

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΤΡΙΒΗΣ

ΑΒΡΑΜΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΑ
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ ΕΛΕΝΗ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την εφαρμογή αποσβεστήρων τριβής σε υφιστάμενες κατασκευές ως ένα σύστημα παθητικού ενεργειακού διασκεδασμού. Περιγράφει τις αρχές λειτουργίας τους, τα είδη και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν φέροντα οργανισμό της υπάρχουσας κατασκευής. Παρατίθενται τα πλεονεκτήματα της μεθόδου καθώς και η σύγκριση της με συμβατικές μεθόδους τοποθέτησης τοιχωμάτων και δικτυωτών συστημάτων. Η μέθοδος, αν και περιοριστική στην εφαρμογή της, έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε αρκετά υφιστάμενα κτίρια παγκοσμίως με θετικές επιδράσεις στην ενίσχυση της σεισμικής συμπεριφοράς τους

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασφάλεια των κατασκευών είναι σίγουρα μια από τις σημαντικότερες προτεραιότητές της μηχανικής σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι κατασκευές υπόκεινται πολλές φορές σε μεγάλες και συχνά καταστροφικές για τη βιωσιμότητα της κατασκευής, φορτίσεις. Σεισμοί, ανεμοπύεση, δυνατά κύματα, μετακινήσεις εδαφών είναι μερικοί από τους φυσικούς κινδύνους που υπονομεύουν την ασφάλεια των κατασκευών. Καινοτομίες στην μελέτη, στον σχεδιασμό και στα υλικά των κατασκευών ελαχιστοποιούν την πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής σε οποιαδήποτε φόρτιση.

Η φιλοσοφία του συμβατικού σχεδιασμού των κατασκευών επιδιώκει να αποτρέψει την κατάρρευση της κατασκευής με το να επιτρέπει στα δομικά στοιχεία να απορροφούν και να διασκεδάζουν την δύναμη που τους διαβιβάζεται με ανελαστικές κυκλικές παραμορφώσεις σε συγκεκριμένες περιοχές. Ωστόσο η προστασία έναντι κατάρρευσης μόνο, δεν είναι αρκετή. Ο χρόνος, καθώς και το κόστος επισκευής τους μετά από ένα σεισμό είναι αρκετά μεγάλο, ξεπερνώντας πολλές φορές ακόμα και αυτό της ίδιας της κατασκευής. Γι' αυτό το λόγο πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την μείωση της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας της κατασκευής, είτε με τη μείωση της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας στην κατασκευή. Το πρώτο επιτυγχάνεται μέσω συμβατικών λύσεων, όπως χρήση μανδύων, προσθήκη τοιχωμάτων, προσθήκη δικτυωτών συστημάτων κ.τ.λ., οι οποίες αν και αξιόπιστες δεν είναι πάντα η πιο βέλτιστη λύση και οικονομική επιλογή. Γι' αυτό τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που στοχεύουν ώστε ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας να αναλίσκεται μηχανικά ή θερμικά χωρίς να διοχετεύεται στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής, βελτιώνοντας έτσι την αντίδραση των κατασκευών σε έντονες και ξαφνικές φορτίσεις όπως π.χ. ο σεισμός [1]. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι διατάξεις απόσβεσης τριβής.

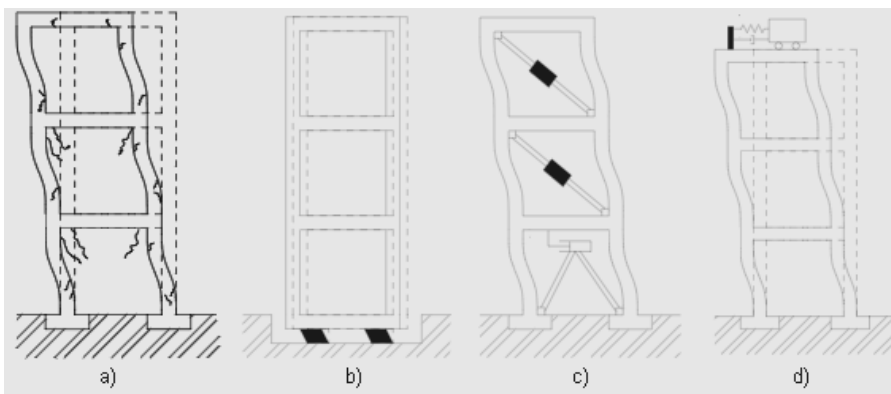
Διάφορα είδη αποσβεστήρων, με ποικιλία στα υλικά και στη μορφολογία είναι μία αποτελεσματική λύση ενίσχυσης των υφιστάμενων κατασκευών έναντι της σεισμικής δράσης. Ελαχιστοποιούν τις σεισμικές βλάβες και τις καθιστούν προβλέψιμες και παράλληλα εύκολα επισκευάσιμες. Θεωρούνται μία αρκετά καλή λύση ικανοποιώντας τις αρχιτεκτονικές και λειτουργικές ανάγκες του κτιρίου απαιτώντας ελάχιστη συντήρηση. Επειδή είναι μία σχετικά καινούρια μέθοδος δεν υπάρχουν οι απαραίτητες κατασκευαστικές διατάξεις για την ευρεία χρήση τους [6].

2. ΠΑΘΗΤΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΤΡΙΒΗΣ

Όταν μία κατασκευή δονείται διασκεδάζει την ενέργεια που προκαλεί αυτή την κίνηση μέσω εσωτερικών τριβών, ραγισμάτων, πλαστικών παραμορφώσεων κ.τ.λ. (Σχήμα 1a). Όσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα διάχυσης της ενέργειας, τόσο πιο μικρό θα είναι το πλάτος ταλάντωσης της κατασκευής λόγω της δόνησης. Κάποιες κατασκευές έχουν ποσοστό απόσβεσης 1% , με άμεσο αποτέλεσμα μεγάλα εύρη ταλάντωσης. Γι' αυτό το λόγο πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες για την μείωση της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών. Μία από τις πιο πρακτικές και αξιόπιστες μεθόδους είναι τα παθητικά συστήματα ενεργειακού διασκεδασμού [1],[2].

Ένα σύστημα παθητικού ελέγχου δεν απαιτεί για την λειτουργία του παροχή ηλεκτρικής ή άλλης μορφής ενέργεια. Οι συσκευές παθητικού ελέγχου μεταδίδουν δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται λόγω της κίνησης της κατασκευής. Η ενέργεια σε ένα παθητικά ελεγχόμενο δομικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένου και τις συσκευές παθητικού διασκεδασμού της ενέργειας, δεν αυξάνονται λόγω των συσκευών παθητικού ελέγχου. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον τρόπο που διαχειρίζονται την σεισμική ενέργεια σε (1) συστήματα σεισμικής μόνωσης (Σχήμα 1b) και (2) συστήματα παθητικού ενεργειακού διασκεδασμού (Σχήμα 1c,d)[1],[2].

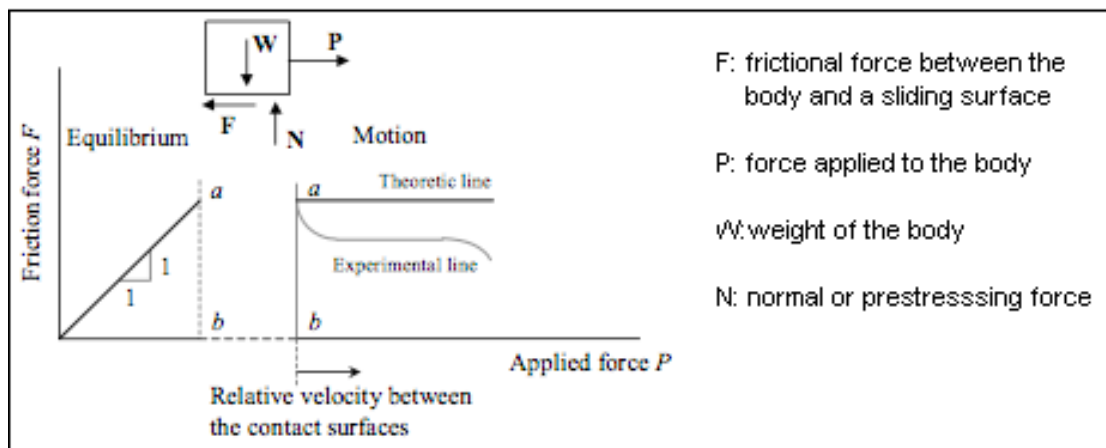
Τα συστήματα παθητικού ενεργειακού διασκεδασμού καλύπτουν μία σειρά από υλικά και συσκευές για την ενίσχυση της απόσβεσης, της δυσκαμψίας και της ευστάθειας της κατασκευής, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τον περιορισμό των κινδύνων λόγω φυσικών φαινομένων (σεισμοί, άνεμοι κτλ), όσο για την αποκατάσταση υφιστάμενων παλαιωμένων ή ανεπαρκών δομικών συστημάτων. Διάφορες τέτοιου είδους συσκευές έχουν χρησιμοποιηθεί σε κτίρια σε όλο τον κόσμο με βασικό χαρακτηριστικό τους την ικανότητα να ενισχύουν την απορρόφηση της ενέργειας στα κτίρια που έχουν τοποθετηθεί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε θερμότητα είτε μεταφέροντας την ενέργεια χρησιμοποιώντας βοηθητικούς ταλαντωτές που συνδέονται με την κύρια δομή. Στην πρώτη μέθοδο αντιστοιχούν συσκευές όπως οι αποσβεστήρες τριβής, μέσω ολίσθησης τριβής, οι μεταλλικές διατάξεις διαρροής (metallic yield dampers), μέσω ανελαστικής παραμόρφωσης και διαρροής μεταλλικών στοιχείων, οι ιξωδοελαστικοί αποσβεστήρες (viscoelastic dampers) και οι διατάξεις ρευστής ιξώδους απόσβεσης (viscous fluid dampers), μέσω παραμόρφωσης ιξωδοελαστικών στερεών ή υγρών αντίστοιχα. Στη δεύτερη μέθοδο ανήκουν αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας (tuned mass dampers) και διατάξεις συντονισμένης υγρής απόσβεσης (tuned liquid dampers) που περιλαμβάνουν συμπληρωματικούς ταλαντωτές που απορροφούν δυναμικά την δόνηση [1],[2].



