

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ ΤΡΙΒΗΣ

ΛΟΤΣΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΑΧΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Περίληψη

Ο στόχος της εργασίας είναι να γνωστοποιηθούν νέες ιδέες για μεθόδους ανάληψης της σεισμικής δράσης. Η μέθοδος που παρουσιάζεται είναι η διάχυση παθητικής ενέργειας σε υφιστάμενες κατασκευές με την χρήση αποσβεστήρων τριβής. Αναφέρονται εκτενώς τα υπάρχοντα είδη των αποσβεστήρων τριβής, οι αρχές και ο τρόπος λειτουργίας τους καθώς και τα πλεονεκτήματά τους. Επίσης παρουσιάζονται κατασκευαστικές λεπτομέρειες για την αποδοτικότερη λειτουργία των αποσβεστήρων. Μεγάλη έμφαση δίνεται σε εφαρμογές των αποσβεστήρων σε ήδη υπάρχοντα κτίρια για να τονισθούν τα προτερήματά τους απέναντι στις συμβατικές μεθόδους σεισμικής ενίσχυσης και για να γίνει πιο κατανοητή η χρήση και η χρησιμότητά τους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον σχεδιασμό των περισσότερων κτιρίων, τα πρώτα φορτία που λαμβάνονται υπ' όψιν είναι αυτά που οφείλονται στην βαρύτητα. Τα φορτία αυτά υπάρχουν καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους και τα μεγέθη τους μπορούν εύκολα να προβλεφθούν καθώς αποτελούνται από το ίδιο βάρος της κατασκευής και τα βάρη των ωφέλιμων φορτίων. Άρα η στατική εξιδανίκευση τους είναι σωστή και αξιόπιστη. Επιπλέον, στις κατασκευές πρέπει να υπάρχει προστασία από τις περιβαλλοντικές φορτίσεις (σεισμοί, άνεμοι, κύματα), οι οποίες δεν είναι ούτε στατικές ούτε έχουν προκαθορισμένη διεύθυνση. Η σημαντικότερη φόρτιση είναι οι αδρανειακές δυνάμεις που προκαλούνται λόγω της δυναμικής και επανακυκλιζόμενης δράσης του σεισμού. Σε αντίθεση με τα φορτία βαρύτητας, τα μεγέθη των περιβαλλοντικών φορτίσεων είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν λόγω της μεγάλης χωρικής και χρονικής στατιστικής διακύμανσής τους.

Παρ' όλες αυτές τις σημαντικές διαφορές, υπάρχει μια τάση να μεταχειριζόμαστε τις περιβαλλοντικές φορτίσεις με τις ίδιες μεθόδους που χρησιμοποιούμε για τα φορτία βαρύτητας. Για παράδειγμα ο άνεμος και σεισμός προσομοιάζονται σαν πλευρικές δυνάμεις [1]. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση οι σύγχρονοι κατασκευαστικοί κώδικες προτείνουν τους ανέμους και τους μέτριους σεισμούς τα κτίρια να τους παραλαμβάνουν με ελαστική καταπόνηση. Οι ίδιοι κώδικες όμως αντιλαμβάνονται ότι δεν είναι οικονομικά εφικτό η ελαστική αντοχή των μελών μιας κατασκευής να παραλάβει όλη την ενέργεια ενός μείζονος σεισμού. Το κριτήριο λοιπόν που χρησιμοποιείται στις συμβατικές κατασκευές είναι η αντοχή στους μέτριους σεισμούς χωρίς σημαντικές βλάβες και η αποφυγή κατάρρευσης στους μείζονες σεισμούς αποδεχόμενοι την ύπαρξη αστοχιών. Η αποφυγή κατάρρευσης επιτυγχάνεται χάρη στην ικανότητα των μελών του κτιρίου να απορροφούν ενέργεια με τον σχηματισμό πλαστικών παραμορφώσεων, ρωγμών και εσωτερικών τριβών. Γεγονός το οποίο σημαίνει μόνιμες και πολυδάπανες βλάβες στην κατασκευή [2].

2. ΠΡΩΤΟΠΩΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ωστόσο, αν λάβουμε υπ' όψιν την δυναμική φύση των περιβαλλοντικών φορτίσεων μπορούν να υλοποιηθούν πιο ουσιαστικές λύσεις. Σαν αποτέλεσμα αυτής της δυναμικής

αντίληψης, νέα και πρωτοπόρα συστήματα προστασίας έχουν αναπτυχθεί. Τα συστήματα αυτά, λοιπόν, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση τον τρόπο που διαχειρίζονται την σεισμική ενέργεια που εισάγεται στην κατασκευή. Οι κατηγορίες είναι: α) Σεισμική μόνωση β) Συστήματα παθητικής διάχυσης ενέργειας, γ) Συστήματα ημί-ενεργητικής και ενεργητικής διάχυσης ενέργειας.

Table 1.1 Structural Protective Systems

Seismic Isolation	Passive Energy Dissipation	Semi-active and Active Control
Elastomeric Bearings	Metallic Dampers Friction Dampers	Active Bracing Systems Active Mass Dampers
Lead Rubber Bearings	Viscoelastic Dampers Viscous Fluid Dampers	Variable Stiffness or Damping Systems Smart Materials
Sliding Friction Pendulum	Tuned Mass Dampers Tuned Liquid Dampers	

Σχήμα 1: Συστήματα Προστασίας Κατασκευών[1]

Ένα σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι τυπικά τοποθετημένο στην θεμελίωση μιας κατασκευής. Με την βοήθεια της ευκαμψίας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας το σύστημα μόνωσης μερικώς μεταβιβάζει στη θεμελίωση και μερικώς απορροφά την σεισμική ενέργεια που εισέρχεται στο κτήριο. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε μεγάλα έργα, όπως γέφυρες και δεν ενδείκνυνται για επισκευές κτιρίων λόγω της μεγάλης δυσκολίας που παρουσιάζουν στην τοποθέτησή τους σε υφιστάμενες κατασκευές.

Στα συστήματα ημί-ενεργητικής και ενεργητικής διάχυσης ενέργειας η κίνηση της κατασκευής ελέγχεται ή τροποποιείται με την επιβολή εξωτερικής προμήθειας ενέργειας από ένα σύστημα ελέγχου.

Παρότι οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν ένα αυξανόμενο σημαντικό ρόλο στην ανέγερση κατασκευών, στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τα συστήματα παθητικής διάχυσης ενέργειας. Παρομοίως με την σεισμική μόνωση, η βασική λειτουργία της παθητικής διάχυσης ενέργειας είναι να απορροφούν ή να καταναλώνουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που υπεισέρχεται στην κατασκευή που ενσωματώθηκαν. Αντιθέτως με τα συστήματα ημί-ενεργητικής και ενεργητικής διάχυσης ενέργειας δεν χρειάζεται εξωτερική παροχή ρεύματος. Τα συστήματα παθητικής διάχυσης ενέργειας χωρίζονται κυρίως με βάση την αρχή λειτουργίας απόσβεσης ενέργειας που χρησιμοποιούν και όπως φαίνεται στο σχήμα 1 είναι τα εξής: α) Απόσβεση με μεταλλικές διατάξεις διαρροής μέσω ανελαστικής παραμόρφωσης και διαρροής μεταλλικών στοιχείων, β) Απόσβεση με αποσβεστήρες τριβής μέσω των δυνάμεων τριβής, γ) Απόσβεση με ιξώδους και αποσβεστήρες μέσω παραμόρφωσης ιξωδοελαστικών στερεών ή υγρών, δ) Αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας και διατάξεις συντονισμένης υγρής απόσβεσης που περιλαμβάνουν συμπληρωματικούς ταλαντωτές που απορροφούν δυναμικά την δόνηση[1]. Στην παρούσα εργασία θα επικεντρωθούμε στους αποσβεστήρες τριβής.

3. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΤΡΙΒΗΣ

Από όλες τις διαθέσιμες μεθόδους απόσπασης της κινητικής ενέργειας από ένα κινούμενο σώμα η πιο διαδεδομένη είναι το φρένο τριβής. Είναι το πιο αποτελεσματικό, σίγουρο και οικονομικό μέσο σπατάλης ενέργειας. Στην δεκαετία του '70 το φρένο τριβής ενέπνευσε τους ερευνητές να δημιουργήσουν αποσβεστήρες τριβής. Όπως και στα αυτοκίνητα, η κίνηση της ταλαντευόμενης κατασκευής μπορεί να επιβραδυνθεί χρησιμοποιώντας την αρχή της τριβής, παραλαμβάνοντας έτσι τα αδρανειακά φορτία του σεισμού με τις ελάχιστες υλικές ζημιές[7], σύμφωνα και με το μότο 'by braking rather than breaking' (Pall and Marsh, 1982). Σε όλα τα είδη αποσβεστήρων τριβής, λοιπόν, υπάρχουν δύο επιφάνειες που κατά την διάρκεια του κρίσιμου σεισμού ολισθαίνουν μεταξύ τους. Στους αποσβεστήρες παράγεται μη επανακτώμενο έργο χάρη στη εφαπτόμενη δύναμη τριβής που χρειάζονται οι δύο επιφάνειες για να ολισθήσουν. Οι επιφάνειες επαφής είναι σημαντικό να μένουν ξηρές. Η θεωρία της ξηρής τριβής βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις:

