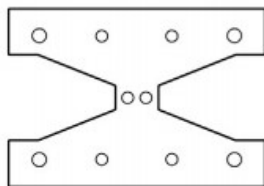
Ενιαίος αποσβεστήρας στρογγυλής οπής: Η υστερετική συμπεριφορά δείχνει μια καλή ενεργειακά διασκορπισμένη ικανότητα μαζί με υψηλή ακαμψία. Για το λόγο αυτό, θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογή.

Διπλός αποσβεστήρας σχήματος Χ: Αυτή η λύση ξεπερνά το πρόβλημα λυγισμού που αντιμετωπίζει ο αποσβεστήρας της λωρίδας. Επιπλέον, τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν μεγάλη ακαμψία και δυνατότητες διάχυσης ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς, θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογή.

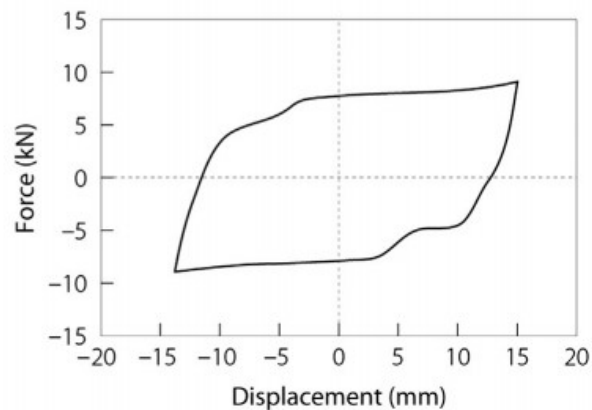
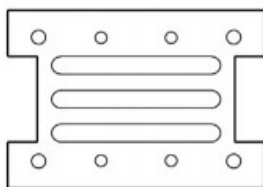
X-shaped

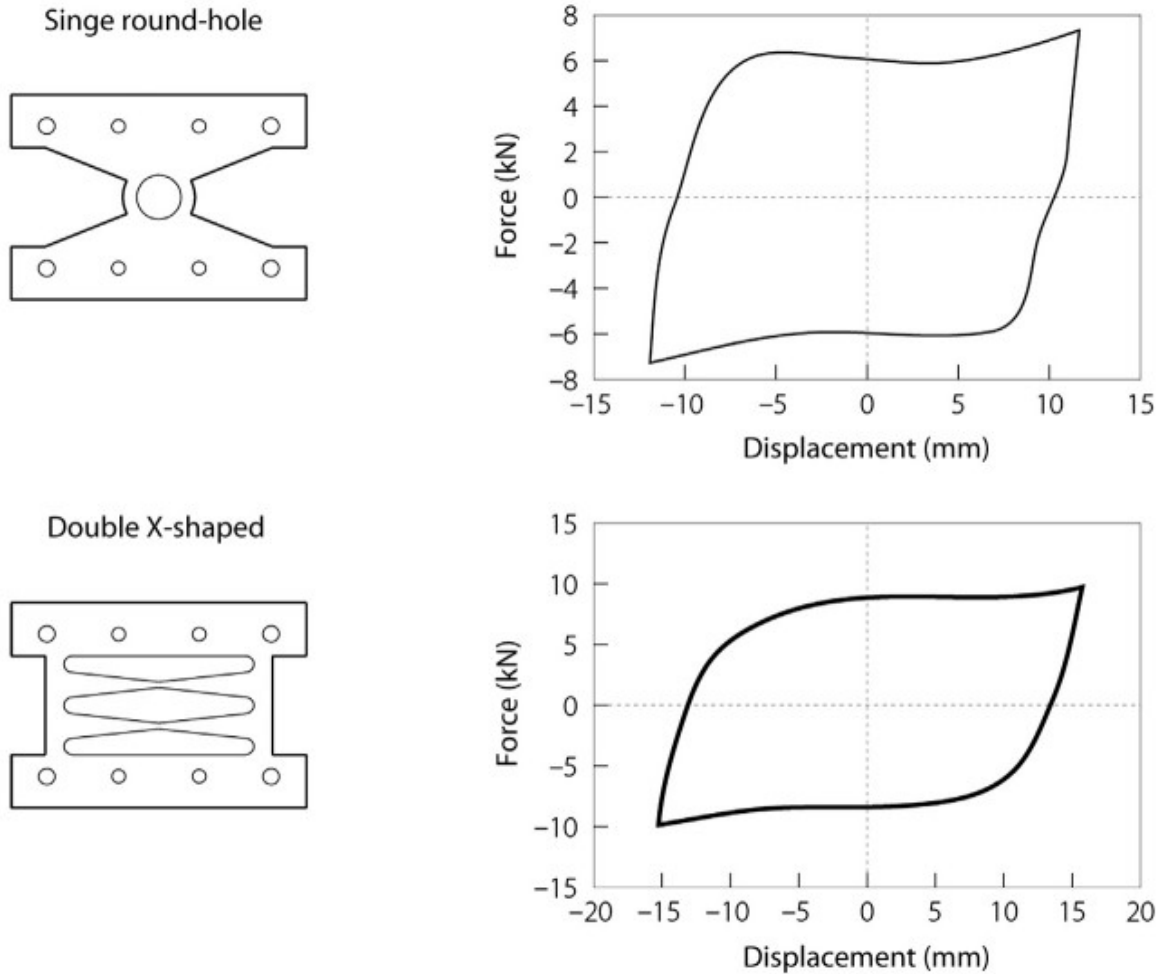


Double round-hole



Strip





*Εικόνα 5.27 Μεταλλικοί αποσβέστηρες διπλής λειτουργίας και διαγράμματα υστερήσής αυτών.*

**Αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή. (SSD).** Οι αποσβέστηρες SSD αναπτύχθηκαν από τους Chan και Albermani (2008). Αυτοί ο αποσβεστήρες είναι κατασκευασμένοι από ένα τυπικό δομικό τμήμα με μεγάλη φλάντζα με έναν αριθμό σχισμών κομμένων από τον ιστό, σε διάταξη δοκών Vierendeel, στρογγυλεμένες στα άκρα (Εικ. 5.28). Το στοιχείο είναι σχεδιασμένο χωρίς συγκόλληση, καθώς η σύνδεση με τα κύρια δομικά μέλη παρέχεται με βιδωτή σύνδεση. Η συσκευή μπορεί να εγκατασταθεί στην κορυφή ενός στηρίγματος  $\Lambda$  (chevron), και κάτω από μικρές παραμορφώσεις η συμπεριφορά του είναι σαν πακτωμένες δοκούς με σταθερό άκρο και παραμορφώνεται σε διπλή καμπυλότητα. Σε μια ορισμένη μετατόπιση, και τα δύο άκρα των λωρίδων σχηματίζουν μια πλαστική άρθρωση. Επομένως, οι ιδιότητες αυτής της συσκευής μπορούν να εκφραστούν ως συνάρτηση του μήκους της λωρίδας,  $l_0$ , του πλάτους της λωρίδας,  $b$  και του πάχους του ιστού,  $h_w$ . Υποθέτοντας μια ελαστική-τέλεια-πλαστική συμπεριφορά, η δύναμη απόδοσης,  $F_{dy}$ , μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής (Chan and Albermani, 2008):

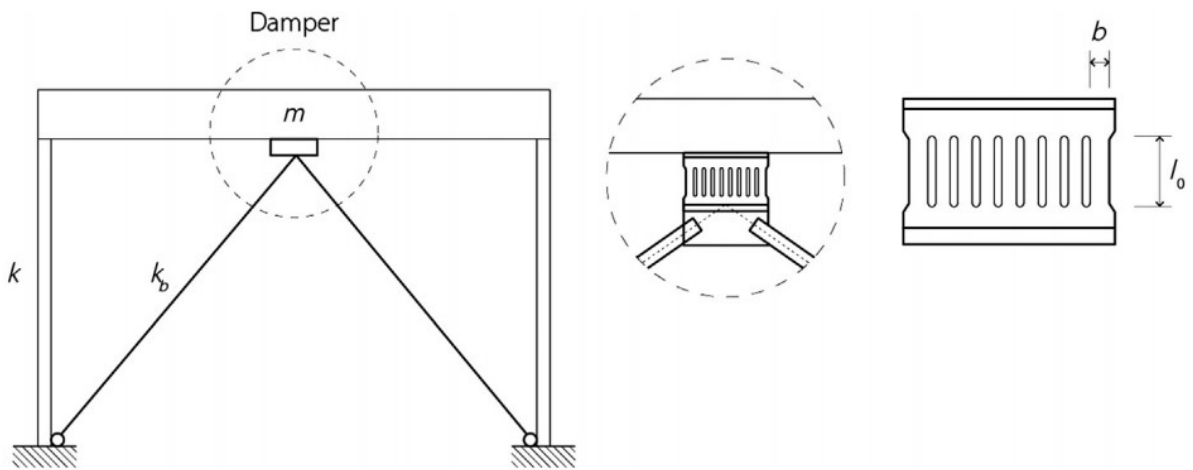
$$F_{dy} = \frac{nf_y h_w b^2}{2l_0}$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των λωρίδων στη συσκευή και  $f_y$  είναι η τάση απόδοσης του υλικού. Η ακαμψία του αποσβεστήρα,  $k_d$ , υποθέτοντας ότι οι λωρίδες είναι μερικώς στερεωμένες στα άκρα τους, μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

$$k_d = \bar{C}_k n_s \frac{E h_w b^3}{l_0^3}$$

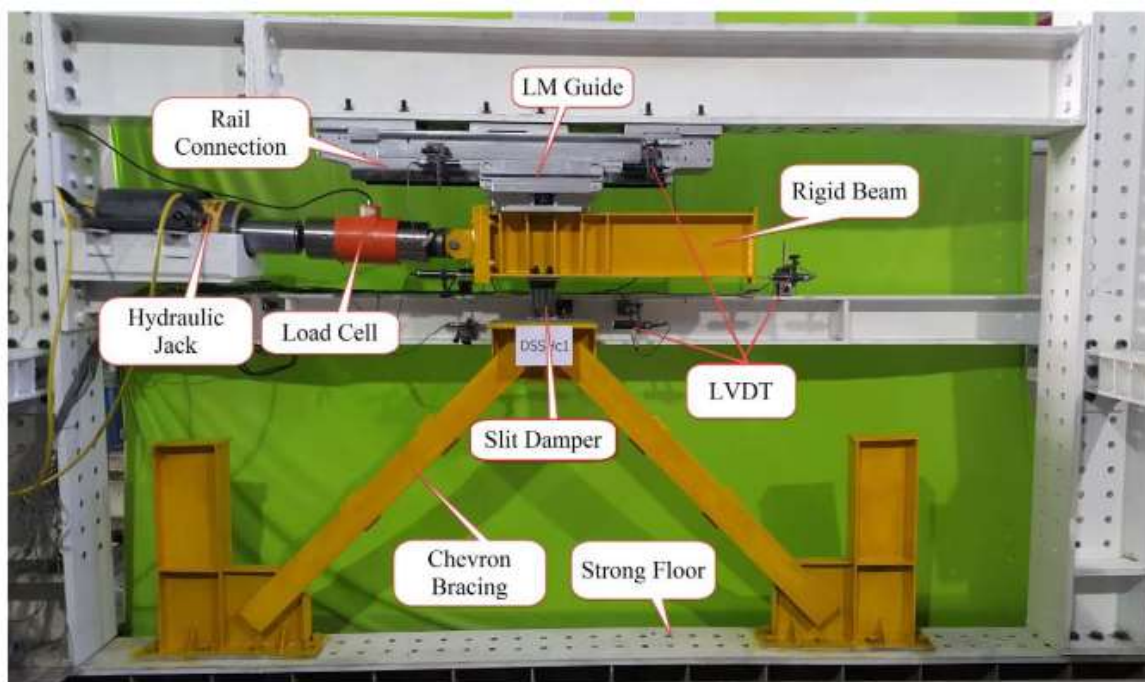
όπου  $E$  είναι το μετρώ ελαστικότητας και  $C_k$  είναι ένας συντελεστής ακαμψίας βαθμονομημένος από πειράματα.

Μία από τις πρώτες εφαρμογές αυτών των αποσβεστήρων πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία το 1996 (Wada et al., 2000). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μικρές κοπές που δημιουργούνται σε αποσβεστήρες σχισμής θα μπορούσαν να αυξήσουν τον κίνδυνο ψαθυρής θραύσης και κατά συνέπεια, να μειώσουν την αξιόπιστη πλαστική συμπεριφορά. Επομένως, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτό το κρίσιμο σημείο. Ο Lee et al. (2015) πραγματοποίησε μια πειραματική μελέτη σε αποσβεστήρες λωρίδας σχήματος κλεψύδρας (HSDs) υπό κυκλική φόρτιση. Προτάθηκε το πλάτος των λωρίδων να είναι μεγαλύτερο στο κέντρο, έτσι ώστε η ανεπιθύμητη αστοχία σε διάτμηση να μην προηγείται του σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το σχήμα του HSD ήταν καλά σχεδιασμένο για να επιτυγχάνει τη μέγιστη διάχυση της πλαστικής ενέργειας παραμόρφωσης που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια κόπωσης χαμηλού κύκλου. Επιπλέον, η ψαθυρή θραύση ακολουθεί μια σταδιακή όλκιμη θραύση η οποία συνοδεύεται από πλαστική παραμόρφωση.



**Εικόνα 5.28** Αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή εγκατεστημένο σε στήριγμα  $\Lambda$  (chevron)





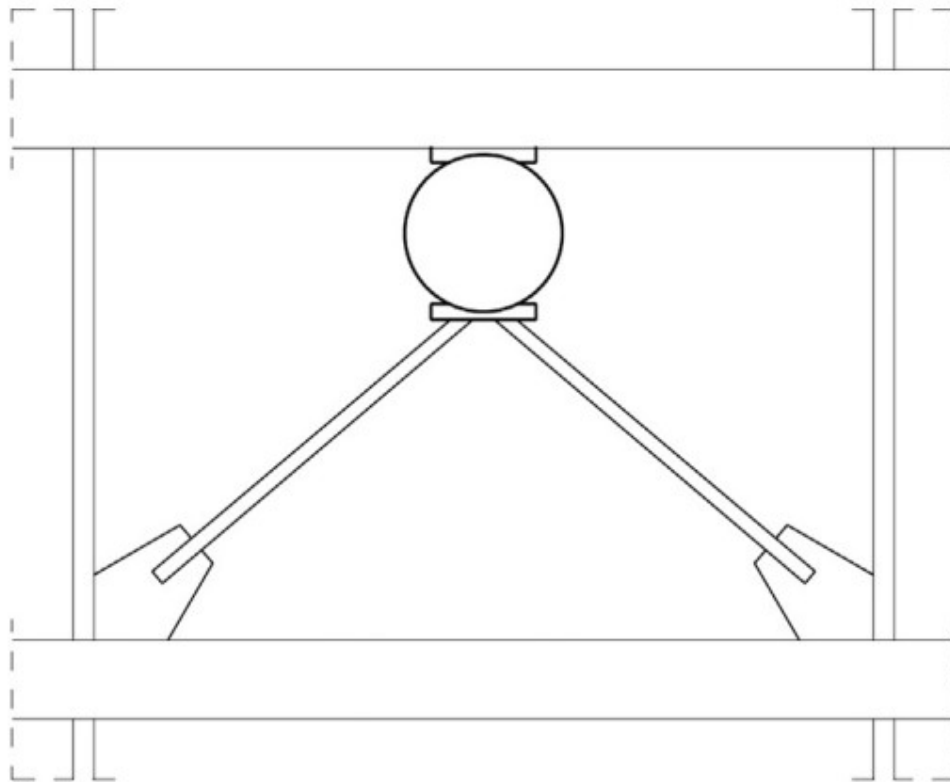
*Εικόνα 5.29* Πειραματικές δοκιμές σε αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή, εγκατεστημένο σε στήριγμα  $\Lambda$  (chevron)



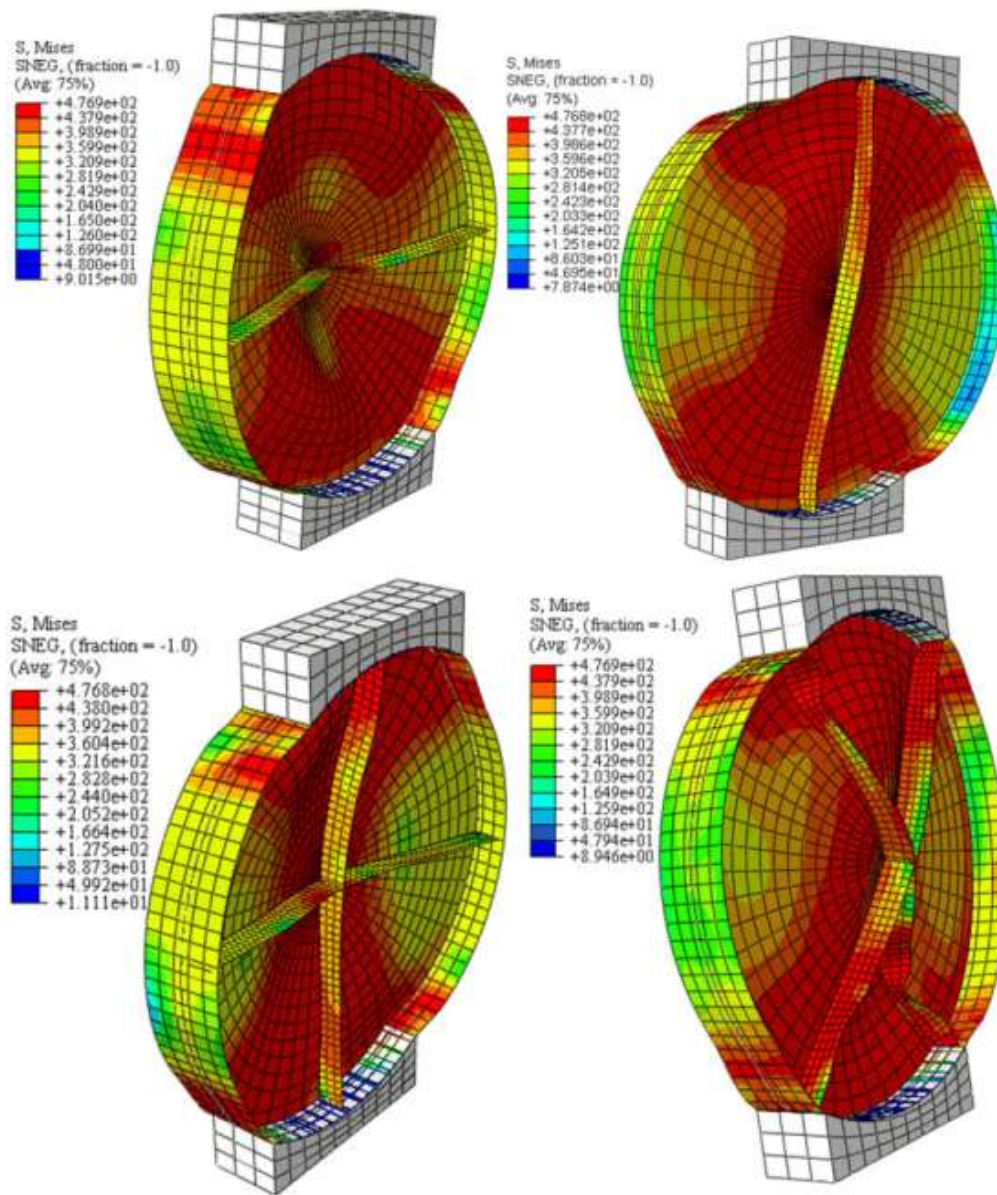
*Εικόνα 5.30* Παραμορφώσεις έπειτα από πειραματικές δοκιμές σε αποσβεστήρες από χάλυβα με σχισμή εγκατεστημένο σε στήριγμα  $\Lambda$  (chevron)

**Αποσβεστήρας κυκλικής πλάκας (φλάντζας) (CPD).** Η ικανότητα διάχυσης ενέργειας του αποσβεστήρα κυκλικής πλάκας (CPD) προέρχεται από τη γεωμετρική ελαστικότητα και την αντοχή στην κόπωση γύρω από τα συνδετικά μέρη. Η παραμόρφωση διάτμησης του επιπέδου διέπει τη συμπεριφορά και αυτό το σύστημα μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί σε ένα σύστημα στήριξης V (Εκ. 5.31). Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της συσκευής είναι ότι μπορεί να αντισταθεί σε φορτία σε όλες τις κατευθύνσεις που ενεργούν στο επίπεδο της. Η συμπεριφορά του μελετήθηκε από τους Adebé et al. (2013) με αρκετές πειραματικές καμπάνιες. Η κύρια παράμετρος είναι  $dc / hc$ , όπου  $dc$  είναι η διάμετρος και  $hc$  το πάχος. Αυτή η παράμετρος επιτρέπει την κατηγοριοποίηση

των υστερετικών επιδόσεων, τόσο των ενισχυμένων όσο και των μη ενισχυμένων CPD (Adebe and Choi, 2014). Οι συγγραφείς βρήκαν από αριθμητικές αναλύσεις, με σταθερή διάμετρο και μεταβαλλόμενο πάχος, όταν  $dc/hc < 23.5$ , το τμήμα είναι συμπαγές με απόδοση πριν από τον λυγισμό και την υποβάθμιση της αντοχής. ενώ όταν  $23.5 \leq dc/hc \leq 29.9$ , το τμήμα είναι συμπαγές με απόδοση πριν από τον λυγισμό αλλά μετά την υποβάθμιση της αντοχής. και όταν  $dc/hc > 29.9$  αποδίδοντας μετά από λυγισμό και υποβάθμιση της αντοχής. Επιπλέον, η προσθήκη ενισχυτικών δεν έχει σημαντική επίδραση στην υστερετική συμπεριφορά του αποσβεστήρα (Adebe and Choi, 2014).



*Εικόνα 5.31* Τυπική διάταξη σε αποσβεστήρα κυκλικής πλάκας



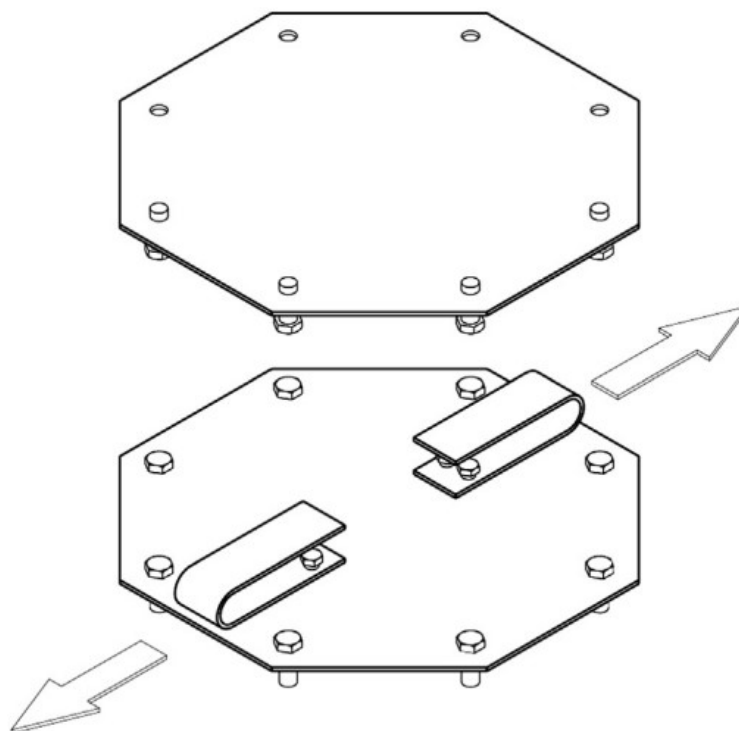
**Εικόνα 5.32** Επίδραση της ενίσχυσης στο περίγραμμα τάσης von Mises και το παραμορφωμένο σχήμα

(Πηγή: Analytical Evaluation on Hysteresis Performance of Circular Shear Panel Damper. Daniel Y. Abebe, Jaehyouk Choi.)

**Μεταλλικός αποσβεστήρας σχήματος U** . Αυτός ο αποσβεστήρας χρησιμοποιεί στοιχεία από χάλυβα σχήματος U ψυχρής έλασης. Τα στοιχεία μπορούν να τοποθετηθούν σε μονοαξονική (Σχ. 5.33) και διαξονική διάταξη. (Σχ. 5.34) διάταξη, ανάλογα με τον πρωταρχικό σκοπό της διάταξης. Οι παραμορφώσεις των στοιχείων συμβαίνουν κατά τη διεύθυνση του κύριου σκέλους και οι πλαστικές παραμορφώσεις μεταφέρονται από το λυγισμένο τμήμα στα ευθύγραμμα σκέλη, μέσω ενός μηχανισμού κίνησης κύλισης-κάμψης (Bagheri et al., 2015).

Ο κύριος στόχος στο σχεδιασμό των αποσβεστήρων U είναι ο καθορισμός των κύριων διαστάσεων: (Σχ. 5.35), δεδομένης μιας καθορισμένης τιμής για τον αποσβεστήρα. πλάτος και το πάχος.

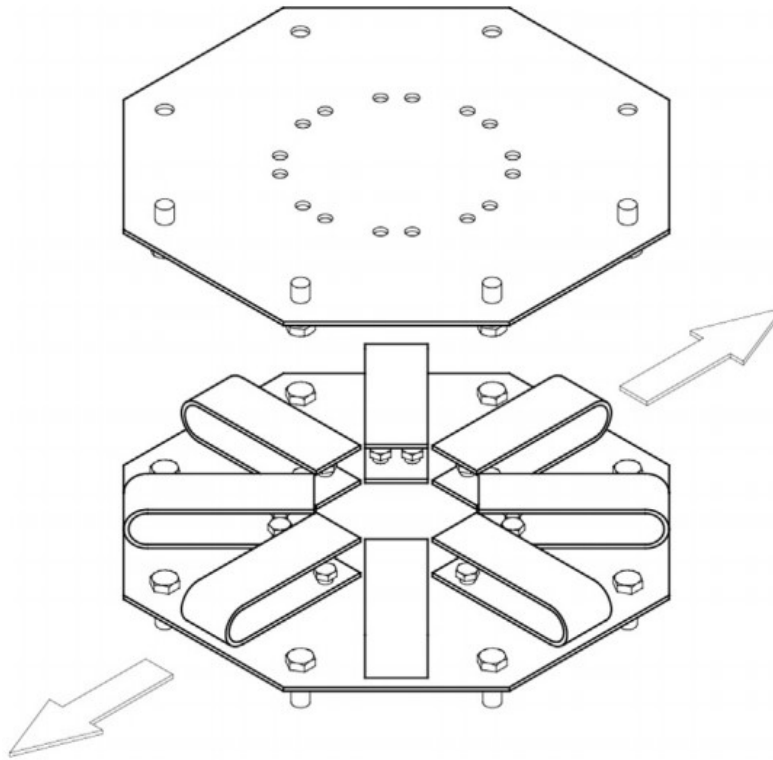
Πειραματικές μελέτες (Aguirre και Sanchez, 1992- Dolce et al., 1996) έχουν διεξαχθεί για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του αποσβεστήρα. Μια τυπική υστερητική καμπύλη παρουσιάζεται στους Aguirre και Sanchez (1992) που δείχνει την κλειστή ακτίνα βρόχου για δοκιμή ημιτονοειδών κύκλων (20% μεταβολή μεταξύ στερεού και διακεκομμένης γραμμής). Με βάση αυτές τις δοκιμές, οι βέλτιστες τιμές για τα  $\tau_u$  και  $A_u$  είναι 4,5 και 10 cm, αντίστοιχα. Επιπλέον, ο αποσβεστήρας U δεν έχει αποτελεσματική ιξώδη συμπεριφορά (χωρίς εξάρτηση από τη συχνότητα).



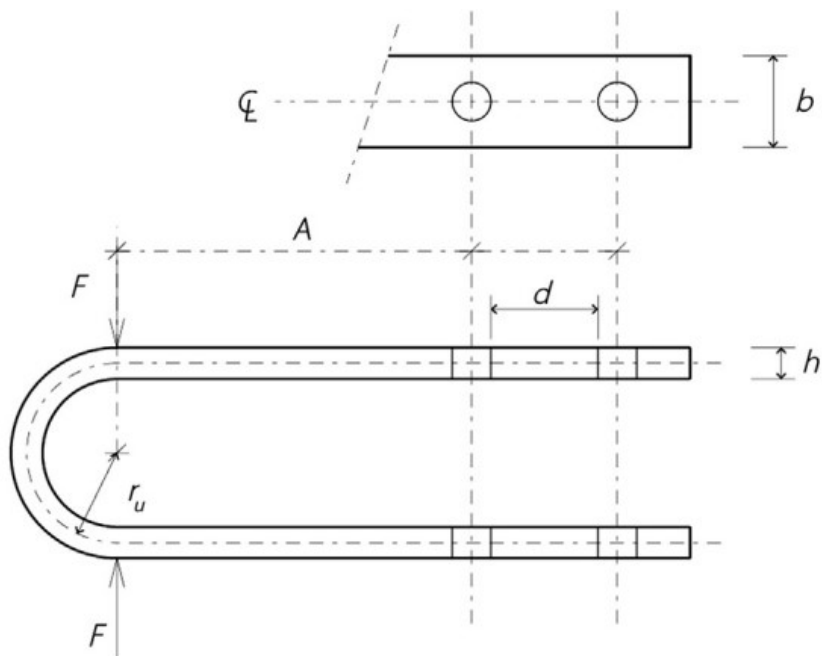
**Εικόνα 5.33.** Μονοαξονική διάταξη αποσβεστήρα σχήματος U

Οι Aguirre και Sanchez (1992) συνέστησαν ότι για το υλικό και την παραγωγική ομοιομορφία, θα πρέπει να χρησιμοποιείται απόθεμα ταινιών και μεταξύ όλων των πιθανών ρυθμίσεων, πρότειναν δύο πιθανές λύσεις διαμόρφωσης πλαισίου.