Σχήμα 1: a) Σεισμική απόκριση συμβατικής κατασκευής, b, c, d) Απόκριση κατασκευής με παθητικά συστήματα ελέγχου b) σεισμική μόνωση, c) συσκευές ενεργειακού διασκεδασμού, d) διατάξεις δυναμικής απορρόφησης της δόνησης [1]

Από όλες τις διαθέσιμες μεθόδους για την εξαγωγή και διάχυση της κινητικής ενέργειας από ένα κινούμενο σώμα, η πιο διαδεδομένα αποδεκτή είναι το φρένο τριβής, που είναι το πιο αποτελεσματικό, αξιόπιστο και οικονομικό μέσο διασκεδάσμου της ενέργειας. Γι' αυτό ήδη από τα τέλη του 1970 έρευνες έγιναν για την δυνατότητα ελέγχου της κίνησης ενός δονούμενου κτιρίου, όμοια με την αρχή λειτουργίας των φρένων των αυτοκινήτων, με αποτέλεσμα την εφεύρεση των αποσβεστήρων τριβής [2],[9].

Οι περισσότεροι αποσβεστήρες τριβής έχουν ως βασικό μηχανισμό λειτουργίας τους την ξηρά τριβή. Στους αποσβεστήρες τριβής η διάχυση της ενέργειας λόγω σεισμικών δυνάμεων ή άλλων δυναμικών φορτίσεων γίνεται μέσω μίας επαπτόμενης δύναμης τριβής η οποία απαιτείται για να γλιστρήσει ένα στερεό σώμα πάνω σε μία επιφάνεια. Γι' αυτό πρέπει οι επιφάνειες επαφής των στερεών να είναι και να παραμένουν στεγνές. Οι κύριες δυνάμεις οι οποίες υπεισέρχονται στην ξηρά τριβή φαίνονται στο Σχήμα 2. Η δύναμη τριβής F είναι πάντα η ελάχιστη απαιτούμενη δύναμη ώστε να επιτευχθεί ισορροπία ή να αποφευχθεί η σχετική κίνηση μεταξύ των σωμάτων. Με το που ξεκινήσει η ολίσθηση, η F θεωρητικά παραμένει σταθερή, αλλά στην πραγματικότητα μεταβάλλεται με την ταχύτητα της κίνησης [3].

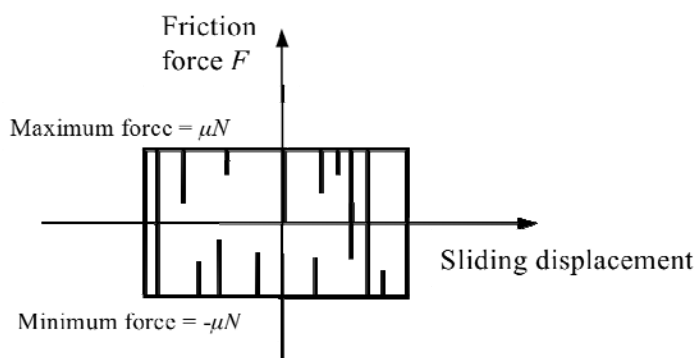


Σχήμα 2 :Σχέση δύναμης τριβής-επιβαλλόμενης δύναμης [1]

Η ξηρά τριβή υπήρξε αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημόνων, όπως των Coulomb, Da Vinci και Amontons. Οι περισσότεροι αποσβεστήρες τριβής βασίζονται στον νόμο του Coulomb για την ξηρά τριβή, ο οποίος εισάγει τον συντελεστή στατικής τριβής μ που δίνεται από την σχέση (1), όπου F_{max} η μέγιστη στατική δύναμη τριβής όταν επίκειται κίνηση μεταξύ των δύο επιφανειών και N η δύναμη μεταξύ των δύο επιφανειών στην φυσιολογική κατάσταση. Η σχέση (1) μπορεί να γενικευτεί στη σχέση (2) για ανομοιόμορφη διανομή τάσεων ή μη ομαλές επιφάνειες, όπου $(\tau)_{max}$ η μέγιστη επαπτόμενη αντίσταση λόγω τριβής και σ η φυσιολογική έλξη των επιφανειών. Βέβαια η ποσότητα του συντελεστή στατικής τριβής μ εξαρτάται από τα υλικά των επιφανειών επαφής, την κατάσταση της επιφάνειας ολίσθησης (τραχύτητα, οξείδωση), το μέγεθος της επιβαλλόμενης δύναμης καθώς και από την σχετική ταχύτητα της κίνησης, ενώ δεν επηρεάζεται σημαντικά από την μεταβολή της θερμοκρασίας [1]. Στο Σχήμα 3 φαίνεται ο θεωρητικός ορθογωνικός βρόγχος υστέρησης για την ξηρά τριβή με μέγιστη και ελάχιστη τιμή της δύναμης τριβής, μN και $-\mu N$ αντίστοιχα [3].

$$\mu = \frac{|F_{max}|}{N} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{|(\tau_t)_{\max}|}{\sigma} \quad (2)$$



Σχήμα 3 : Ορθογωνικός βρόγχος υστέρησης από τον νόμο του Coulomb για την ξηρά τριβή [3]

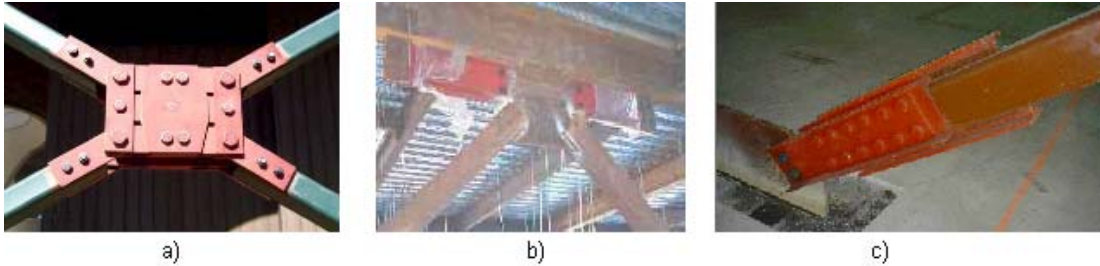
Στις σύγχρονες θεωρίες για την ξηρά τριβή στερεών γίνονται προσπάθειες για τον προσδιορισμό της πραγματικής επιφάνειας επαφής, τους μηχανισμούς που επιδρούν στη σύνδεση των επιφανειών και την τοπική ανελαστική παραμόρφωση στην περιοχή επαφής των επιφανειών. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου δημιουργούνται συγκολλητικοί δεσμοί μεταξύ των επιφανειών, με συνέπεια να δημιουργούνται τιμές $\mu > 1$ [3].

3.ΕΙΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΤΡΙΒΗΣ

Όπως αναφέρθηκε οι αποσβεστήρες τριβής είναι συσκευές απορρόφησης ενέργειας μέσω των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται σε αυτές. Η συμπεριφορά των διάφορων αποσβεστήρων τριβής δεν επηρεάζεται σημαντικά από το εύρος και τη συχνότητα της φόρτισης καθώς και από τον αριθμό των κυκλικών φορτίσεων. Οι διάφοροι τύποι διαφέρουν κυρίως στη μηχανική τους συμπεριφορά και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις επιφάνειες ολίσθησης. Περιγράφονται συνοπτικά κάποια από τα πιο συνηθισμένα είδη αποσβεστήρων τριβής [2],[3].

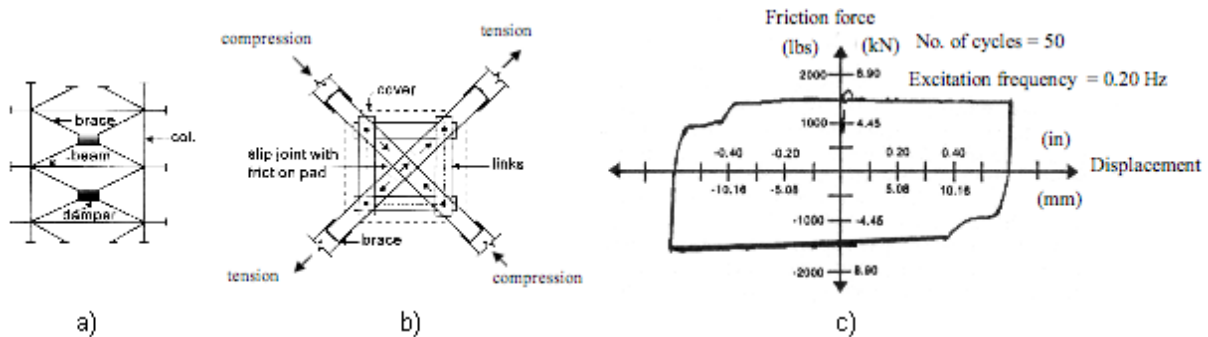
Αποσβεστήρες περιστροφικών συνδέσμων τριβής (Pall friction dampers)

Είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι αποσβεστήρες τριβής και είναι διαθέσιμοι σε διάφορες διατάξεις τύπου X, Λ ή ως μονά διαγώνια στοιχεία (βλ. Σχήμα 4). Οι πρώτες διατάξεις ήταν τύπου X (Pall and Marsch 1982) και αποτελούνται από δύσκαμπτες διαγώνιες ράβδους συνδεδεμένες με οριζόντια και κάθετα στοιχεία με τέτοιο τρόπο ώστε όταν η αξονική φόρτιση γίνει η απαιτούμενη για να ξεκινήσει η εφελκόμενη διαγώνιος να ολισθαίνει τότε η θλιβόμενη διαγώνιος θα πρέπει να ολισθήσει κατά ίση ποσότητα προς την αντίθετη κατεύθυνση (Σχήμα 5b) [3]. Οι πιο συνηθισμένες συσκευές σήμερα αποτελούνται από δακτυλίους τριβής που κοχλιώνονται σε χαλύβδινους δίσκους και τους δακτυλίους διανομής, με υψηλής αντοχής κοχλίες (Σχήμα 4a) [5] και έχουν δοκιμαστεί σε πολλά πανεπιστημιακά εργαστήρια αποδεικνύοντας πως παραμένουν ελαστικές στην ίδια σεισμική ένταση που το γυμνό πλαίσιο διαρρέει [11].