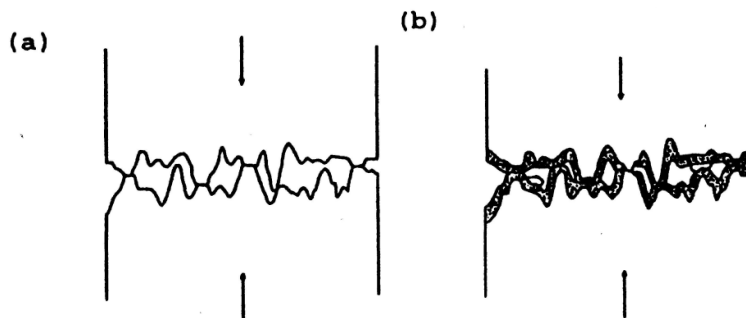
- α) Η συνολική δύναμη τριβής που αναπτύσσεται είναι ανεξάρτητη από την επιφάνεια επαφής
- β) Η συνολική δύναμη τριβής που αναπτύσσεται είναι ανάλογη του κάθετου αξονικού φορτίου στις επιφάνειες επαφής.
- γ) Για την περίπτωση ολίσθησης των δύο επιφανειών σε χαμηλή σχετικά ταχύτητα, η δύναμη τριβής είναι ανεξάρτητη αυτής της ταχύτητας.[1]

Σαν αποτέλεσμα αυτών των υποθέσεων την στιγμή που αρχίζει η ολίσθηση και κατά τη διάρκεια αυτής η δύναμη τριβής (τριβή ολίσθησης) είναι:

$$F = \mu * N \quad (1)$$

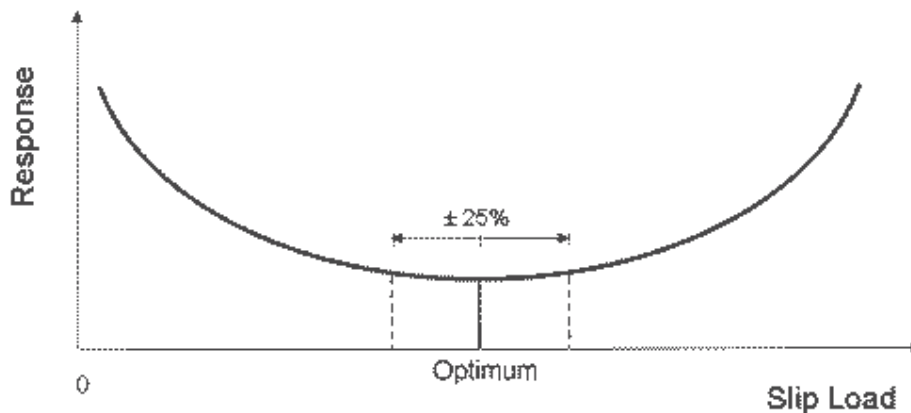
F =τριβή ολίσθησης μ = συντελεστής τριβής N = Αξονική δύναμη κάθετη στην επιφάνεια

Την επιθυμητή τριβή ολίσθησης την επιτυγχάνουμε ρυθμίζοντας την κάθετη δύναμη στις επιφάνειες και επιλέγοντας τα κατάλληλα υλικά επιφανειών που παρέχουν το ζητούμενο συντελεστή τριβής μ , όπως φαίνεται και από την σχέση 1. Η τιμή του μ δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία, επηρεάζεται όμως από τις χημικές αντιδράσεις που ενδεχομένως γίνονται στις επιφάνειες επαφής (π.χ. οξείδωση). Αν εξετάσουμε μικροσκοπικά τις επιφάνειες θα δούμε ότι δεν είναι λείες αλλά τραχιές, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Η αλληλεμπλοκή αυτών των ανωμαλιών κατά την διάρκεια της ολίσθησης δημιουργεί ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις στην επιφάνεια με αποτέλεσμα την δύναμη τριβής. Αν όμως υπάρχει υγρασία στην συσκευή η επιφάνεια θα είναι οξειδωμένη αλλοιώνοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά της με αποτέλεσμα την μείωση της δύναμης τριβής. Καταλαβαίνουμε, λοιπόν, ότι η προφύλαξη της συσκευής από την υγρασία είναι σημαντική.[1]



Σχήμα 2. Μικροσκοπική τομή: α)καθαρής μεταλλικής επιφάνειας β) οξειδωμένης μεταλλικής επιφάνειας [1]

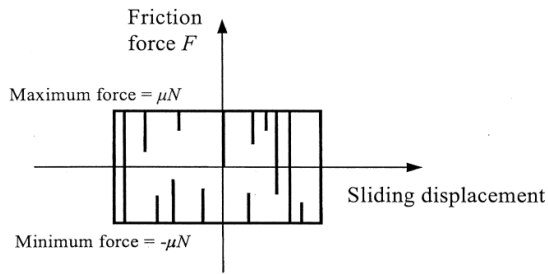
Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι αν δεν ασκηθεί δύναμη ίση με την τριβή ολίσθησης στον αποσβεστήρα δεν υπάρχει ολίσθηση και συνεπώς διασκεδασμός ενέργειας. Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να δεχθεί είναι η τριβή ολίσθησης και από αυτό το σημείο αρχίζει η διάχυση ενέργειας. Η τιμή της είναι αυτή που καθορίζει αν ο αποσβεστήρας θα λειτουργεί σαν μια απλή στήριξη που προσφέρει δυσκαμψία ή σαν ένα συστήματα παθητικής διάχυσης ενέργειας, σε ένα σεισμό. Οι αποσβεστήρες τριβής συνήθως σχεδιάζονται έτσι ώστε να μην ολισθαίνουν στους ανέμους. Ο σχεδιασμός τους στοχεύει να ολισθαίνουν πριν από τη διαρροή των δομικών στοιχείων κατά την διάρκεια ενός μεγάλου σεισμού. Σε γενικές γραμμές, το κατώτατο όριο είναι περίπου 130% του τέμνουσας αέρα και το ανώτατο όριο είναι το 75% της τέμνουσας κατά την οποία τα υπόλοιπα μέλη θα διαρρεύσουν. Συνεπώς η διαδικασία της επιλογής της τριβής ολίσθησης είναι ο σημαντικότερος υπολογισμός που έχει να κάνει ο μηχανικός και η βέλτιστη επιλογή της μπορεί να επηρεάζει σημαντικά την σεισμική απόκριση της κατασκευής.[2] Σύμφωνα με μελέτες έχει αποδειχθεί ότι αποκλίσεις της τάξης του 25% εκατέρωθεν της βέλτιστης τριβής ολίσθησης έχουν αμελητέες επιδράσεις στην σεισμική απόκριση της κατασκευής, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα[11].



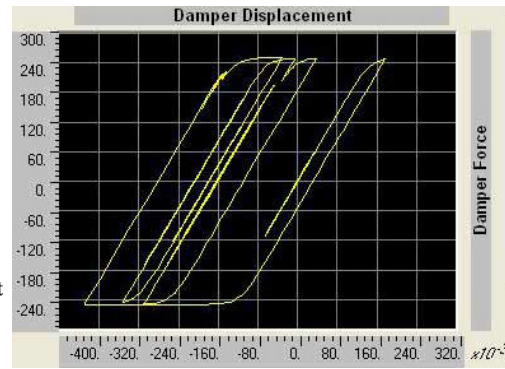
Σχήμα 3. Διάγραμμα τριβής ολίσθησης- σεισμικής απόκρισης κτιρίου με ενσωματωμένους αποσβεστήρες τριβής.[11]

Η επιλογή της τριβής ολίσθησης θα πρέπει επίσης να διασφαλίσει ότι μετά από ένα σεισμό, το κτίριο επιστρέφει κοντά στο αρχικό σημείο της ευθυγράμμισης με βάσει τις μετατοπίσεις που προκαλεί μία ελαστική δομή.[2]

Κύριο χαρακτηριστικό των αποσβεστήρων είναι οι βρόγχοι υστέρησης τους. Είναι ουσιαστικά διαγράμματα που στον άξονα x έχουν την μετατόπιση ολίσθησης και στον άξονα y την δύναμη τριβής. Το εμβαδόν του βρόγχου δείχνει την ποσότητα της ενέργειας που διαχέεται σε κάθε κύκλο απόσβεσης. Ο βέλτιστος βρόγχος είναι ο θεωρητικός τετραγωνικός βρόγχος υστέρησης της θεωρίας ξηράς τριβής του Coulomb[6].