Οι συγγραφείς συνέστησαν επίσης μικρά στοιχεία U, επειδή είναι ευκολότερα στην κατασκευή και συνήθως αποφεύγεται η απροσδόκητη αστοχία.



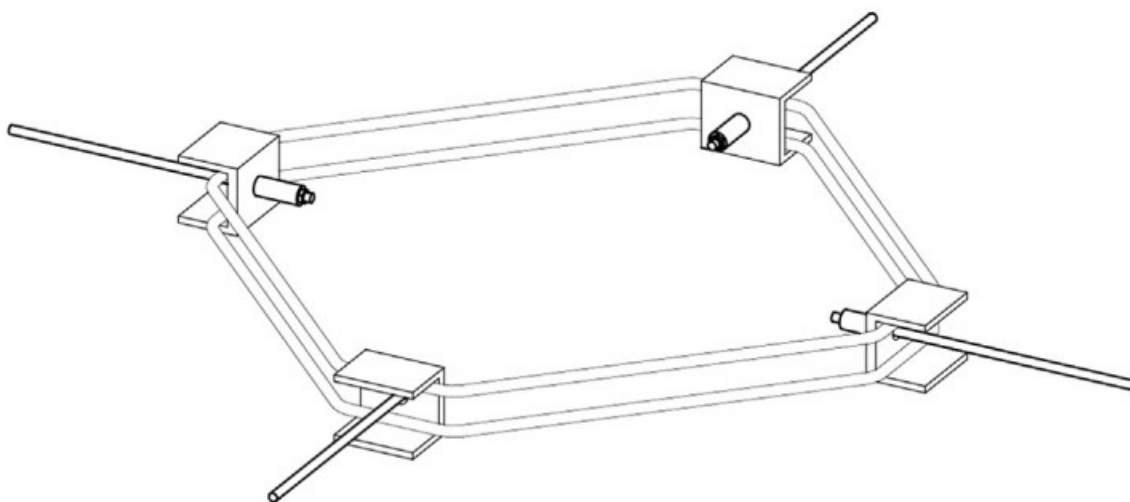
Εικόνα 5.34 Διαζονική διάταξη αποσβεστήρα σχήματος U



Εικόνα 5.35 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποσβεστήρα σχήματος U

**Σύστημα στήριξης απόδοσης (Παραμόρφωσης) χάλυβα (YBS).** Τα συστήματα χαλύβδινων αντιστηρίξεων (YBS) μπορεί να θεωρηθούν επίσης ως βελτίωση της ολκιμότητας των στηρίξεων Χ. Αποσβεστήρες στρογγυλών ράβδων μπορούν να τοποθετηθούν στο σημείο τομής των διαγώνιων

ενός συστήματος με δοκούς X (Tyler, 1985) (Σχ. 5.36). Οι ακμές του ορθογωνίου υποβάλλονται σε ροπές κάμψης και η ενέργεια διαχέεται από μικρές πλαστικές αρθρώσεις που σχηματίζονται στις γωνίες.

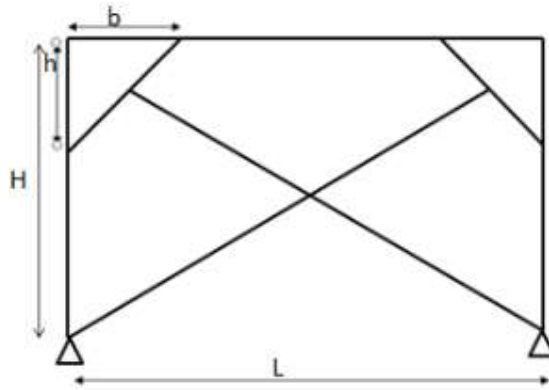


*Εικόνα 5.36 Σύστημα στήριξης απόδοσης (Παραμόρφωσης) χάλυβα (YBS).*

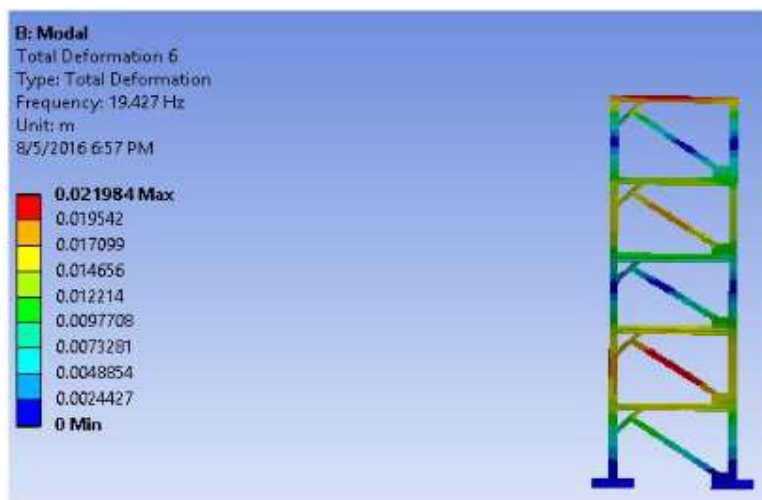
**Σύστημα στήριξης κόμβου (KBS)** Η πλαστιμότητα των ομόκεντρα ενισχυμένων πλαισίων μπορεί επίσης να βελτιωθεί με τη χρήση του συστήματος κόμβου (Σχ. 5.37) - Aristizabal-Ochoa, 1986- Balendra et al., 1990, 1992- D'Aniello et al., 2014). Σε αυτή την περίπτωση, ο μηχανισμός απομάκρυνσης της ενέργειας προέρχεται από την κάμψη του κόμβου που υποχωρεί στα άκρα και στο μέσον του (Aristizabal-Ochoa, 1986). Ένα μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι όταν ο βραχίονας λυγίσει, η υστερητική συμπεριφορά θα έχει μια ανεπιθύμητη συμπεριφορά παραμόρφωσης (παρόμοια με το ομόκεντρα ενισχυμένο πλαίσιο). Για το λόγο αυτό, τα διαγώνια στοιχεία πρέπει να μεταφέρουν μόνο εφελκυσμό. Επιπλέον, τα συστήματα διπλών κόμβων στήριξης θα συνιστώνται για την αντιστροφή υψηλών πλευρικών φορτίων (Aristizabal Ochoa, 1986).

Το στοιχείο κόμβου μπορεί να τοποθετηθεί σε διαφορετικές θέσεις: (1) στο πάνω ή στο κάτω μέρος ενός (2) ή και στα δύο άκρα ενός απλού κόμβου ή και (3) σε διπλό κόμβο. (Σχ. 5.37). Οι Balendra et al. (1992) διαπίστωσαν ότι δεν υπάρχει σημαντική βελτίωση στην πλαστικότητα στο σύστημα διπλού βραχίονα.

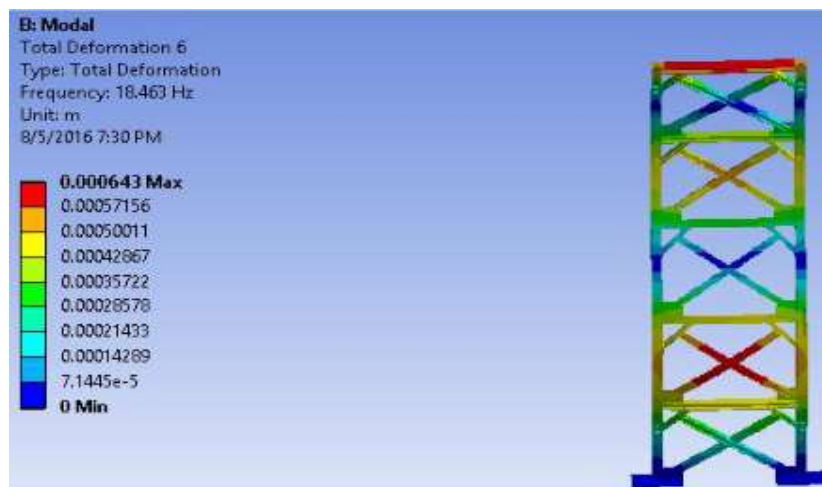
Το βέλτιστο σχήμα του συστήματος στήριξης του κόμβου επιλέγεται με βάση τις διαμορφώσεις του από ελαστικές αναλύσεις (Naeemi and Bozorg, 2009). Η βέλτιστη γωνία των στοιχείων κόμβου προσδιορίζεται σε επαπτομενικό λόγο σχεδόν ένα ( $b_k/h_k$ ), ( $L1/H$ ), που σημαίνει ότι τα στοιχεία κόμβου πρέπει να είναι παράλληλα με τη διαγώνιο κατεύθυνση του πλαισίου και τα διαγώνια στοιχεία θα πρέπει να διέρχονται από το σημείο του κόμβου και το σημείο τομής δοκού-) υποστυλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.37 (Naeemi and Bozorg, 2009)



**Εικόνα 5.37.** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αποσβεστήρα στήριξης κόμβου (γόνατου)



**Εικόνα 5.38** Μέγιστη μετατόπιση του μεμονωμένου στηρίγματος κόμβου-πλαίσιου με την αντίστοιχη συχνότητα



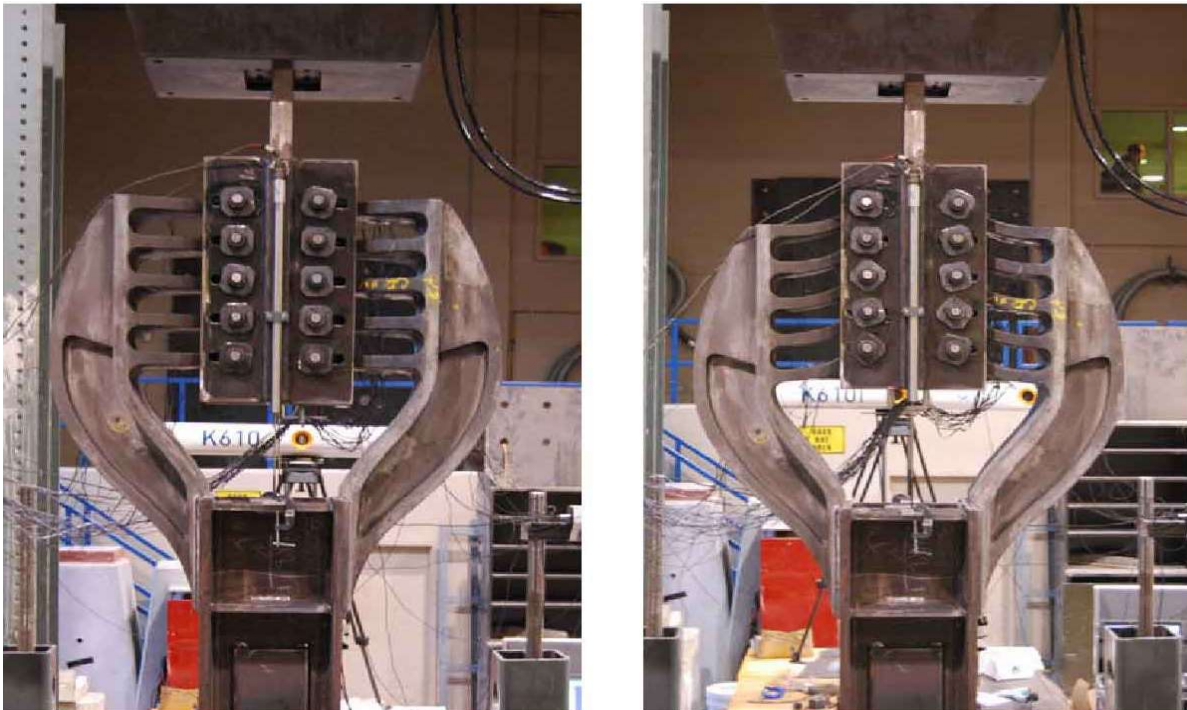
**Εικόνα 5.39** Μέγιστη μετατόπιση του διπλού αποσβεστήρα κόμβου-πλαίσιου με την αντίστοιχη συχνότητα.  
 (Πηγή: International Research Journal of Engineering and Technology)

Οι Aristizabal-Ochoa (1986) πρότειναν ορισμένες γενικές κατευθυντήριες γραμμές για τα στοιχεία κόμβου με βάση το μηχανισμό διαρροής μιας σταθερής δοκού υπό συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσο του ανοίγματος. Συνιστά τη χρήση στοιχείων κόμβου που είναι τουλάχιστον 50% ελαφρύτερα από το μεγαλύτερο στοιχείο μεταξύ του μεγέθους του υποστυλώματος και της δοκού με ικανότητα πλαστικής ροπής μικρότερη από

$$F_{dy} l_k \sin \theta_k / 8$$

όπου  $F_{dy}$  είναι η ικανότητα δύναμης διαρροής του διαγώνιου στοιχείου  $l_k$  είναι το μήκος του στοιχείου κόμβου- και  $\theta_k$  είναι η γωνία μεταξύ του διαγώνιου και του στοιχείου κόμβου. Αυτό είναι για να εγγυάται ότι το στοιχείο κόμβου υποχωρεί πρώτο και το διαγώνιο στοιχείο παραμένει ελαστικό.

**Συνδέτηρας απόδοσης τύπου «Σκορπιού» SYC.** Οι SYC είναι αντικαταστάσιμες και υστερητικές ασφάλειες που εγκαθίστανται σε ομόκεντρα ενισχυμένα πλαίσια για τη βελτίωση της απόδοσης των υφιστάμενων ή νέων κτιρίων (Σχ. 5.40). Η τοποθέτηση αυτών των συνδέσμων στις διαγώνιες αντιστηρίξεις, ονομάζεται επίσης και σύστημα χυτοχάλυβινων αντιστηρίξεων (Gray et al., 2012, 2014). Οι δύο ειδικά σχεδιασμένοι σύνδεσμοι από χυτοχάλυβα αυτού του συστήματος συγκολλούνται στα άκρα (φλάντζα) κάθε στηρίγματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.40. Το SYC αποτελείται από έναν ελαστικό βραχίονα και μερικά δάκτυλα υποχώρησης, όπου ο ελαστικός βραχίονας συνδέεται με συγκόλληση με το σύστημα στήριξης. Εν τω μεταξύ, τα δάκτυλα είναι βιδωμένα σε μια πλάκα σύνδεσης. Λεπτομέρειες του αυτού του είδους συνδέσμου και των σχετικών συνδέσεων απεικονίζονται στο Σχ. 5.42. Αυτός ο τύπος αποσβεστήρα συμπεριφέρεται ελαστικά υπό φόρτιση λειτουργίας και διαχέει την εισερχόμενη ενέργεια ισχυρότερων φορτίων με καμπτική υποχώρηση των δακτύλων.



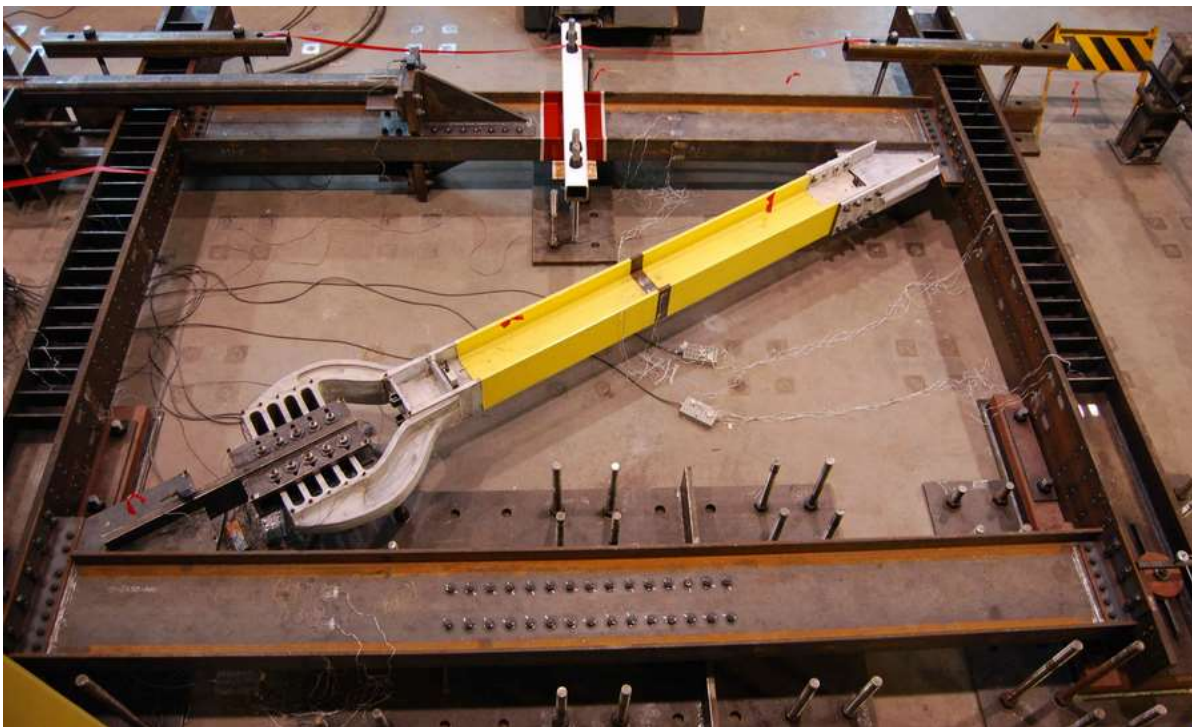
*Εικόνα 5.40* Αποσβεστήρας SYC όπως κατασκευάστηκε αριστερά και έπειτα από 80mm μετατόπιση δεξιά



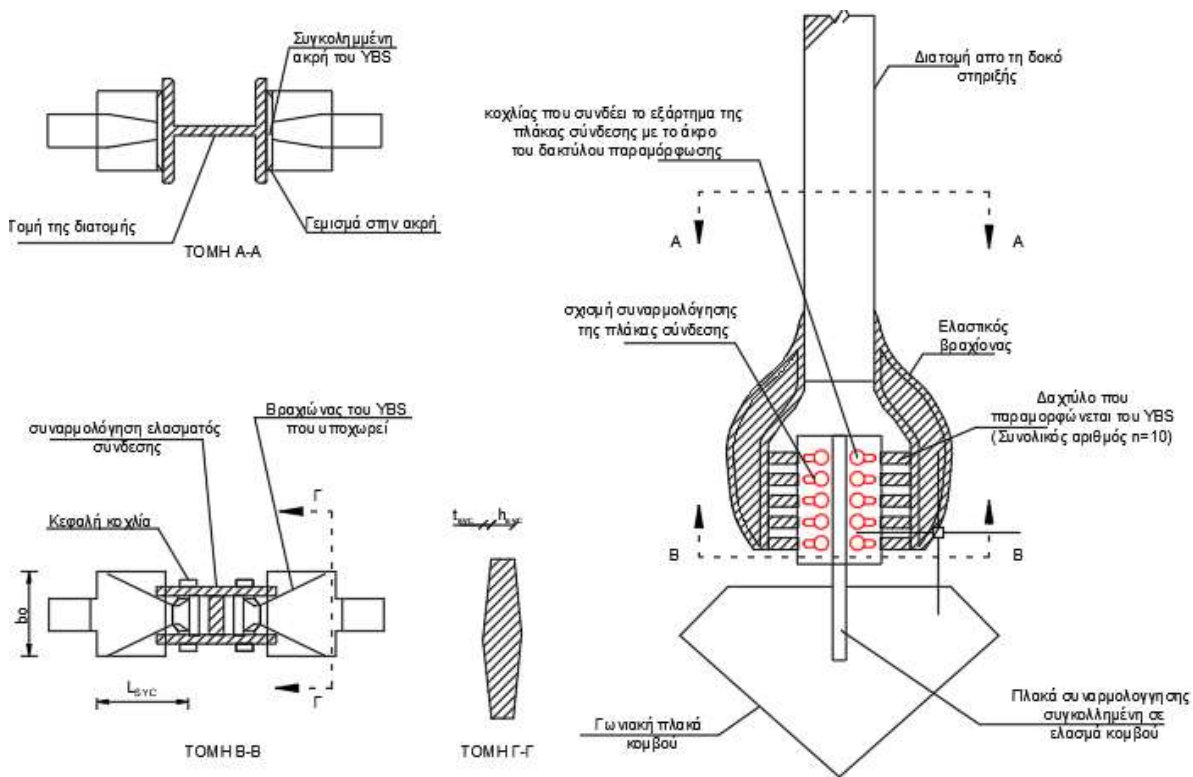
Η υστερητική συμπεριφορά ενός τέτοιου συστήματος απόσβεσης είναι σχεδόν συμμετρική σε εφελκυσμό και θλίψη. (Gray κλπ., 2012). Η δύναμη διαρροής, και η απαιτούμενη αξονική δύναμη για την καμπτική υποχώρηση των δακτύλων, είναι δίνεται από τη σχέση (Gray κλπ., 2012):

$$F_{dy} = \frac{nb_0h_{sync}f_y}{4L_{sync}}$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των δακτύλων που υποχωρούν,  $b_0$  είναι το πλάτος του δακτύλου που υποχωρεί στη βάση του,  $h_{sync}$  είναι το πάχος του δακτύλου που υποχωρεί και  $L_{sync}$  είναι το μήκος του δακτύλου που υποχωρεί. Στο σχήμα 5.42. απεικονίζονται σαφέστερα οι καθορισμένες παράμετροι.



*Εικόνα 5.41 Απόσβεςτηρας SYC σε πείραμα στο Πανεπιστήμιο του TORONTO*

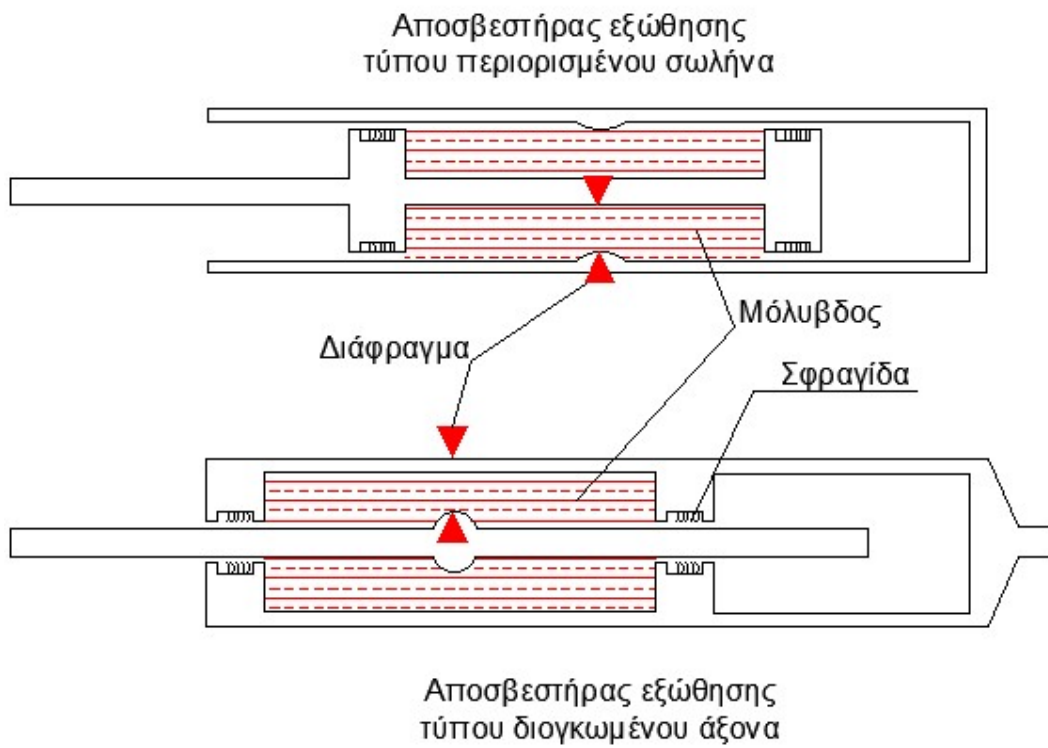


**Εικόνα 5.42** Αποσβεστήρας SYC σε πείραμα στο Πανεπιστήμιο του TORONTO

**Συσκευές απόσβεσης εξώθησης μολύβδου.** Οι αποσβεστήρες μολύβδου LED εφευρέθηκαν τη δεκαετία του 1970 από τον Robertson και Greenbank (1975). Αποτελούνται από ένα σωλήνα με χοντρό τοίχωμα και μια ράβδο σύνδεσης που συνδέεται με ένα έμβολο σε κάθε πλευρά. Ο μολύβδος τοποθετείται μεταξύ των εμβόλων και λιπαίνεται προκειμένου να αποφευχθεί η τριβή με το τοίχωμα του κυλίνδρου (Robertson και Greenbank, 1975). Στη συνέχεια, κάθε έμβολο συνδέεται με το κτιρίου και η σχετική κίνηση μεταξύ κάθε πλευράς του μολύβδου εξωθείται εμπρός και πίσω μέσω ενός στόμιου. Αυτό παράγει την παραμόρφωση του μολύβδου, καταναλώνοντας την ενέργεια διέγερσης (Sadek et al., 1996). Οι αποσβεστήρες εξώθησης μολύβδου είναι χρήσιμες διατάξεις για την απορρόφηση ενέργειας που μεταφέρεται σε μια κατασκευή από σεισμό (Skinner et al., 1993).

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι αποσβεστήρων εξώθησης: ο τύπος του διογκωμένου άξονα και ο περιορισμένος άξονας σωλήνας (Σχ. 5.43). Ο διογκωμένος άξονας προτιμάται συνήθως για οικονομικούς λόγους και για λόγους απόδοσης (Cousin and Porritt, 1993).

Το υψηλό ποσοστό δύναμης που απαιτεί ως αντίσταση η LED παράγει μεγάλη ποσότητα απορρόφουμενης ενέργειας, πολύ μεγαλύτερη από εκείνη ενός ιξώδους αποσβεστήρα ισοδύναμου μεγέθους (Rodgers κλπ., 2006). Υπάρχουν δύο περιορισμοί στην ποσότητα της ενέργειας που διαχέεται: (1) το φορτίο απόδοσης του άξονα που έχει οικονομικούς και φυσικούς περιορισμούς και (2) η θέρμανση του μολύβδου λόγω των επαναλαμβανόμενων κύκλων. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στη χρήση αυτού του τύπου αποσβεστήρων είναι η δημιουργία κενού κατά την εξώθηση λόγω της συμπίεσης του μολύβδου, της διαστολής του τοιχώματος του κυλίνδρου και των ατελειών. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί εάν ο μολύβδος προενταθεί, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο σχηματισμός κενού και να μειωθεί το μέγεθος του αποσβεστήρα (Rodgers et al., 2006).



*Εικόνα 5.43* Συσκευές απόσβεσης εξώθησης μολύβδου

## 5.5 Αποσβεστήρες και Κανονισμοί

Οι αποσβεστήρες διέπονται από κανονισμούς σε όλες τις χώρες που χρησιμοποιούνται και οι εταιρείες παραγωγής και διάθεσης αυτών είναι ιδιαίτερα αυστηρές σε αυτό το θέμα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες ισχύει ο κανονισμός της «**FEMA P-1050-1: NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures - Volume I: Part 1 Provisions, Part 2 Commentary**» και συγκεκριμένα το κεφαλαίο 18 στον πρώτο και δεύτερο τόμο αφορά στο σεισμικό σχεδιασμό κατασκευών με σύστημά απόσβεσης.

Στην Ευρωπαϊκή ένωση και στην Ελλάδα ισχύει ο κανονισμός «**BSI EN 15129\_anti-seismic-devices**» ο οποίος είναι ο κανονισμός για τους αποσβεστήρες καθώς και για τα συστήματα σεισμικής μόνωσης. Παρακάτω θα αναφέρουμε την παράγραφο του κανονισμού για τους ιξώδεις αποσβεστήρες τους οποίους και θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω στο παράδειγμα μας.

### «BSI EN15129\_ anti-seismic-devices» ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ 7

#### 7.1 Λειτουργικές απαιτήσεις

*ΣΗΜΕΙΩΣΗ Ο παρόν κανονισμός εξετάζει δύο τύπους ιξωδών αποσβεστήρων, δηλαδή τον ιξώδη αποσβεστήρα ρευστού (FVD) και το ελατήριο ρευστού. Αποσβεστήρας ελατηρίου (FSD). Ο γενικός όρος ιξώδης αποσβεστήρας ισχύει και για τους δύο.*

*Εντός των ανοχών που καθορίζονται από τον δομικό μηχανικό, ο ιξώδης αποσβεστήρας πρέπει να παρέχει δύναμη εξόδου είτε σε εφελκυσμό είτε σε θλίψη, η οποία συμμορφώνεται με τον καταστατικό νόμο που δηλώνει ο κατασκευαστής σε ένα εύρος ταχυτήτων που εκτείνεται τουλάχιστον δύο δεκαδικά μικρότερο από το μέγιστο επίπεδο σχεδιασμού.*

*Ο ιξώδης αποσβεστήρας πρέπει να είναι ικανός να λειτουργεί στα επίπεδα ενέργειας που καθορίζονται από τον μηχανικό δομικών κατασκευών, χωρίς υποβάθμιση των επιδόσεων ή μείωση των υπηρεσιών.*

*Η ισχύς εξόδου του ιξώδους αποσβεστήρα υγρού εξαρτάται μόνο από την επιτάχυνση και δεν μεταβάλλεται με τη θέση της διαδρομής του αποσβεστήρα. Ο δομικός μηχανικός πρέπει να καθορίσει την αποδεκτή διακύμανση της δύναμης εξόδου λόγω αλλαγών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή στην εσωτερική θερμοκρασία ή λόγω αιτιών όπως γήρανση, φθορά κ.λπ.*

*Η δύναμη εξόδου του αποσβεστήρα ρευστού ελατηρίου εξαρτάται από την επιτάχυνση και τη διαδρομή. Ο μηχανικός δομικών κατασκευών πρέπει να προδιαγράψει την αποδεκτή διακύμανση της δύναμης εξόδου λόγω αλλαγών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή στην εσωτερική θερμοκρασία, ή λόγω αιτιών όπως γήρανση, φθορά κ.λπ.*

*Η διαδρομή σχεδιασμού του αποσβεστήρα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις μακροχρόνιες επιδράσεις, τις θερμικές και τις σεισμικές μετατόπιση, καθώς και κάθε μήκος προσαρμογής που απαιτείται από τον μηχανικό δομικών κατασκευών. Η διαδρομή πρέπει σε κάθε περίπτωση σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $\pm 50$  mm για γέφυρες ή  $\pm 25$  mm για κτίρια.*

**Ο αποσβεστήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με αυτολιπαινόμενους σφαιρικούς αρθρώσεις σε κάθε άκρο, ώστε να διατηρείται η μεταφερόμενο φορτίο ευθυγραμμισμένο κατά μήκος του κύριου άξονά του και να αποφεύγονται ανεπιθύμητα φαινόμενα κάμψης που μπορεί να είναι επιζήμια για το σύστημα στεγανοποίησης.**

Η ικανότητα περιστροφής των σφαιρικών αρθρώσεων θα καθορίζεται από τον Στατικό Μηχανικό δίνοντας υπόψη τις επιδράσεις των ζωντανών φορτίων, τις σεισμικές μετακινήσεις, τις κακές ευθυγραμμίσεις της εγκατάστασης κ.λπ. Η περιστροφή σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $\pm 2^\circ$ .