Σχήμα 4 : Αποσβεστήρες τύπου Pall a) μορφής X, b) μορφής Λ, c) μονό διαγώνιο στοιχείο

Η αντοχή των διατάξεων εξαρτάται από τα υλικά, τις διαστάσεις των δακτυλίων τριβής και της πίεσης που εφαρμόζεται από τους κοχλίες. Οι συγκεκριμένες διατάξεις απόσβεσης τριβής δεν είναι σχεδιασμένες για να ολισθαίνουν κατά τη διάρκεια μέτριων σεισμών ή δυνατών ανέμων[5],[9]. Στο Σχήμα 5c φαίνεται ο βρόγχος υστέρησης των διαγώνιων στοιχείων της συσκευής. [3]

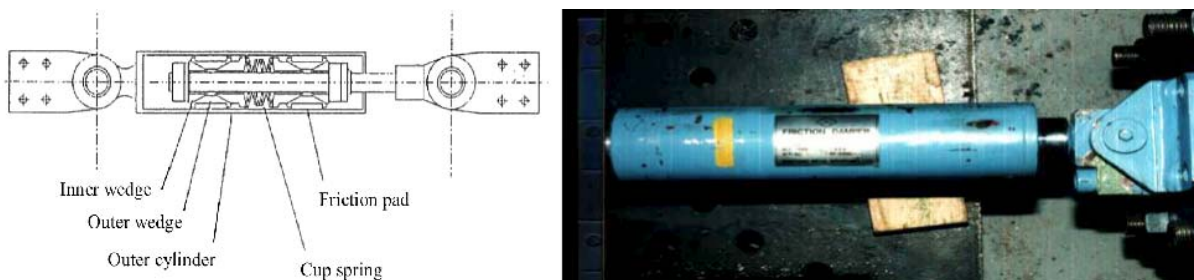


Σχήμα 5: a), b) Τοποθέτηση και σύνδεση Pall dampers κατά σύνδεση τύπου X, c) Βρόγχος υστέρησης συσκευής αποσβεστήρων τύπου Pall [3]

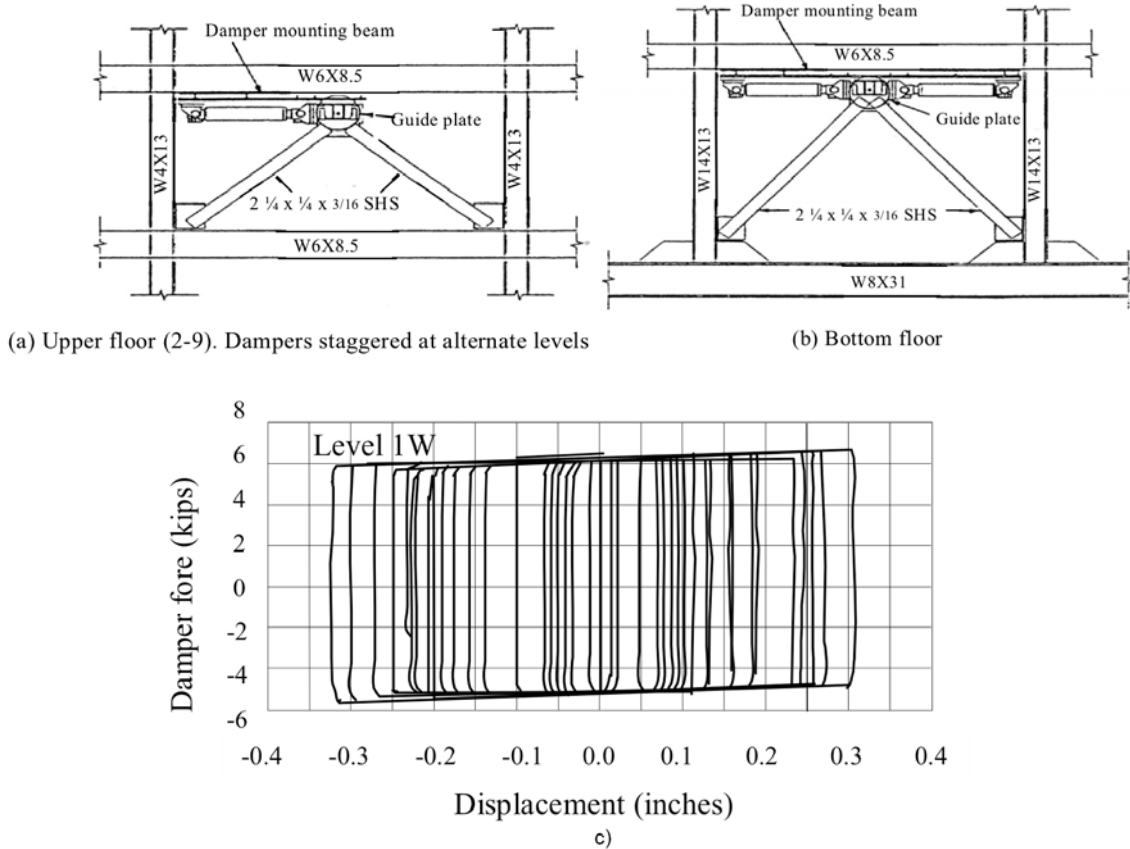
Διατάξεις απόσβεσης τριβής Sumitomo Metal LTD (Sumitomo's friction dampers)

Ο συγκεκριμένος αποσβεστήρας τριβής (Aiken and Kelly 1990) είναι ο πιο συνήθης στην Ιαπωνία. Σχεδιάστηκε κυρίως για να απορρόφηση κραδασμών στην τεχνολογία κατασκευής σιδηροδρόμων. Γι' αυτό στην εφαρμογή του σε κτίρια απορροφά μόνο δυνάμεις που οφείλονται σε δονήσεις του εδάφους και σε μέτριους και όχι σε ισχυρούς σεισμούς.

Η δύναμη τριβής προκαλείται από μία πλάκα επενδυμένη με κράμα χαλκού, με παρένθετα κομμάτια γραφίτη, η οποία ολισθαίνει ενάντια της εσωτερικής επιφάνειας ενός μεταλλικού κυλίνδρου (Σχήμα 6). Η συσκευή τοποθετείται κάτω ακριβώς από την δοκό και συνδέεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 7a,b. Στο Σχήμα 7c απεικονίζεται ο τυπικός βρόγχος υστέρησης μία συσκευής Sumitomo, ο οποίος είναι παρεμφερής με αυτόν του νόμου του Coulomb για τον νόμο ξηράς τριβής (βλ. Σχ. 3) [3].



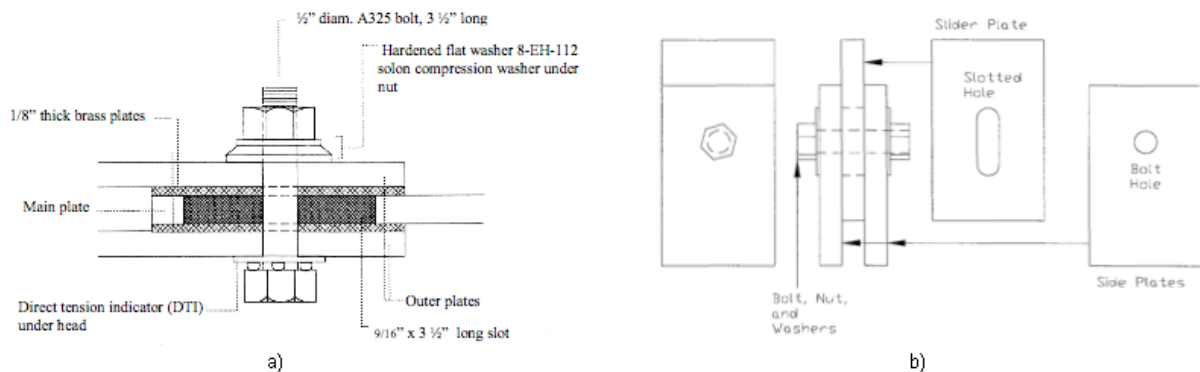
Σχήμα 6: Διαμήκης τομή και μορφή της διάταξης απόσβεσης τριβής Sumitomo (Aiken and Kelly 1990) [3]



Σχήμα 7: a,b) Τοποθέτηση των διατάξεων απόσβεσης τριβής Sumitomo σε μοντέλο, c) Βρόγχος υστέρησης της διάταξης απόσβεσης τριβής Sumitomo [3]

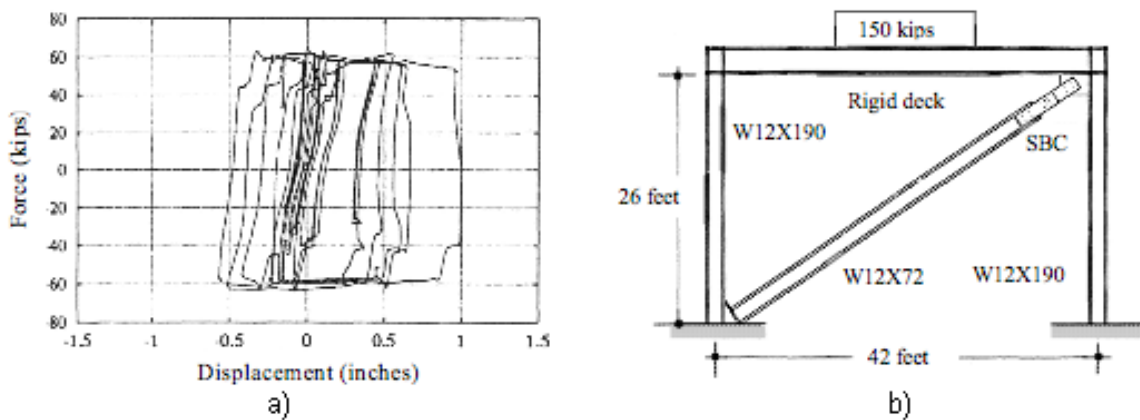
Προεντεταμένοι κοχλίες σε επιμήκεις οπές (Slotted bolted connections (SBS))

Η διάταξη αυτή απόσβεσης τριβής μελετήθηκε για πρώτη φορά στο San Jose University. Η κύρια λειτουργία της βασίζεται στον ενεργειακό διασκεδασμό μέσω στατικής τριβής στις ολισθαίνοντες επιφάνειες. Η διάταξη αποτελείται από μία κύρια πλάκα από χάλυβα με επιμήκεις οπές παράλληλες στον άξονα φόρτισης, δύο εσωτερικές ορειχάλκινες πλάκες και δύο χαλύβδινες εξωτερικές. Η σύνδεση τους επιτυγχάνεται με προεντεταμένους κοχλίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Η χρήση των ενδιάμεσων ορειχάλκινων πλακών γίνεται για να μειωθεί η φθορά των επιφανειών στη διάταξη [15]. Όταν η δύναμη που ασκείται στη διάταξη υπερβεί τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται ανάμεσα στις δύο επιφάνειες, η κύρια πλάκα αρχίζει να ολισθαίνει με αποτέλεσμα τον διασκεδασμό της ενέργειας [3].