Σχήμα 4. Θεωρητικός βρόγχος υστέρησης Coulomb [6]

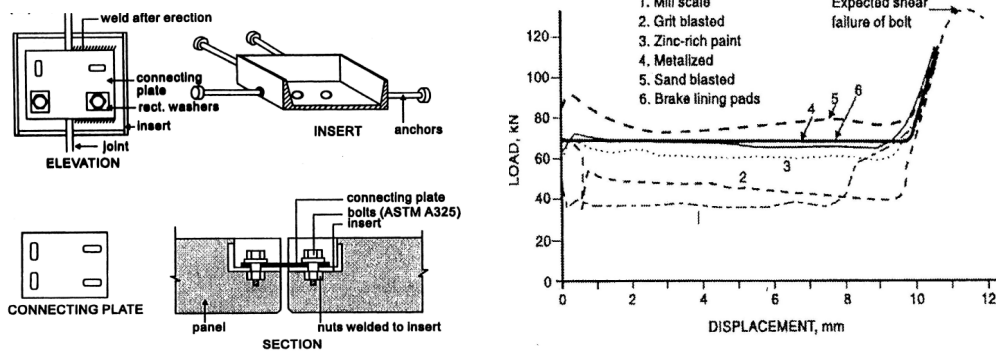


Σχήμα 5. Τυπικός βρόγχος υστέρησης αποσβεστήρα[18]

4. ΕΙΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΤΡΙΒΗΣ

Οι αποσβεστήρες τριβής αποτελούν μηχανισμούς οι οποίοι καταναλώνουν την ενέργεια μέσω τριβής. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη μετατροπή ενέργειας σε θερμότητα λόγω της τριβής. Η διαφορά των διαφόρων ειδών αποσβεστήρων τριβής έγκειται στα υλικά που χρησιμοποιούν για τις επιφάνειες ολίσθησης καθώς και στο μηχανικό τρόπο λειτουργίας τους[4]. Στη συνέχεια παρατίθενται τα υπάρχοντα είδη των αποσβεστήρων τριβής. **Αποσβεστήρες τριβής με περιορισμένη ολίσθηση της κοχλιωτής σύνδεσης (Limited slip bolted)**

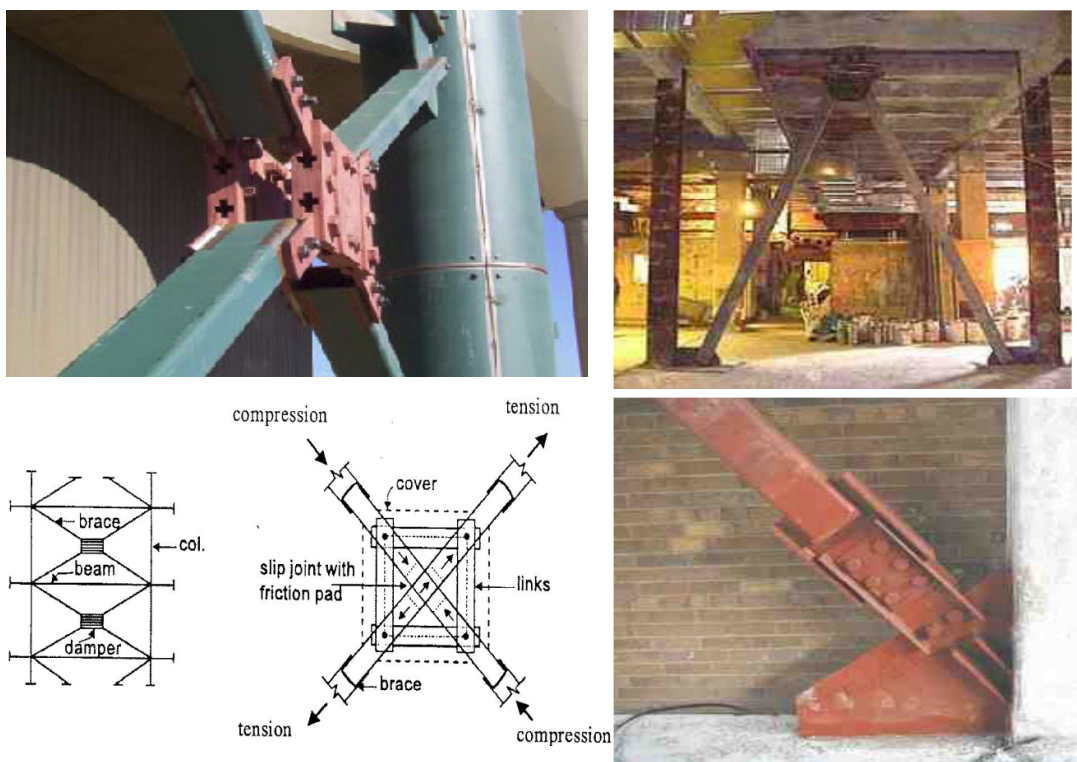
Αυτή η σύνδεση προορίζεται για το σεισμικό έλεγχο μεγάλων πλαισιακών κατασκευών. Ο σχεδιασμός της ενσωματώνει τακάκια ανάμεσα σε χαλύβδινες πλάκες για να παρέχει μια σταθερή σχέση δύναμης-μετατόπισης[1].



Σχήμα 6. Λεπτομέρειες από αποσβεστήρες τριβής με περιορισμένη ολίσθηση της κοχλιωτής σύνδεσης και διάγραμμα δύναμης μετατόπισης [1],[6]

Αποσβεστήρες περιστροφικών συνδέσεων τριβής (Pall friction dampers)

Μια εναλλακτική σχεδίαση των αποσβεστήρων τριβής περιορισμένης ολίσθησης της κοχλιωτής σύνδεσης είναι οι αποσβεστήρες περιστροφικών συνδέσεων τριβής οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με χιαστί συνδέσμους σε πλαισιακές κατασκευές. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι και οι διατάξεις που αυτοί συναντώνται είναι: τύπου X, τύπου Λ, ή ως μονά διαγώνια στοιχεία. Οι διατάξεις X αποτελούνται από άκαμπτα στοιχεία που ενώνονται με οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία. Αυτή η ένωση εξασφαλίζει ότι όταν το αξονικό φορτίο που ενεργεί κατά μήκος των στοιχείων είναι αρκετά μεγάλο για να ξεκινήσει η ολίσθηση στην εφελκυστική διαγώνιο, τότε η θλιβόμενη διαγώνιος θα ολισθήσει το ίδιο στην άλλη διεύθυνση[1]. Οι συνδέσεις αποτελούνται από δακτυλίους τριβής οι οποίοι κοχλιώνονται στους χαλύβδινους δίσκους και τους δακτυλίους διανομής με υψηλής αντοχής κοχλίες. Η αντοχή των διατάξεων εξαρτάται: από το υλικό, τις διαστάσεις των δακτυλίων τριβής και της πίεσης που εφαρμόζεται από τους κοχλίες[6].

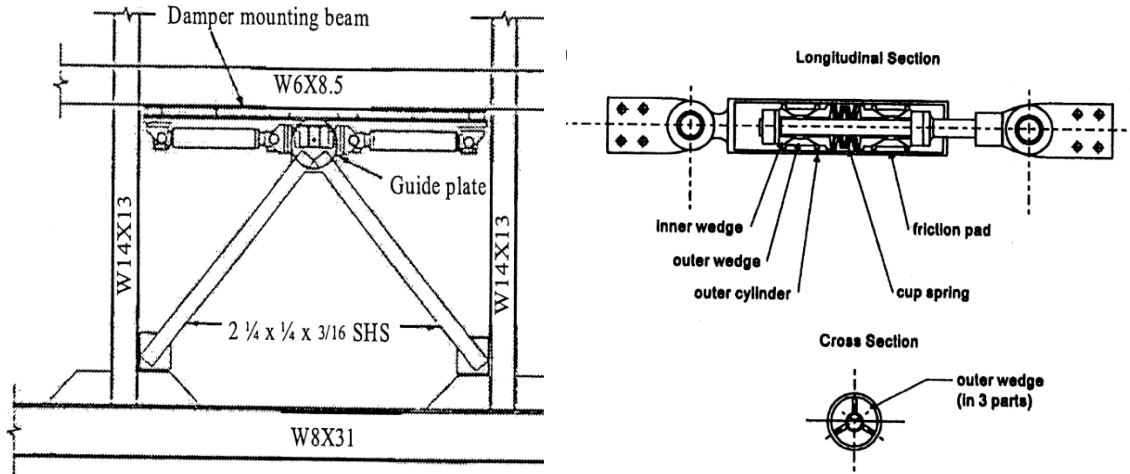


Σχήμα 7. Οι Αποσβεστήρες περιστροφικών συνδέσεων τριβής (Pall) διάταξης X, Λ και διαγωνίων αντίστοιχα[15],[13],[6],[7].