Οι πλάκες ή άλλα στοιχεία δεν πρέπει να εμποδίζουν φυσικά την περιστροφή σχεδιασμού.

Επίσης παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά οι επικεφαλίδες των άρθρων και οι οποίοι διέπουν τους κανονισμούς

## **7.2 Ιδιότητες υλικών**

### **7.2.1 Γενικά**

### **7.2.2 Υλικά**

### **7.2.3 Ενεργές επιφάνειες**

### **7.2.4 Ιξώδες υγρό**

## **7.3 Απαιτήσεις σχεδιασμού**

### **7.3.1 Γενικά**

### **7.3.2 Ακράια υψηλή επιτάχυνση**

## **7.4 Δοκιμές**

### **7.4.1 Γενικά**

### **7.4.2 Δοκιμές τύπου**

#### **7.4.2.1 Γενικά**

#### **7.4.2.2. Δοκιμή πίεσης για αποσβεστήρες υγρού ιξώδους και υγρού ελατηρίου**

#### **7.4.2.3 Δοκιμή χαμηλής επιτάχυνσης για ιξώδεις αποσβεστήρες υγρών**

#### **7.4.2.4 Δοκιμή χαμηλής επιτάχυνσης για τον αποσβεστήρα ελατηρίου ρευστού**

#### **7.4.2.5 Δοκιμή του καταστατικού νόμου για ρευστούς ιξώδεις αποσβεστήρες**

#### **7.4.2.6 Δοκιμή καταστατικού νόμου για τον αποσβεστήρα ελατηρίου ρευστού**

#### **7.4.2.7 Δοκιμή απόδοσης απόσβεσης**

#### **7.4.2.8 Δοκιμή κύκλου φορτίου ανέμου**

#### **7.4.2.9 Δοκιμή φθοράς της φλάντζας**

#### **7.4.2.10 Δοκιμή επαλήθευσης διαδρομής**

### **7.4.3 Έλεγχος παραγωγής εργοστασίου**

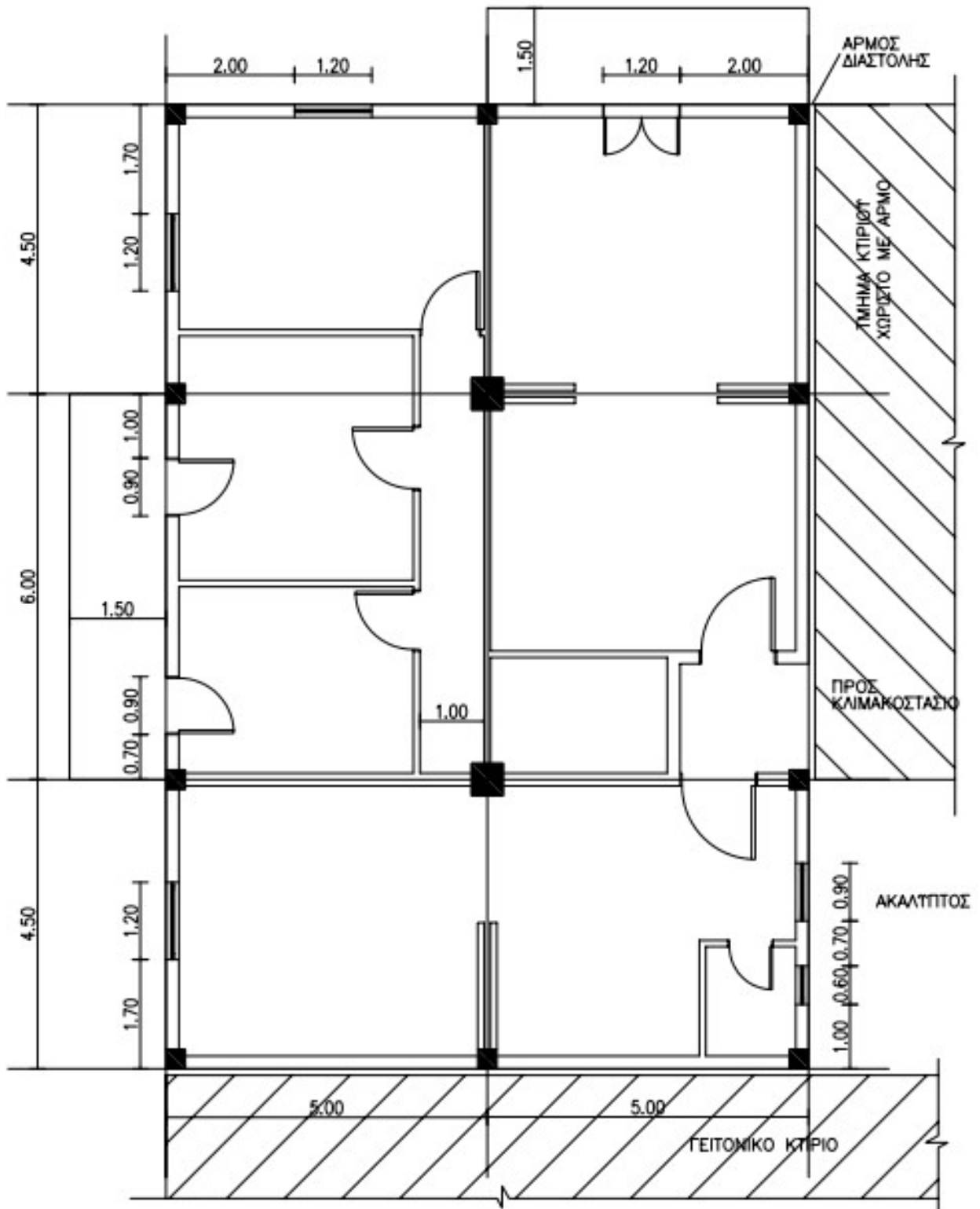
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

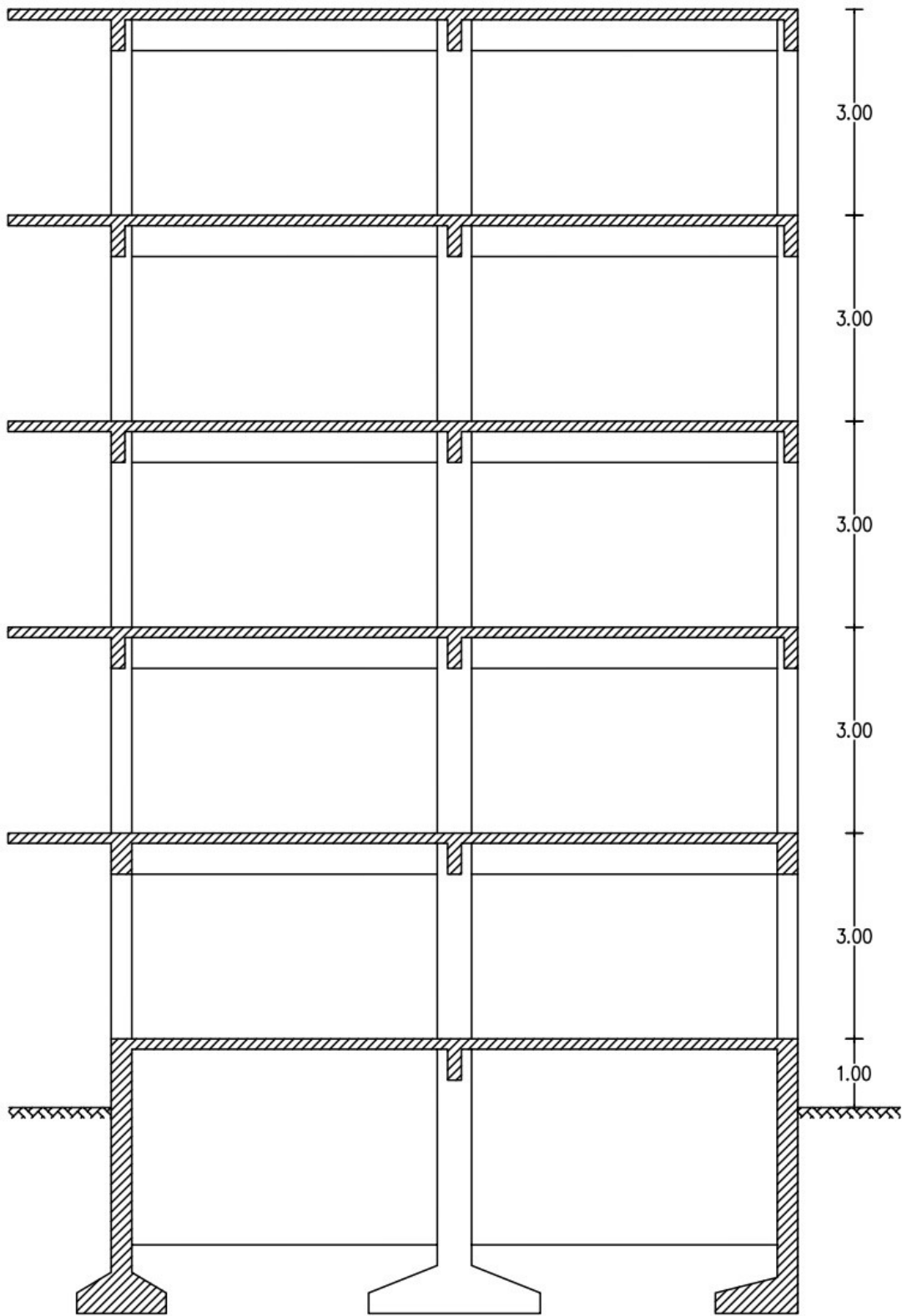
### **6.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ.**

Το κτίριο που θα μελετηθεί είναι πενταώροφο, με φέροντα οργανισμό από ΩΣ, συνήθους σπουδαιότητας (κατοικία) και ευρισκόμενο σε ζώνη χαμηλής επικινδυνότητας (Αθήνα). Είναι αντιπροσωπευτικό αυτών που δομήθηκαν την περίοδο 1960-1980 στην Ελλάδα βάσει του Κανονισμού Σκυροδέματος του 1954 και του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1959. Για το λόγο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο στις μελέτες εφαρμοσιμότητας του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στον φάκελο μελέτης περιλαμβάνονται η κάτοψη του ισογείου-τυπικού οροφού, μια ενδεικτική εγκάρσια τομή και οι ξυλότυποι θεμελίωσης, ισογείου και Α' ορόφου (τυπικού). Η διερεύνηση, η τεκμηρίωση και τέλος η αποτίμηση του κτιρίου εκτελούνται εξ' ολοκλήρου βάσει των διατάξεων του Κανονισμού Επεμβάσεων. Παρακάτω παραθέτοντας όλα τα σχέδια που προαναφέρθηκαν.

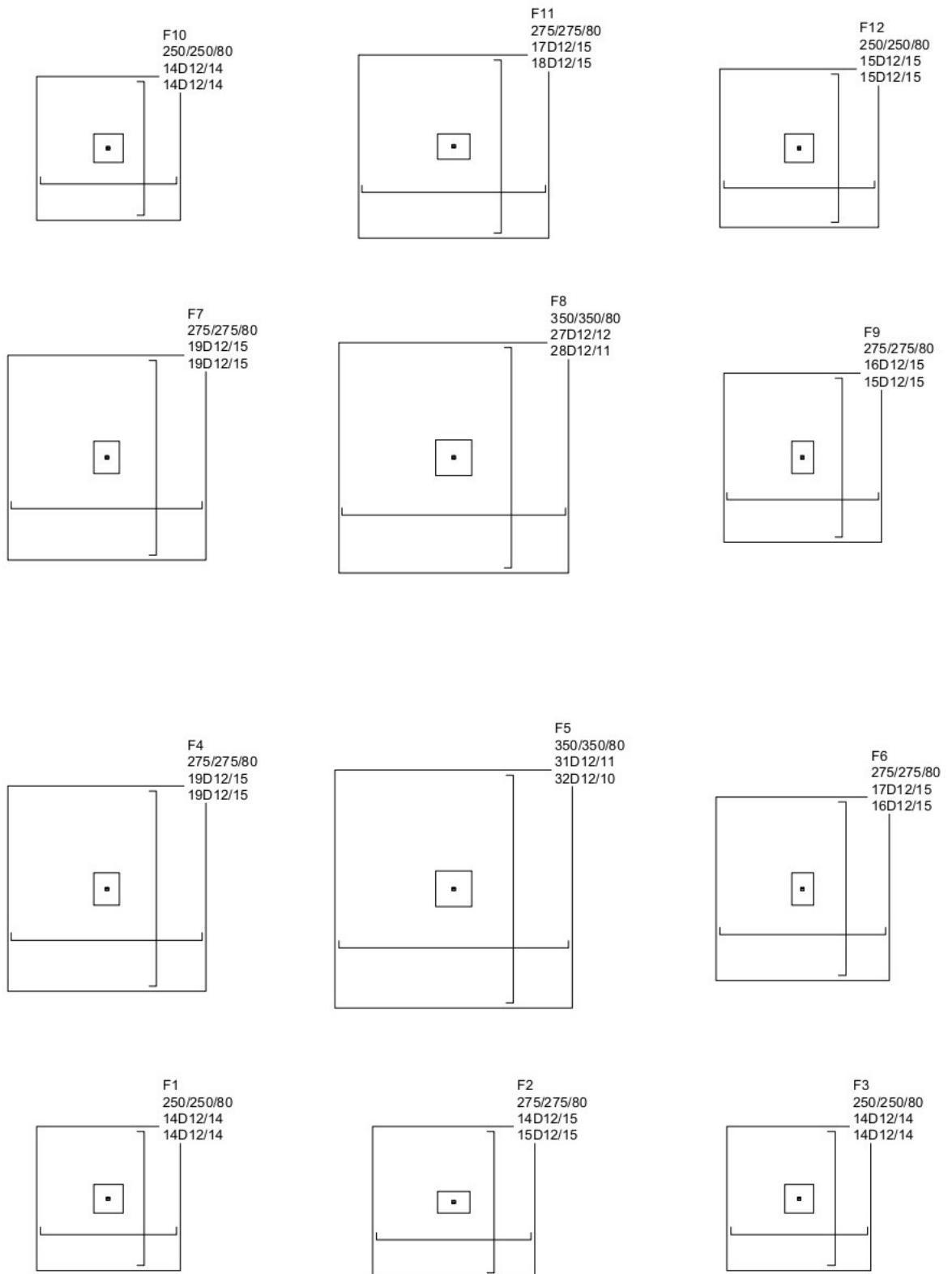


Εικόνα 6. 1: Κάτοψη ισογείου και τυπικού ορόφου κλ.1/100

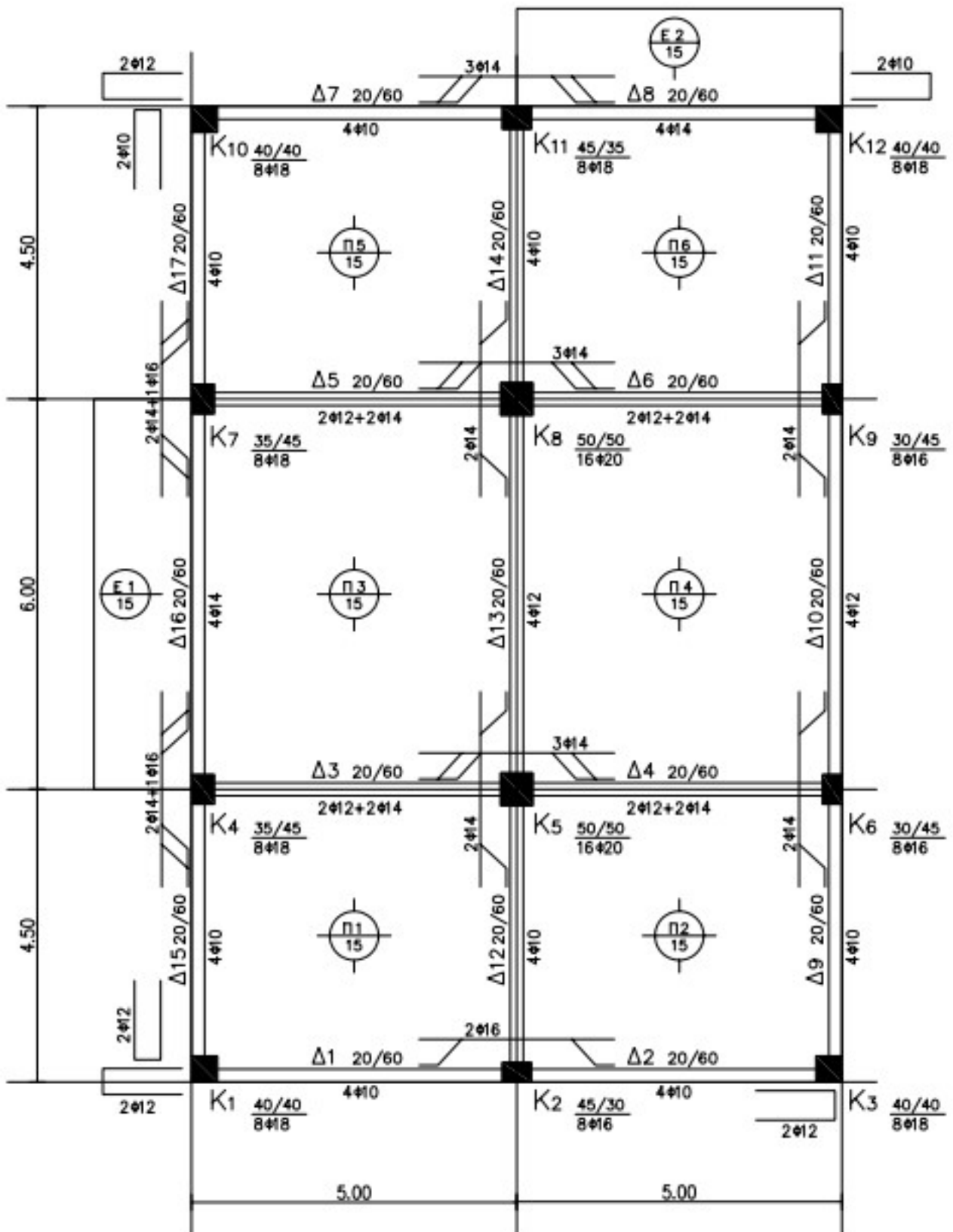


*Εικόνα 6.2: Τομή κλ. 1/100*

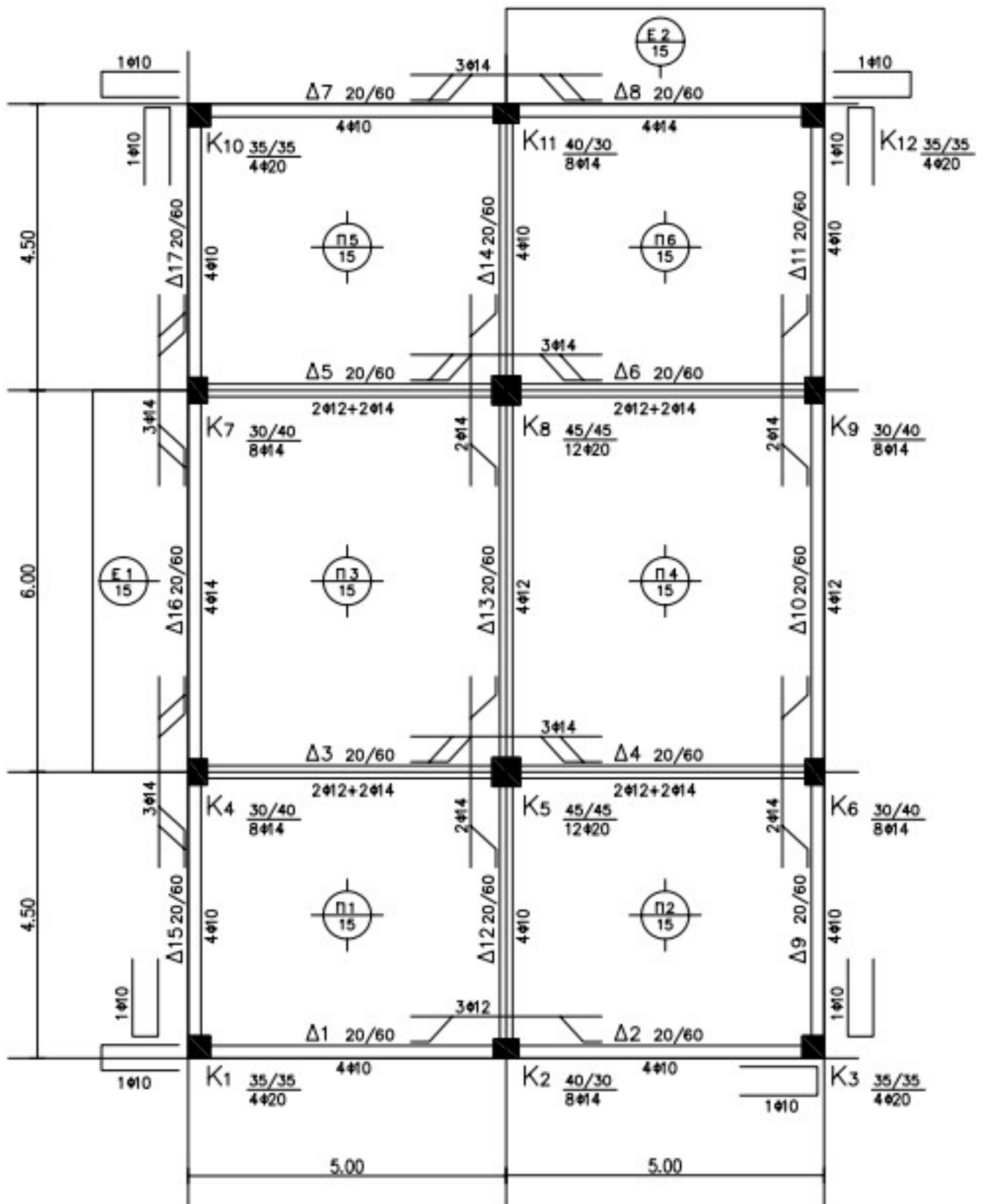




*Εικόνα 6.3: Θεμελίωση (μεμονωμένα πέδιλα)*



Εικόνα 6.4: Ξυλότυπος ισογείου κλ. 1/100



Εικόνα 6.5: Ξυλότυπος Α' ορόφου (τυπικός) κλ.1/100

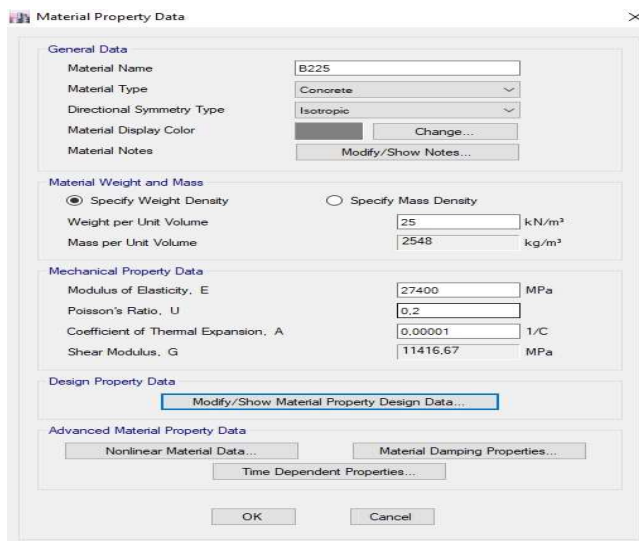
## 6.2. Υλικά Δόμησης ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η ποιότητα σκυροδέματος που προέβλεπε η μελέτη ήταν κατηγορίας B225. Μετά από συνδυασμό έμμεσων μεθόδων και πυρηνοληψίας και για στάθμη αξιοπιστίας γεωμετρικών δεδομένων «Ικανοποιητική» προέκυψαν τα παρακάτω:

Μέση τιμή αντοχής σκυροδέματος  $F_{cm} = 25,00$  MPa

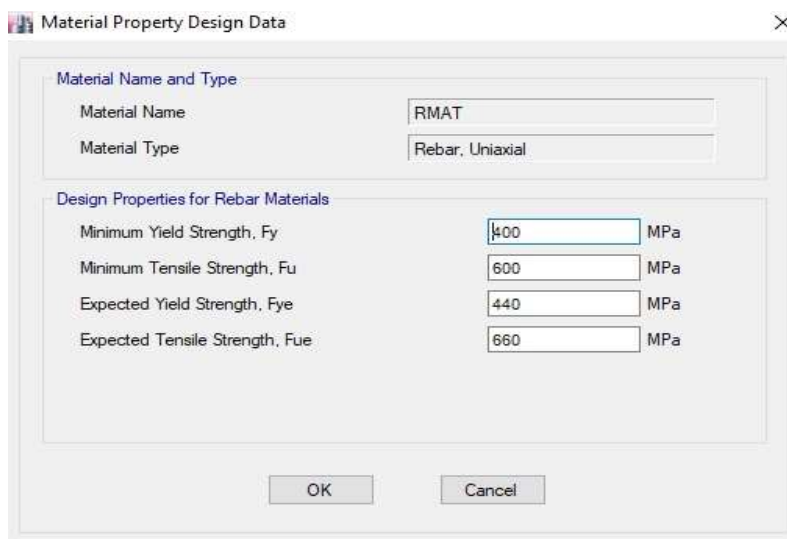
Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος  $F_{ck} = 16,00$  MPa

Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος  $E = 27.400,00$  MPa



Εικόνα 6.6: Οι χαρακτηριστικές τιμές σκυροδέματος σε περιβάλλον ETABS

Ο χάλυβας οπλισμού που προέβλεπε η μελέτη ήταν κατηγορίας St III με νευρώσεις ύστερα από οπτική επιθεώρηση και για στάθμη αξιοπιστίας γεωμετρικών δεδομένων «Ικανοποιητική» θα ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά αντοχής της κατηγορίας S400 σύμφωνα με τους κανονισμούς οπότε έχουμε:



Εικόνα 6.7: Οι χαρακτηριστικές τιμές χάλυβα σε περιβάλλον ETABS

Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα  $F_{yk} = 400,00 \text{ MPa}$

Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα  $E = 200.000,00 \text{ MPa}$  Οι τοίχοι πλήρωσης ελέγχθηκαν για στάθμη αξιοπιστίας γεωμετρικών δεδομένων «Ικανοποιητική» οπότε μετά από εργαστηριακές δοκιμές προέκυψαν οι παρακάτω τιμές αντοχής οπτόπλινθων και κονιαμάτων:

Μέση θλιπτική αντοχή οπτόπλινθου  $F_{bc} = 5,00 \text{ MPa}$

Μέση αντοχή κονιάματος  $F_{mc} = 3,00 \text{ MPa}$

Σύμφωνα όμως με την παράγραφο §7.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. κατά την αποτίμηση πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η παρουσία των τοίχων με πάχος μεγαλύτερο από 0.10 m. Και στα σημεία που δεν υπάρχουν ανοίγματα ή είναι σχετικά μικρά παράθυρα. Επομένως η προσομοίωση θα γίνει με θλιβόμενες αμφιαρθρωτές ράβδους κατά τη διεύθυνση κάθε σεισμού. Όποτε η μέση θλιπτική αντοχή κατά τη διεύθυνση της διαγώνιου  $F_{wc,sm}$  δίνεται από τον τύπο  $F_{wc,sm} = F_v \cdot F_{bc}^{0,7} \cdot F_{mc}^{0,3}$  Όπου μέση διατμητική τάση  $F_v = 0,45 \text{ MPa}$ .

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα της εξίσωσης προκύπτει ότι  $F_{wc,sm} = 1,93 \text{ MPa}$

Η ακραία μέγιστη τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  που προκύπτει από την διερεύνηση είναι 2.000 MPa και η ακραία ελάχιστη είναι 1.000 MPa.

Το ισοδύναμο πάχος  $t$  είναι ίσο με 0.25 m. Όπου είναι ίδιο με το αντίστοιχο πάχος της τοιχοποιίας. Και τέλος το ισοδύναμο ύψος  $b$  που δίνεται από τον τύπο  $b = 0,15 \cdot L$ . Εδώ έχουμε δύο περιπτώσεις μια για  $L = 4,50 \text{ m}$  και μια για

$L = 5,00 \text{ m}$  όπου αν αντικαταστήσουμε έχουμε ότι στην πρώτη περίπτωση για  $L = 4.50 \text{ m}$   $b = 0,675 \text{ m}$  και στην δεύτερη περίπτωση για  $L = 5,00 \text{ m}$   $b = 0,75 \text{ m}$ .