Σχήμα 8: a) Περιγραφή σύνδεσης των SBS, b) Επιμέρους στοιχεία της σύνδεσης [3],[15]

Η εφαρμογή ανακυκλιζόμενης φόρτισης μεγαλύτερου μεγέθους από τις δυνάμεις τριβής αποδίδει βρόγχους υστέρησης σχεδόν ορθογωνικούς (Σχήμα 9α). Η χρήση τους είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις ξύλινες κατασκευές.

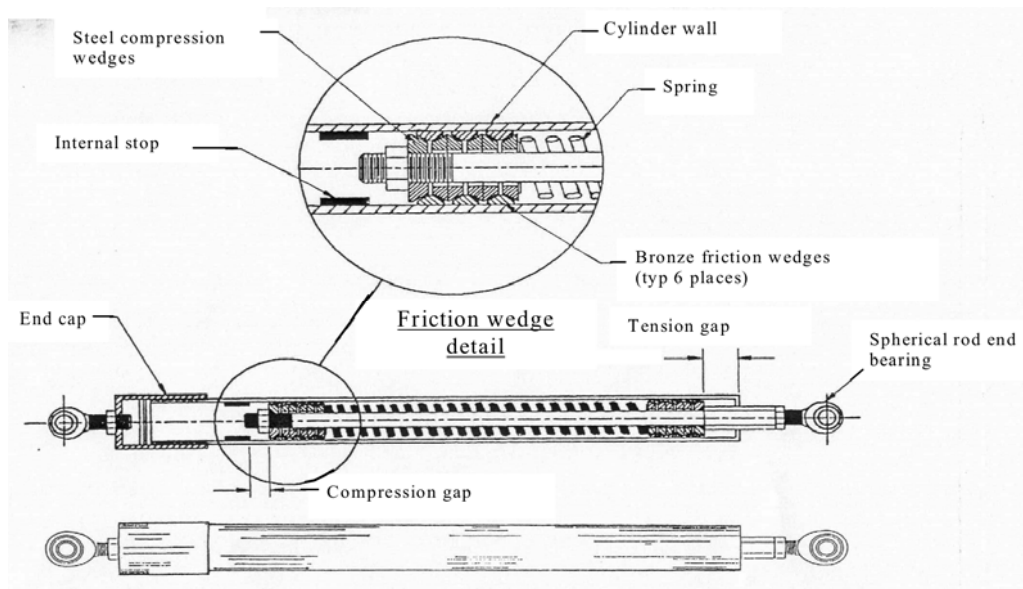


Σχήμα 9: a) Βρόγχος υστέρησης αποσβεστήρα τριβής SBC, b) Πλαίσιο με SBC [3]

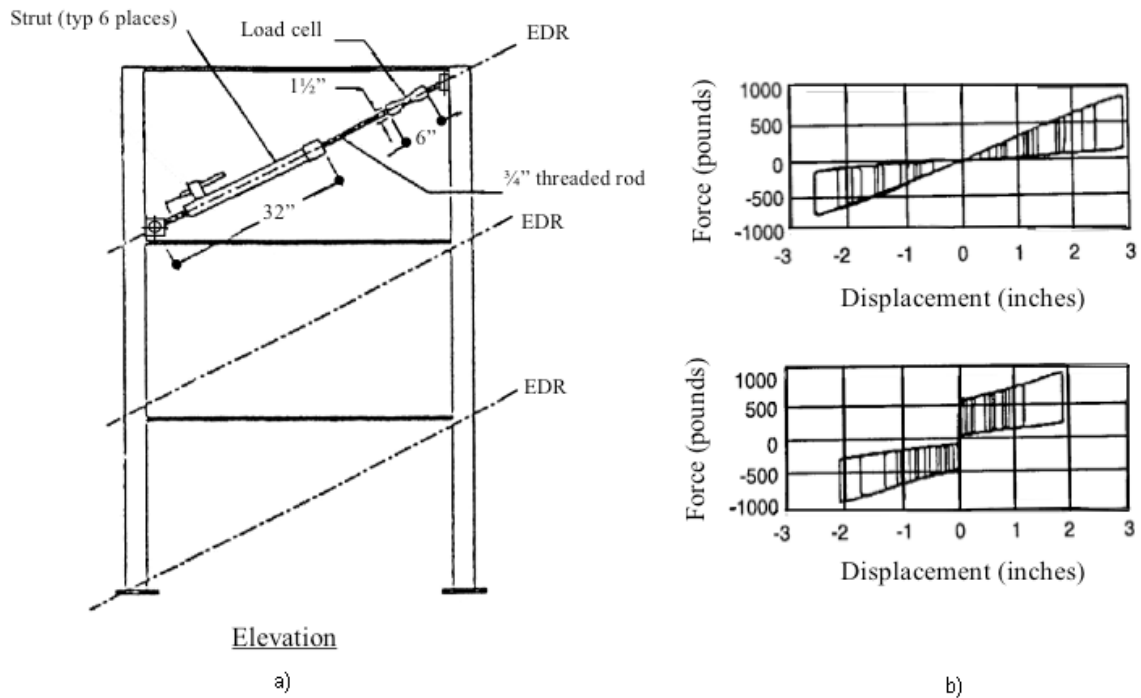
Διάταξη έκλυσης ενέργειας υπό περιορισμούς (Energy dissipating restratint (EDR))

Αυτός ο τύπος αποσβεστήρα (Nims et al. 1993a) αναπτύχθηκε αρχικά ως συσκευή περιορισμού της σεισμικής ενέργειας για την υποστήριξη συστημάτων σωληνώσεων σε πυρηνικές εγκαταστάσεις συνδυάζοντας τριβή και γραμμική δυσκαμψία.[3]

Ο μηχανισμός του αποτελείται από μια ολισθαίνουσα προστριβή με μια στάση στο τέλος της κίνησης (Σχήμα 10). Οι επιφάνειες τριβής είναι σφήνες χαλκού που ολισθαίνουν σε έναν χαλύβδινο κύλινδρο. Έχει ικανότητα αυτόματης επαναφοράς στο κέντρο, η δύναμη ολίσθησης του είναι ανάλογη της μετατόπισης και ποικίλει σε συμπεριφορά υστέρησης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 11b.[3].



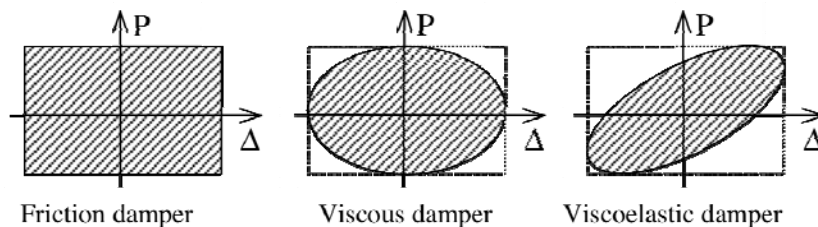
Σχήμα 10: Εξωτερική και εσωτερική όψη του EDR (Nims et al. 1993a) [3]



Σχήμα 11: a) Πλαίσιο εξοπλισμένο με EDR σε κάθε όροφο, b) Βρόγχοι υστέρησης των EDR[3]

4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΣΥΚΓΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Το κύριο πλεονέκτημα των αποσβεστήρων τριβής είναι ότι έχουν υψηλή ικανότητα διάχυσης της ενέργειας και την μεγαλύτερη συγκριτικά με άλλες διατάξεις απόσβεσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 12. Αυτό μπορούμε να το επιβεβαιώσουμε παρατηρώντας την σταθερή και απόλυτα πλαστική συμπεριφορά του υστερικού βρόγχου ενός αποσβεστήρα τριβής (Σχήμα 12a), όπου η περιοχή κάτω από την καμπύλη της δύναμης τριβής – μετακίνησης λόγω ολίσθησης θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την περιοχή κάτω από την ελαστική-τέλεια πλαστική καμπύλη για μια δεδομένη τιμή του μN . Βέβαια στους αποσβεστήρες τριβής σε κάθε κύκλο φόρτισης ο ενεργειακός διασκεδασμός είναι ανάλογος της μέγιστης μετατόπισης σε αντίθεση με τις διατάξεις ιξώδους απόσβεσης όπου είναι ανάλογος του τετραγώνου της μετατόπισης. Αυτό μπορεί να συσχετιστεί με τους ξαφνικούς δονητικούς παλμούς και με την εισαγωγή δυνάμεων μεγαλύτερων από τις προσδοκώμενες, που είναι ανεπιθύμητο. Ο λόγος είναι ότι σύμφωνα με έρευνες η συμπεριφορά των αποσβεστήρων τριβής είναι καλύτερη όταν δρουν υπό αρμονική σεισμική διέγερση από ότι υπό δυνάμεις που οφείλονται σε ξαφνικούς παλμούς, γεγονός που οφείλεται στην έλλειψη ακαμψίας στους αποσβεστήρες όταν ολισθαίνουν [2],[3].



Σχήμα 12: Σύγκριση των βρόγχων υστέρησης διάφορων διατάξεων απόσβεσης [11]

Συγκρίνοντας τους με τις μεταλλικές διατάξεις διαρροής, οι αποσβεστήρες τριβής έχουν μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Ωστόσο αυτή η ιδιότητα χάνεται όταν οι επιφάνειες επαφής φθαρούν. Αν και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις επιφάνειες ολίσθησης των αποσβεστήρων τριβής είναι απίθανο να επηρεαστούν από τις σχετικά μικρές

μεταβολές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, είναι πιθανόν κάποιοι μολυσματικοί παράγοντες στην ατμοσφαιρική υγρασία να επηρεάσουν τις επιφάνειες ολίσθησης. Ακόμα σε πιο επιθετικά περιβάλλοντα υπάρχει η πιθανότητα της διάβρωσης των επιφανειών. Αυτά σε συνδυασμό με την τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στο σημείο επαφής των μετάλλων επηρεάζουν τις συνθήκες στις επιφάνειες ολίσθησης, γεγονός που επηρεάζει τον συντελεστή τριβής, άρα και την αντίσταση τριβής του αποσβεστήρα. Όλα αυτά δείχνουν πως επηρεάζεται και η ανθεκτικότητα στο χρόνο της συσκευής. Επειδή η εφαρμογή των διατάξεων απόσβεσης περιορίζεται στις τελευταίες δύο δεκαετίες, δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την αντοχή σε διάρκεια των συσκευών αυτών καθώς και τι επιπτώσεις θα έχει η χρόνια απραξία τους, ωστόσο απαιτούν ελάχιστη συντήρηση [3],[4].