Αποσβεστήρας τριβής Sumitomo

Αυτοί οι αποσβεστήρες βρίσκουν εφαρμογή στην Ιαπωνία και έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για την απορρόφηση των κραδασμών των τρένων. Τα τακάκια τριβής κράματος χαλκού ολισθαίνουν κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας μιας μεταλλικής κυλινδρικής σφήνας. Η απαιτούμενη δύναμη τριβής προέρχεται μέσω αυτής της κίνησης (είσοδος και έξοδος) της σφήνας[1]. Στις κατασκευές χρησιμοποιούνται για μέτριους σεισμούς και τοποθετούνται κάτω από την δοκό. Τέλος να σημειωθεί ότι ο βρόγχος υστέρησης μιας

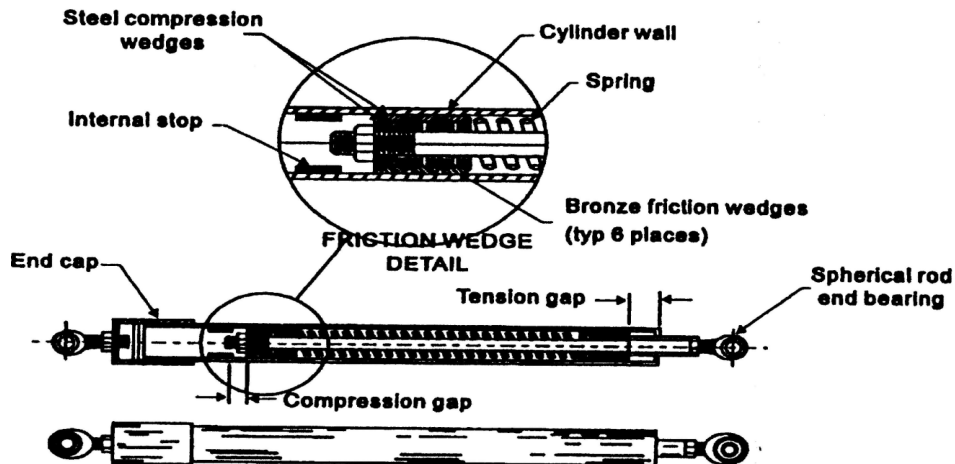
συσκευής Sumitomo μοιάζει με το νόμο του Coulomb για την ξηρά τριβή[6].



Σχήμα 8. Αποσβεστήρες τριβής Sumitomo [6], [1].

Αποσβεστήρες τριβής με διάχυση της ενέργειας συγκράτησης (Energy dissipating restraint)

Αυτός ο τύπος αποσβεστήρα αρχικά σχεδιάστηκε ως μια σεισμική συσκευή για την υποστήριξη των σωληνώσεων σε πυρηνικές εγκαταστάσεις. Ο αποσβεστήρας αυτός προσφέρει στην κατασκευή τριβή και γραμμική δυσκαμψία[1]. Η διάχυση εμφανίζεται στη διεπιφάνεια μεταξύ μιας μπρούτζινης σφήνας τριβής και ενός χαλύβδινου κυλίνδρου. Ο συνδυασμός των σφηνών και του εσωτερικού ελατηρίου παράγει μια δύναμη τριβής ανάλογη της σχετικής μετατόπισης από το τέλος της συσκευής[6].

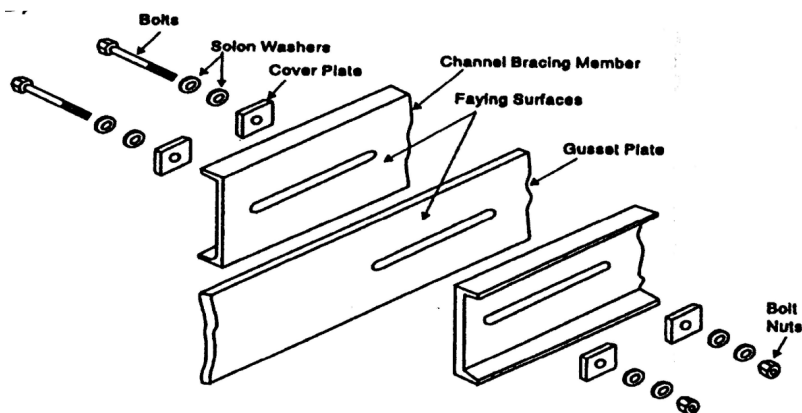


Σχήμα 9. Αποσβεστήρας τριβής με διάχυση της ενέργειας συγκράτησης[1].

Αποσβεστήρες τριβής με προεντεταμένους κοχλίες σε επιμήκης οπές (Slotted bolted connections)

Αυτοί οι αποσβεστήρες προορίζονται για εφαρμογή σε ενισχυμένα πλαίσια. Στη διάταξη αυτή η ενέργεια διαχέεται μέσω της τριβής μεταξύ των ολισθαινόντων επιφανειών. Η

διάταξη αυτή αποτελείται από μια κύρια χαλύβδινη πλάκα με επιμήκης οπές παράλληλες στον άξονα φόρτισης ανάμεσα σε δύο εσωτερικές ορειχάλκινες πλάκες. Στις οπές τοποθετούνται προεντεταμένοι κοχλίες[1]. Οι ορειχάλκινες πλάκες χρησιμοποιούνται για να μειωθεί η φθορά των επιφανειών της διάταξης. Η ολίσθηση των διεπιφανειών πραγματοποιείται και ως προς τις δυο διευθύνσεις της φοράς του αξονικού φορτίου[6].



Σχήμα 10. Αποσβεστήρας τριβής με προεντεταμένους κοχλίες σε επιμήκης οπές[1]

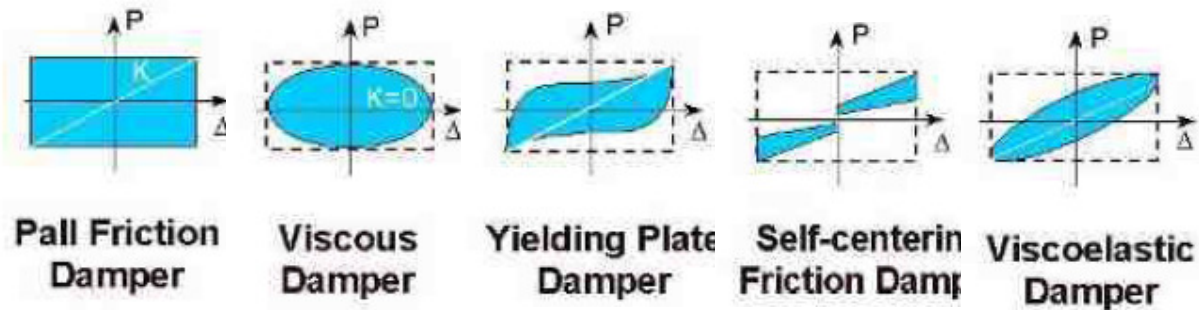
5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΤΡΙΒΗΣ

- Οι αποσβεστήρες τριβής καθιστούν προβλέψιμη και παράλληλα εύκολα επισκευάσιμη την αναμενόμενη σεισμική βλάβη[4].
- Εκτός της απόσβεσης προσδίδουν και δυσκαμψία στο κτίριο για μεγαλύτερη σταθερότητα[2].
- Οι επιδόσεις τους είναι ανεξάρτητες από την ταχύτητα της ταλάντωσης και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται[2].
- Σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών οι βλάβες που προκαλούνται σε ένα κτίριο μετά το τέλος του σεισμού είναι οι ελάχιστες δυνατές λόγω της πολύ μικρής σχετικής μετακίνησης ορόφων και της διάχυσης ενέργειας[13].
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και προσφέρουν μια αξιόπιστη λύση, στοιχεία που ικανοποιούν τις αρχιτεκτονικές και λειτουργικές ανάγκες του κτιρίου. Όλες οι μορφές ικανοποιούν τις ανάγκες φωτισμού και αερισμού των χώρων και κατάλληλες επιλογές, τις ανάγκες για ανοίγματα, πόρτες ή παράθυρα[4]. Μπορούν να κρυφτούν μέσα σε τοίχους, δεν επηρεάζουν την αρχιτεκτονική του κτιρίου και αυτό τους κάνει να είναι ιδανική λύση σε ιστορικά κτίρια.[17]
- Η ικανότητα απορρόφησης-διάχυσης σεισμικής ενέργειας, η μεγάλη διάρκεια ζωής τους καθώς και η εύκολη δυνατότητα επισκευής, αντικατάστασης ή και επαναρύθμισής τους, καθιστούν ελκυστική την εφαρμογή τους[5].
- Η συμπεριφορά τους δεν επηρεάζεται από το εύρος της ταλάντωσης, το φάσμα συχνότητας ή από τον αριθμό των κύκλων της κινητήριας δύναμης. Είναι ανεπηρέαστοι από το φαινόμενο της κόπωσης. Επίσης αποτρέπουν στην κατασκευή να εμφανιστεί το καταστροφικό φαινόμενο του συντονισμού[6].
- Δεν απαιτούν κατεδαφίσεις, αντικαταστάσεις των μελών της κατασκευής και ενίσχυση της θεμελίωσης, δηλαδή δεν επεμβαίνουμε στον αρχικό φέρων οργανισμό[2].
- Σε ένα υφιστάμενο κτίριο κατά την διάρκεια της τοποθέτησης των αποσβεστήρων δεν εμποδίζεται η λειτουργία του κτιρίου, γεγονός το οποίο έχει μεγάλη σημασία σε

ορισμένες κατηγορίες κτιρίων, όπως νοσοκομεία και εργοστάσια [8], [15]. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης τους σε εναλλακτικά μέρη του κτιρίου χωρίς να είναι αναγκαία η κάθετη διάταξή τους στους ορόφους, καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο να απαγορεύεται η εφαρμογή τους σε κάποιον χώρο του κτιρίου [7].

- Λειτουργούν υπό συγκεκριμένο φορτίο σε οποιονδήποτε σεισμό και αυτό κάνει τη σχεδίαση των μελών και των συνδέσεων τους εύκολη και οικονομική[2]. Επίσης γίνεται εύκολη η προσομοίωση τους στην ανάλυση[15].