### 6.3 Διερεύνηση Εδάφους Θεμελίωσης ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Έγινε διερεύνηση του εδάφους θεμελίωσης και ύστερα από έρευνα προέκυψε ότι η προηγούμενη συμπεριφορά της θεμελίωσης ήταν καλή. Από τη συλλογή πληροφοριών έχουμε ότι τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους θεμελίωσης αποτελούνται από αμμώδη άργιλο με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Φαινόμενο βάρος  $\gamma = 21 \text{ KN/m}^2$

Συνοχή  $c' = 10 \text{ KPa}$

Γωνία διατμητικής αντίστασης  $\varphi' = 27^\circ$

Μέτρο συμπίεσης  $E = 12 \text{ MPa}$

Όμως σε βάθος 10,00 m από τη στάθμη θεμελίωσης εμφανίζεται αργιλώδες αμμοχάλικο με τα εξής χαρακτηριστικά:

Φαινόμενο βάρος  $\gamma = 21 \text{ KN/m}^2$

Συνοχή  $c' = 0 \text{ KPa}$

Γωνία διατμητικής αντίστασης  $\varphi' = 35^\circ$

Μέτρο συμπίεσης  $E = 35 \text{ MPa}$

## ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ-ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Τα φορτία του κτιρίου φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Επικάλυψη δαπέδων	1,50 KN/m <sup>2</sup>
Επικάλυψη εξωστών	1,00 KN/m <sup>2</sup>
Επικάλυψη δώματος	2,00 KN/m <sup>2</sup>
Κινητό φορτίο δαπέδων	2,00 KN/m <sup>2</sup>
Κινητό φορτίο εξωστών	5,00 KN/m <sup>2</sup>
Κινητό φορτίο δώματος	1,00 KN/m <sup>2</sup>

Πίνακας 1: Φορτία κτιρίου

Οι παρακάτω παραδοχές ελήφθησαν υπόψιν κατά τη διάρκεια εισαγωγής του κτιρίου σε περιβάλλον ETABS:

Το ίδιο βάρος του σκυροδέματος 25,00 KN/m<sup>3</sup> υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

Το ίδιο βάρος των εσωτερικών δρομικών τοίχων νοείται ως επιφανειακώς κατανεμημένο και έχει συμπεριληφθεί στο βάρος της επικάλυψης δαπέδων.

Το ίδιο βάρος των περιμετρικών μπατικών τοίχων είναι ίσο με 3,60 KN/m<sup>2</sup> οπότε αφού λάβουμε υπόψη το καθαρό άνοιγμα μεταξύ πλάκας και δοκού ισχύει ότι:  $3,60 \cdot (3,00-0,60) = 8,64$  KN/m<sup>2</sup>

Η πλάκα του ισογείου εδράζεται αποκλειστικά στο φυσικό έδαφος, οπότε όλα τα φορτία αυτής δεν επιδρούν στο φέροντα οργανισμό και δεν λαμβάνονται υπόψιν.

## ΦΑΣΜΑ EC8 ΚΑΙ ΛΟΙΠΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι τιμές του φάσματος του ευρωκώδικα 8:

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας A Αθήνα	$a_{gr} = 0,16g$
Κατηγορία σπουδαιότητας II κατοικία	$\gamma_i = 1,00$
	$T_B = 0,15 s$
Κατηγορία εδάφους B	$T_C = 0,50 s$
	$T_D = 2,50 s$
	$S = 1,20$
Απόσβεση $\zeta$	5,00 %
Συντελεστής συμπεριφοράς $q$	1,70

Πίνακας 2: στοιχεία φάσματος κατά EC8

Η επιλογή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  έγινε βάσει του πίνακα 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ για κτίριο κατασκευής < 1985 χωρίς ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία και με ευμενή παρουσία τοιχοπληρώσεων.

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής)	Ευμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων (1)		Δυσμενής (γενικώς) παρουσία τοιχοπληρώσεων (1)	
	Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία		Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία	
	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι
1995<...	3,0	2,3	2,3	1,7
1985<...<1995(2)	2,3	1,7	1,7	1,3
...<1985	1,7	1,3	1,3	1,1

Εικόνα 6.8: Πίνακας Σ4.4 ΚΑΝ.ΕΠΕ.[14]

Στο κτίριο λαμβάνεται υπόψη η άκαμπτη διαφραγματική λειτουργία σε κάθε στάθμη.

Οι κόμβοι λαμβάνονται στο σύνολο τους ως άκαμπτοι

Η επιβατική τιμή δυσκαμψίας στη διαρροή των φερόντων στοιχείων και σύμφωνα με το κεφάλαιο 7 του ΚΑΝ.ΕΠΕ λαμβάνεται ως 0.30 της αρχικής για τα υποστυλώματα και ως 0.20 της αρχικής για τις δοκούς. Επίσης η στρεπτική δυσκαμψία λαμβάνεται μειωμένη με συντελεστή 0.10.

Η μάζα του κτιρίου προκύπτει από τον συνδυασμό

$$G + 0,30 \cdot Q$$

Οι εννέα συνδυασμοί φορτίσεων που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι παρακάτω:

$$1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q$$

$$G + 0,30 \cdot Q + E_x + 0,30 \cdot E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q - E_x + 0,30 \cdot E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q + E_x - 0,30 \cdot E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q - E_x - 0,30 \cdot E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q + 0,30 \cdot E_x + E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q - 0,30 \cdot E_x + E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q + 0,30 \cdot E_x - E_y$$

$$G + 0,30 \cdot Q - 0,30 \cdot E_x - E_y$$

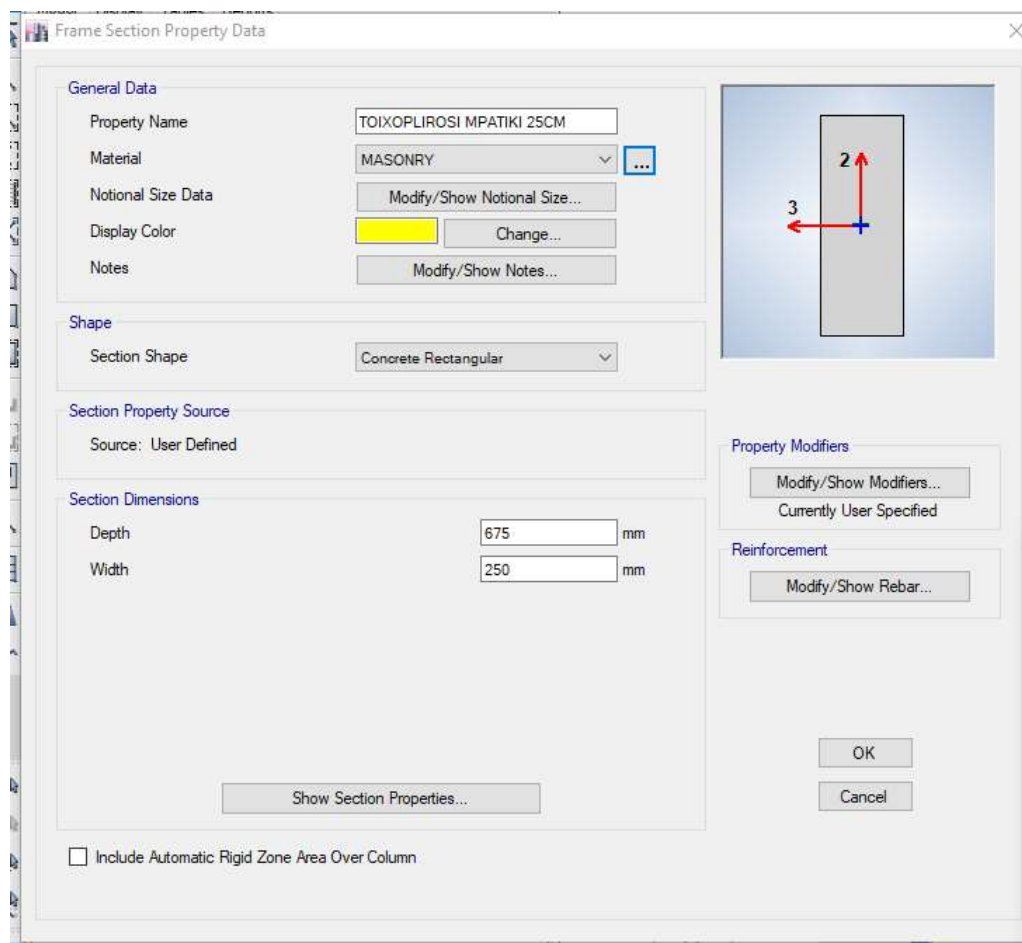
## 6.4 Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου με την Τοιχοπλήρωση

Θα προηγηθεί αποτίμηση του κτιρίου στην υφιστάμενη κατάσταση συμπεριλαμβανομένης της τοιχοπλήρωσης κατά ΚΑΝΕΠΕ. Δεν έχει συμπεριληφθεί η τοιχοποιία η οποία έχει μεγαλύτερα ανοίγματα από αυτά που ορίζει ο ΚΑΝΕΠΕ. Η τοιχοποιία έχει προσομοιωθεί με διαγώνιους συνδέσμους (δοκούς) από άοπλο σκυρόδεμα ποιότητας 1,93 MPA και διαστάσεων 25\*67,5 και 25\*75 cm. Το πρόγραμμά που έχει επιλεγεί για την αποτίμηση είναι το ETABS. Μεσώ του Etabs θα πραγματοποιηθεί δυναμική φασματική ανάλυση και θα εξαχθούν:

τα δρώντα εντατικά μεγέθη.

Οι μετατοπίσεις

οι ιδιόμορφες και ιδιοπερίοδοι του κτιρίου



Εικόνα 6.9 : Μέγεθος διατομής Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης.

Οι δείκτες ανεπάρκειας λ θα υπολογιστούν με δυο λογισμικά, αρχικά με το Etabs και μετά θα πραγματοποιηθεί επιβεβαίωση με το Scada. Τα δεδομένα θα εξαχθούν σε υπολογιστικά φύλλα EXCEL και θα υπολογιστούν. Το ίδιο θα πραγματοποιηθεί και με τους δείκτες ανεπάρκειας διάτμησης μεσώ υπολογιστικών φύλλων EXCEL.

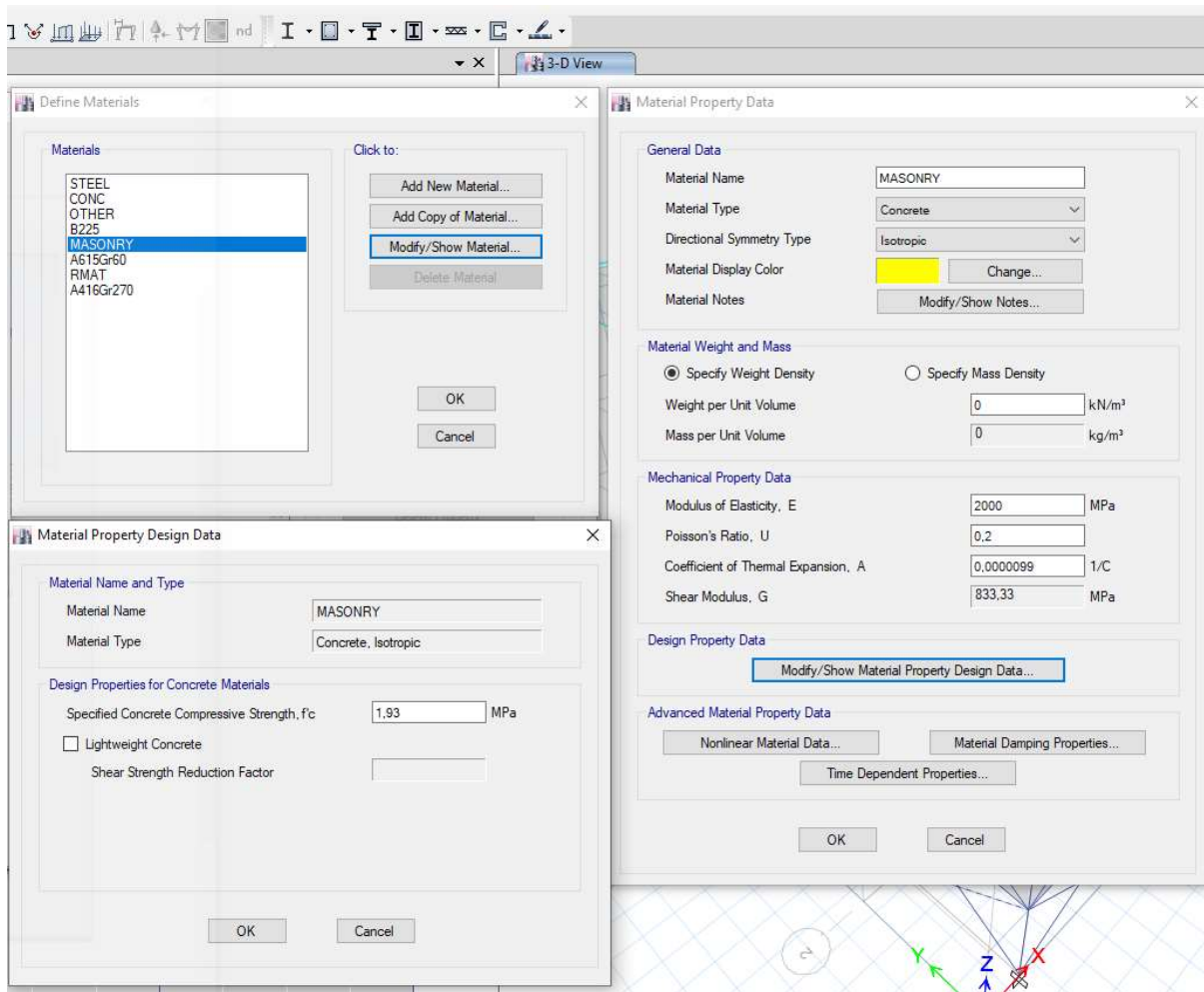
Τα δεδομένα που θα εξαχθούν και θα χρησιμοποιηθούν για την τεχνική σύγκρισή της υφιστάμενης και ενισχυμένης με αποσβεστήρες κατασκευής είναι:



Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος – ιδιόμορφη του κτιρίου καθώς και οι σημαντικότερες ιδιόμορφες του κτιρίου.

Η μέγιστη μετατόπιση οροφής και οι σχετικές μετατοπίσεις οροφών (interstory drifts)

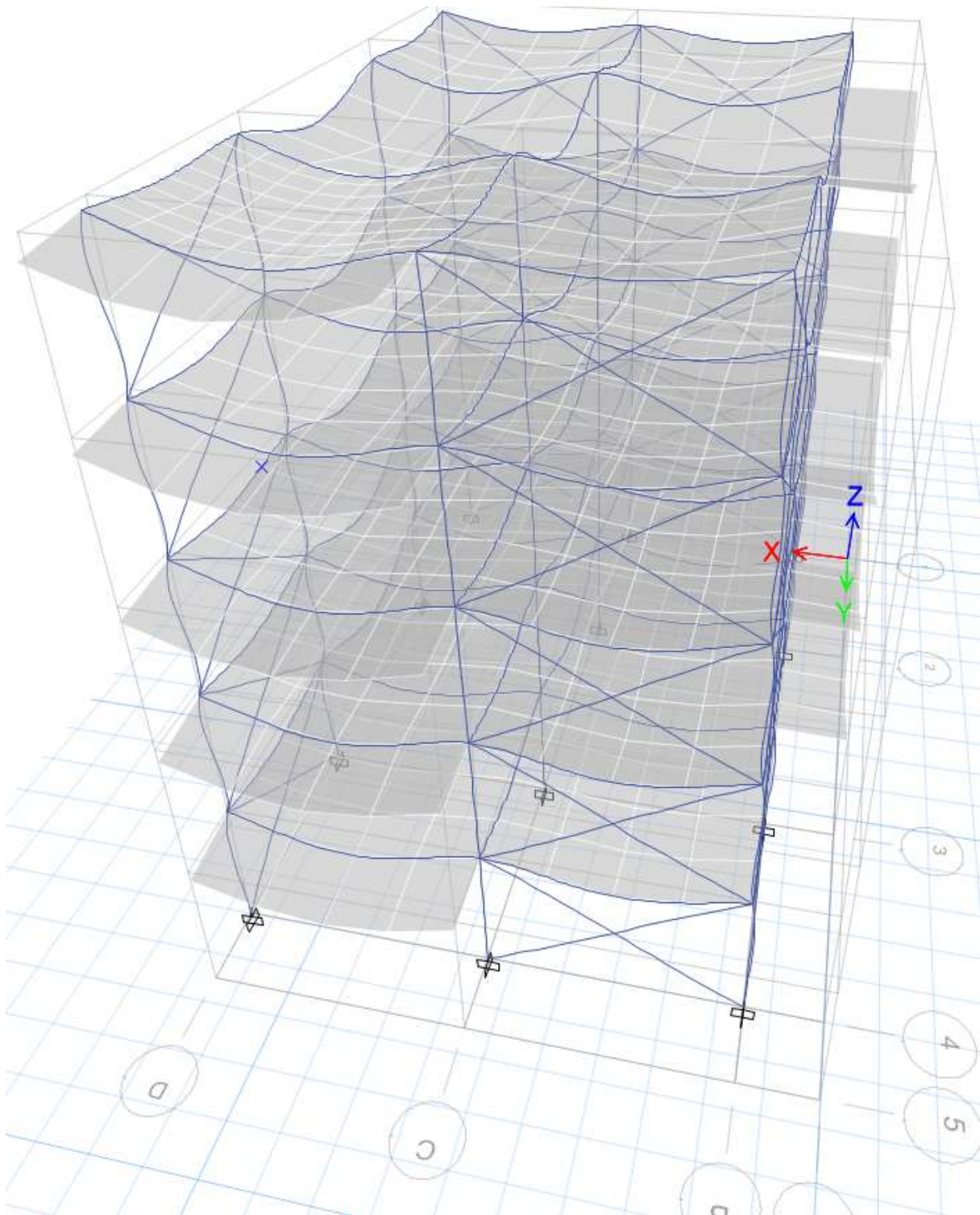
Οι δείκτες ανεπάρκειας  $\lambda$  στη βάση των υποστυλωμάτων του ισογείου που είναι και οι δυσμενέστεροι τόσο όσο αφορά την ροπή κάμψης (M), όσο και την τέμνουσα διάτμησης (V).



Εικόνα 6.10 : Ιδιότητες υλικών τοιχοπλήρωσης.

Έγινε ανάλυση του φορέα μας στο λογισμικό και βρέθηκε η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου:

$$T = 0,609 \text{ sec}$$



Εικόνα 6.11 : Τρισδιάστατη απεικόνιση προσομοιώματος κτιρίου στο Etabs μετά την αρχική ανάλυση

Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
1	0,609	0,2578	0,4854	0	0,2578	0,4854
2	0,554	0,4998	0,3209	0	0,7576	0,8063
3	0,35	0,0878	0,0238	0	0,8454	0,8301
4	0,203	0,0423	0,0678	0	0,8878	0,8979
5	0,187	0,0603	0,0555	0	0,9481	0,9534
6	0,121	0,003	0,0047	0	0,9511	0,9581
7	0,12	0,022	0,01	0	0,9731	0,9681
8	0,112	0,0119	0,0179	0	0,985	0,986
9	0,093	0,0053	0,0038	0	0,9903	0,9898
10	0,087	0,0037	0,0067	0	0,994	0,9965
11	0,081	0,0016	0,001	0	0,9955	0,9975
12	0,076	0,0009	0,0017	0	0,9964	0,9991
13	0,074	0,0026	0,0006	0	0,999	0,9998
14	0,058	0,0008	0,0002	0	0,9998	1
15	0,052	0,0002	3,732E-05	0	1	1

Εικόνα 6.12 : Ιδιόμορφες και ιδιοπερίοδοι

Οι σημαντικότερες ιδιόμορφες του κτιρίου όπως προέκυψαν από την ανάλυση του λογισμικού ETABS *Display => show tables => Modal Participating Mass Ratios*

Η μέγιστη μετατόπιση της οροφής βρέθηκε έπειτα από εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε υπολογιστικό φύλλο EXCEL από τις σχετικές μετατοπίσεις των οροφών για τους άξονες x και y κατά απόλυτη τιμή.

Η μέγιστη μετατόπιση βρέθηκε 39,221 mm για τους σεισμικούς συνδυασμούς COMB\_max 1,2,3,4 κατά X και 34,132 mm για τους σεισμικούς συνδυασμούς COMB\_min 5, 6,7,8.

Tabulated Plot Coordinates

Story Response Values

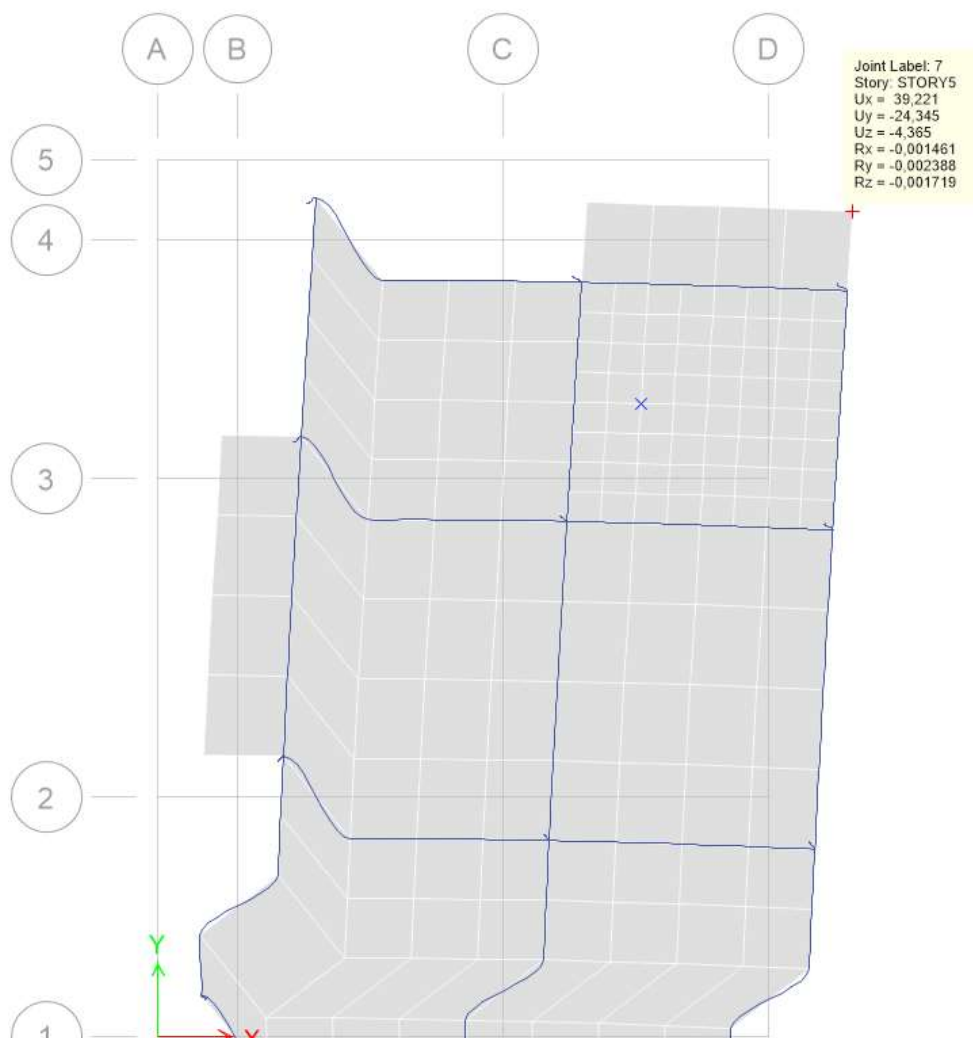
Story	Elevation m	Location	X-Dir mm	Y-Dir mm
STORY5	15	Top	39,221	22,787
STORY4	12	Top	34,527	19,909
STORY3	9	Top	27,325	15,822
STORY2	6	Top	18,398	10,407
STORY1	3	Top	8,534	4,757
BASE	0	Top	0	0

Tabulated Plot Coordinates

Story Response Values

Story	Elevation m	Location	X-Dir mm	Y-Dir mm
STORY5	15	Top	28,396	34,132
STORY4	12	Top	25,294	29,475
STORY3	9	Top	20,225	22,875
STORY2	6	Top	13,74	15,079
STORY1	3	Top	6,411	6,823
BASE	0	Top	0	0

Εικόνα 6.13 : Πίνακες μέγιστης μετατοπίσεως κατά x και y



Εικόνα 6.14 : Σημείο μέγιστης μετατοπίσεως

Παρομοίως γίνεται ανάλυση για τα δεδομένα των σχετικών μετατοπίσεων των οροφών και εισάγονται σε φύλλο εργασίας EXCEL.

Οι μέγιστες σεισμικές μετατοπίσεις προκύπτουν για τον 5ο σεισμικό συνδυασμό (  $G + 0.30Q + 0.30E_x + E_y$  ) οι οποίες παρατίθενται παρακάτω.

Μέγιστες Σχετικές μετατοπίσεις (mm)	Όροφοι
29,498	4-5
25,602	3-4
19,975	2-3
13,247	1-2
6,046	0-1

## 6.5. Δείκτες ανεπάρκειας λ ροπών κάμψης και τέμνουσών

Παρακάτω θα γίνει υπολογισμός των δεικτών ανεπάρκειας λ για τις μέγιστες ροπές και τέμνουσες δυνάμεις. Το λογισμικό Etabs δεν μπορεί να υπολογίσει τον συγκεκριμένο δείκτη και για αυτό θα πραγματοποιηθεί αποτίμηση με το πρόγραμμα SCADA PRO 18. Ο φορέας εισήχθη εξ αρχής με τις διατομές και τον οπλισμό του καθώς και τις ιδιότητες των υλικών των υποστυλωμάτων και των δοκών. Οι συντελεστές ασφαλείας επιλέχθηκαν ως "ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ" για την στάθμη αξιοπιστίας των δεδομένων που αφορά το σκυρόδεμα και τον χάλυβα. Συγκεκριμένα για το σκυρόδεμα το  $\gamma_c = 1.50$  και για τον χάλυβα  $\gamma_s = 1.15$  σύμφωνα με το άρθρο 4.5.3. του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017 2η Αναθεώρηση.

Κατά το άρθρο 5.5.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ για να υπάρχει επάρκεια θα πρέπει ο δείκτης  $\lambda = M_{sd}/M_{rd} < 1$  προκειμένου το κτίριο να επαρκεί όσον αφορά την καταπόνηση από ροπές κάμψης καθώς και  $\lambda = V_{sd}/V_{rd} < 1$  όσον αφορά την καταπόνηση από τις τέμνουσες. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το SCADA PRO 2018. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα μισά υποστυλώματα του ισόγειου είναι ανεπαρκή, πράγμα το οποίο δείχνει την ιδιαίτερη ανεπάρκεια του κτιρίου βάση των σημερινών κανονισμών.

Ακολουθούν οι πίνακες ροπών κάμψης

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	Δείκτης Ανεπάρκειάς λ
K1	1,29
K2	0,59
K3	0,69
K4	1,14
K5	0,60
K6	0,94
K7	0,91
K8	0,55
K9	1,87
K10	1,30
K11	1,19
K12	1,24

Πίνακας 6.15. Δείκτες ανεπάρκειας ροπών κάμψης λ για τα υποστυλώματα ισόγειου του κτιρίου

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα για τις τέμνουσες σύμφωνα με τον ΚΑΝ. ΕΠΕ. Αξιοσημείωτο είναι ότι υπάρχει επάρκεια σε όλα τα υποστυλώματα στο ισόγειο.

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ</b>	<b>Δείκτης Ανεπάρκειάς λ</b>
<b>K1</b>	<b>0,30</b>
<b>K2</b>	<b>0,40</b>
<b>K3</b>	<b>0,49</b>
<b>K4</b>	<b>0,51</b>
<b>K5</b>	<b>0,36</b>
<b>K6</b>	<b>0,81</b>
<b>K7</b>	<b>0,64</b>
<b>K8</b>	<b>0,44</b>
<b>K9</b>	<b>0,78</b>
<b>K10</b>	<b>0,63</b>
<b>K11</b>	<b>0,87</b>
<b>K12</b>	<b>0,57</b>

*Πίνακας 6.16. Δείκτες ανεπάρκειας τεμνουσών λ για τα υποστυλώματα ισογείου του κτιρίου*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

### 7.1 ΕΠΕΜΒΑΣΗ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Οι περισσότερες ενισχύσεις σήμερα απαιτούν την ολική ανακατασκευή του κτιρίου, την απομάκρυνση των ενικών καθώς και την αλλαγή των διατομών των υποστυλωμάτων εις βάρος της ωφέλιμης επιφάνειας των χώρων. Επίσης πολύ σημαντική είναι και η αποκατάστασή των μη δομικών στοιχείων τα οποία θα καταστραφούν κατά τη διάρκεια της επέμβασης (πλακάκια, τοιχοποιίες, σοβάδες, χρωματισμοί κλπ.). Οι παραπάνω επεμβάσεις ανεβάζουν αισθητά τον χρόνο παράδοσης καθώς και το κόστος της επέμβασης σε βάρος του ιδιοκτήτη και ενίοτε και των ενοίκων του ακινήτου. Παρακάτω θα εξετάσουμε δυο διαφορετικούς τύπους ενίσχυσης με δύο διαφορετικά λογισμικά.

Αρχικά θα ενισχύσουμε το κτίριο με εξωσκελετό και διαγώνιους συνδέσμους απο χάλυβα και θα πραγματοποιήσουμε έλεγχο με το πρόγραμμα SCADA PRO 18. Αντίστοιχη ενίσχυση έχει πραγματοποιηθεί με επιτυχία στα κτίρια του αμερικανικού κολεγίου DEREΕ στην Αγία Παρασκευή φωτογραφίες του οποίου παρατίθενται παρακάτω. Ο εξωσκελετός θα ακυρωθεί στα υφιστάμενα υποστυλώματα καθώς και πέδιλα από το ισόγειο μέχρι την οροφή του 4ου ορόφου για τα κάθετα στοιχεία και στα δοκάρια για τα οριζόντια, ενώ θα τοποθετηθεί μονό σε συγκεκριμένα ανοίγματα οπου δεν δημιουργεί λειτουργικά προβλήματα ( παράθυρα – μπαλκονόπορτες κλπ). Ο τρόπος ένωσης με τα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος είναι μεσώ χημικών βυσμάτων, αφού προηγηθεί σάρωση του στοιχείου ωπλισμένου σκυροδέματος ώστε να αποφευχθεί πιθανός τραυματισμός των οπλισμών του.