Η λειτουργία των αποσβεστήρων τριβής βασίζεται στην ολίσθηση της συσκευής σε ένα προκαθορισμένο βέλτιστο φορτίο πριν η διαρροή συμβεί στα βασικά δομικά μέλη της κατασκευής. Αποτέλεσμα είναι να έχουν μία ελεγχόμενη δύναμη τριβής την οποία καθορίζουμε και γνωρίζουμε, με άμεσο αποτέλεσμα να καθίσταται προβλέψιμη η αναμενόμενη σεισμική βλάβη και εύκολα επισκευάσιμη [5].

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης ότι η συμπεριφορά τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από το εύρος ταλάντωσης, το φάσμα συχνότητας ή τον αριθμό των κύκλων της κινητήριας δύναμης. Επιπλέον είναι ανεπηρέαστοι από το φαινόμενο της κόπωσης [3].

Η ενίσχυση των κτιρίων με αποσβεστήρες τριβής θεωρείται μία αξιόπιστη και ακριβής λύση, η οποία προσδίδει πρόσθετη δυσκαμψία και απορροφά σημαντικό ποσοστό της σεισμικής ενέργειας. Σημαντικό μειονέκτημα είναι το λεγόμενο “stic-slip” φαινόμενο το οποίο με την εξέλιξη των συσκευών τείνει να μειωθεί. Συμβαίνει όταν η συσκευή “κολλάει” ενώ ολισθαίνει. Αυτό έχει ως συνέπεια να εισάγονται στην κατασκευή υψηλές συχνότητες [3].

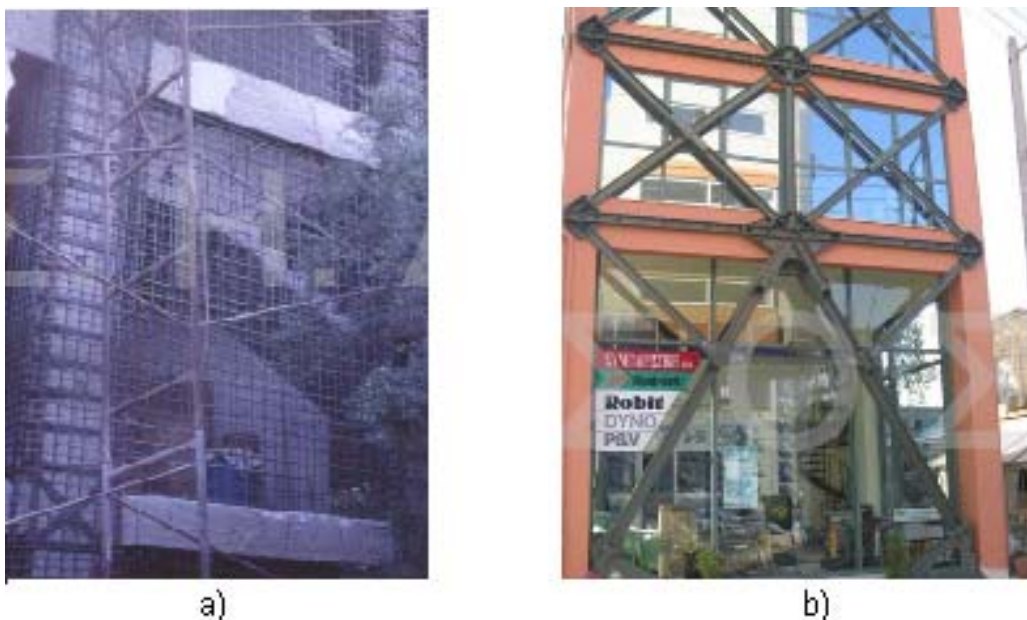
Όταν μία υφιστάμενη κατασκευή χρήζει ενίσχυσης, αυτό που αρχικά εξετάζουμε είναι αν απαιτείται ενίσχυση της κατασκευής ως σύνολο με μείωση της έντασης στα αδύναμα στοιχεία της, ή ενίσχυση μεμονωμένων αδύνατων στοιχείων του φέροντος οργανισμού μέσω αύξησης της αντοχής τους. Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται η αντισεισμική ενίσχυση της συνολικής κατασκευής είτε με αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας ή/και της πλαστιμότητας της συνολικής κατασκευής (π.χ. προσθήκη τοιχωμάτων, προσθήκη δικτυωτών συστημάτων κτλ), είτε με προσθήκη διατάξεων που απορροφούν ποσοστό της σεισμικής ενέργειας (π.χ. σεισμική μόνωση, διατάξεις απόσβεσης κτλ). Στην δεύτερη περίπτωση αυξάνουμε την αντοχή μεμονωμένων στοιχείων με συμβατικές μεθόδους, με πιο γνωστή την κατασκευή μανδύων σε κατακόρυφα στοιχεία (υποστυλώματα ή τοιχώματα) της κατασκευής, η οποία έχει αδιαμφισβήτητη αξιοπιστία, δεν έχει σημαντικούς περιορισμούς εφαρμογής αλλά έχει μεγάλο κόστος [7].

Οι μέθοδοι που αναφέραμε για την ενίσχυση της συνολικής αντίστασης της κατασκευής προβλέπουν προσθήκη νέων στοιχείων για την μείωση της έντασης στα αδύναμα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής. Συνεπώς η επιτυχία της κάθε μεθόδου βασίζεται στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης των νέων στοιχείων με τα παλαιά. Σημαντική είναι και η αξιολόγηση της πιθανής αύξησης της έντασης σε ορισμένα σημεία της κατασκευής καθώς και ο έλεγχος των σημείων σύνδεσης των παλιών και νέων στοιχείων ώστε να εξασφαλιστεί η μεταφορά των δυνάμεων μεταξύ των νέων στοιχείων και της προϋπάρχουσας κατασκευής [7].

Αποτέλεσμα της εφαρμογής των μεθόδων αυτών είναι η ριζική αλλαγή του στατικού συστήματος της κατασκευής, γι’ αυτό επιβάλλεται εξ’ ολοκλήρου νέος σχεδιασμός της κατασκευής και πιθανόν εκτεταμένες επεμβάσεις σε πολλές περιοχές της κατασκευής (π.χ. θεμελίωση). Συγκεκριμένα οι διατάξεις απορρόφησης ενέργειας, όπως είναι οι αποσβεστήρες τριβής, προκαλούν ισχυρότατη μεταβολή του στατικού συστήματος της κατασκευής με αποτέλεσμα, εξαιτίας της απαιτούμενης επίπονης μελέτης, να αποφεύγεται η εφαρμογή τους

στην πράξη και να περιορίζεται σε περιπτώσεις που απαιτείται ισχυρή ενίσχυση της κατασκευής ή υπάρχουν ειδικοί λόγοι. Αποτέλεσμα είναι να επιλέγονται άλλες μέθοδοι ενίσχυσης όπως η προσθήκη τοιχωμάτων ή προσθήκη δικτυωτών συστημάτων [7].

Η προσθήκη νέων τοιχωμάτων, κυρίως οπλισμένου σκυροδέματος, εντός υφιστάμενων πλαισίων της κατασκευής (Σχήμα 13a) θεωρείται η πλέον αποτελεσματική μέθοδος για την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του φορέα. Εφαρμόζονται κυρίως σε κατασκευές με μορφολογικές αδυναμίες αρχικού σκελετού (μαλακοί ή ασθενείς όροφοι, κοντά υποστυλώματα, έντονες εκκεντρότητες κατόψεων, ασυμμετρία κατανομής της δυσκαμψίας κτλ) ανατάσσοντας την αντισεισμική μορφολογία των κτιρίων. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι προσθήκης τοιχωμάτων με ανάλογη αντοχή, τεχνική δυσκολία και κόστος, με πάντα κρίσιμο σημείο για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου την επιλογή του πλήθους και της σωστής θέσης των τοιχωμάτων. Ωστόσο το ίδιο βάρος των τοιχωμάτων αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου απαιτώντας την θεμελίωση τους, η οποία θα πρέπει να συνδέεται με την υφιστάμενη θεμελίωση, και μετέπειτα τον έλεγχο των επιπτώσεων καθίζησης στα στοιχεία θεμελίωσης του υφιστάμενου δομήματος. Όμως συχνά εφαρμόζεται σε ισόγειους μαλακούς ορόφους όπου αντιμετωπίζεται χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα [7],[9],[8].



Σχήμα 13: α) Τοίχωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα, β) Μεταλλικά δικτυωτά συστήματα [10]

Η προσθήκη δικτυωτών συστημάτων κυρίως μεταλλικών (Σχήμα 13b), και σπάνια οπλισμένου σκυροδέματος, αυξάνει την αντοχή και την δυσκαμψία της κατασκευής καθώς και την πλαστιμότητά της. Το σχήμα τους ποικίλει σε τύπου X, Λ, V, Y, ενώ απαγορεύεται σε υφιστάμενες κατασκευές ο τύπος K. Τα διαγώνια στοιχεία τους συνδέονται με την υφιστάμενη κατασκευή με μεταλλικό πλαίσιο ή μέσω ειδικών διατάξεων [9]. Βελτιώνουν την αντισεισμική μορφολογία του κτιρίου γιατί έχουν δυνατότητα ανελαστικής παραμόρφωσης με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μικρό ποσοστό της σεισμικής ενέργειας. Επιπλέον μπορούν να ελέγξουν τις πλευρικές δυνάμεις ανέμων και μικρών σεισμών, όμως στην περίπτωση ισχυρών σεισμών δεν ανταποκρίνονται επαρκώς, σε αντίθεση με τους αποσβεστήρες τριβής. Όπως και οι διατάξεις απόσβεσης τριβής, εφαρμόζονται εύκολα και γρήγορα σε βιομηχανικούς χώρους και ισόγειους μαλακούς ορόφους κτιρίων. Επίσης, όμοια με τους αποσβεστήρες αλλά σε αντίθεση με τα τοιχώματα, έχουν μικρό ίδιο βάρος και προσαρμόζονται εύκολα στις λειτουργικές και αρχιτεκτονικές απαιτήσεις χωρίς να εμποδίζουν τον φωτισμό των χώρων. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί για τον έλεγχο

της αξιολόγησης της ανακατανομής της έντασης στην κατασκευή και της επάρκειας της αντοχής των κόμβων μετά την εφαρμογή τους. Σε αυτή την περίπτωση το πλεονέκτημα των αποσβεστήρων τριβής είναι ότι λειτουργούν με μία προκαθορισμένη δύναμη, που είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους, με αποτέλεσμα οι απαιτούμενες συνδέσεις και επιπλέον ενισχύσεις να είναι προκαθορισμένες και οικονομικές. Σημαντικό μειονέκτημα είναι το πρόβλημα λυγισμού των μεταλλικών ράβδων των δικτυωμάτων κατά την ανακυκλιζόμενη δράση του σεισμού που οδηγεί σε απαίτηση μεγάλων διατομών, προτίθενται ωστόσο λύσεις για την μείωση των κινδύνων λυγισμού [7],[9]. Κάποιες από αυτές είναι τοπικό αδυνάτισμα της διατομής στο σημείο συνδεσής τους [7] όπως και η παρεμβολή συνθετικού ελαστικού υλικού στο σημείο σύνδεσής τους με τον υπάρχοντα φέροντα οργανισμό, καινοτομία που μπορεί να εφαρμοστεί και στην εφαρμογή των αποσβεστήρων τριβής [4].