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα διαχέουν περισσότερη ενέργεια για δεδομένη δύναμη σε σύγκριση με τα άλλα είδη αποσβεστήρων (ορθογώνιος βρόγχος υστέρησης). Όταν χρειάζονται και λιγότεροι για την ενίσχυση μιας κατασκευής[2].

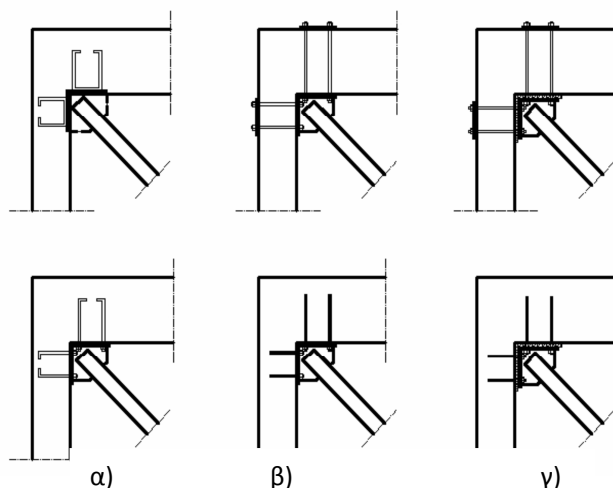


Σχήμα 11. Σύγκριση των βρόγχων υστέρησης διαφορετικών αποσβεστήρων[11]

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο μελετάται η δυνατότητα σύνδεσης των στοιχείων αυτών (αποσβεστήρες τριβής) με τον υπόλοιπο σκελετό Ο/Σ ενός κτιρίου μέσω της παρεμβολής κατάλληλου συνθετικού υλικού. Από αναλύσεις με την μέθοδο push over διαπιστώθηκε ότι η παρεμβολή του συνθετικού υλικού απομακρύνει κατά κανόνα, το ενδεχόμενο πρόωρης αστοχίας των ειδικών μεταλλικών αντισεισμικών στοιχείων (κατηγορία που ανήκουν οι αποσβεστήρες τριβής) από λυγισμό. Με την παρεμβολή κατάλληλου συνθετικού ελαστικού υλικού ανάμεσα στο σύστημα απόσβεσης και στα στοιχεία Ο/Σ η ενεργοποίηση της ενίσχυσης γίνεται σε δεύτερο χρόνο, που εξαρτάται από το πάχος του παρεμβαλλόμενου υλικού και την δυσκαμψία του φορέα για την προστασία έναντι βλάβης και αστοχίας. Επίσης, επιτρέπει στην κατασκευή να διατηρήσει την πλαστιμότητά της. Η σύνδεση πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να μεταφέρει ακίνδυνα τα φορτία μεταξύ του μεταλλικού σκελετού των αποσβεστήρων και των στοιχείων Ο/Σ του πλαισίου. Αυτό ισχύει τόσο για τις νέες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, όσο και για τις διατάξεις που εφαρμόζονται μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, δηλαδή σε υφιστάμενα κτίρια. Διάφοροι τρόποι σύνδεσης και των δύο τύπων παρουσιάζονται στο Σχήμα 12.

Ανάλογα με την διάταξη που επιλέγεται προκύπτουν και οι απαιτήσεις ως προς την ποιότητα και τα λοιπά χαρακτηριστικά του συνθετικού υλικού. Το συνθετικό υλικό Silicone rubber (σύνηθες υλικό) παραμορφώνεται σε θλίψη σε διάφορους ανοδικούς κλάδους ανάλογα με το ποσοστό των Graphite nanosheet που περιέχει.



Σχήμα 12. Λεπτομέρειες στα σημεία σύνδεσης:

α) Στερεές συνδέσεις κατά την σκυροδέτηση νέας κατασκευής.

β) Στερεές συνδέσεις σε υπάρχοντα πλαίσια.

γ) Συνδέσεις με παρεμβολή συνθετικού υλικού και παράλληλη αγκύρωση.[3]

Το συνθετικό υλικό θα το προσομοιώσουμε με δύο παράλληλα στοιχεία GAP και την αγκύρωση με στοιχείο HOOK, στοιχεία τα οποία παρέχει το πρόγραμμα SAP2000. Το συνθετικό υλικό λειτουργεί μόνο σε θλίψη, με συντελεστή δυσκαμψίας $k1$, μέχρι μια μέγιστη επιτρεπτή συμπίεση που θεωρήθηκε ότι μπορεί να είναι ίση με το ήμισυ του πάχους t του συνθετικού υλικού. Η αγκύρωση των ΕΜΑΣ στον πλαισιακό φορέα, θα προσομοιωθεί όπως αναφέρθηκε με στοιχείο HOOK το οποίο δεν ενεργοποιείται σε θλίψη, λειτουργεί μόνο σε εφελκυσμό. Γενικό συμπέρασμα είναι ότι το κατάλληλο πάχος στην επιλογή του ελαστικού υλικού προσδίδει την απαιτούμενη ευκαμψία στο σύστημα πλαισιακός φορέας-αποσβεστήρας τριβής ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη συμπεριφορά, και να αποφεύγονται με τον τρόπο αυτό, πρόωρες αστοχίες. Προσφέρεται έτσι στον φορέα Ο/Σ η δυνατότητα να αναπτύξει την πλαστική συμπεριφορά που διαθέτει.[3]

Σε προηγούμενες μελέτες, διαπιστώθηκε η σημαντική βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων όταν η τοποθέτηση των αποσβεστήρων γίνει σε τυχαία καθ ύψος θέση, σε σύγκριση με την καθιερωμένη κατακόρυφη διάταξη των τοιχωμάτων. Η ερμηνεία βρίσκεται στο γνωστό φαινόμενο της «λειτουργίας προβόλου», που η κατακόρυφη διάταξη των αντισεισμικών τοιχωμάτων έχει ως αποτέλεσμα τα τοιχώματα να είναι ουσιαστικά ανενεργά στους μεσαίους ορόφους και πολλές φορές να επιβαρύνουν τους υψηλούς ορόφους. Αποδείχθηκε δε ότι η τυχαία καθ' ύψος διάταξη των αποσβεστήρων αίρει την αδυναμία αυτή. Από τις δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις που έγιναν, υπολογίστηκε ότι η αναμενόμενη σεισμική βλάβη των φορέων με τυχαία τοποθέτηση των αποσβεστήρων, περιοριζόταν στο 30% περίπου της αντίστοιχης για κατακόρυφη διάταξη τοιχωμάτων.[4]

7.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ

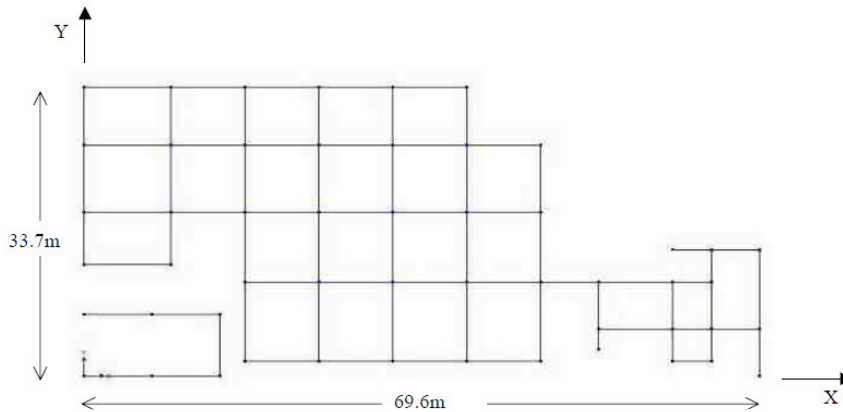
ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΟΤΤΑΒΑ ΚΑΝΑΔΑΣ

Το κτίριο κτίστηκε το 1993 και το 2003 αποφασίστηκε να προστεθεί ένας επιπλέον όροφος. Το κτίριο περιέχει πολύ ακριβά όργανα μεγάλης ευαισθησίας. Κατά τον ιδιοκτήτη είναι ζωτικής σημασίας η προστασία των οργάνων και των μεγάλης αξίας επιστημονικών αρχείων που στεγάζονται στο κτίριο. Η αποφυγή κατάρρευσης λοιπόν σε αυτή την περίπτωση δεν είναι επαρκής, καθώς ζημία στα εξαρτήματα θα προκαλούσε πολλαπλάσιο κόστος από την ίδια την αξία του κτιρίου. Αυτό οδήγησε στην επιλογή νέας αλλά και οικονομικής τεχνολογίας. Επιλέχθηκε τελικώς η χρήση των αποσβεστήρων τριβής τύπου Pall, διότι ήταν η μόνη οικονομικά εφικτή λύση που μπορούσε να εγγυηθεί μηδενικές ζημιές στα όργανα που στεγάζονται κατά την διάρκεια μεγάλου σεισμού. Σημαντικό θεωρήθηκε επίσης ότι αντιθέτως με την λύση προσθήκης τοιχωμάτων από Ο/Σ περιμετρικά του κτιρίου