*Εικόνα 7.1 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο αγκυρωμένος επί στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος με χημικά βύσματα.*



*Εικόνα 7.2 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο. Διακρίνεται η επιλογή που έχει γίνει σε συγκεκριμένα ανοίγματα τα οποία δεν διαταράσσουν την λειτουργία του κτιρίου.*





*Εικόνα 7.3. εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο. Διακρίνεται η ένωση των διαγώνιων στοιχείων με τα κάθετα και τα κατακόρυφα. Στην προκείμενη περίπτωση έχει επιλεγεί η ηλεκτροσυγκόλληση.*



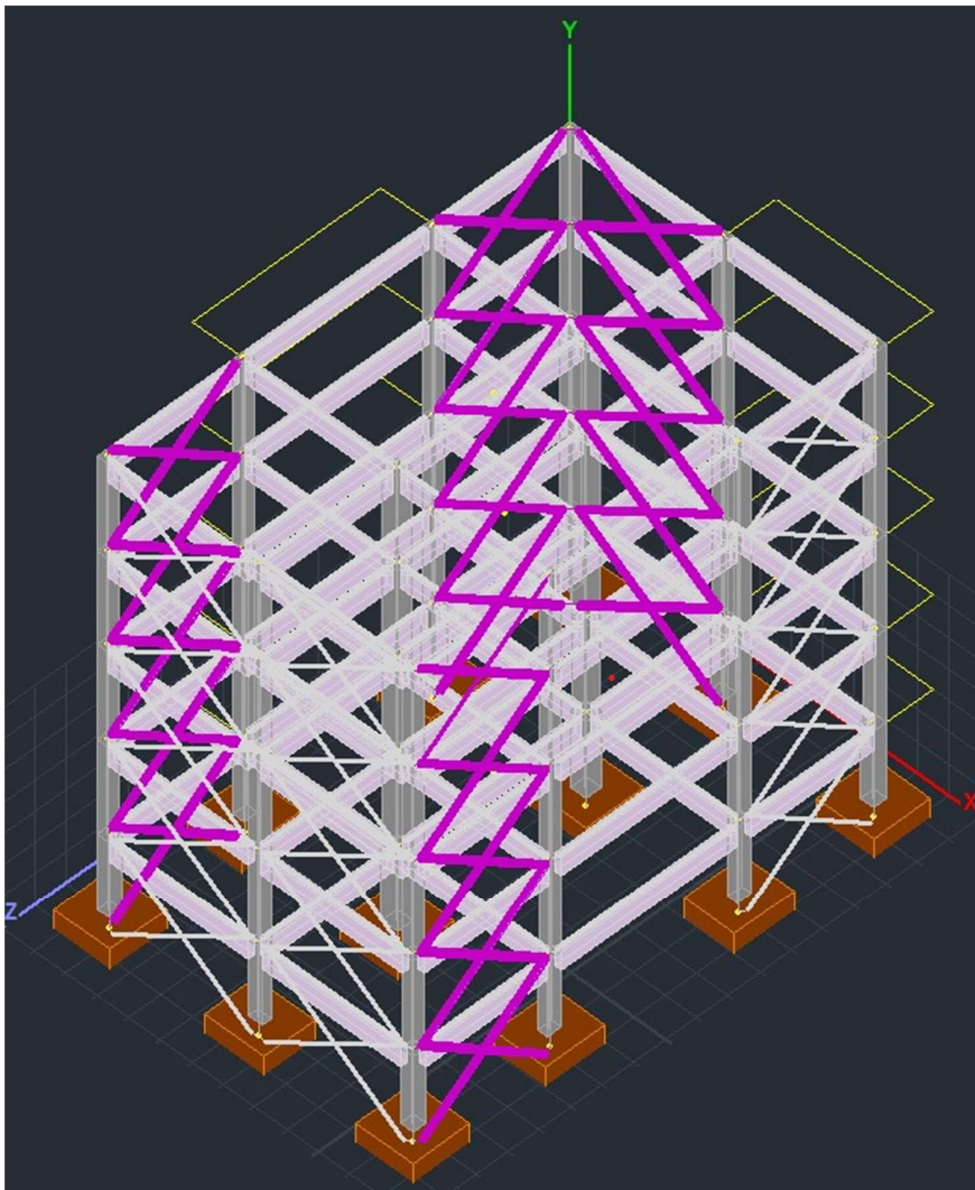
*Εικόνα 7.4 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο. Διακρίνεται η ένωση των διαγώνιων στοιχείων με τα κάθετα και τα κατακόρυφα καθώς και η αγκύρωση του μεταλλικού στοιχείου στην θεμελίωση. Στην προκείμενη περίπτωση έχει επιλεγεί η ηλεκτροσυγκόλληση.*



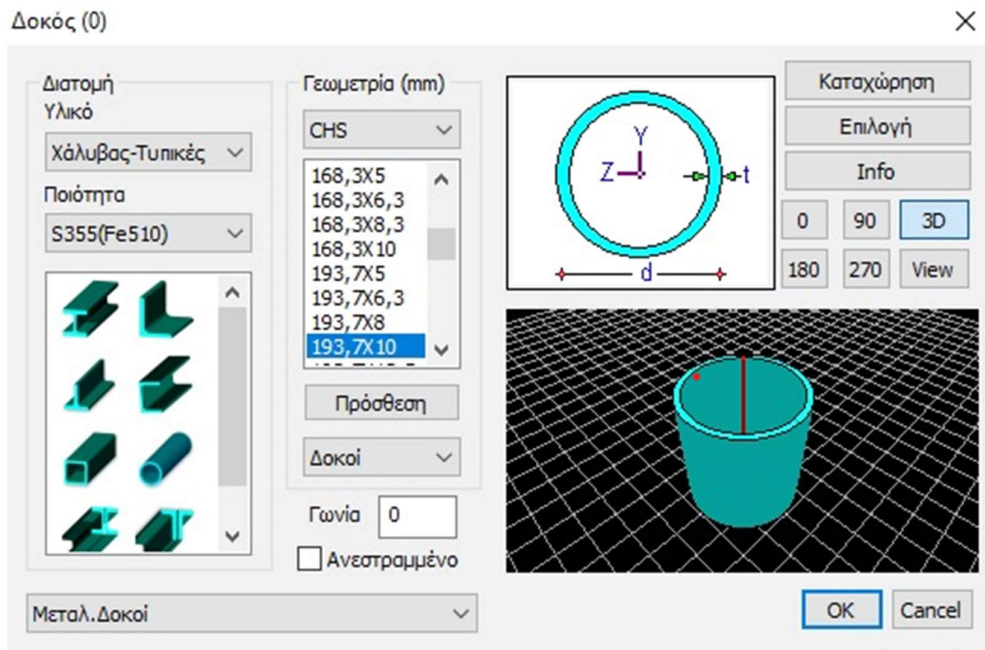
*Εικόνα 7.5 εξωσκελετός σε υφιστάμενο κτίριο καθώς και αποσβεστήρας. Ο εξωσκελετός έχει ακυρωθεί τοπικά στην συμβολή υποστυλωμάτων και δοκών με μεταλλικές φλάντζες.*

## 7.2 Εισαγωγή εξωσκελετού στο κτίριο, εντοπισμός βέλτιστης τοποθεσίας.

Η ενίσχυση έγινε μόνο στα τέσσερα ανοίγματα που ήταν εφικτή η ενίσχυση χωρίς να διαταράξει τη λειτουργία του κτιρίου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Συγκεκριμένα, ενισχύθηκαν τα ανοίγματα μεταξύ των υποστυλωμάτων K1-K4, K7-K10, K10-K11 και K3-K6. Η ενίσχυση με εξωσκελετό πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SCADA PRO 18 και έγιναν αρκετές δοκιμές μέχρι να βρεθούν οι κατάλληλες διατομές με τις οποίες το κτίριο ήταν πλέον θωρακισμένο και ενισχυμένο σε βαθμό που ικανοποιούσε τις απαιτήσεις του ΚΑΝ. ΕΠΕ. Συγκεκριμένα, οι διατομές οι οποίες κριθήκαν ικανοποιητικές ήταν οι CHS 193,7 X10, κοινώς μια χαλύβδινη κυκλική δοκός διαμέτρου 200mm και πάχους 10mm. Επιλέχθηκε κυκλική διατομή επειδή έχει την ίδια ροπή αδράνειας σε όλες τις διευθύνσεις.



Εικόνα 7.6. Φορέας στο SCADA PRO με την ενίσχυση με εξωσκελετό και διαγώνιους μεταλλικούς συνδέσμους.



Εικόνα 7.7. Φορέας στο SCADA PRO. Επιλεγμένη διατομή ενίσχυσης με εξωσκελετό.

Οι απαιτούμενοι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό SCADA PRO 18 επικεντρώθηκαν σε:

- Μετωπικής πλάκας δοκού.
- Πέλματος δοκού σε θλίψη
- Κορμού και υποστυλώματος σε διάτμηση
- Κορμού στύλου σε θλίψη
- Κορμού στύλου σε εφελκυσμό
- Πέλματος στύλου σε κάμψη-άνω πέλμα δοκού
- Πέλματος στύλου σε κάμψη-κάτω πέλμα δοκού

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε όλα τα δομικά στοιχεία που θα τοποθετηθεί ο μεταλλικός εξωσκελετός πριν από την ενίσχυση. Μετά την ενίσχυση πραγματοποιήθηκε εκ νέου έλεγχος των διατομών και υπολογίστηκαν οι δείκτες ανεπάρκειας  $\lambda$  σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

### 7.3 Δείκτες ανεπάρκειας $\lambda$

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με τους δείκτες ανεπαρκείας  $\lambda$  όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό SCADA PRO 18. Στην σύγκριση με τους συντελεστές  $\lambda$  πριν την ενίσχυση είναι φανερή η διαφορά και εύκολα συμπεραίνει κάποιος την αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ <math>\lambda</math> ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΟ &amp; ΧΙΑΣΤΙ</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ <math>\lambda</math> ΜΗ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ</b>
--------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

	<b>ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ</b>	
<b>K1</b>	<b>0,12</b>	<b>1,29</b>
<b>K2</b>	<b>0,15</b>	<b>0,59</b>
<b>K3</b>	<b>0,15</b>	<b>0,69</b>
<b>K4</b>	<b>0,09</b>	<b>1,14</b>
<b>K5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,60</b>
<b>K6</b>	<b>0,13</b>	<b>0,94</b>
<b>K7</b>	<b>0,09</b>	<b>0,91</b>
<b>K8</b>	<b>0,08</b>	<b>0,55</b>
<b>K9</b>	<b>0,09</b>	<b>1,87</b>
<b>K10</b>	<b>0,10</b>	<b>1,30</b>
<b>K11</b>	<b>0,10</b>	<b>1,19</b>
<b>K12</b>	<b>0,11</b>	<b>1,24</b>

Πίνακας 7.8. : Δείκτες ανεπάρκειας λ ροπών κάμψης υποστυλωμάτων ισογείου

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΞΟΣΚΕΛΕΤΟ &amp;ΧΙΑΣΤΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ</b>
<b>K1</b>	<b>0,081</b>	<b>0,30</b>
<b>K2</b>	<b>0,097</b>	<b>0,40</b>
<b>K3</b>	<b>0,063</b>	<b>0,49</b>
<b>K4</b>	<b>0,053</b>	<b>0,51</b>
<b>K5</b>	<b>0,074</b>	<b>0,36</b>
<b>K6</b>	<b>0,067</b>	<b>0,81</b>
<b>K7</b>	<b>0,057</b>	<b>0,64</b>
<b>K8</b>	<b>0,066</b>	<b>0,44</b>
<b>K9</b>	<b>0,075</b>	<b>0,78</b>
<b>K10</b>	<b>0,051</b>	<b>0,63</b>
<b>K11</b>	<b>0,080</b>	<b>0,87</b>
<b>K12</b>	<b>0,076</b>	<b>0,57</b>

Πίνακας 7.9. : Δείκτες ανεπάρκειας λ τεμνουσών υποστυλωμάτων ισογείου

Από τους παραπάνω συντελεστές εύκολα συμπεραίνουμε την αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης και την ακαμψία που έχει το κτίριο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑ

#### 8.1 Ενίσχυση και έλεγχος του κτιρίου με ιξώδεις αποσβεστήρες (FLUID DAMPER)

Παραπάνω παραθέσαμε πληθώρα αποσβεστήρων οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση ενός κτιρίου. Στο δικό μας κτίριο αποφασίστηκε να ενισχυθεί με τους ιξώδεις αποσβεστήρες οι οποίοι είναι από τις πλέον δοκιμασμένες και αποτελεσματικές λύσεις. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί με το λογισμικό ETABS το οποίο διαθέτει πολλαπλές δυνατότητες για εισαγωγή αποσβεστήρων αρκετών τύπων.

Παρακάτω παραθέτουμε τους λόγους που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι αποσβεστήρες.

Η εφαρμογή ρευστών ιξωδών αποσβεστήρων είναι μία από τις πλέον συνιστώμενες σεισμικές μετασκευές. επιλογές για αποδοτικότητα και κατασκευαστική ευελιξία. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτείται μετασκευή θεμελίωσης, συντομεύοντας σημαντικά το χρονοδιάγραμμα κατασκευής και μειώνοντας το κόστος.

Σύμφωνα με την αμερικανική υπηρεσία FEMA:

*Η πρόθεση των σεισμικών αναβαθμίσεων που χρησιμοποιούν συμπληρωματικές διατάξεις διάχυσης ενέργειας, οι οποίες ονομάζονται επίσης αποσβεστήρες, είναι να μειωθεί το ποσό της παραμόρφωσης που προκαλείται στην κατασκευή κατά την απόκρισή της σε εδαφικό σεισμό. Από την άποψη αυτή, είναι παρόμοια με τις αναβαθμίσεις που επιτυγχάνονται μέσω της συνολικής δομικής δυσκαμψίας. Ωστόσο, αντί να εισάγει δυσκαμψία σε μια κατασκευή, αυτή η τεχνική αναβάθμισης μειώνει την παραμόρφωση μέσω της διάχυσης της ενέργειας μέσα σε μια σειρά συσκευών που εισάγονται στην κατασκευή ως μέρος της αναβάθμισης.*

Οι αποσβεστήρες ρευστού ιξώδους (FVD) παρέχουν μια ιδανική λύση για τη σεισμική αναβάθμιση εύκαμπτων κτιρίων. Εξυπηρετούν στη μείωση των λόγων ολίσθησης ορόφων (SDR) και συνεπώς της απαίτησης στις ευπαθείς συνδέσεις αυξάνοντας την απόσβεση στο σύστημα. Το κτίριο που προσομοιάζουμε είναι από τη φύση του εύκαμπτο όπως μας έδειξε και η ανάλυση και έτσι οι ιξώδεις αποσβεστήρες θα ενεργοποιούνται εύκολα από την κίνηση του κτιρίου.

Οι ιξώδεις αποσβεστήρες δεν προσθέτουν δυσκαμψία στο σύστημα και έτσι η περίοδος του κτιρίου θα παραμείνει αμετάβλητη. Για πιο εύκαμπτο κτίριο, αυτή η προσέγγιση μετασκευής θα διατηρήσει την περίοδο του κτιρίου μακριά από το οριζόντιο σημείο του φάσματος και συνεπώς θα περιορίσει τις σεισμικές δυνάμεις. Αντίθετα, όταν εφαρμόζονται στρατηγικές μετασκευής, οι οποίες αυξάνουν την πλευρική δυσκαμψία, η περίοδος του κτιρίου θα μετατοπιστεί προς το μεγιστό και έτσι θα οδηγήσει σε αύξηση της σεισμικής ζήτησης.

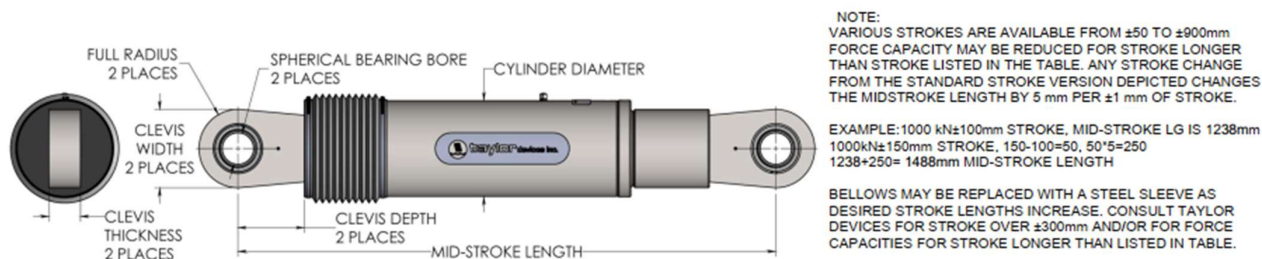
Η δύναμη στους ιξώδεις αποσβεστήρες εξαρτάται από την επιταχύνση και συνεπώς είναι κυρίως εκτός φάσης με τις αδρανειακές δυνάμεις του κτιρίου. Έτσι, η αύξηση της απαίτησης στα υφιστάμενα μέλη και τα θεμέλια είναι γενικά μικρότερη από τη συμβατική σεισμική αναβάθμιση. Οι ιξώδεις αποσβεστήρες μπορούν να διαστασιοποιηθούν για να περιοριστεί περαιτέρω τη δύναμη στους αποσβεστήρες και το κτίριο.

Η προσθήκη συμπληρωματικής απόσβεσης μειώνει τις μέγιστες επιταχύνσεις του δαπέδου- ορόφου και συνεπώς προστατεύει τα ευάλωτα, ευαίσθητα στην επιτάχυνση μη δομικά στοιχεία καθώς και το περιεχόμενο του κτιρίου.

Δεδομένου ότι η σεισμική ενέργεια διαχέεται από τους ξώδεις αποσβεστήρες, οι δομικές βλάβες μειώνονται ή εξαλείφονται. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα καλά σχεδιασμένα όλκιμα κτίρια για τα οποία η διάχυση ενέργειας γίνεται μέσω της μη γραμμικής συμπεριφοράς των όλκιμων στοιχείων. Για να επιτευχθεί αυτή η πλαστιμότητα, ο μηχανικός αποδέχεται τις αναπόφευκτες σχετικές ελεγχόμενες βλάβες.



**FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES  
CLEVIS – CLEVIS CONFIGURATION, METRIC UNITS**



FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)
250	17120	38.10	867	±75	43	33	102	83	114	41
500	17130	50.80	1067	±100	55	44	127	102	150	82
750	17140	57.15	1194	±100	59	50	152	129	184	136
1000	17150	69.85	1238	±100	71	61	184	150	210	193
1500	17180	76.20	1314	±100	77	67	203	162	241	250
2000	17170	88.90	1575	±125	91	78	235	191	285	408
3000	17180	101.60	1575	±125	117/111*	89	286/324*	228/210*	350	701
4000	17190	127.00	1880	±125	142	111	324	210	425	1225
6500	17200	152.40	2134	±125	152	121	350	305	515	1810
8000	17210	177.80	2293	±125	178	135	415	343	565	2495

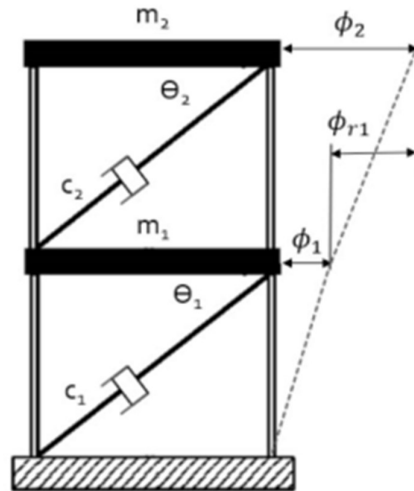
*Εικόνα 8.1 Ιδιότητες αποσβεστήρων της εταιρείας TAYLOR που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο λογισμικό ETABS*

**Προκαταρκτική διαστασιολόγηση αποσβεστήρων**

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση της δυναμικής απόκρισης μιας κατασκευής με πρόσθετη απόσβεση με τη χρήση γραμμικών διαδικασιών ή διαδικασιών ανάλυσης φάσματος απόκρισης (ΑΦΑ). Το ASCE 7-16 έχει τεκμηριωμένες διαδικασίες στο κεφάλαιο 18, ενότητα 18.7 Εναλλακτικές διαδικασίες με βάση τη μέθοδο της ενέργειας της διαμορφούμενης παραμόρφωσης. Το πηγαίο έγγραφο της ενότητας MCEER Technical Report 00-0010 περιγράφει διεξοδικά τη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου.

Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο απαιτείται μόνο μια διαμορφωτική ανάλυση και μια υποτιθέμενη διαμόρφωση απόσβεσης για τον προσδιορισμό ενός εννοιολογικού σχεδιασμού για τους επιθυμητούς στόχους απόδοσης. Γενικά, προσδιορίζεται μια εκτίμηση της συνολικής ισοδύναμης απόσβεσης για κάθε λειτουργία και εφαρμόζεται άμεσα στη φασματική απόκριση κάθε μορφής λειτουργίας για ανάλυση φάσματος απόκρισης.

Η συνολική ισοδύναμη απόσβεση κάθε μορφής λειτουργίας μπορεί να είναι προσεγγιστικά χρησιμοποιώντας την εξίσωση 6.1.2 παρακάτω, όπου  $W_j$  είναι η το έργο που επιτελείται από κάθε ιξώδη διάταξη σε έναν πλήρη κύκλο φόρτισης και  $W_k$  είναι η κινητική ενέργεια σε κάθε επίπεδο ορόφου:



**Εικόνα 8.2** Εξιδανίκευση συστήματος 2οροφών με υποτιθέμενη διαμόρφωση απόσβεσης και μεταβλητές μορφής Modal Shape

$$\zeta_{viscous} = \frac{\sum W_j}{4\pi \sum W_k} \quad 6.1.2$$

Όταν εξετάζονται γραμμικοί αποσβεστήρες, η ακόλουθη εξίσωση μπορεί να αντικατασταθεί όπου κάθε μεταβλητή είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 7.1.16:

$$\zeta_{viscous} = \frac{T \sum C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum m_k \phi_k^2}$$

Για τους ιξώδεις αποσβεστήρες που μοντελοποιούνται στο ETABS, μπορούν να παρέχονται γραμμικοί συντελεστές απόσβεσης και το ETABS θα χρησιμοποιήσει τη μέθοδο ενέργειας παραμόρφωσης για να εφαρμόσει συνολική ισοδύναμη ιξώδη απόσβεση για κάθε λειτουργία με βάση τη διαμόρφωση και τις ιδιότητες του αποσβεστήρα κατά τη διάρκεια της ανάλυσης του φάσματος απόκρισης (ΑΦΑ). Αυτές οι διαδικασίες σχεδιασμού και ανάλυσης είναι εκτός του πεδίου

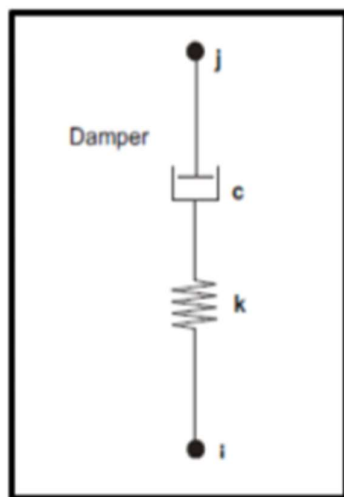


εφαρμογής του παρόντος. Ωστόσο, οι διαδικασίες αυτές είναι χρήσιμες για την προκαταρκτική διαστασιολόγηση σε όλα τα έργα.

### Ιδιότητες ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων στο Etabs

Οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες εξαρτώνται από την ταχύτητα και δεν παρουσιάζουν καμία δυσκαμψία παράλληλα με την απόσβεση εξόδου. Το αναλυτικό μοντέλο δεν χρειάζεται να περιλαμβάνει καμία ελαστική δυσκαμψία από τους αποσβεστήρες για τη δυναμική ανάλυση. Έχουν αναπτυχθεί απλοποιημένες διαδικασίες σχεδιασμού και ανάλυσης που μπορούν να χρησιμοποιούν "ισοδύναμη δυσκαμψία" για τους αποσβεστήρες, αλλά αυτή η δυσκαμψία δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική συμπεριφορά των διατάξεων.

Ο ορισμός των ιξωδών αποσβεστήρων στο ETABS ακολουθεί τη συστατική σχέση που ορίζεται στην εξίσωση 6.1.4, συν. μια σταθερά ελατηρίου σειράς,  $K$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5 παρακάτω. Οι ιδιότητες απόσβεσης βασίζονται στο μοντέλο ιξωδοελαστικότητας Maxwell που έχει έναν εκθετικό ιξώδη αποσβεστήρα σε σειρά με ένα γραμμικό ελατήριο, γνωστή και ως δυσκαμψία Maxwell.



$K$  = η σταθερά ελατηρίου σειράς (δυσκαμψία Maxwell)

$c$  = ο συντελεστής απόσβεσης

$\alpha$  = ο εκθέτης απόσβεσης

$d_k$  = η παραμόρφωση κατά μήκος του ελατηρίου

$d_c$  = ο ρυθμός παραμόρφωσης στον αποσβεστήρα

Συνολική μετατόπιση συνδέσμου,  $d = d_k + d_c$  (Εξ. 6.1.5)

**Εικόνα 8.3** Μοντέλο ελατηρίου κατά Maxwell

Συνολική δύναμη εξόδου συνδέσμου,  $f = k d_k = cd$  (Εξ. 6.1.6)

Η δυσκαμψία Maxwell αντικατοπτρίζει την ελαστική ευκαμψία της στήλης ρευστού των διατάξεων απόσβεσης και των μηχανισμών σύνδεσης,  $K_s$ , καθώς και του βραχίονα επέκτασης,  $K_{extender}$ , που χρησιμοποιείται συχνά για τη σύνδεση των αποσβεστήρων από έναν όροφο σε άλλον

Οι συνιστώσες της δυσκαμψίας από τον αποσβεστήρα και το βραχίονα επέκτασης δρουν σε σειρά, όπως φαίνεται στην εικόνα εξίσωση

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_e}$$

Η ελαστική ευκαμψία του αποσβεστήρα ποικίλλει ανάλογα με την ονομαστική δύναμη που μπορεί να μεταφερθεί. Η συνιστώσα της δυσκαμψίας από το βραχίονα θα πρέπει να προσδιορίζεται με βάση το μήκος και τις ιδιότητες της διατομής του

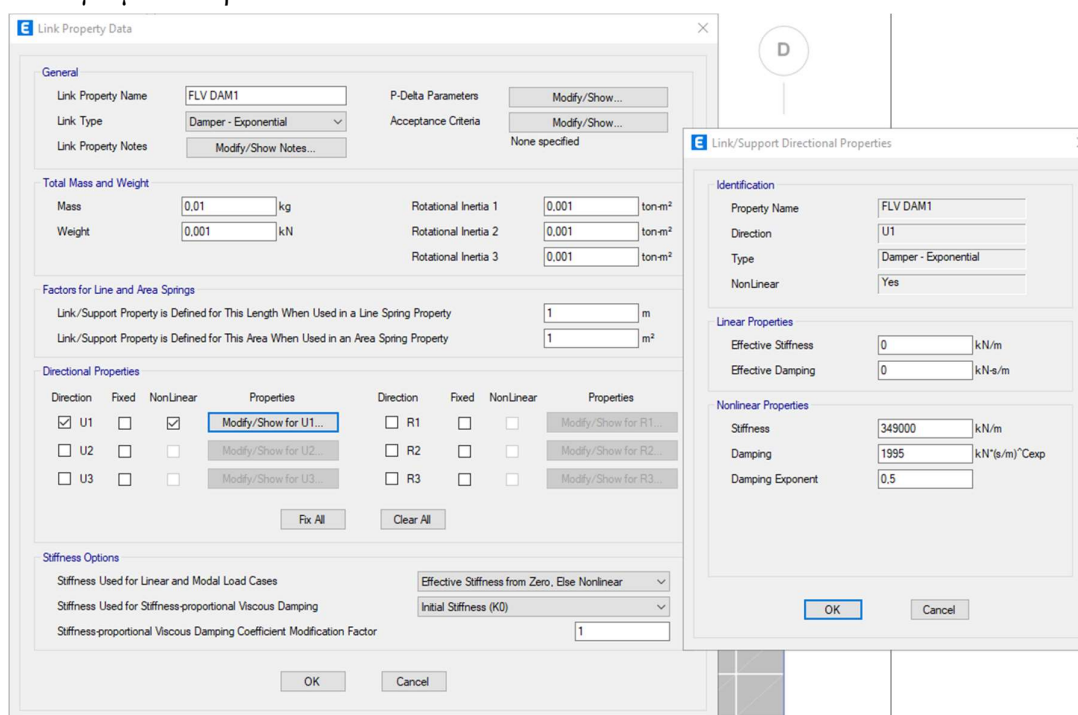
$$K_e = A E / L$$

## Εισαγωγή ιξωδοελαστικών αποσβεστήρων στο ETABS

Μεσώ των εντολών Define > Link > Link properties

και Damper – exponent Type

Επιλεγούμε τα παρακάτω



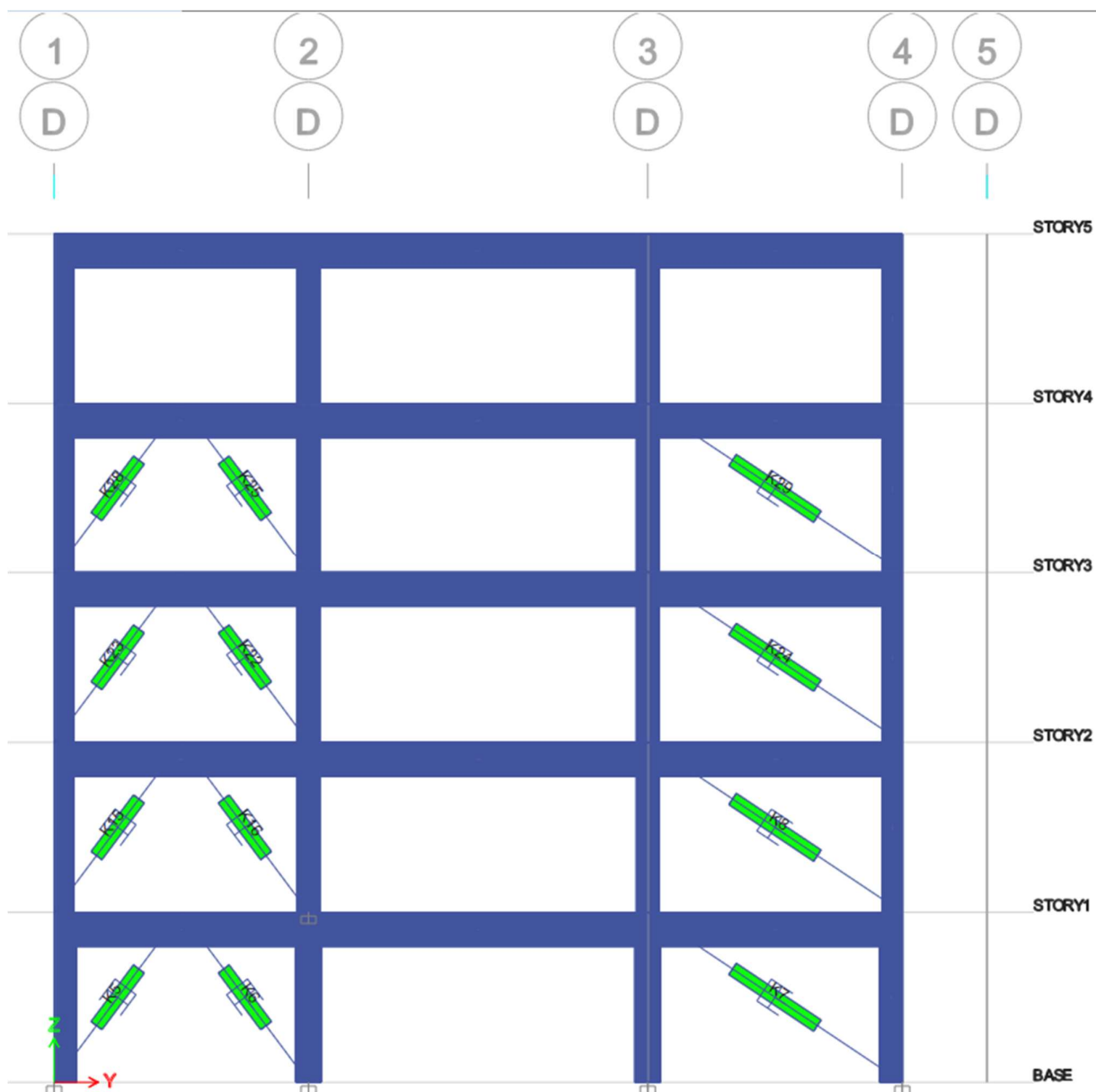
**Εικόνα 8.4** Επιλογή παραμέτρων ιξώδων αποσβεστήρων στο ETABS

Οι ιδιότητες των γραμμικών αποσβεστήρων μπορούν να παρέχονται για χρήση με την ανάλυση φάσματος απόκρισης, αν και το ETABS δεν θα εξετάσει τους μη γραμμικούς εκθέτες και οι δυνάμεις των αποσβεστήρων δεν θα παρέχονται ως αποτελέσματα

Οι τιμές της μάζας και του βάρους υπολογίζουν τη μάζα του αποσβεστήρα και μπορούν να παραμείνουν μηδενικές ή να δοθεί μια μικρή τιμή, για να βοηθήσει στη σύγκλιση της ανάλυσης. Τα τυπικά βάρη των αποσβεστήρων κυμαίνονται από μερικές δεκάδες κιλά έως αρκετές εκατοντάδες κιλά, ανάλογα με το μέγεθος του αποσβεστήρα που απαιτείται/χρησιμοποιείται.