Βασικό μειονέκτημα των μεθόδων προσθήκης τοιχωμάτων και δικτυωτών συστημάτων είναι ότι πρέπει η τοποθέτησή τους να είναι συνεχής καθ' ύψος σε αντίθεση με τους αποσβεστήρες τριβής. Στα μεν τοιχώματα απαιτείται γιατί πρέπει να μεταφέρουν τις δυνάμεις με ασφάλεια στα θεμέλια, δημιουργώντας έτσι λειτουργικά προβλήματα και αλλάζοντας πιθανόν την αρχιτεκτονική όψη του δομήματος, στα δε δικτυωτά συστήματα απαιτείται η συνεχής καθ' ύψος τοποθέτηση στην περίπτωση συνολικής ενίσχυσης του κτιρίου. Βέβαια αναπτύσσονται μέθοδοι τοποθέτησης μη συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ή μεταλλικών δικτυωτών συστημάτων, όπως η μέθοδος των μεταταγμένων κατακόρυφων δίσκων [8]. Ομοίως μελέτες γίνονται για την περίπτωση τυχαίας καθ' ύψος τοποθέτησης των αποσβεστήρων τριβής, η οποία βελτιώνει σημαντικά την σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων συγκριτικά με την συνεχής καθ' ύψος τοποθέτησης τους [6].

Με την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων ο φορέας γίνεται πιο δύσκαμπτος και μειώνεται η ιδιοπερίοδος του με αποτέλεσμα να ενεργοποιεί μεγαλύτερο σεισμικό φορτίο. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερες δυνάμεις στα μέλη και στα θεμέλια του. Σε αυτή την περίπτωση, το πλεονέκτημα του αποσβεστήρα τριβής είναι ότι επιπλέον απορροφά μεγάλο μέρος της σεισμικής ενέργειας αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την σεισμική αντίσταση της κατασκευής.

5. NON-LINEAR

Οι διατάξεις αποσβεστήρων τριβής έχουν έντονα μη γραμμικά υστερητικά χαρακτηριστικά. Η ενσωμάτωσή τους σε μια κατασκευή την καθιστά να συμπεριφέρεται μη γραμμικά ακόμα και αν όλα τα δομικά μέλη της είναι σχεδιασμένα να παραμένουν γραμμικά [1]. Ως συσκευές ενεργειακού διασκεδασμού απαιτούν δυναμική ανάλυση. Επιπλέον ως συσκευές ανεξάρτητες από την ταχύτητα, όπως είναι και οι μεταλλικές διατάξεις διαρροής, απαιτούν μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας. Τελικά απαιτείται μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για να εξακριβωθεί ότι ένα κτίριο εξοπλισμένο με αποσβεστήρες τριβής θα συμπεριφερθεί καλά σε σεισμικά φαινόμενα [2].

Με τη βοήθεια προγραμμάτων η ανάλυση αυτή μπορεί να δώσει μία βέλτιστη λύση στην εφαρμογή αποσβεστήρων. Ωστόσο η διαδικασία σχεδιασμού μιας κατασκευής με συσκευές ενεργειακού διασκεδασμού, ο υπολογισμός δηλαδή του μεγέθους και της θέσης του αποσβεστήρα ώστε να έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση στην μείωση της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής, γίνεται πολύπλοκη [1].

Όσον αφορά τα χρονοϊστορικά δεδομένα, μιας και διαφορετικές σεισμικές καταγραφές, ακόμα και της ίδιας έντασης, δίνουν ποικίλες αποκρίσεις κατασκευών, τα αποτελέσματα που βασίζονται σε μία μόνο καταγραφή δεν είναι καθοριστικά. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια χρονοϊστορικές καταγραφές, κατάλληλες για την περιοχή, ώστε να γίνει βέβαιο ότι δεν διέφυγαν πιθανές περιπτώσεις συντονισμού του κτιρίου με τις κινήσεις του εδάφους [11].

Η επιλογή για την εφαρμογή των διατάξεων απόσβεσης τριβής στα κτίρια επηρεάζεται σημαντικά από την έλλειψη ειδικών κατασκευαστικών διατάξεων. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, έχουν αναπτυχθεί κάποιοι κώδικες, κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπως το “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, FEMA 356/357, έκδοσης το 2000, και άλλα που έχουν διαμορφωθεί από τη “Structural Engineers Association of Northern California” (SEAONC) και το “Applied Technology Council” (ATC) [3]. Ο πρώτος για παράδειγμα, προβλέπει τον σχεδιασμό του ενισχυμένου με αποσβεστήρες τριβής κτιρίου με βάση δύο παραμέτρους για την περίπτωση σεισμού. Η πρώτη αντιστοιχεί στον βασικό σεισμό σχεδιασμού (DBE) με πιθανότητα εμφάνισης 10% σε 50 χρόνια, όπου πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα δομικά στοιχεία δεν υπερβαίνουν την αντοχή τους και ότι η σχετική μετατόπιση των ορόφων είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια. Η δεύτερη παράμετρος αντιστοιχεί στον μέγιστο πιθανό σεισμό (MCE) με πιθανότητα εμφάνισης 2% σε 50 χρόνια και καθορίζει την μέγιστη επιτρεπόμενη μετατόπιση του αποσβεστήρα τριβής. Και οι δύο παράμετροι μαζί εξασφαλίζουν ότι η κατασκευή θα έχει επαρκή αντίσταση σε συνθήκες υπερφόρτισης στο μέγιστο σεισμό [11].

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΙΚΑΝ ΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ ΤΡΙΒΗΣ

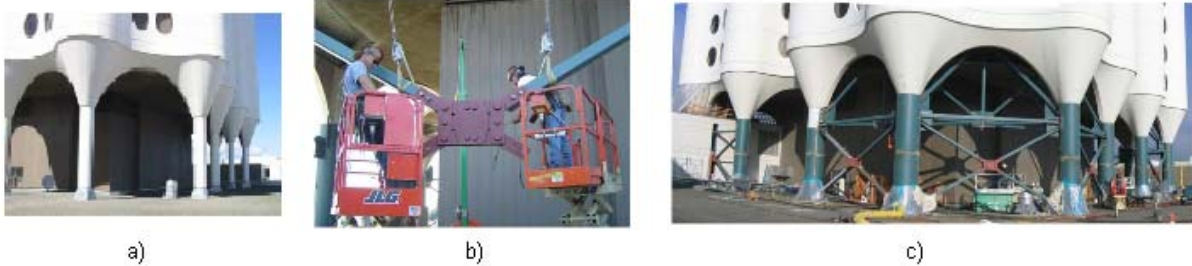
Το St. Joseph Medical Center στην Τακόμα είναι ένας 14όροφος πύργος που κατασκευάστηκε το 1970 (Σχήμα 14). Το κτίριο αποτελείται εξωτερικά από τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος που σταματούν στον τρίτο όροφο και στηρίζονται σε υποστυλώματα δημιουργώντας έτσι έναν διάωροφο μαλακό όροφο. Ομοίως κατασκευασμένος και ο πυρήνας του κτιρίου είναι επιπλέον ενισχυμένος με διαγώνιες προεντεταμένες ράβδους, προσφέροντας στον μαλακό όροφο γραμμική απόκριση.



Σχήμα 14: St. Joseph Medical Center [12]

Ωστόσο, έπειτα από μελέτες διαπιστώθηκε ότι η ύπαρξη ενός τέτοιου μαλακού ορόφου θα οδηγούσε σε σοβαρότατες βλάβες δομικών και μη στοιχείων της κατασκευής σε σεισμό με πιθανότητα εμφάνισης 10% σε 50 χρόνια σύμφωνα με τις τοπικές υπάρχουσες διατάξεις. Πολλές προτάσεις ενίσχυσης του κτιρίου προτάθηκαν για να μειώσουν τις επιπτώσεις του μαλακού ορόφου. Κάποιες απ’ αυτές όπως η προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος θα απαιτούσε σημαντική ενίσχυση της υφιστάμενης θεμελίωσης με υπέρογκο κόστος και διατάραξη της λειτουργίας του νοσοκομείου κατά την εφαρμογή της. Η προσθήκη μεταλλικών δικτυωτών συστημάτων από την άλλη, αντιμετώπιζε μεγάλη δυσκολία στην σύνδεση με την υπάρχουσα κατασκευή, με επιπλέον δυσμενείς επιδράσεις στην θεμελίωση και στην αρχιτεκτονική όψη του κτιρίου. Τελικώς διαπιστώθηκε ότι η καταλληλότερη λύση ήταν η χρήση των αποσβεστήρων τριβής, συνδυάζοντας μείωση της

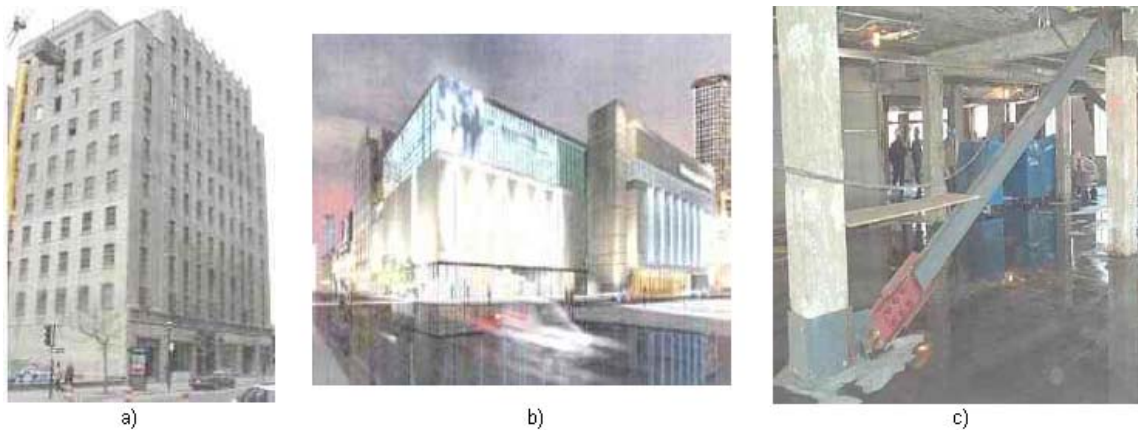
μετακίνησης του μαλακού ορόφου στο μισό και τη λιγότερο δαπανηρή λύση για την ενίσχυση της θεμελίωσης (όφελος \$1.000.000 έναντι συμβατικών μεθόδων) [12].