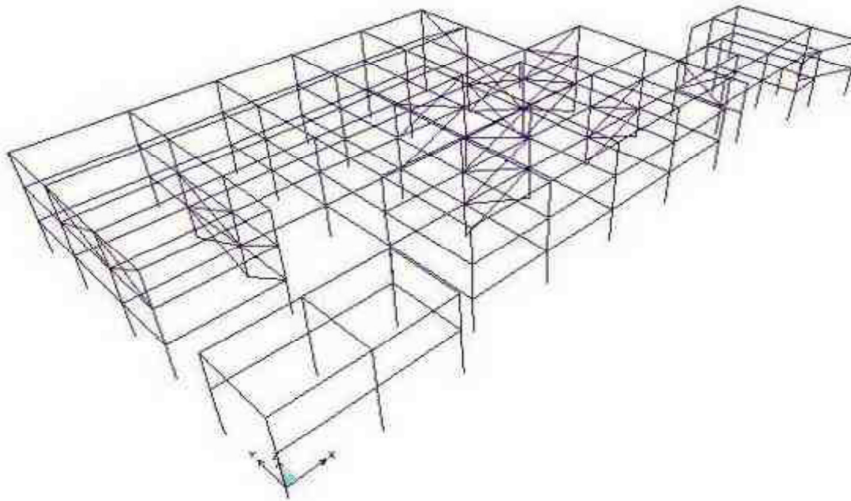
οι αποσβεστήρες δεν ήταν απαραίτητο να τοποθετηθούν κάθετα. Αυτό έδωσε σημαντική ελευθερία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό όπως και το γεγονός ότι τοποθετήθηκαν ενδιάμεσα σε τοίχους. Παρουσιάζονται το σχέδιο με τις διαστάσεις του κτιρίου και το τρισδιάστατο σχέδιο όπου φαίνονται οι τοποθεσίες εφαρμογής των αποσβεστήρων(τα χιαστί μέλη, μωβ χρώμα).



Σχήμα 13. Πρόσοψη κτιρίου[14]



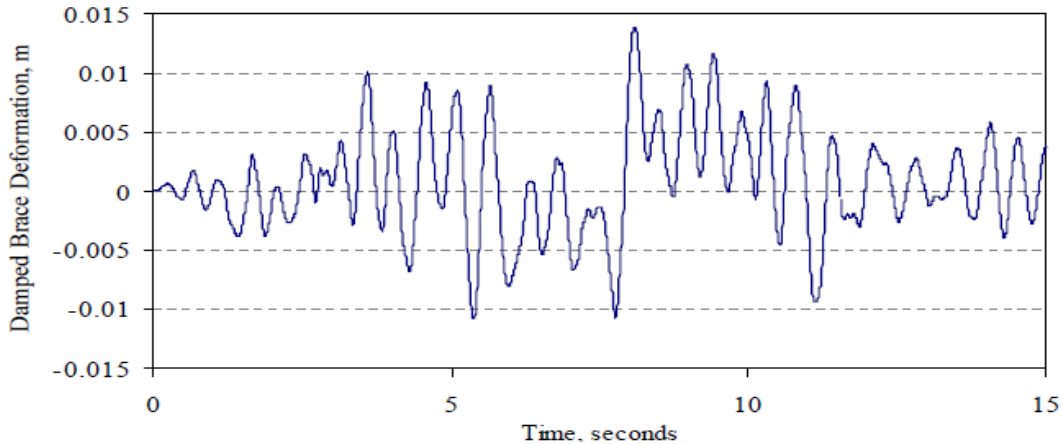
Σχήμα 14. Κάτοψη κτηρίου[14]



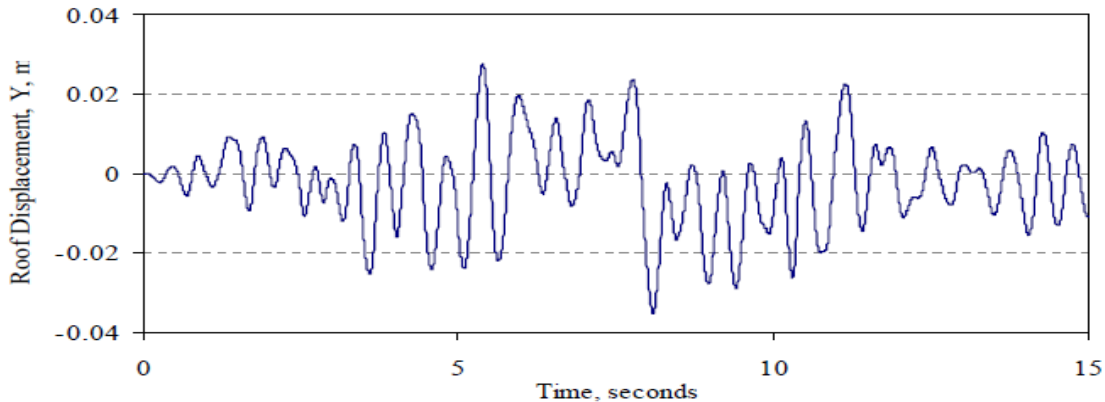
Σχήμα 15. Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου[14]

Ο κανονισμός για ημιστατικό σχεδιασμό στο NBCC(κατασκευαστικός κώδικας Καναδά) είναι βασισμένος στην πλαστιμότητα των μελών του κτιρίου και δεν υπάρχουν αναφορές στους αποσβεστήρες τριβής. Ωστόσο το παράρτημα J του κανονισμού επιτρέπει την εφαρμογή των αποσβεστήρων για την παραλαβή της σεισμικής φόρτισης. Πρέπει όμως στη μελέτη ο μηχανικός να αποδείξει ότι το κτίριο συμπεριφέρεται τουλάχιστον το ίδιο καλά σαν να είχε σχεδιαστεί με τις σεισμικές απαιτήσεις του NBCC. Χρησιμοποιήθηκε λοιπόν μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας με το πρόγραμμα DRAIN-TABS. Ο σχεδιασμός των αποσβεστήρων στο πρόγραμμα ήταν πολύ απλώς. Αφού οι βρόγχοι υστέρησης του αποσβεστήρα είναι

παρόμοιοι με οποιοδήποτε ελαστοπλαστικού υλικού, η τριβή ολίσθησης μπορεί να θεωρηθεί σαν το όριο διαρροής ενός ελαστοπλαστικού μέλους. Ο θεωρητικός σεισμός της ανάλυσης ήταν ένα μείγμα 3 μεγάλων σεισμών οι οποίοι έδιναν μέγιστη επιτάχυνση εδάφους 0,2g. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε X-Y-45° και υπολογίστηκε ότι χρειάζονται 23 αποσβεστήρες με 300KN τριβή ολίσθησης. Η μέγιστη ολίσθηση των αποσβεστήρων ήταν 13mm. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα χρονοϊστορίας της παραμόρφωσης της οροφής στο σχήμα . Η μέγιστη μετατόπιση ήταν 35mm. Η μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων ήταν 0,5%, και ο κανονισμός ορίζει ότι για κτίρια που χρειάζεται να είναι λειτουργικά ακόμα και μετά από ισχυρό σεισμό το όριο είναι 1%. Σε τόσο πολύ μικρές σχετικές μετακινήσεις αναμένονται πολύ λίγες ζημιές, γεγονός που ήταν και ο κύριος στόχος[14].



Σχήμα 16. Χρονοϊστορία της παραμόρφωσης τους συνδέσμων των αποσβεστήρων[14]



Σχήμα 17. Χρονοϊστορία της παραμόρφωσης στην οροφή του κτιρίου[14]

MUCTC BUILDING, PALAIS DES CONGRAIS, MONTREAL ΚΑΝΑΔΑΣ

Το δεκαόροφο κτίριο MUCTC χτίστηκε το 1928 και είναι ένα οικοδόμημα από οπλισμένο σκυρόδεμα ιστορικής σημασίας. Το 2000 αποφασίστηκε επέκταση του κτιρίου περιέχοντας το κέντρο συνεδριάσεων ‘Palais des Gongrais’. Αυτή η επέκταση επρόκειτο να υλοποιηθεί περιμετρικά ενσωματώνοντας το κτίριο MUCTC. Όπως, όμως, τα περισσότερα οικοδομήματα της ηλικίας του η αντίσταση του στον σεισμό ήταν σημαντικά μη επαρκής με βάση τις σημερινές διατάξεις, οπότε σεισμική αναβάθμιση θεωρήθηκε αναγκαία. Συμβατικές μέθοδοι προτάθηκαν όπως τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος ή χρήση μεταλλικών δικτυωτών συστημάτων αλλά απορρίφθηκαν διότι απαιτούσαν την ακριβή, δύσκολη και

χρονοβόρα διαδικασία ενίσχυσης των θεμελίων. Επίσης το αποτέλεσμα δεν θα ήταν αισθητικώς άρτιο για ένα ιστορικό κτίριο. Η διάχυση της σεισμικής ενέργειας σε συνδυασμό με την προσθήκη δυσκαμψίας που προσφέρουν οι αποσβεστήρες τριβής θεωρήθηκε η προτιμότερη λύση. Αποσβεστήρες τύπου Pall diagonal χρησιμοποιήθηκαν, καθώς ενώ παρέχουν την σεισμική ενίσχυση που απαιτήθηκε, δεν μεταφέρουν φορτία βαρύτητας και δεν χρειάστηκε ενίσχυση θεμελίων. Επίσης έδωσαν μεγάλη ευχέρεια σχεδιασμού στους αρχιτέκτονες κυρίως επειδή δεν χρειάζεται να τοποθετούνται κάθετα. Με τις συμβατικές μεθόδους μπορεί η κατάρρευση σε ένα μείζον σεισμό να αποφευγόταν αλλά θα εμφανίζονταν τόσο σοβαρές ζημιές μη επισκευάσιμες και το κτίριο θα θεωρείτο ενδεχομένως κατεδαφιστέο. Με τους αποσβεστήρες τριβής για τον ίδιο σεισμό οι βλάβες του κτιρίου μειώνονται στο ελάχιστο. Επίσης τα τοιχώματα προσδίδουν στο κτίριο πολύ μεγάλη δυσκαμψία και γενικά δύσκαμπτες κατασκευές προσελκύουν μεγαλύτερες εδαφικές επιταχύνειες με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τέμνουσα βάσης. Επομένως ότι πλεονεκτήματα πήραμε αυξάνοντας την δυσκαμψία κινδυνεύουμε να το χάσουμε από την εισαγωγή μεγαλύτερης ενέργειας σεισμού στην κατασκευή. Ο διασκεδασμός της σεισμικής ενέργειας θεωρήθηκε, μια χρηστική και οικονομική λύση.