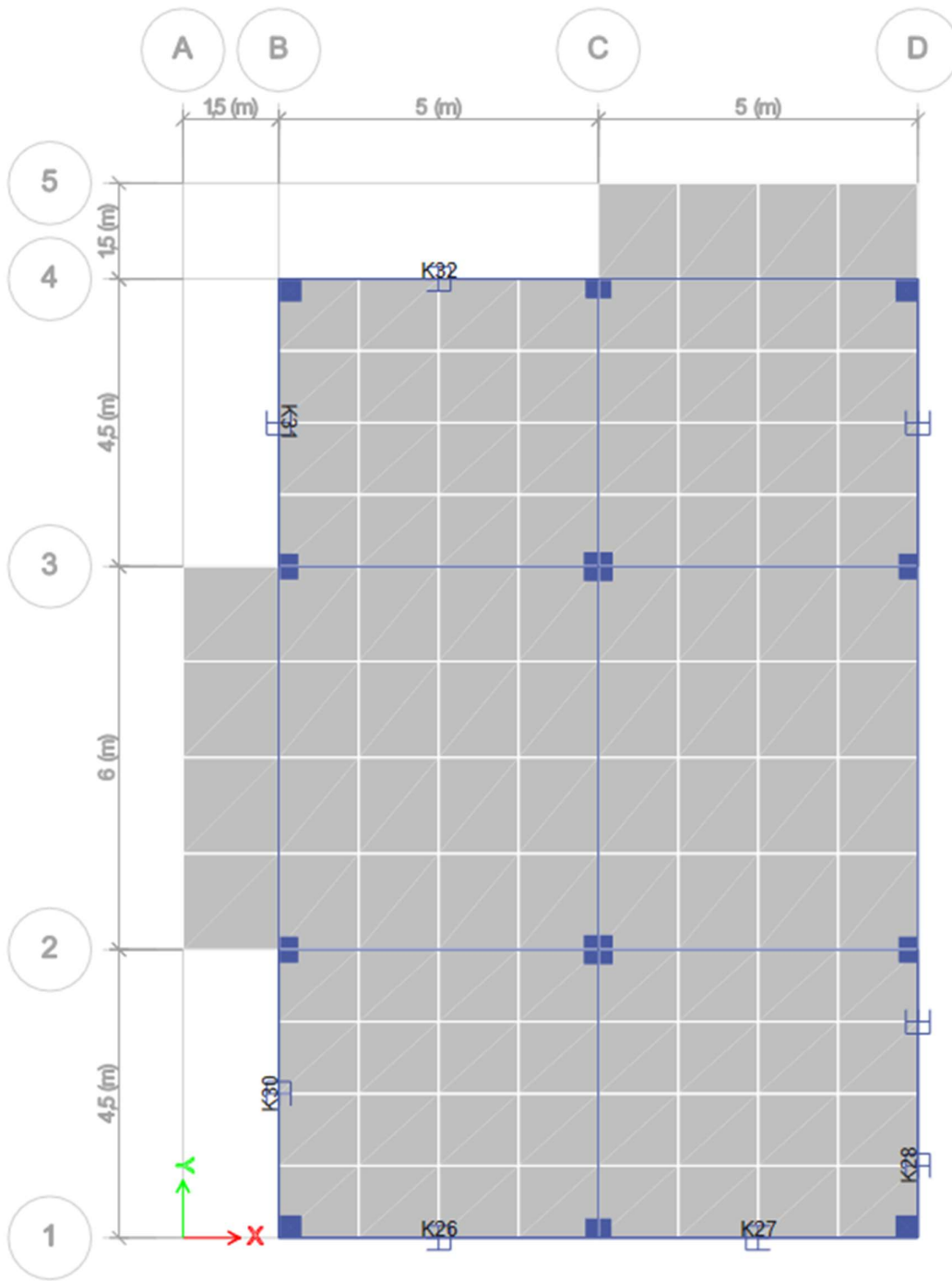
## 8.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν δεκάδες δοκιμές διατάξεων ιξωδών αποσβεστήρων, θέσεων αριθμών καθώς και ιδιοτήτων. Διαγώνιοι από κόμβο σε κόμβο και διπλά διαγώνιοι από κόμβο σε μέσω δοκού. Με τον δεύτερο τρόπο μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυο αποσβεστήρες στο ίδιο άνοιγμα, χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργικότητα των στοιχείων του κτιρίου (παράθυρα κλπ).



**Εικόνα 8.5** Διαγώνιοι αποσβεστήρες σε διάταξη στο ETABS σε δυο διαφορετικούς τρόπους

Σε αυτό το στάδιο το αναλυτικό μοντέλο του κτιρίου με τα FVD είναι πλήρες. Το επόμενο βήμα είναι να ο καθορισμός της σεισμικής φόρτισης για τη κτίριο.



**Εικόνα 8.6** Κάτοψη διάταξης διαγόνιων αποσβεστήρων στο ETABS

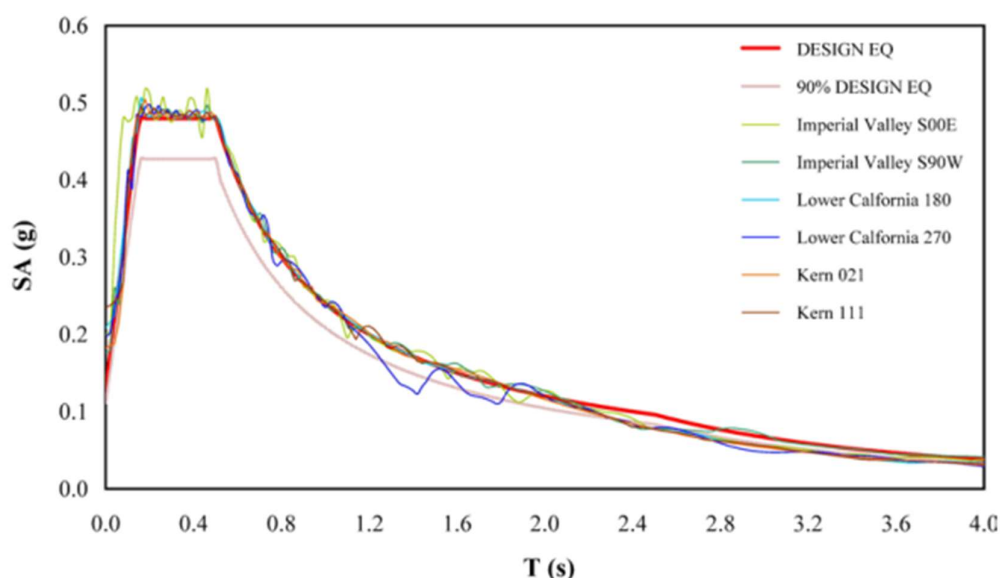
### 8.3 Ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας

Στο παρακάτω κεφαλαίο αναλύεται το κτίριο με ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας σύμφωνα με τον κανονισμό επεμβάσεων κτιρίων. Θα χρησιμοποιηθούν τρεις ευρύτερα γνωστές σεισμικές καταγραφές για την ανάλυση. Οι καταγραφές αποτελούνται από δυο οριζόντιες και μία κατακόρυφη συνιστώσα. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιλογή των συγκεκριμένων επιταχυνσιογραφημάτων είναι οι εδαφολογικές συνθήκες των περιοχών που πραγματοποιηθήκαν οι οποίες ταιριάζουν με τον ελλαδικό χώρο. Τα συγκεκριμένα επιταχυνσιογραφήματα έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα και στο εξωτερικό και στον ελλαδικό χώρο για τον σχεδιασμό κτιριακών και έργων υποκτιρίως. Παρακάτω παρατίθενται οι ονομασίες τους:

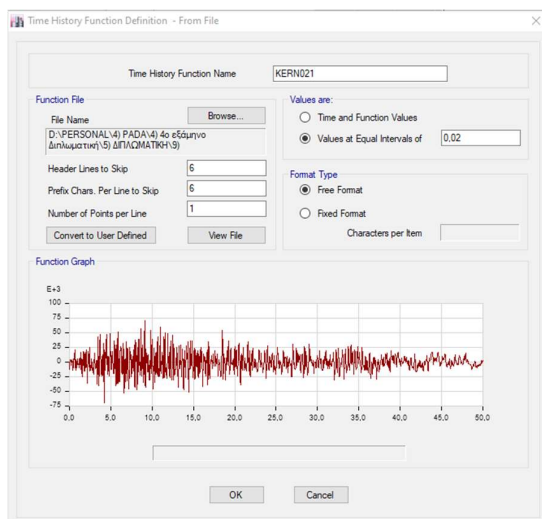
**Lower California** (L.California EQ,December 30 1934, Station #117)

**El Centro** (Imperial Valley EQ,May 18 1940,Station #117)

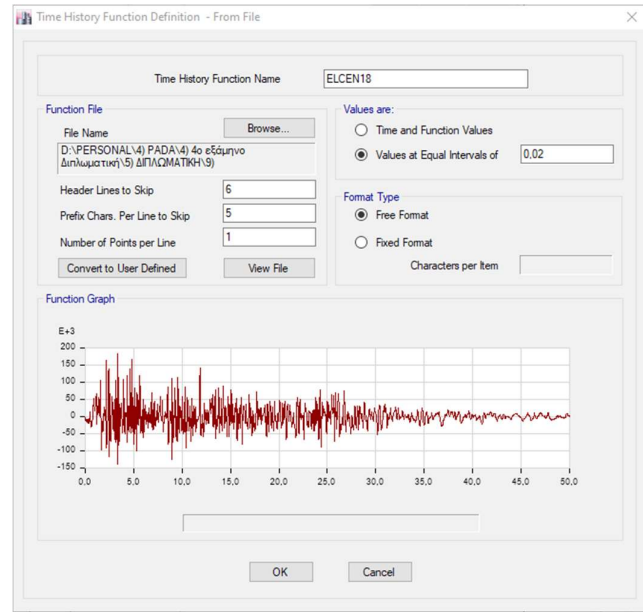
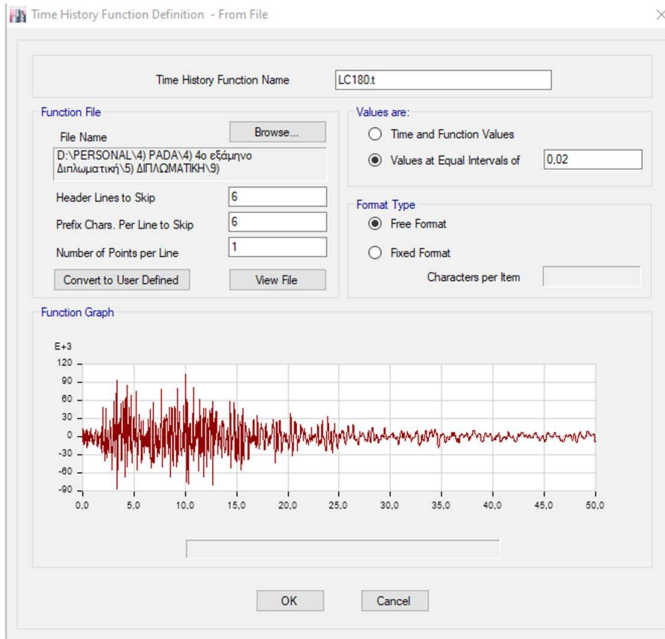
**Kern** (Kern County,California EQ,July 21 1952, Station #095)



Εικόνα 8.7: Φάσμα κανονισμού και επιταχυνσιογραφήματα επιλεγμένων σεισμών.



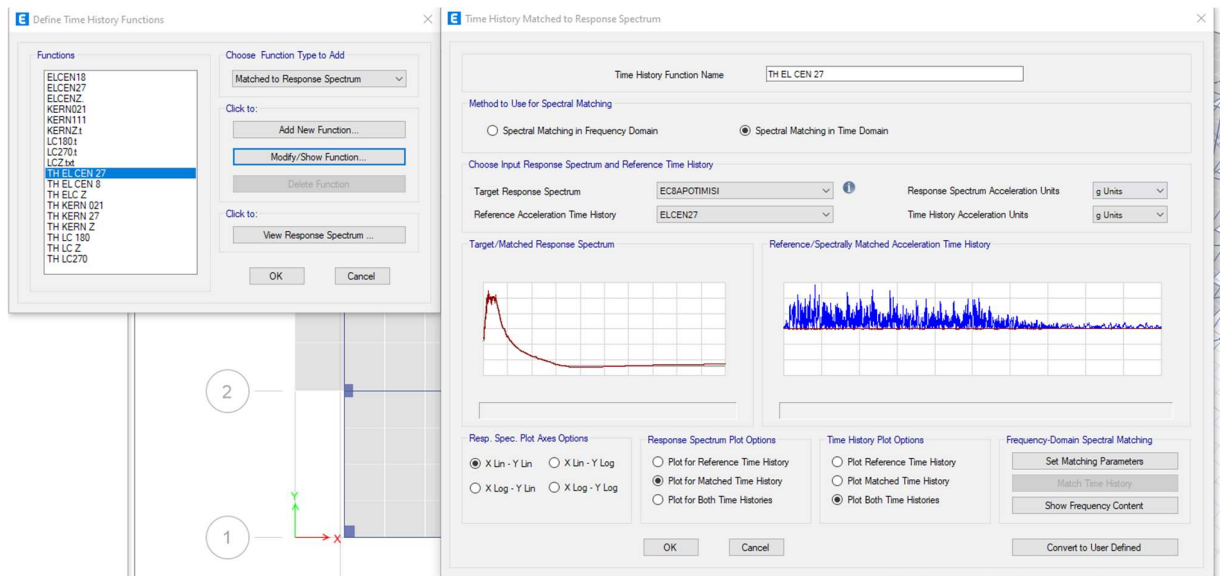
Εικόνα 8.8: Επιταχυνσιογραφήμα KERN στο Etabs



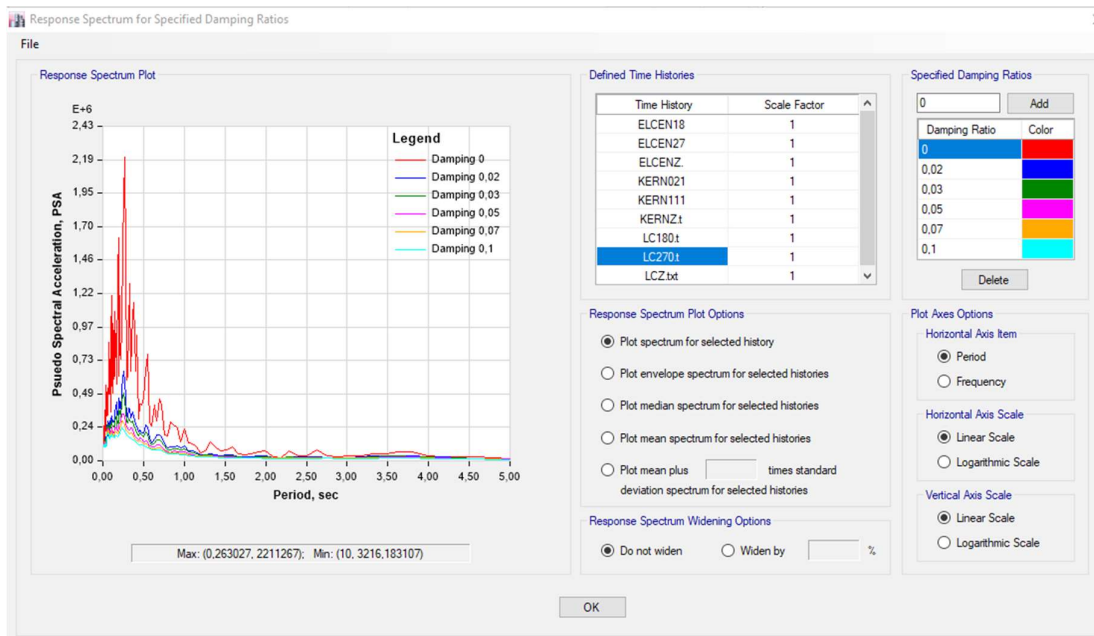
**Εικόνα 8.9:** Επιταχυνσιογραφήματα Lower California και El Centro στο Etabs

Αφού ολοκληρώσαμε την εισαγωγή των παραμέτρων μπορούμε πλέον να προχωρήσουμε στην ανάλυση.

Οι οικοδομικοί κώδικες της ASCE απαιτούν σχεδιασμό και ανάλυση με βάση τη χρήση επτά ζευγών επιταχυνσιογραφημάτων δύο διευθύνσεων. Η απόκριση των κατασκευών βασίζεται στη μέση τιμή των επτά σειρών εδαφικών κινήσεων. Σε αυτήν την εργασία, θα ΦΗ σχεδιασμός με βάση τον EC8 και θα χρησιμοποιηθούν 3 ζεύγη επιταχυνσιογραφημάτων σε τρεις συνιστώσες.



**Εικόνα 8.10:** Δημιουργία Χρονοϊστορίας στο Etabs



**Εικόνα 8.11:** Δημιουργία Χρονοϊστορίας στο etabs

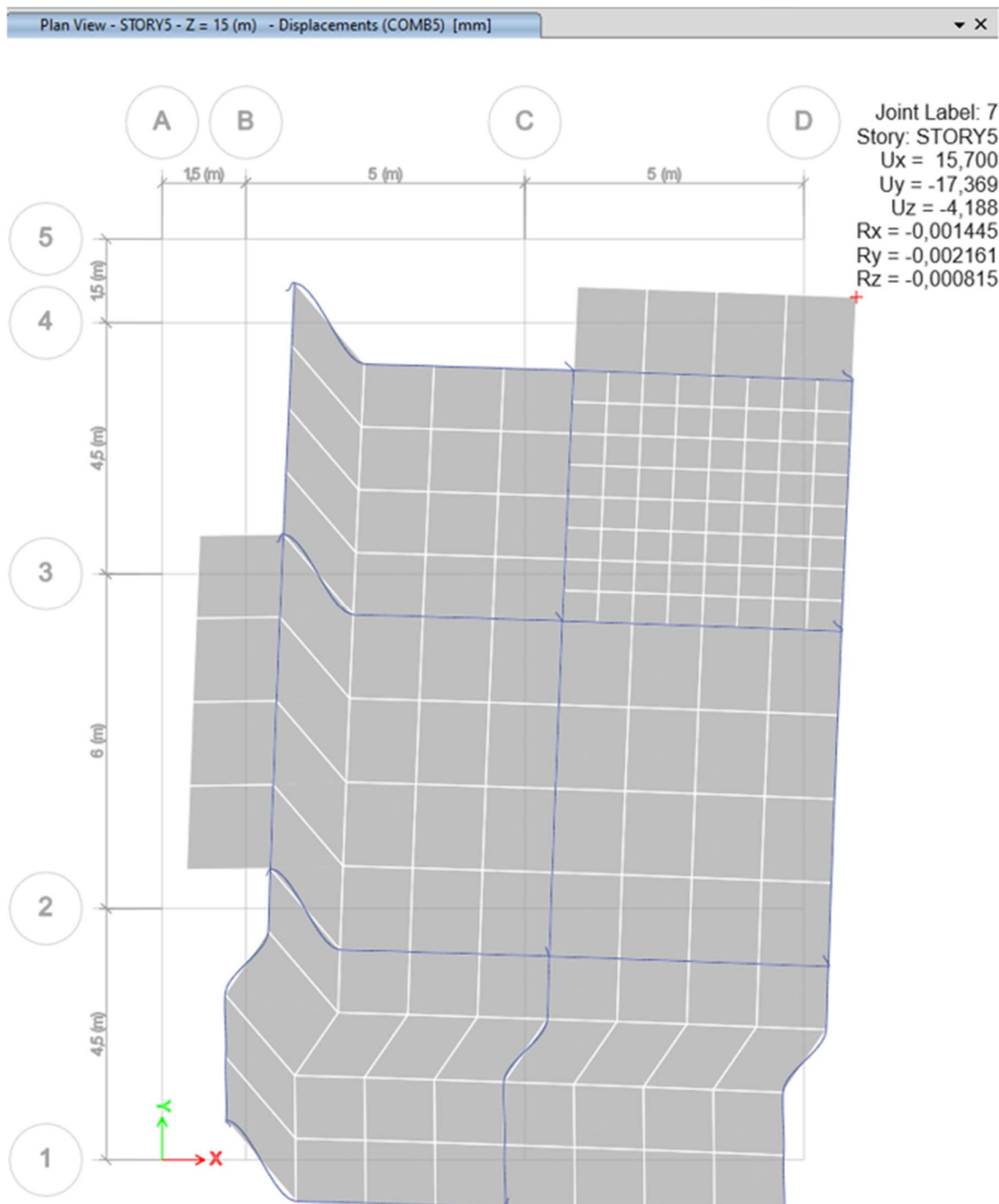
Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με διαφορετική διάταξη αποσβεστικών σε θέσεις καθώς και σε ορόφους. Εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με τις δυνάμεις που αποσβένουν, τις μετακινήσεις στους ορόφους καθώς και στη συνεισφορά τους ανάλογα τη θέση.

Αφού ολοκληρώθηκε η ανάλυση ελέγχουμε τους βρόγχους υστέρησης των ιξωδών αποσβεστικών σχηματικά ώστε να είναι σύμφωνα με τον τυπικό καθώς και τις τιμές τους. Επίσης ελέγχεται και το διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βρόγχοι υστέρησης ιξωδών αποσβεστικών και στα 3 σεισμικά φάσματα που έχουμε εισάγει καθώς και συγκρίσεις αυτών ανάλογα με την διάταξη και το σημείο που βρίσκονται.

Οι διαφορές μεταξύ σεισμικών φασμάτων είναι μικρές.

Για την διάταξη που έχουμε επιλέξει παραπάνω παρουσιάζουμε παρακάτω τις μέγιστες μετατοπίσεις καθώς και τη συμπεριφορά των αποσβεστικών.



**Εικόνα 8.12:** Μέγιστη μετατόπιση ενισχυμένου κτιρίου με ιζώδεις αποσβεστήρες

Μέγιστη μετατόπιση κτιρίου στον 5<sup>ο</sup> όροφό. Η αντίστοιχη χωρίς απόσβεση φαίνεται παρακάτω και έχει πραγματοποιηθεί στη φάση της ανάλυσης χωρίς να ενισχυθεί το κτίριο.

Joint Label: 7  
 Story: STORY5  
 Ux = 39,221  
 Uy = -24,345  
 Uz = -4,365  
 Rx = -0,001461  
 Ry = -0,002388  
 Rz = -0,001719



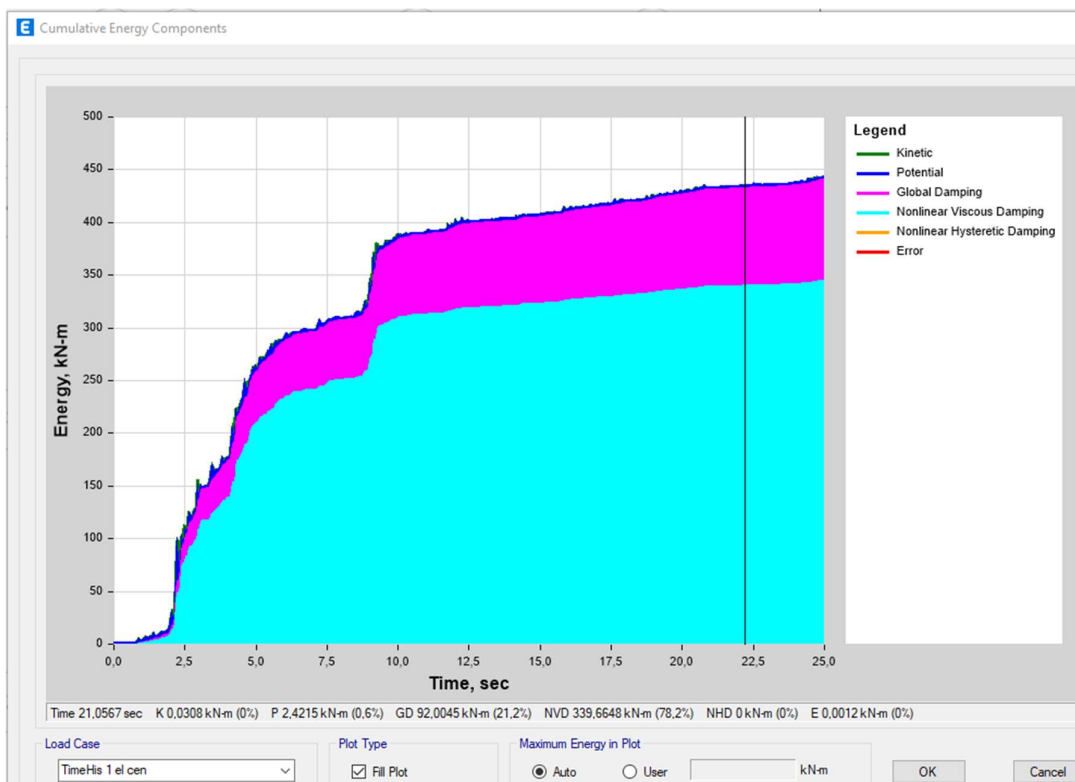
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε την συνεισφορά των αποσβεστήρων στις μετατοπίσεις του κτιρίου οι οποίες είναι κατά 60% λιγότερες.