Σχήμα 15: a) Το κτίριο πριν την ενίσχυση, b) Τοποθέτηση των αποσβεστήρων τριβής, c) Το κτίριο μετά την ενίσχυση. [12]

Τελικά τοποθετήθηκαν 24 αποσβεστήρες τύπου Pall, μορφής X, η απόδοση των οποίων δοκιμάστηκε πριν την τοποθέτησή τους. Το κτίριο ενισχύθηκε επιμέρους με μεταλλικούς μανδύες στις κολώνες του μαλακού ορόφου και με πεδιλοδοκούς στη θεμελίωση. Η επιλογή της λύσης αυτής είχε σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα όχι μόνο για την εφαρμογή της αλλά και για τις μελλοντικές επιδιορθώσεις σεισμικών βλαβών. Επιπλέον εξασφαλίστηκε η ασφάλεια του κτιρίου μέσα από μία εύκολα επεμβατική λύση η οποία δεν επηρέασε την αισθητική του [12].

Μία άλλη εφαρμογή των αποσβεστήρων τριβής έγινε στο κτίριο MUCTC στο Μόντρεαλ, ένα δεκαόροφο δόμημα ιστορικής σημασίας από οπλισμένο σκυρόδεμα, χτισμένο το 1928. Το 2000 αποφασίστηκε η επέκταση του διπλανού κτιρίου Palais des Congres που θα ενσωμάτωνε το MUCTC (Σχήμα 16b). Η επέκταση αυτή επέβαλλε την αντισεισμική ενίσχυση του κτιρίου, καθώς ως παλιά κατασκευή δεν πληρούσε τις σύγχρονες κατασκευαστικές διατάξεις. Ύστερα από σύγκριση με συμβατικές μεθόδους, όπως προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος και προσθήκη μεταλλικών δικτυωτών συστημάτων επιλέχθηκε η εφαρμογή αποσβεστήρων τριβής [11].



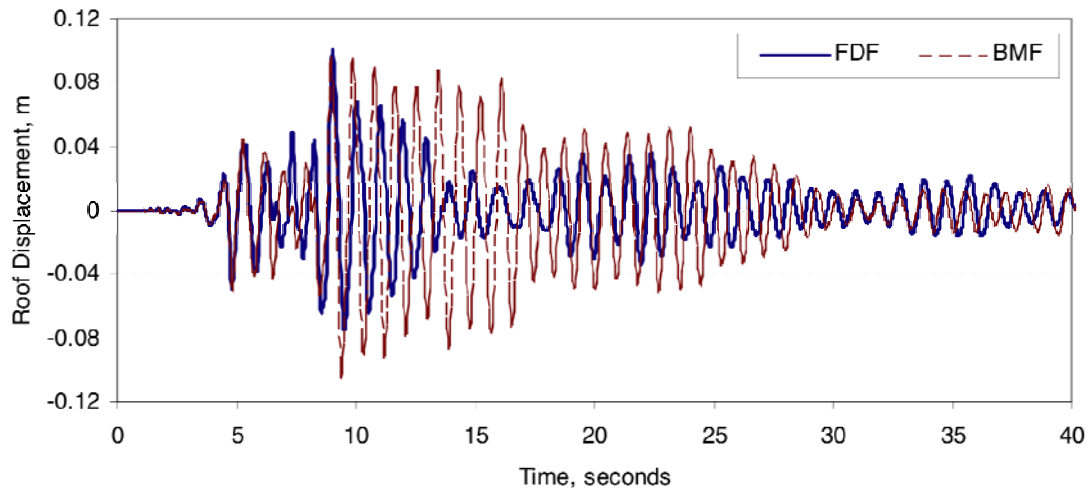
Σχήμα 16: a) Κτίριο MUCTC, b) Η επέκταση Palais des Congres που ενσωματώνει το MUCTC, c) Αποσβεστήρας τριβής. [11]

Έγινε μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας σύμφωνα με τις διατάξεις “ NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings” και τοποθετήθηκαν συνολικά 88 αποσβεστήρες τριβής τύπου Pall σε μορφή Λ και διαγώνια, με δύναμη ολίσθησης 500-600 kN.

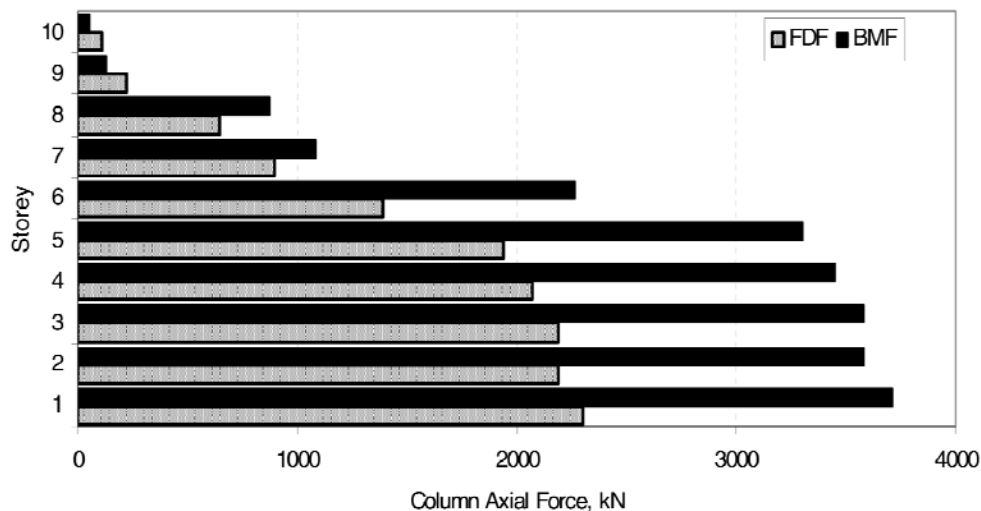
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης η μέγιστη σχετική μετατόπιση των ορόφων με την χρήση των αποσβεστήρων τριβής ήταν λιγότερο από 0.7%, δηλαδή πολύ μικρότερο

από το όριο 2% που επιβάλλουν οι διατάξεις. Επιπλέον μετά το σεισμό η μόνιμη απόκλιση του κτιρίου ήταν περίπου 2mm και του αποσβεστήρα μικρότερη από 0.5mm [11].

Πειράματα σύγκρισης των αποσβεστήρων τριβής με τα μεταλλικά δικτυωτά συστήματα σε πλαίσιο έδειξαν ότι η μέγιστη μετατόπιση της οροφής είναι 100mm για τους αποσβεστήρες και 105mm (Σχήμα 17) για τις μεταλλικές διατάξεις και παράλληλα ότι τα αξονικά φορτία στα υποστυλώματα στους πρώτους είναι περίπου το 60% των δεύτερων (Σχήμα 18) [11].

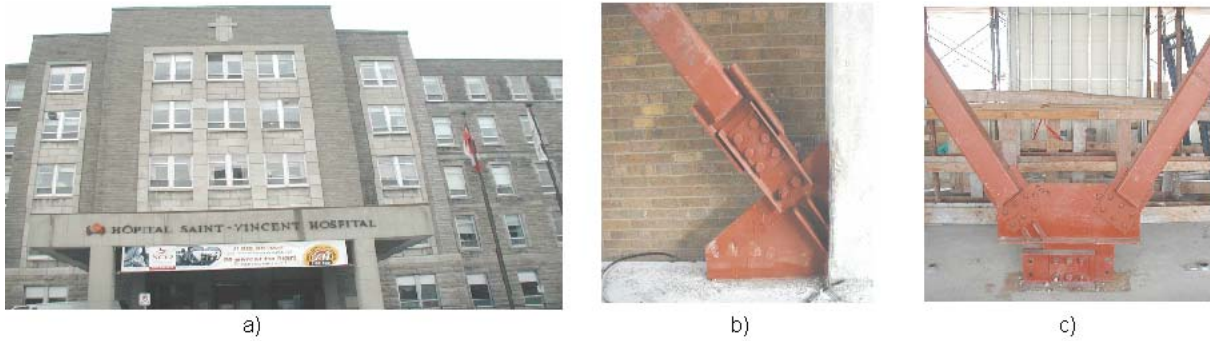


Σχήμα 17: Χρονοϊστορία της μετατόπισης της οροφής. [11]

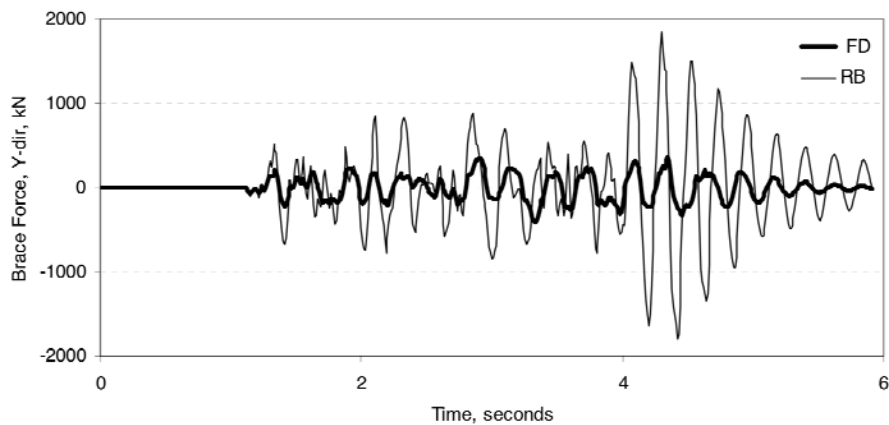


Σχήμα 18: Αξονική δύναμη στα υποστυλώματα. [11]