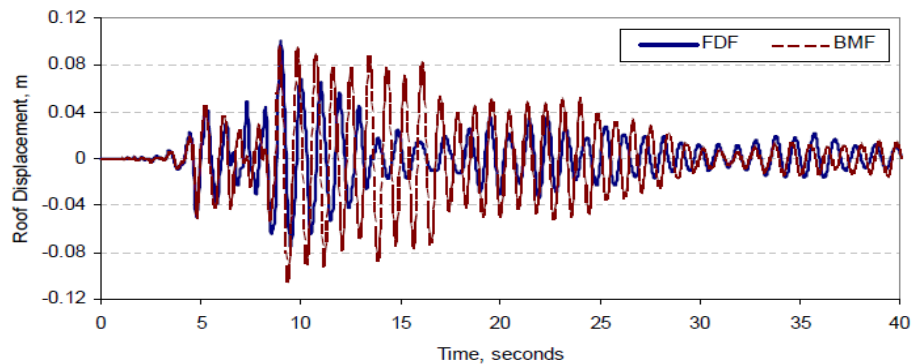


Σχήμα 18. Φωτογραφίες και σχέδια του MCTCC BUILDING-PALAIS DES CONGRES[17].

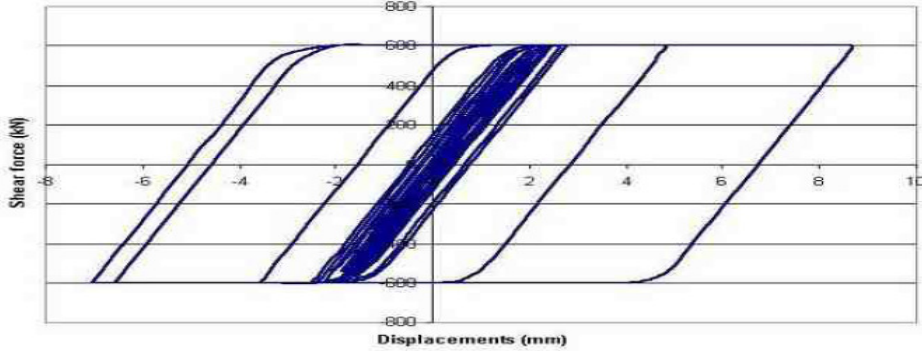
Στη διάρκεια των τελευταίων ετών, αρκετές κατευθύνσεις για την ανάλυση και τη διαδικασία σχεδιασμού των συστημάτων παθητικής διάχυσης της ενέργειας έχουν αναπτυχθεί στις ΗΠΑ. Όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα σχεδιάστηκε το κτίριο ακολουθώντας το παράρτημα J του NBCC(κώδικας κατασκευών Καναδά) σε συνδυασμό με το κείμενο “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, FEMA 356 / 357, το οποίο εκδόθηκε το 2000. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές και τις διατάξεις του NBCC και NEHRP χρησίμευσαν ως βάση για την ανάλυση και το σχεδιασμό του MUCTC κτιρίου, έγινε λοιπόν μη-γραμμική ανάλυση ιστορίας. Οι οδηγίες απαιτούν τα κτίρια που ενσωματώνουν συσκευές διάχυσης ενέργειας να αξιολογούνται για δύο είδη σεισμών.

Ένα βασικό σεισμό (BCE) με πιθανότητα εμφάνισης 10% σε 50 χρόνια και τον μέγιστο σεισμό σχεδιασμού (MCE) με πιθανότητα εμφάνισης 2% σε 50 χρόνια. θεωρείται ότι αν ακολουθηθούν σωστά οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες το κτίριο θα έχει σημαντική προστασία και για ισχυρότερο σεισμό από τον MCE. Κατά τον BCE βεβαιώνεται ότι όλα τα μέλη της κατασκευής δεν θα έχουν υπερβεί τις αντοχές τους και οι παραμορφώσεις θα είναι σε λογικά πλαίσια. Ο MCE χρησιμοποιείται για να οριστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη μετατόπιση των αποσβεστήρων τριβής. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι NEHRP κατευθυντήριες οδηγίες ορίζουν ότι οι αποσβεστήρες σχεδιάζονται για το 130% της μετατόπισης για MCE και οι συνδέσεις τους σχεδιάζονται για το 130% της τριβής ολίσθησης των αποσβεστήρων. Οι τριβές ολίσθησης, επίσης δεν θα πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 15% στους αποσβεστήρες μεταξύ τους. Τελικά υπολογίστηκε ότι χρειάζονται 88 αποσβεστήρες τριβής τύπου Λ και μονών διαγωνίων στοιχείων με τριβή ολίσθησης 500-600KN.

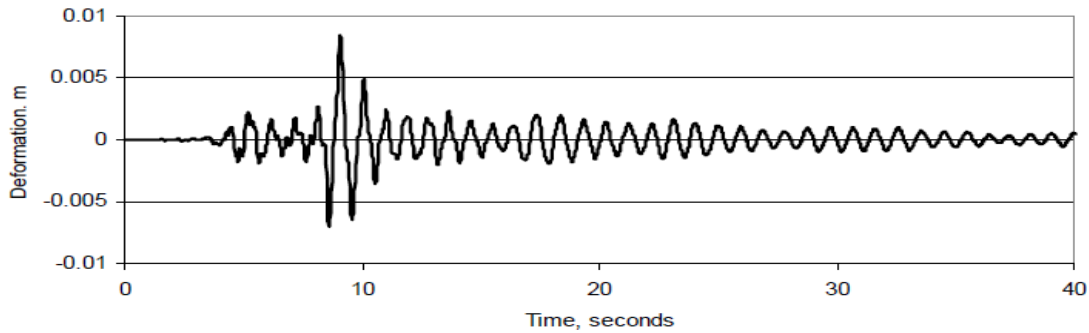
Προκειμένου να συγκριθεί η αποτελεσματικότητα των πλαισίων με αποσβεστήρες τριβής (FBF), ανάλυση του κτιρίου έγινε επίσης χρησιμοποιώντας δύσκαμπτες στηρίξεις στα πλαίσια (RBF). Τα αποτελέσματα είναι τα εξής: α) Παραμορφώσεις χρονοϊστορίας παρουσιάζονται στο σχήμα 19 όπου φαίνεται καθαρά η απόσβεση. Για τα FBF η μέγιστη παραμόρφωση είναι 100mm, ενώ για τα RBF είναι 105mm. Η μόνιμη παραμόρφωση των FBF μετά το τέλος του σεισμού είναι αμελητέα. β)Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφων με FDF είναι 0,7%, ενώ οι κώδικες επιτρέπουν μέχρι 2%. Σε τόσο χαμηλές παραμορφώσεις δεν αναμένονται ζημιές κατά τον MCE. γ) Ο βρόγχος υστέρησης παρουσιάζεται στο σχήμα 20 μέγιστη ολίσθηση 8mm. Αντιθέτως με τα RBF, στα FBF η δύναμη που αναπτύσσεται στα μέλη τους είναι γνωστή και σταθερή για όλους τους σεισμούς. Σημαντικά πλεονεκτήματα είναι ότι η δύναμη αυτή ορίζεται από τον μελετητή και όχι από τον σεισμό. δ) Παραμορφώσεις χρονοϊστορίας παρουσιάζονται στο σχήμα 21. Η μόνιμη παραμόρφωση μετά τον σεισμό είναι αμελητέα. ε)Τέλος, τα αξονικά φορτία στα υποστυλώματα των πλαισίων παρουσιάζονται στο σχήμα 22. Παρατηρείται ότι τα φορτία με FDF είναι κατά 40% μικρότερα από τα RBF. Η εφαρμογή των RBF θα οδηγούσε σε απαίτηση ενίσχυσης των υποστυλωμάτων και των θεμελίων[17].