#### 8.4. Μέγιστες μετατοπίσεις οροφής και σχετικές μετατοπίσεις ορόφων ενισχυμένου κτιρίου με ιξώδεις αποσβεστήρες 1ης διάταξης

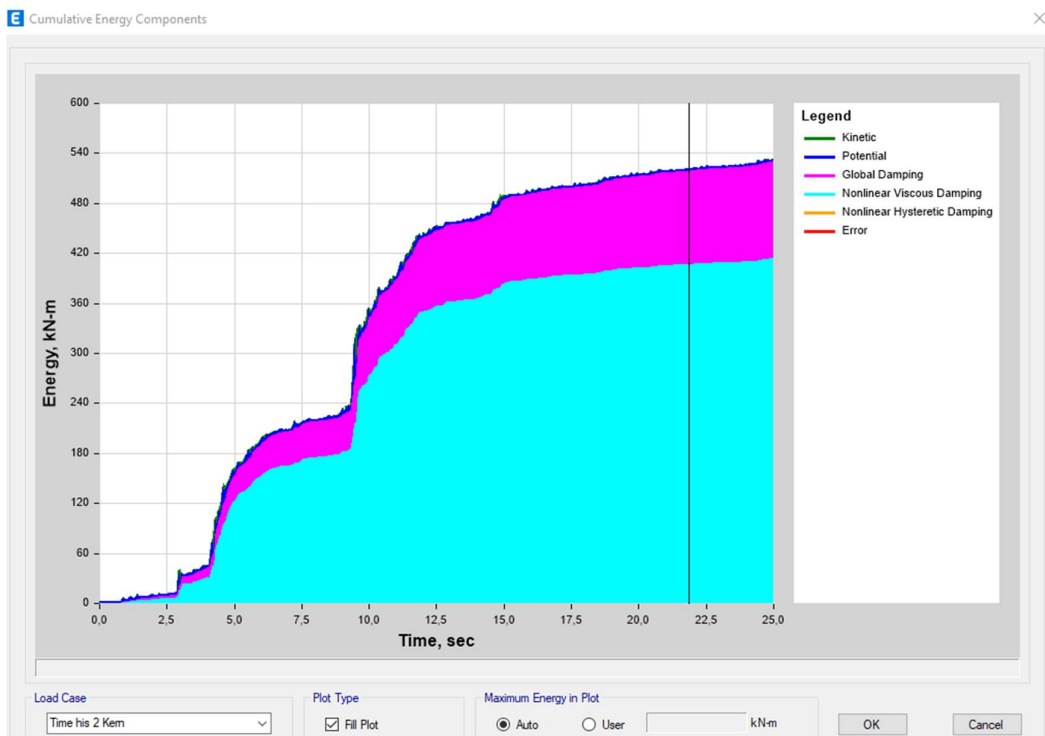
Μέγιστες Σχετικές μετατοπίσεις (mm)	Όροφοι
15,700	4-5
13,2370	3-4
9,2670	2-3
4,6080	1-2
0,00034	0-1

#### Αρθροιστικές ενεργειακές συνιστώσες

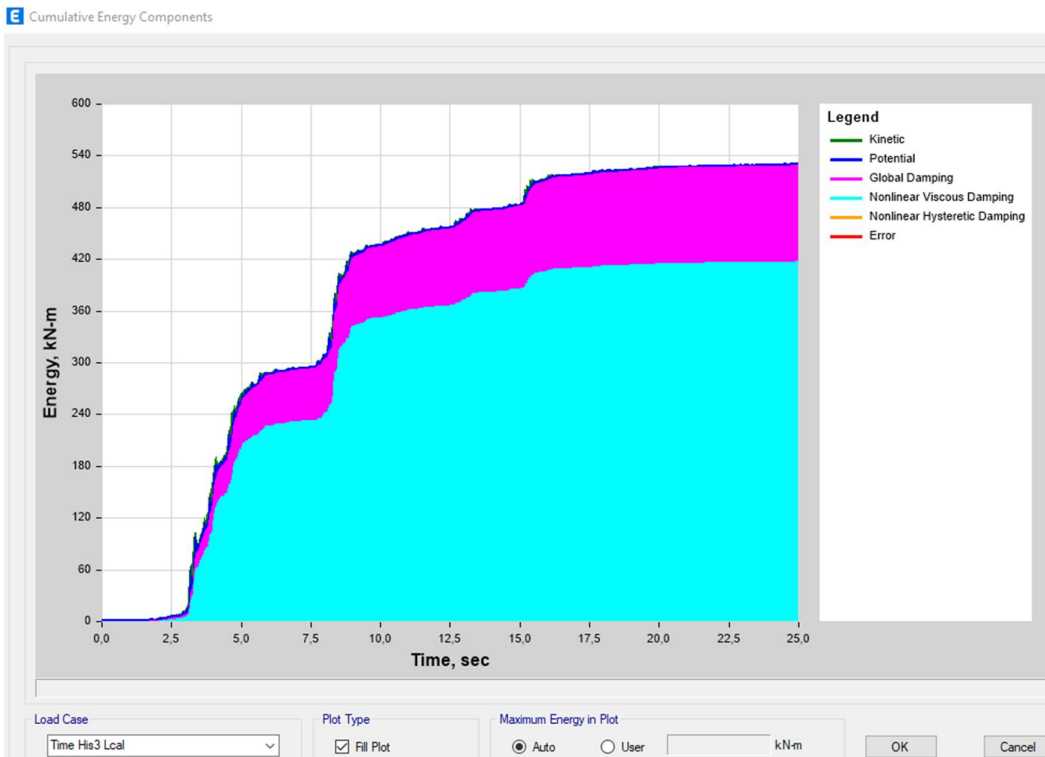
Παρακάτω φαίνονται τα αρθροιστικά διαγράμματα απορρόφησης ενέργειας για τα τρία σεισμικά φάσματα τα οποία επιβεβαιώνουν την συνεισφορά των ιξώδων αποσβεστήρων.



*Εικόνα 8.13: διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας ενισχυμένου κτιρίου για προσομοίωση στο σεισμικό φάσμα του El Centro*



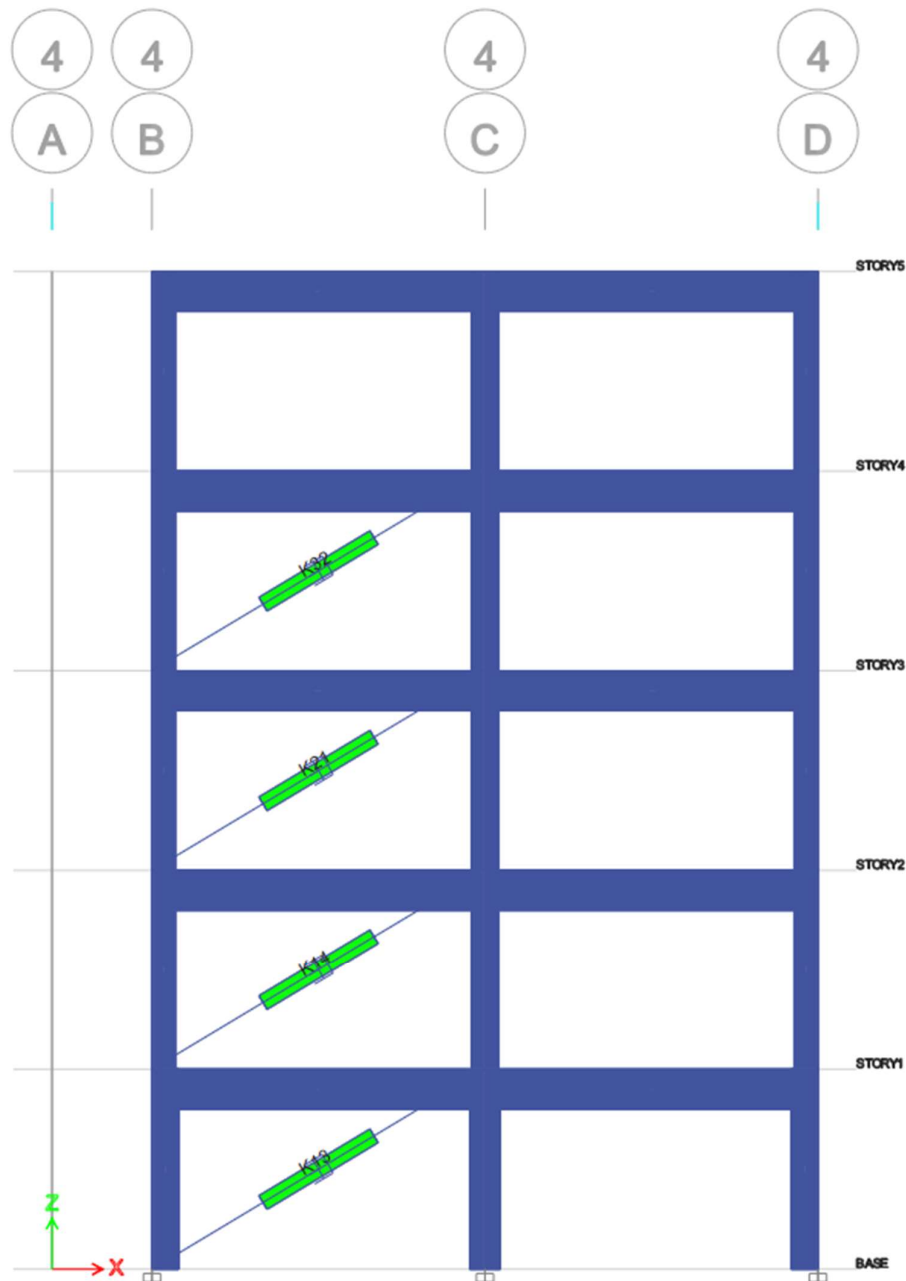
*Εικόνα 8.14: διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας ενισχυμένου κτιρίου για προσομοίωση στο σεισμικό φάσμα του KERN*



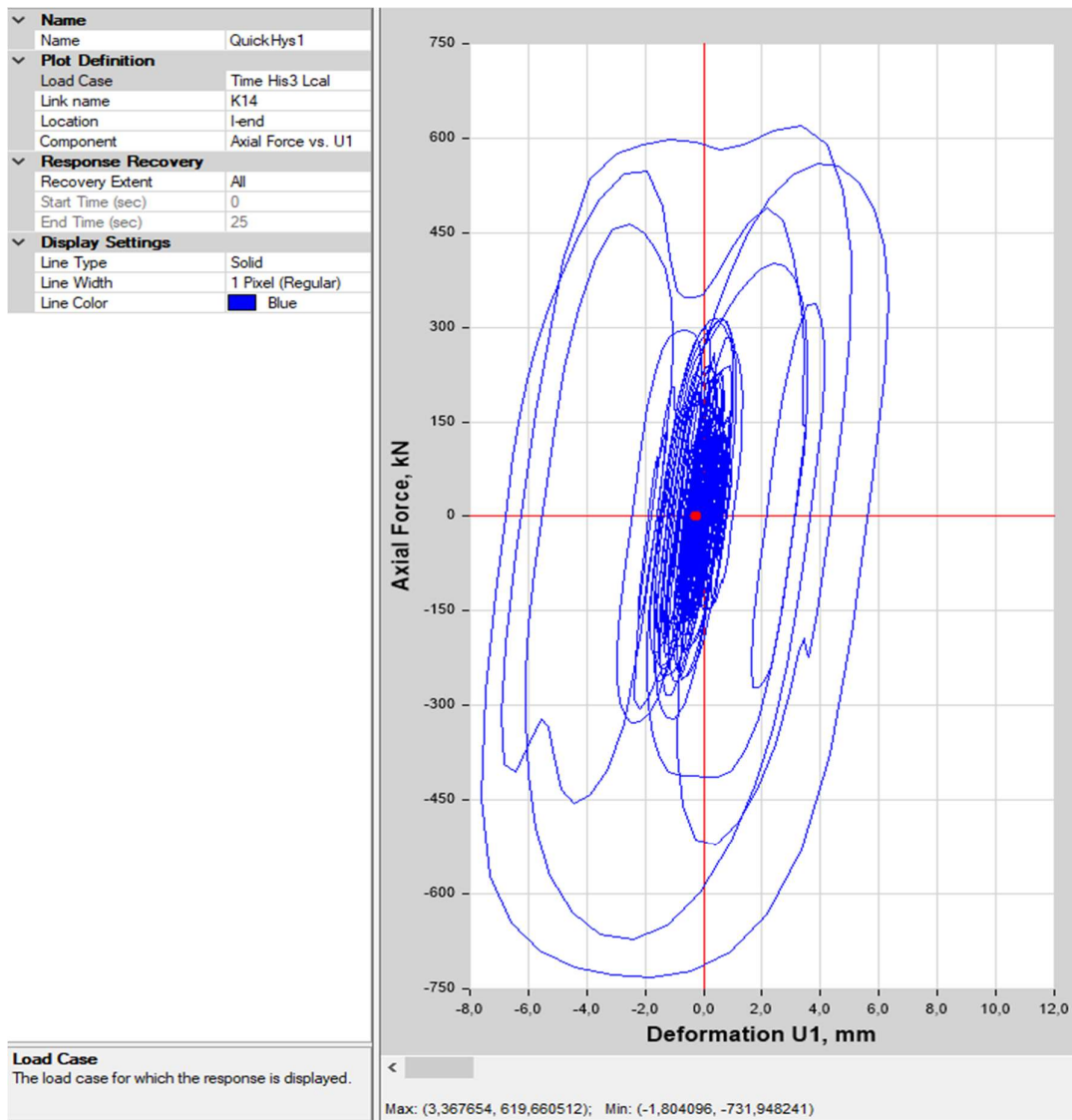
*Εικόνα 8.15: Διάγραμμα απορρόφησης ενέργειας ενισχυμένου κτιρίου για προσομοίωση στο σεισμικό φάσμα του Lower California*

Και στους τρεις σεισμούς παρατηρούμε την υψηλή απορρόφηση ενέργειας από τους ιξώδεις αποσβεστήρες για αυτή τη διάταξη.

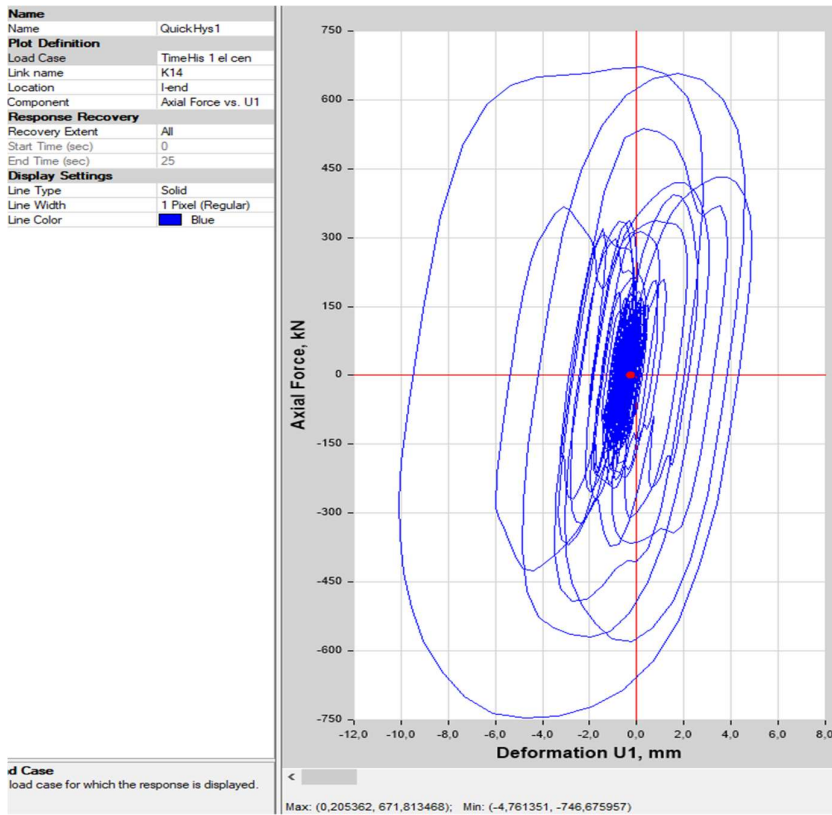
Παρακάτω θα παραθέσουμε μερικά υστερητικά διαγράμματα και θα πραγματοποιήσουμε μια σύγκριση ανάλογα με το σχήμα τη θέση και τον όροφο που βρίσκονται. Ο πρώτος αποσβεστήρας θα είναι εκείνος με το μεγαλύτερο φορτίο απόσβεσης. Είναι ο αποσβεστήρας K14 που βρίσκεται στον 1<sup>ο</sup> όροφο στην πλευρά του εξώστη όπου έχουμε και τις μέγιστες μετατοπίσεις.



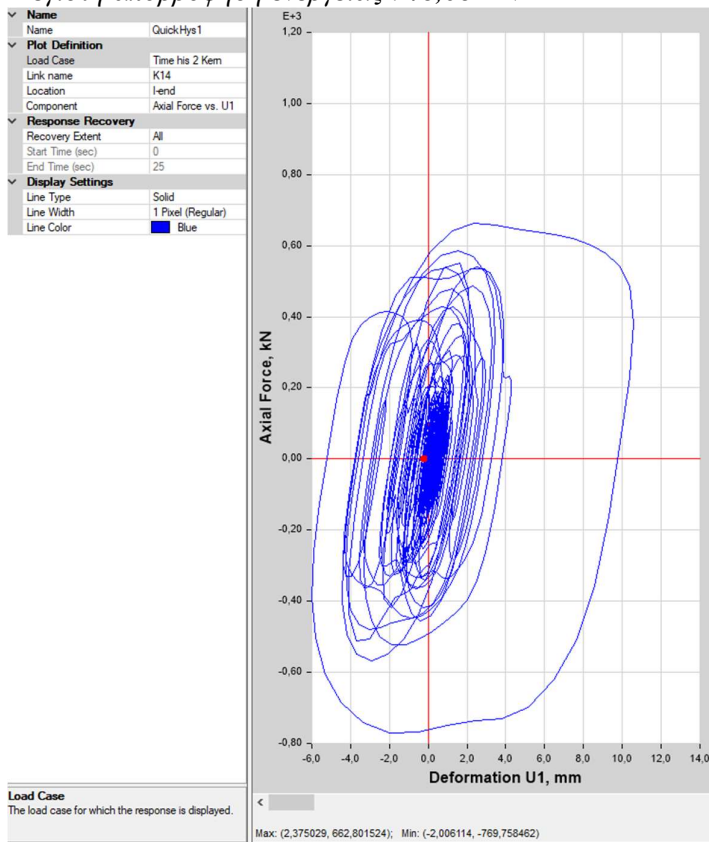
**Εικόνα 8.16:** Διάταξη διαγώνιων αποσβεστηρών στον άξονα 4 στην πλευρά με τους εξώστες.



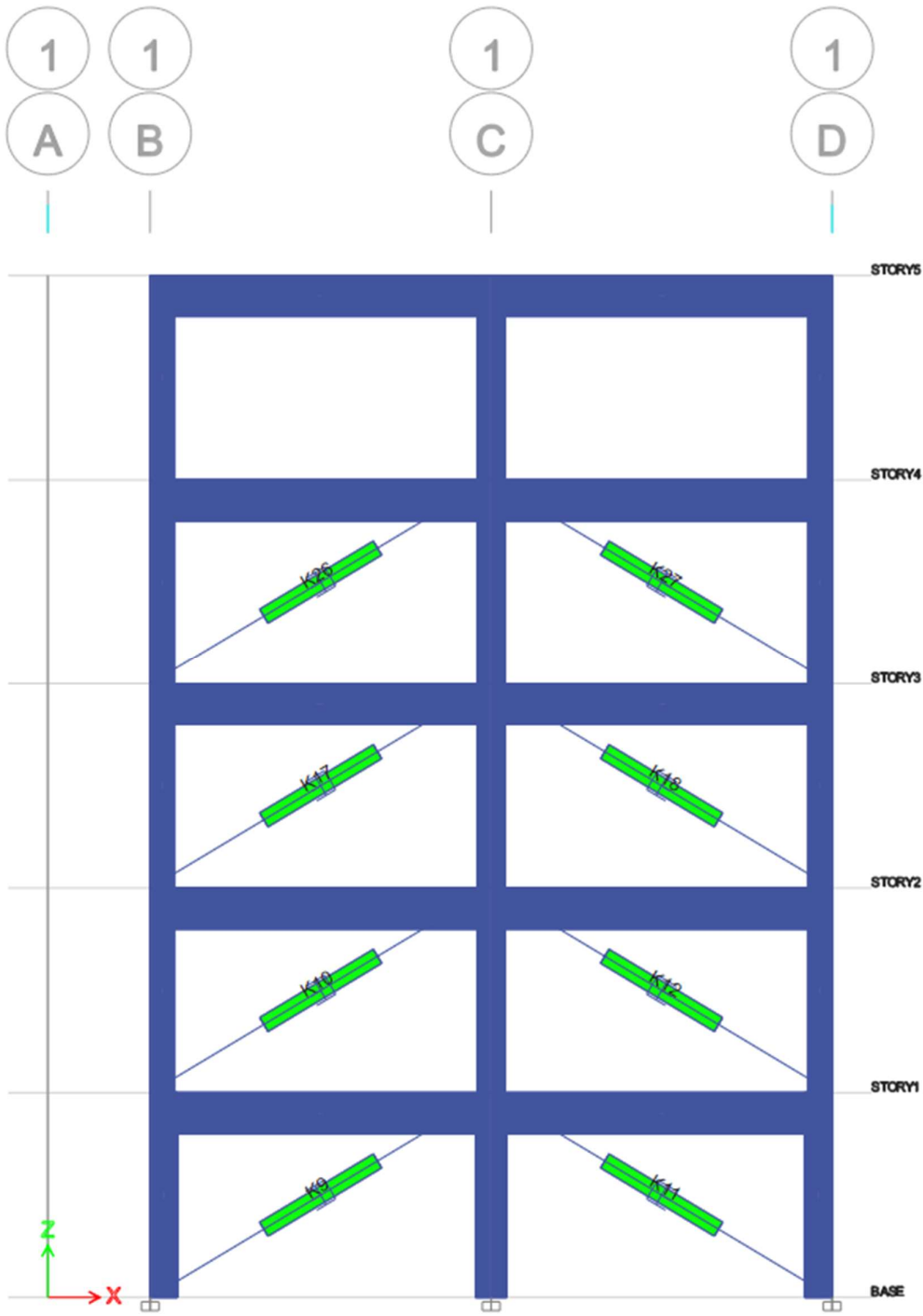
*Εικόνα 8.17. Υστερητικό διάγραμμα αποσβεστήρα K14 Time history 3 Lower California. Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 731,95 KN*



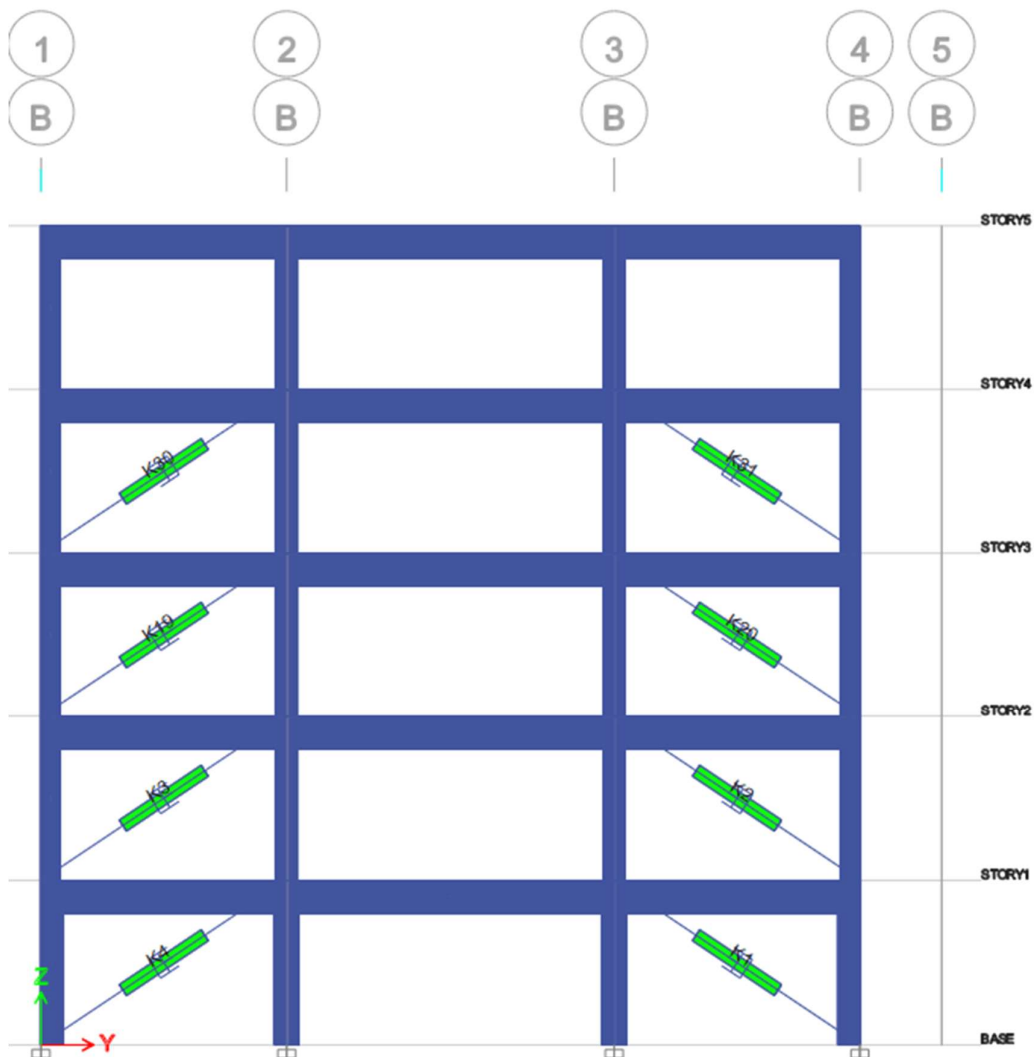
*Εικόνα 8.18. Υστερητικό διάγραμμα αποσβεστήρα K14 Time history 1 El Centro. Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 748,68 KN*



*Εικόνα 8.19. Υστερητικό διάγραμμα αποσβεστήρα K14 Time history 2 Kern. Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 769,76 KN*



Εικόνα 8.20. Διάταξη διαγώνιων αποσβεστήρων στον άξονα 1.



**Εικόνα 8.21.** Διάταξη διαγώνιων αποσβεστήρων στον άξονα 4.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη απορρόφηση ενέργειας αφορά τα 769,758 KN για το φάσμα σεισμού Kern. Γενικά οι διαφορές από φάσμα σε φάσμα είναι αρκετά μικρές.

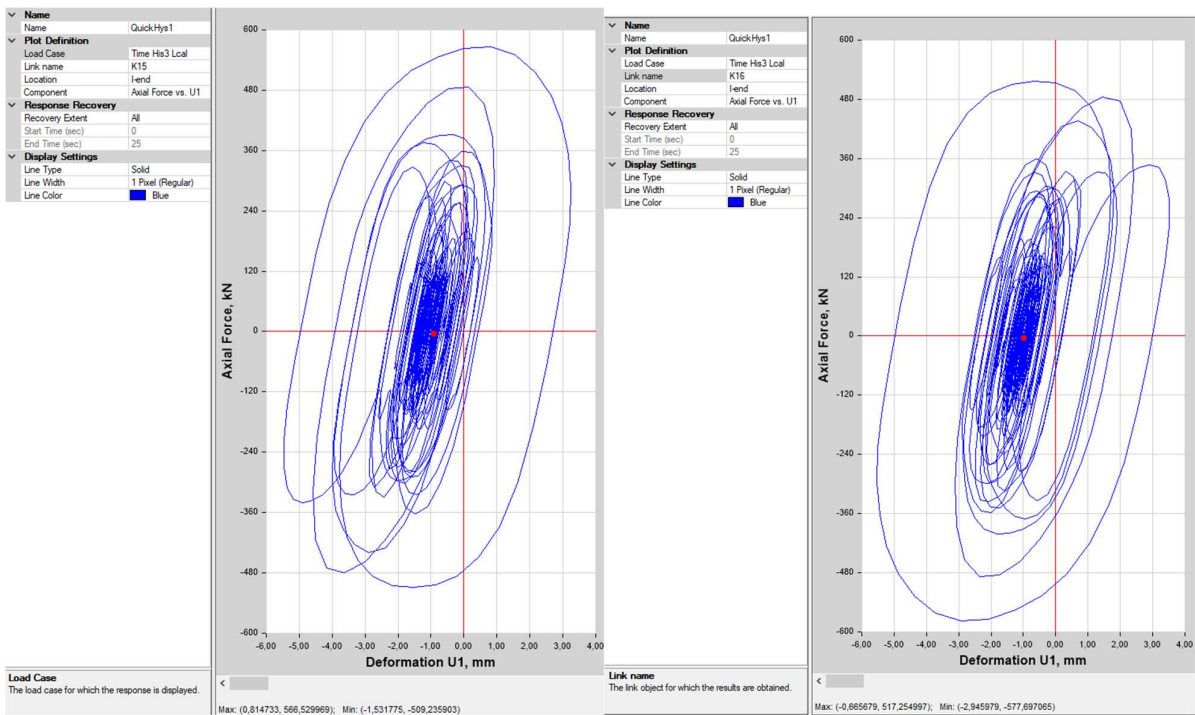
Συγκριτικά οι δύο αποσβεστήρες στον άξονα D1-2 οι K15 και K16 που βρίσκονται στον 1<sup>ο</sup> όροφο απορροφούν ο καθένας 566+577 KN= 1083 KN

Στον άξονα A1-2 στο αντίστοιχο συμμετρικό σημείο όπου υπάρχει ένας διαγώνιος αποσβεστήρας η απορρόφηση ενέργειας ανέρχεται σε 577KN.