Άλλες εφαρμογές των αποσβεστήρων τριβής είναι στο 5όροφο από σπλισμένο σκυρόδεμα St.Vincent Hospital στην Οττάβα, όπου τοποθετήθηκαν 183 αποσβεστήρες τριβής τύπου Pall, μορφής V και διαγώνιας με δύναμη ολίσθησης 300kN [13]. Συγκριτική ανάλυση με προσθήκη μεταλλικών μονών διαγώνιων στοιχείων (ΜΣ) έδειξε ότι η μέγιστη δύναμη στους αποσβεστήρες τριβής (ΑΤ) με μορφή διαγώνια στον τέταρτο όροφο είναι το 20% της αντίστοιχης των ΜΣ, καθώς και ότι οι αξονικές δυνάμεις στα υποστηλώματα λόγω της τοποθέτησης των πρώτων είναι το 30% των δεύτερων (Σχήμα 20), με επικείμενη απαίτηση ακριβότερων συνδέσμων και ενισχύσεων στα υποστηλώματα και στα θεμέλια.

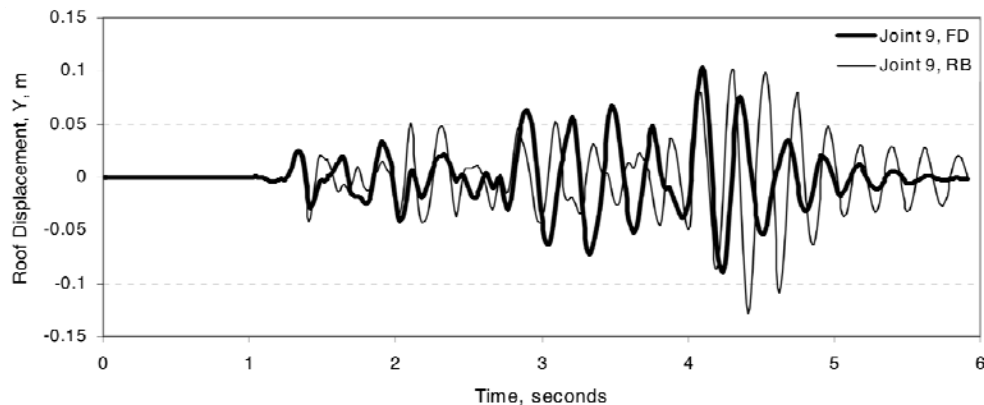


Σχήμα 21: a) St.Vincent Hospital, b) διαγώνιοι αποσβεστήρες τριβής, c) αποσβεστήρες τριβής μορφής V. [13]

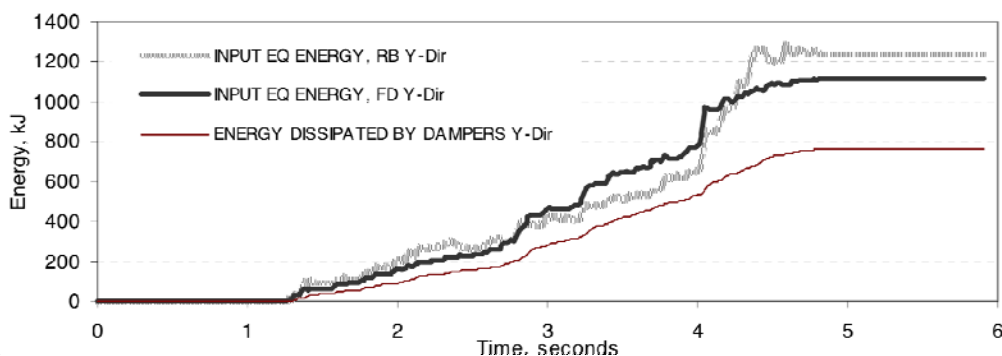


Σχήμα 20: Χρονοϊστορία αξονικών δυνάμεων στον 4^ο όροφο για μονή διαγώνια ενίσχυση. [13]

Από χρονοϊστορίες της μετατόπισης της οροφής (Σχήμα 21) φαίνεται ότι η μέγιστη μετατόπιση από τους ΑΤ είναι περίπου το 80% των ΜΣ και ότι στην περίπτωση εφαρμογής αποσβεστήρων τριβής το κτίριο επιστρέφει περίπου στην αρχική του θέση μετά την σεισμική δράση, με μειωμένες μετατοπίσεις κατά 50% και τελική σχετική μετατόπιση ορόφων περίπου 0.7% του παλιού κτιρίου. Επιπλέον η συνολική ενέργεια που απορροφάται από τους ΑΤ είναι το 80% των ΜΣ (Σχήμα 22) και περίπου το 80% της συνολικής ενέργειας που εισέρχεται στο κτίριο.



Σχήμα 21: Χρονοϊστορίες μετατόπισης της οροφής. [13]



Σχήμα 22: Χρονοϊστορίες εισαγόμενης και διασκεδαζόμενης ενέργειας. [13]

Μία άλλη εφαρμογή που επιβεβαιώνει ειδικά το οικονομικό πλεονέκτημα των αποσβεστήρων τριβής έναντι συμβατικών μεθόδων είναι αυτή στο 2όροφο από οπλισμένο σκυρόδεμα Harry Stevens Building που χτίστηκε το 1963 στο Βανκούβερ. Η λύση που προτάθηκε αρχικά με προσθήκη τοιχωμάτων απαιτούσε ενίσχυση των θεμελίων, καθιστούσε το κτίριο μη λειτουργικό κατά την εφαρμογή της και ήταν δαπανηρή με κόστος \$2.050.000. Αντίθετα η τοποθέτηση αποσβεστήρων τριβής, σε σχήμα X και διαγώνιο, κόστισε \$810.000 χωρίς τα παραπάνω μειονεκτήματα [14].

8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενσωμάτωση αποσβεστήρων τριβής στις κατασκευές αποτελεί μία καινοτόμα διαδικασία αντισεισμικής ενίσχυσης των κτιρίων, μέσω απορρόφησης μεγάλου ποσοστού της σεισμικής ενέργειας (έως και 80%). Θεωρείται οικονομική έναντι άλλων συμβατικών μεθόδων, δεν προκαλεί λειτουργικά προβλήματα κατά την τοποθέτησή της και είναι αρχιτεκτονικά αρεστή. Απαιτείται όμως πλήρης κατανόηση των αρχών λειτουργίας των διατάξεων απόσβεσης τριβής καθώς και ο τρόπος με τον οποίο η εφαρμογή τους επηρεάζει το υπάρχον δομικό σύστημα της κατασκευής. Η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού είναι απαραίτητη για την εξοικείωση με την εφαρμογή αυτής της νέας μεθόδου. Παρ' όλα αυτά κάθε κατασκευή έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και διαφορετική σεισμική απόκριση. Γι' αυτό η κάθε περίπτωση ενίσχυσης θα πρέπει να εξετάζεται διεξοδικά και η καταλληλότερη μέθοδος (συμβατική ή/και καινοτόμα) να επιλέγεται σύμφωνα με τις ανάγκες ενίσχυσης.

9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Luis M. Moreschi, “ Seismic Design of Energy Dissipation System for Optimal Structural Performance”, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering Mechanics: Mahendra P. Singh, Chair, Romesh C. Batra, David. Y. Gao, Muhammad R. hajj, Scott L. Hendricks, July, 2000, Blacksburg, Virginia.

[2] G. W. Housner Member, ASCE, L. A. Bergaman, Member, ASCE, T. K. Caughey, A. G. Chassiakos, Member, ASCE, R. O. Claus, S. F. Marsi, Member, ASCE, R. E. Skelton, Member, ASCE, T. T. Soong, Member, ASCE, B. F. Spenser, Member, ASCE, and J. T. P. Yao, Member, ASCE, “Structural Control: Past, Present, and Future”, Journal of Engineering Mechanics, September 1997.

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

[4] 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, 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1902.

- [5] Πανίκος Παπαδόπουλος, "Ενίσχυση Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Ειδικά Μεταλλικά Αντισεισμικά Στοιχεία, Τοποθετημένα με Παρεμβολή Ειδικού Συνθετικού Υλικού, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1936
- [6] 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, 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1901
- [7] Στέφανος Η. Δρίτσος, "Ενισχύσεις- Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2009.
- [8] Ε. Ν. Μπαμπούκας, Κ. Ε. Μορφίδης, Ι. Ε. Αβραμίδης, "Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία", 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1928
- [9] Σ. Η. Δρίτσος, "Διαστασιολόγηση Επεμβάσεων σε Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Παρουσίαση του Κεφαλαίου 8 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [10] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Ομάδα Μελέτης για τη σύνταξη Κανονισμού Επεμβάσεων Σε Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, "Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), Τελικό Σχέδιο Κειμένου-3", Φεβρουάριος 2009.
- [11] Serge Vezina, R. Tina Pall, " Seismic Retrofit of MUCTC Building using Friction Dampers, Palais Des Congres, Mondreal", Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No.1946.
- [12] Dihong Shao, P. E., S.E., Avtar Pall, PH.D. P.E., Bharat Soli, P.E., S.E., "Friction Dampers For Seismic Upgrade of a 14-Story Patient Tower with a 36-Foot Tall Soft-Story.
- [13] A. Malhotra, D. Carson, P. Fopal, A. Braimah, G. Di Giovanni, and R. Pall, "Friction Dampers for Seismic Upgrade of St. Vincent Hospital, Ottawa", Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No.1952.
- [14] Jacques Granadino, "Seismic Retrofit Existing Buildings: Innovative Alternatives", Public Works & Government Servisec Canada Vancouver, British Columbia, Canada.
- [15] Alfred Tjahyadi, " Slotted-Bolted Friction Dampers as a Seismic-Energy Dissipator in a Braced Timber-Frame", A Thesis submitted to Oregon State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering and Forest Products, Presented 2001.