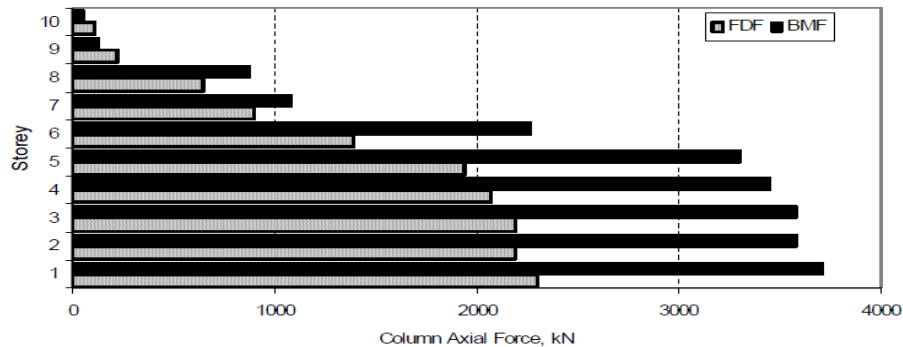
Σχήμα 19. Χρονοϊστορία των μετακινήσεων στη στέγη[17].



Σχήμα 20. Βρόχος υστέρησης ενός τυπικού 600kN αποσβεστήρα τριβής[17]



Σχήμα 21. Χρονοϊστορία ολίσθησης ενός τυπικού 600kN αποσβεστήρα τριβής[17]



Σχήμα 12. Αξονικά φορτία υποστυλωμάτων σε κάθε όροφο[17]

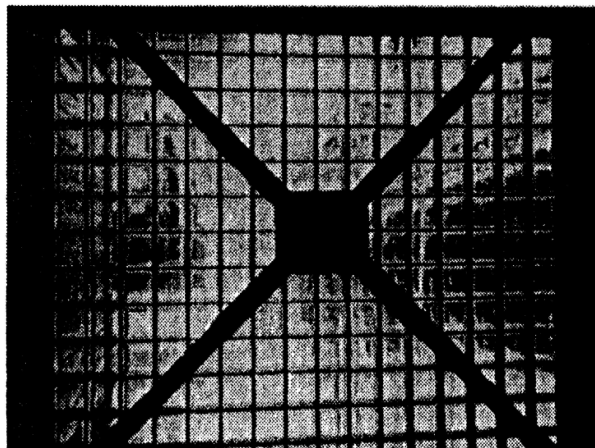
BIBΛΙΟΘΗΚΗ McCONNEL

Η βιβλιοθήκη McConnell του πανεπιστημίου Concordia στο Montreal του Καναδά αποτελείται από 2 κτίρια των 6 και 10 πατωμάτων που είναι διασυνδεδεμένα με μια στοά. Η εξωτερική θέα της κατασκευής φαίνεται στο σχήμα 23. Η τοποθέτηση αποσβεστήρων τριβής στην κατασκευή εξετάστηκε στην Pall το 1993. Στη βιβλιοθήκη τοποθετήθηκαν 143 αποσβεστήρες. Οι αρχιτέκτονες επέλεξαν να εκθέσουν εξήντα από τους αποσβεστήρες έτσι ώστε να φαίνεται η αισθητική τους. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 24. Μια σειρά από μη γραμμικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν το βέλτιστο κρίσιμο φορτίο ολίσθησης των συσκευών, το οποίο κυμαίνεται από 600 έως 700 kN ανάλογα με τη θέση τους μέσα στην κατασκευή. Για τις τρισδιάστατες χρονοϊστορικές αναλύσεις δημιουργήθηκε τεχνητό σεισμικό σήμα με ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους καθορίστηκε στα 0.18g για να αντιπροσωπεύσει την αναμενόμενη κίνηση του εδάφους στο Montreal. Κάτω από αυτό το επίπεδο διέγερσης, μια εκτίμηση του ισοδύναμου

λόγου απόσβεσης της κατασκευής με συσκευές τριβής είναι περίπου 50%. Επιπλέον, για αυτή τη βιβλιοθήκη η χρήση αποσβεστήρων τριβής είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί το συνολικό κόστος της κατασκευής κατά 1,5%. Οι συντάκτες σημείωσαν ότι θα ήταν αναμενόμενη μια υψηλότερη εξοικονόμηση σε μια περισσότερο ευάλωτη σεισμικά περιοχή[1].



Σχήμα 23. Βιβλιοθήκη McConnel[1]



Σχήμα 24. Εμφανής αποσβεστήρας τριβής[1]

8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των αποσβεστήρων τριβής απέδειξε ότι παρέχει μια πρακτική, αποτελεσματική, οικονομική και μη χρονοβόρα λύση στη σεισμική ενίσχυση. Αυτή η νέα μέθοδος μετά από πολλές μελέτες και εφαρμογές έχει δείξει ότι το κτίριο που τους ενσωματώνει θα λειτουργήσει ικανοποιητικά στην περίπτωση ενός μείζονος σεισμού. Λόγω των χαρακτηριστικών τους έχουν ευρεία χρήση, ήδη κάποιες χώρες επωφελούνται από την τεχνολογία τους όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς και η Ιαπωνία. Πιστεύουμε ότι και στην Ελλάδα της έντονης σεισμικής δράσης θα πρέπει να προτιμάται η λύση αυτή, αυτό όμως απαιτεί την δημιουργία κανονισμών, την κατάλληλη εκπαίδευση τεχνικών συνεργείων και την τήρηση των προαναφερθέντων κατασκευαστικών λεπτομερειών.

9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] T. T. Soong, G. F. Dargush, “Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering”, pp.5-34, 83-126, 1997.
- [2] Avtar PALL and R. Tina PALL, “PERFORMANCE-BASED DESIGN USING PALL FRICTION DAMPERS – AN ECONOMICAL DESIGN SOLUTION, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1955, August 1-6, 2004
- [3] Πανίκος ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, “Ενίσχυση κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος με ειδικά μεταλλικά αντισεισμικά στοιχεία, τοποθετημένα με παρεμβολή ειδικού συνθετικού υλικού”, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1936, 5-7 Νοεμβρίου, 2008
- [4] Πανίκος Παπαδόπουλος, Φώτιος Γραβαλάς, “Ελαχιστοποίηση των στροφών των πολυώροφων ασύμμετρων κτιρίων από Ο/Σ με την τοποθέτηση ειδικών μεταλλικών

αντισεισμικών στοιχείων”, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1901, 5-7 Νοεμβρίου, 2008

[5] Πανίκος Παπαδόπουλος, Ευθυμία Μητσοπούλου, “Πρόταση προμελέτης με βάση τις οριακές μετακινήσεις πλαισίων φορέων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με ειδικά μεταλλικά αντισεισμικά στοιχεία”, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1902, 5-7 Νοεμβρίου, 2008

[6] http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1217103104653//03Chapt02.pdf

[7] A. MALHOTRA, D. CARSON, P. GOPAL, A. BRAIMAH, G. Di GIOVANNI, and R. PALL, “FRICTION DAMPERS FOR SEISMIC UPGRADE OF ST. VINCENT HOSPITAL, OTTAWA”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1952, August 1-6, 2004

[8] Vail, C., Hubbell, J., (2002) "Structural Upgrade of Boeing Commercial Airplane Factory at Everett, WA", Proceedings, Applied Technology Council (ATC 17-2), Seminar on Response Modification Technologies for Performance-Based Seismic Design, Los Angeles.

[9] Balazic, J., Guruswamy, G., Elliot, J., Pall, R., Pall, A., (2000) "Seismic Rehabilitation of Justice Headquarters Building, Ottawa, Canada", Proceedings, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, Paper No. 2011

[10] Bharat SOLI, Dennis BAERWALD, Pete KREBS, R Tina PALL, “FRICTION DAMPERS FOR SEISMIC CONTROL OF AMBULATORY CARE CENTER, SHARP MEMORIAL HOSPITAL, SAN DIEGO, CA”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1953, August 1-6, 2004

[11] <http://www.palldynamics.com/FrictionDampers.htm>

[12] IAN D. AIKEN, JAMES KELLY AND S. PALL “SEISMIC RESPONSE OF A NINE-STORY STEEL FRAME WITH FRICTION DAMPED CROSS-BRACING”

[13] Pasquin, C., Leboeuf, N., Pall, R., "Friction Dampers for Seismic Rehabilitation of Eaton's Building, Montreal", Proceedings, Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, 2004. Paper #1949

[14] Palanimuthu (Ravi) SUNDARARAJ, R. Tina PALL, “SEISMIC CONTROL OF FEDERAL ELECTRONICS RESEARCH BUILDING, OTTAWA”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2016, August 1-6, 2004

[15] Shao, D., Pall, A., Soli, B., "Friction Dampers for Seismic Upgrade of A 14-Story Patient Tower With A 36-Foot Tall Soft-Story", Proceedings, 8th US National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, April 2006, Paper # 90

[16] Hale, T., Pall, R., (2000), "Seismic Upgrade of the Freeport Water Reservoir, Sacramento, California", Proceedings, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, NZ. Paper No. 269

[17] Serge VEZINA, R. Tina PALL, “SEISMIC RETROFIT OF MUSTIC BUILDING USING FRICTION DAMPERS, PALAIS DES CONGRES, MONTREAL”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1946, August 1-6, 2004

[18] Chang, C., Pall, A., Louie, J., "The Use of Friction Dampers for Seismic Retrofit of The Monterey County Government Center", Proceedings, 8th US National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, April 2006, Paper # 951.