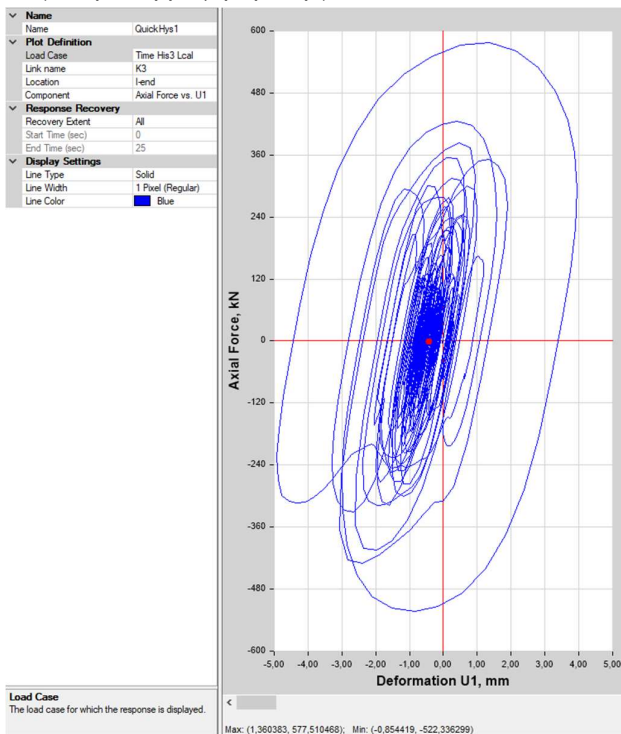
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε την αποτελεσματικότητα των δυο αποσβεστηών σε ένα άνοιγμα.

Παρακάτω παραθέτουμε τα υστερητικά διαγράμματα για τους 3 αποσβεστήρες.

Οι αποσβεστήρες στον 4<sup>ο</sup> όροφο δεν τοποθετήθηκαν διότι η απορρόφηση ενέργειας είναι μικρή και ουσιαστικά δεν συμβάλουν στην απορρόφηση ενέργειας.



**Εικόνα 8.22** Υστερητικά διαγράμματα αποσβεστήρα K15 και K16 στον 1<sup>ο</sup> όροφο σε διαγώνια διάταξη από κόμβο σε κόμβο μέσω δοκού. Time history 3 Lower California. Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 566+577 KN= 1083 KN



**Εικόνα 8.23** Υστερητικά διάγραμμα αποσβεστήρα K15 και K16 στον 1<sup>ο</sup> όροφο σε διαγώνια διάταξη από κόμβο σε κόμβο. Time history 3 Lower California. Μέγιστη απορρόφηση ενέργειας 577 KN



Αφού ολοκληρωθεί η ανάλυση προχωράμε σε εξαγωγή των δεδομένων στο EXCEL. Στο υπολογιστικό φύλλο γίνεται ταξινόμηση μεγεθών και οροφών και βρίσκουμε τις μέγιστες μετατοπίσεις σε ορόφους καθώς και τις σχετικές μετατοπίσεις.

Μέγιστη μετατόπιση σε mm		Χρονοϊστορία
X	Y	
8,10	7,50	EL CENTRO
7,32	7,52	KERN
7,35	5,73	LOWER CALIFORNIA

Ακολουθεί η σύγκριση των σχετικών μετατοπίσεων σε όλους τους ορόφους για το ενισχυμένο κτίριο. Η σύγκρισή προέκυψε από τις μέγιστες μετατοπίσεις από κάθε συνδυασμό.

ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ %			ΟΡΟΦΟΙ
EL CENTRO	KERN	CALIFORNIA	
8,10	7,52	7,35	4-5
6,74	6,31	6,29	3-4
4,73	4,56	4,65	2-3
2,26	2,23	2,38	1-2
0,0015	0,02	0,01	0-1

**Δείκτες ανεπάρκειας λ στο ενισχυμένο με ιξώδεις αποσβεστήρες κτίριο:**

Αφότου πραγματοποιήθηκε η ανάλυση έγινε εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε EXCEL και βρεθήκαν οι μέγιστες εντατικές δυνάμεις, ροπές κάμψης και τέμνουσες.

Παρακάτω υπολογιστήκαν οι δείκτες ανεπάρκειας λ στα υποστυλώματα του ισόγειου για καταπόνηση σε κάμψη Msd και σε τέμνουσα. Vsd

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ Σ λ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΞΟΣΚΕΛΕΤΟ & ΧΙΑΣΤΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΙΞΩΔΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ
K1	0,12	1,29	0,240
K2	0,15	0,59	0,360
K3	0,15	0,69	0,228
K4	0,09	1,14	0,511
K5	0,08	0,60	0,072
K6	0,13	0,94	0,572
K7	0,09	0,91	0,379
K8	0,08	0,55	0,071
K9	0,09	1,87	0,388
K10	0,10	1,30	0,305
K11	0,10	1,19	0,373
K12	0,11	1,24	0,319

*Πίνακας 8.24. Δείκτες ανεπάρκειας λ ροπών κάμψης στα υποστυλώματα του ισόγειου*

<b>ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΟ &amp; ΧΙΑΣΤΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ λ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΙΞΩΔΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ (DAMPER)</b>
<b>K1</b>	<b>0,081</b>	<b>0,30</b>	<b>0,349</b>
<b>K2</b>	<b>0,097</b>	<b>0,40</b>	<b>0,782</b>
<b>K3</b>	<b>0,063</b>	<b>0,49</b>	<b>0,246</b>
<b>K4</b>	<b>0,053</b>	<b>0,51</b>	<b>0,793</b>
<b>K5</b>	<b>0,074</b>	<b>0,36</b>	<b>0,694</b>
<b>K6</b>	<b>0,067</b>	<b>0,81</b>	<b>0,922</b>
<b>K7</b>	<b>0,057</b>	<b>0,64</b>	<b>0,745</b>
<b>K8</b>	<b>0,066</b>	<b>0,44</b>	<b>0,706</b>
<b>K9</b>	<b>0,075</b>	<b>0,78</b>	<b>0,534</b>
<b>K10</b>	<b>0,051</b>	<b>0,63</b>	<b>0,447</b>
<b>K11</b>	<b>0,080</b>	<b>0,87</b>	<b>0,416</b>
<b>K12</b>	<b>0,076</b>	<b>0,57</b>	<b>0,333</b>

*Πίνακας 8.25. Δείκτες ανεπάρκειας λ τεμνουσών στα υποστυλώματα του ισογείου*

## 8.5 Εντατικά μεγέθη αποσβεστήρων.

Από τους πίνακες αποτελεσμάτων της ανάλυσης με χρονοϊστορίες του Etabs εξάγουμε την ενέργεια που απορροφάει κάθε αποσβεστήρας σε κάθε καταπόνηση.

**TABLE: Element Forces - Links**

Story	Link Element	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P kN
STORY2	K14	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	671,8135
STORY2	K14	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	662,8015
STORY3	K21	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	642,8668
STORY2	K14	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	619,6605
STORY3	K21	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	595,9524
STORY3	K21	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	585,0795
STORY2	K3	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	577,5105
STORY2	K15	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	566,53
STORY2	K12	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	561,5971
STORY2	K12	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	546,3451
STORY4	K32	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	544,8063
STORY4	K32	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	540,558
STORY2	K8	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	532,2806
STORY2	K2	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	522,5496
STORY3	K23	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	522,3857
STORY2	K16	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	517,255
STORY2	K15	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	516,069
STORY3	K23	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	511,43
STORY2	K3	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	502,1762
STORY2	K15	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	501,6871
STORY2	K10	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	496,9986
STORY3	K23	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	492,9789
STORY3	K22	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	491,7128
STORY2	K3	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	490,5119
STORY2	K10	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	486,7486
STORY4	K32	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	478,8549
STORY3	K19	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	478,6162
STORY2	K12	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	472,5211
STORY3	K18	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	472,4132
STORY3	K18	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	468,0037
STORY3	K24	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	462,0577
STORY3	K22	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	459,7726
STORY4	K25	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	458,1569
STORY2	K10	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	457,3955
STORY3	K19	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	448,0538
STORY4	K28	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	445,0921
STORY4	K28	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	439,0596
STORY3	K20	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	435,4748

STORY2	K16	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	433,5755
STORY3	K18	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	430,8566
STORY4	K25	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	429,445
STORY3	K19	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	428,7743
STORY4	K28	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	428,3311
STORY3	K17	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	421,32
STORY3	K17	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	415,9694
STORY2	K8	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	414,6024
STORY2	K8	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	410,7596
STORY3	K22	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	407,2755
STORY2	K2	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	402,6327
STORY4	K25	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	398,7356
STORY2	K16	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	391,4824
STORY2	K2	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	390,2663
STORY3	K17	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	389,7952
STORY3	K24	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	388,7502
STORY3	K20	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	371,094
STORY4	K27	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	363,0321
STORY3	K24	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	356,0469
STORY4	K27	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	347,8427
STORY4	K29	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	343,6563
STORY4	K29	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	340,1177
STORY4	K26	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	338,3273
STORY3	K20	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	337,4129
STORY4	K27	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	336,8556
STORY4	K30	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	331,4965
STORY4	K30	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	330,5671
STORY4	K26	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	327,9105
STORY4	K30	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	323,4048
STORY4	K29	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	311,1494
STORY4	K31	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	311,0241
STORY4	K26	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	305,3953
STORY4	K31	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	296,7145
STORY4	K31	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	294,2566
STORY1	K13	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	194,2594
STORY1	K13	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	176,4121
STORY1	K13	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	172,8676
STORY1	K7	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	163,192
STORY1	K7	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	161,9109
STORY1	K7	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	150,3577
STORY1	K1	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	131,4854
STORY1	K4	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	126,2317
STORY1	K1	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	121,2
STORY1	K4	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	104,0618
STORY1	K1	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	96,7404
STORY1	K4	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	90,5308
STORY1	K9	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	51,489
STORY1	K11	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	51,489

STORY1	K9	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	46,1466
STORY1	K11	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	46,1466
STORY1	K9	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	43,7107
STORY1	K11	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	43,7107
STORY1	K5	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	10,0225
STORY1	K6	Time his 2 Kern	NonModHist	Max	I-End	10,0225
STORY1	K5	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	9,4176
STORY1	K6	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Max	I-End	9,4176
STORY1	K5	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	8,2341
STORY1	K6	Time His3 Lcal	NonModHist	Max	I-End	8,2341
STORY1	K5	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-8,9527
STORY1	K6	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-8,9527
STORY1	K5	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-13,0359
STORY1	K6	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-13,0359
STORY1	K5	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-13,6031
STORY1	K6	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-13,6031
STORY1	K9	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-41,6867
STORY1	K11	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-41,6867
STORY1	K9	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-42,6696
STORY1	K11	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-42,6696
STORY1	K9	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-45,9968
STORY1	K11	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-45,9968
STORY1	K1	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-103,101
STORY1	K1	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-109,465
STORY1	K7	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-119,2742
STORY1	K1	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-121,4545
STORY1	K4	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-123,6356
STORY1	K4	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-126,8514
STORY1	K4	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-133,9707
STORY1	K7	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-135,4179
STORY1	K7	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-151,8508
STORY1	K13	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-152,0849
STORY1	K13	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-155,891
STORY1	K13	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-163,8425
STORY4	K31	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-270,1145
STORY4	K27	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-277,2682
STORY4	K30	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-277,4808
STORY4	K27	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-289,0968
STORY4	K30	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-307,0364
STORY4	K30	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-308,3559
STORY4	K31	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-315,1828
STORY3	K19	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-324,8942
STORY4	K31	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-328,3316
STORY4	K27	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-332,5882
STORY4	K29	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-336,6964
STORY4	K26	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-345,6356
STORY3	K18	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-356,5789
STORY4	K29	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-360,2712

STORY3	K19	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-366,6062
STORY4	K26	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-369,1969
STORY4	K26	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-375,0302
STORY4	K29	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-378,2381
STORY2	K3	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-385,9709
STORY4	K28	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-389,6701
STORY2	K15	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-391,288
STORY3	K20	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-395,5522
STORY3	K23	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-397,7437
STORY2	K3	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-400,9401
STORY3	K18	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-408,8522
STORY3	K18	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-417,7528
STORY4	K28	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-418,8957
STORY2	K15	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-424,2397
STORY3	K19	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-438,6972
STORY3	K17	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-439,2895
STORY4	K25	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-439,3491
STORY4	K28	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-447,517
STORY3	K20	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-447,9329
STORY3	K23	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-448,1817
STORY4	K25	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-450,5512
STORY2	K12	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-452,5722
STORY4	K25	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-456,0281
STORY3	K24	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-469,0339
STORY3	K17	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-470,0854
STORY3	K20	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-474,0154
STORY3	K17	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-476,2541
STORY3	K23	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-480,7739
STORY2	K10	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-483,1392
STORY2	K12	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-487,2135
STORY2	K2	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-493,0146
STORY2	K12	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-493,4212
STORY3	K24	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-493,4858
STORY2	K2	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-504,3632
STORY3	K22	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-504,6877
STORY2	K15	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-509,2359
STORY2	K16	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-511,3855
STORY3	K24	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-514,021
STORY2	K8	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-518,3402
STORY2	K16	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-518,4827
STORY3	K22	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-520,1647
STORY2	K3	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-522,3363
STORY2	K8	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-525,838
STORY4	K32	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-533,4537
STORY3	K22	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-535,1707
STORY2	K10	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-545,6667
STORY2	K10	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-563,6503
STORY2	K2	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-575,2302

STORY2	K16	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-577,6971
STORY4	K32	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-579,8463
STORY2	K8	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-609,2197
STORY4	K32	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-660,345
STORY3	K21	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-680,369
STORY3	K21	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-694,6377
STORY2	K14	Time His3 Lcal	NonModHist	Min	I-End	-731,9482
STORY2	K14	TimeHis 1 el cen	NonModHist	Min	I-End	-746,676
STORY3	K21	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-750,1211
STORY2	K14	Time his 2 Kern	NonModHist	Min	I-End	-769,7585

**Πίνακας 8.26.**..Απορροφούμενη ενέργεια ανά αποσβεστήρα και ανά χρονοϊστορία.  
Αναφέρεται μόνο το άκρο I το οποίο είναι ίδιο με το J

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη απορροφούμενη ενέργεια είναι -769,7585 KN για τον αποσβεστήρα K14 για το φάσμα Time his 2 Kern και 750,12 για τον αποσβεστήρα K21 για το φάσμα Time his 2 Kern .

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι αποσβεστήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το μοντέλο 17140 της Taylor με μέγιστη δύναμη απόσβεσης τα 750 KN. Το συνολικό μήκος είναι 1184mm από άξονα σύνδεσης σε άξονα σύνδεσης. Η μέγιστη διάμετρος είναι 184mm ενώ το βάρος ανέρχεται σε μόλις 136 Kgr. Ο λόγος που δεν υπολογίζουμε το ίδιο βάρος από τους ιξώδεις αποσβεστήρες είναι διότι είναι αρκετά μικρό σε σχέση με τα φορτία της κατασκευής. Η απορρόφηση ενέργειας που επιτυγχάνουν είναι τεράστια όπως φαίνεται και στα διαγράμματα απορρόφησης ενέργειας.

## 8.6 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

Οι αποσβεστήρες θα εγκατασταθούν εξωτερικά από τα ανοίγματα. Θα γίνει απόξεση του σοβά σε τμήμα του υποστυλώματος και της δοκού και θα αγκυρωθεί σε αυτήν μεταλλικό έλασμα πάχους 20mm σε σχήμα Γ στην αρχή και τέλος των αποσβεστηρών και T στα σημεία που υπάρχει συνέχεια. Θα πραγματοποιηθεί έλεγχος με μη καταστρεπτικές μεθόδους για την εύρεση των υφιστάμενων ράβδων οπλισμού σκυροδέματος ώστε να μην τραυματιστούν ή κοπούν και έπειτα θα διανοιχτούν οπές για χημικά αγκύρια M22 σε βάθος 16 εκ στα δοκάρια και 20 εκ στα υποστυλώματα. Θα κατασκευαστεί πατρόν για το κάθε άνοιγμα που θα ενισχυθεί ξεχωριστά με τις θέσεις των οπών και θα δοθεί σε εργοστάσιο κατασκευής μεταλλικών κατασκευών. Το έλασμα μαζί με το στήριγμα θα κατασκευαστούν στο εργοστάσιο με τη μέθοδο της ηλεκτροσυγκόλλησης με αργκόν στο πάχος που θα υπολογιστεί από την μελέτη. Θα πραγματοποιηθεί έλεγχος ποιότητας συγκολλήσεως με μη καταστρεπτικές μεθόδους και έπειτα θα περαστούν με αντισκωριακό μίνιο σε δύο στρώσεις και θα χρωματιστούν στο χρώμα επιλογής του πελάτη.

Αφού ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του ελάσματος μαζί με το στήριγμα του, θα εγκατασταθούν οι αποσβεστήρες και οι δοκοί σύνδεσης. Όλα τα σημεία θα ενώνονται πλέον



με κοχλίες ώστε να μην τραυματιστεί ξανά κάποιο σημείο και εκτεθεί σε οξείδωση καθώς και για να αποφευχθούν οι εργοταξιακές συγκολλήσεις οι οποίες θεωρούνται λιγότερο αξιόπιστες.



**FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES**  
**CLEVIS – CLEVIS CONFIGURATION, METRIC UNITS**

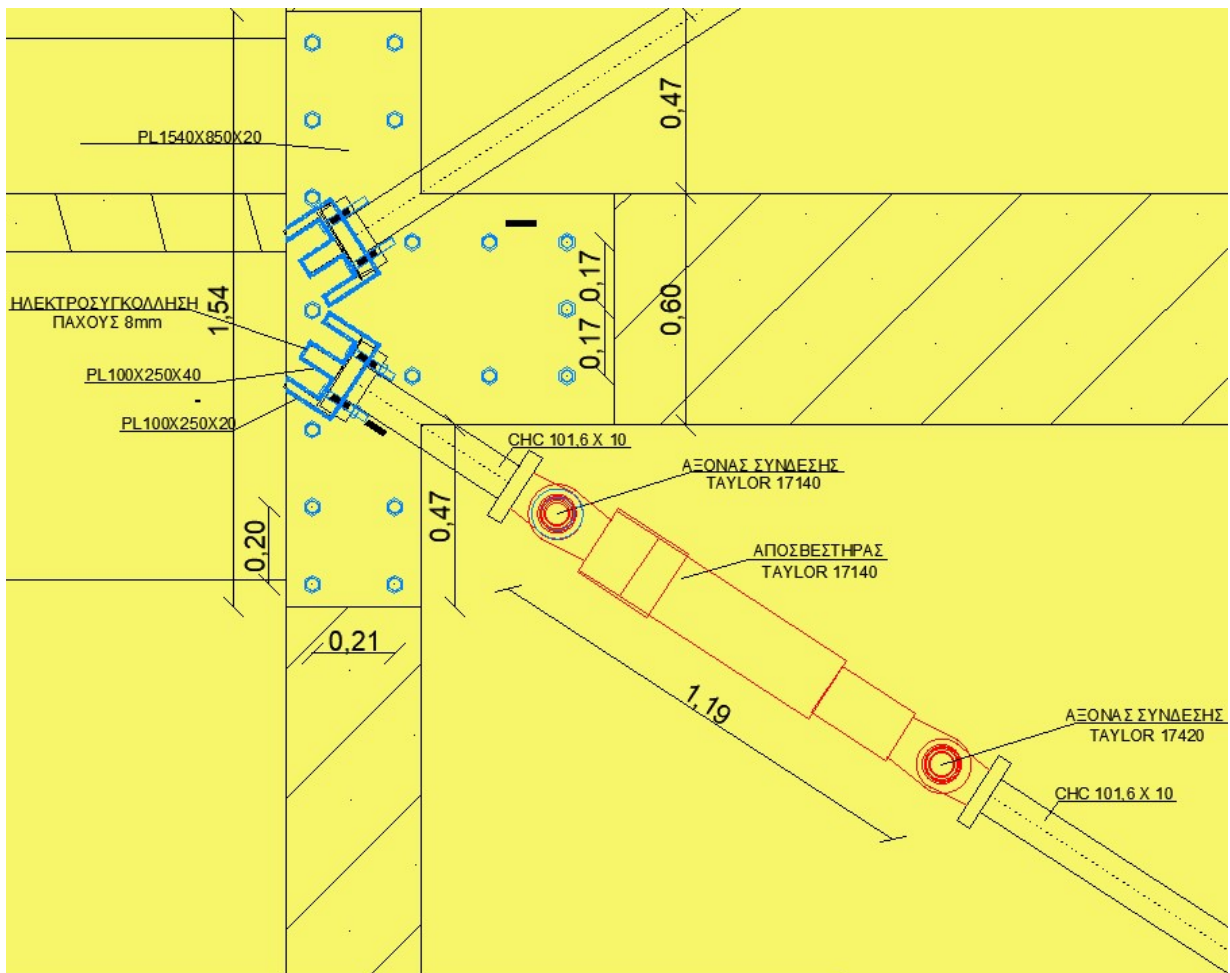


FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)
250	17120	38.10	867	$\pm 75$	43	33	102	83	114	41
500	17130	50.80	1067	$\pm 100$	55	44	127	102	150	82
750	17140	57.15	1194	$\pm 100$	59	50	152	129	184	136
1000	17150	69.85	1238	$\pm 100$	71	61	184	150	210	193
1500	17160	76.20	1314	$\pm 100$	77	67	203	162	241	250
2000	17170	88.90	1575	$\pm 125$	91	78	235	191	285	408
3000	17180	101.60	1575	$\pm 125$	117/111*	89	286/324*	228/210*	350	701
4000	17190	127.00	1880	$\pm 125$	142	111	324	210	425	1225
6500	17200	152.40	2134	$\pm 125$	152	121	350	305	515	1810
8000	17210	177.80	2293	$\pm 125$	178	135	415	343	565	2495

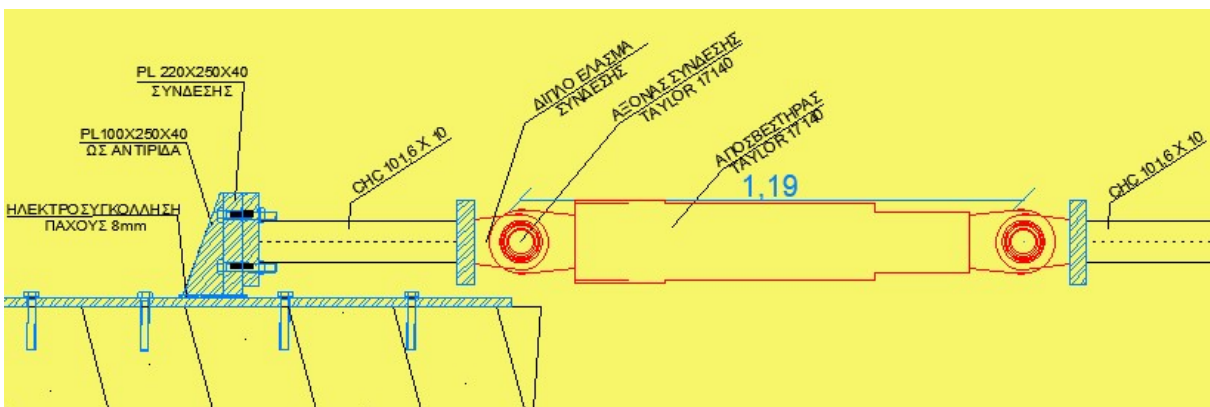
\* DENOTES MODEL WITH DIFFERENT CLEVIS SIZES ON EACH END.

**Εικόνα 8.27** Χαρακτηριστικά ιξώδων αποσβεστήρων καθώς και τμημάτων σύνδεσης αυτών

Παρόμοια διαδικασία θα ακολουθηθεί και για τα διαγώνια χιαστί με CHS 197,3 X10. Παρακάτω ακολουθούν τα σχέδια με τις λεπτομέρειες σύνδεσης.



**Εικόνα 8.28.** Λεπτομέρεια σύνδεσης ιζώδων αποσβεστήρων στην υφισταμένη κατασκευή καθώς και τμημάτων σύνδεσης αυτών



**Εικόνα 8.29.** Λεπτομέρεια σύνδεσης ιζώδων αποσβεστήρων στην υφισταμένη κατασκευή καθώς και τμημάτων σύνδεσης αυτών

**Κόστος ενίσχυσης με αποσβέστηρες έναντι συμβατικής ενίσχυσης με χιαστί μεταλλικούς συνδέσμους:**

Παρακάτω θα πραγματοποιηθεί προμέτρηση κιλών για την κατασκευή της ενίσχυσης με χιαστί συνδέσμους και με ιξώδεις αποσβέστηρες και θα παρατεθούν τα συνολικά κόστη.

**Για την συμβατική ενίσχυση χρειαζόμαστε τα παρακάτω:**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΟΝ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΕΙΔ ΒΑΡΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ kgr
CHS 193.7 X10	m	$(5.2*2*20)=208$	45,3	9422,4
Έλασμα σύνδεσης αγκύρωσης 1540*850	m <sup>2</sup>	$0,84*6*2*4=40,32$	157	6330,2
Έλασμα συγκόλλησης	m <sup>2</sup>	$0.063*4*20=5$	314	1570,0
Έλασμα αντηρίδων	m <sup>2</sup>	$0,012*8*20=1,92$	314	602,3
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>				<b>17925,4</b>

Ένα ενδεικτικό κόστος στην αγορά σήμερα για τέτοιου είδους κατασκευή, χωρίς να περιλαμβάνει τα κριώματα κυμαίνεται στα 4,5-5 Φ/Kgr.

Η ενίσχυση με χιαστί συνδέσμους θα είχε κόστος:  $17925,4*4,5= 80664,3$  Ευρώ

**Για την ενίσχυση με ιξώδεις αποσβεστήρες χρειαζόμαστε τα παρακάτω:**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΟΝ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΕΙΔ ΒΑΡΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ kgr
CHS 101.6 X10	m	$(4.0*24+8*2,6)=116,8$	22,6	2639,6
Έλασμα σύνδεσης αγκύρωσης 1540*850	m <sup>2</sup>	$0,84*44=36,96$	157	5802,7
Έλασμα συγκόλλησης	m <sup>2</sup>	$0.063*44=2,64$	314	828,9
Έλασμα αντηρίδων	m <sup>2</sup>	$0,012*48=0,576$	314	180,8
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>				<b>9452,0</b>

Το συμβατικό κόστος για την ενίσχυση με ιξώδεις αποσβεστήρες θα είχε κόστος:

$$9452*5,0= 47260 \text{ Ευρώ}$$

Λαμβάνουμε μεγαλύτερη τιμή στην δεύτερη περίπτωση λόγω μικρότερου αντικείμενου.

Αναφορικά με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των ιξώδων αποσβεστηρών που απαιτούνται, δεν υπάρχει σαφής εικόνα διότι οι εταιρείες οι οποίες τους κατασκευάζουν δεν γνωστοποιούν τον τιμοκατάλογο τους. Συνήθως πρώτα ελέγχουν την μελέτη του μηχανικού καθώς θέλουν να βεβαιωθούν ότι πρόκειται για πραγματικό εμπορικό έργο και όχι για ακαδημαϊκή εργασία.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ενίσχυση ενός κτιρίου με ιξώδεις αποσβεστήρες είναι εφικτή, ασφαλής και καλαίσθητη σε σχέση με μία συμβατική ενίσχυση. Απευθύνεται κυρίως σε μεγάλες καθ' ύψος κατασκευές, οι οποίες έχουν γενικότερα προβλήματα μετατοπίσεων από σεισμούς και ανέμους. Ωστόσο, οι ιξώδεις αποσβεστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε παλαιότερα κτίρια τα οποία χρειάζονται ενίσχυση, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την απομάκρυνση των ενοίκων.

▪ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES:

1. Hogg, I.V., 1971, The Guns 1914-1918, Ballantine Books Inc., New York, New York
2. Fluid Viscous Dampers. General Guidelines for Engineers Including a Brief History. Taylor Devices.
3. Christopoulos, C. and Filiatrault, A. 2006. Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation, IUSS Press, Pavia, Italy
4. Fema\_nehrp-seismic-provisions-new-buildings\_p-1050-1\_2015
5. RETROFIT OF PRE-NORTHRIDGE STEEL MOMENT-RESISTING FRAMES USING FLUID VISCOUS DAMPERS. P. URIZI\* AND A. S. WHITTAKER
6. Improving total-building seismic performance using linear fluid viscous dampers. Giuseppe Marcantonio Del Gobbo<sup>1</sup> • Anthony Blakeborough<sup>1</sup> • Martin S. Williams<sup>1</sup>
7. Damper Design Manual 12.20\_DigitalVersion – Taylor Inc.
8. Damping Technologies for Tall Buildings Theory, Design Guidance and Case Studies Alberto Lago, Dario Trabucco, Antony Wood
9. BUILDING CONTROL WITH PASSIVE DAMPERS Optimal Performance-based Design for Earthquakes. Izuru Takewaki
10. ASCE STANDARD ASCESEI 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings by American Society of Civil Engineers
11. ASCE standard ASCESEI 41-13 American Society of Civil Engineers seismic evaluation and retrofit of existing buildings by American Society of Civil Engineers
12. A DESIGN OFFICE APPROACH TO SUPPLEMENTAL DAMPING USING FLUID VISCOUS DAMPERS. J.D. Pettinga<sup>1</sup>, S. Oliver<sup>2</sup> and T.E. Kelly
13. ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ  
*2η Αναθεώρηση 2017*
14. (Πηγή: Analytical Evaluation on Hysteresis Performance of Circular Shear Panel Damper. Daniel Y. Abebe, Jaehyouk Choi.)
15. *International Research Journal of Engineering and Technology*
16. Pall, A.S. and Marsh, C., (1982), Response of Friction Damped Braced Frames, Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 108, No. ST6, pp. 1313-1323.

17. Constantinou, M.C. and Symans, M.D., (1992), Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers, Technical Report NCEER-92-0032, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
18. Giarlelis C., Koufalis D. and Repapis C., (2020) Seismic Isolation: An Effective Technique for the Seismic Retrofitting of a Reinforced Concrete Building, *Structural Engineering International*, 30:1, 43-52, DOI: 10.1080/10168664.2019.1678449
19. Soong T.T and Spencer Jr. B.F. (2002), Supplemental Energy Dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice, *Engineering Structures* 24 (2002) 243-259.
20. Lampropoulos A. (Ed.), Apostolidi E. , Dritsos S.E., Giarlelis C. , Jara J. , Sutcu F. , Takeuchi T., White J. , "Seismic Isolation and Response Control", International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 2021, DOI: 10.2749/sed019, ISBN: 978-3-85748-180-2.
21. ETABS 2015 Evaluation Version
22. SCADA 2019 Evaluation Version