

# Σεισμική Απόκριση Μεταλλικών Κατασκευών με Μόνωση Βάσης κατά EC8

Γεράσιμος Δ. Παυλάτος

Πολιτικός Μηχανικός - Μεταπτ. Φοιτητής ΣΜΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

Email: [std131133@ac.eap.gr](mailto:std131133@ac.eap.gr)

Γεώργιος Παπαγιαννόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΜΑ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

Email: [papagiannopoulos@eap.gr](mailto:papagiannopoulos@eap.gr)

**Περίληψη** – Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την διερεύνηση της επιρροής των συστημάτων σεισμικής μόνωσης βάσης στην απόκριση και τον σχεδιασμό συνήθων κτιριακών μεταλλικών κατασκευών με χρήση του Ευρωκώδικα 8 (EC8). Προσδιορίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση της σεισμικής μόνωσης, εξετάζεται η αξιοπιστία της φασματικής ανάλυσης καθώς και η χρήση των θλιβόμενων διαγωνίων στα πλαίσια CBFs.

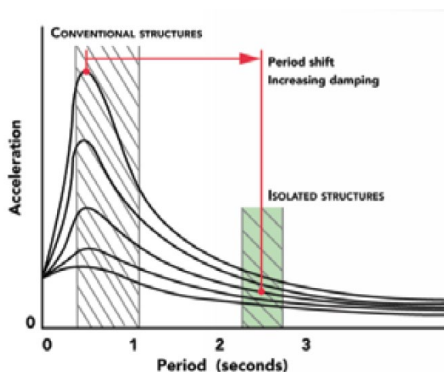
**Λέξεις-Κλειδιά:** Σεισμική μόνωση βάσης, μεταλλικά κτίρια, θλιβόμενες διαγωνίαι, φασματική και μη-γραμμική ανάλυση, Ευρωκώδικας 8

## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση της χρήσης συστημάτων μόνωσης βάσης σε συνήθεις μεταλλικές κτιριακές κατασκευές και η διερεύνηση τυχόν προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού τους.

Η Σεισμική Μόνωση Βάσης (ΣΜΒ) είναι τα μέτρα που λαμβάνονται για την μερική ή ολική αποσύνδεση της «βάσης» των κατασκευών από το έδαφος με σκοπό την μείωση των μετακινήσεων που τους επιβάλλονται από την σεισμική δράση. Συστήματα ΣΜΒ είναι οι συσκευές (εφέδρανα) με τις οποίες επιτυγχάνεται η μόνωση.

Η τοποθέτηση ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης στη βάση ενός κτιρίου, εξαιτίας της πολύ χαμηλότερης οριζόντιας δυσκαμψίας που έχει σε σχέση με αυτήν του πακτωμένου κτιρίου, έχει σαν αποτέλεσμα α) την αύξηση της περιόδου των πρώτων ιδιομορφών του στην περιοχή περιόδων του φάσματος μετά τα 2.0sec (βλέπε Σχ.1), β) την τροποποίηση του σχήματος των ιδιομορφών του και γ) την αύξηση της απόσβεσης.



Σχήμα 1: Σύγκριση συμβατικής και μονωμένης κατασκευής (DOSHIN)

Η μετατόπιση της περιόδου μειώνει την φασματική επιτάχυνση, την τέμνουσα βάσης και τις οριζόντιες σχετικές μετατοπίσεις που θα υποστεί η κατασκευή σε σχέση με τα μεγέθη που θα προέκυπταν εφόσον κατασκευαζόταν συμβατικά (με θεώρηση πάκτωσης). Η μονωμένη κατασκευή κατά τη σεισμική δράση κινείται σχεδόν ως στερεό σώμα επί των εφεδράνων τα οποία υφίστανται μεγάλες παραμορφώσεις που όμως είναι ειδικά σχεδιασμένα για να τις παραλάβουν.

Τα εφέδρανα είναι βιομηχανοποιημένες κατασκευές και συνήθως παρέχουν και υψηλή απόσβεση με στόχο την περαιτέρω μείωση της φασματικής επιτάχυνσης.

Η ιδέα της σεισμικής μόνωσης βάσης δεν είναι πρόσφατη, ιστορικές αναφορές για το θέμα βρίσκονται στους *Naeim & Kelly (1999)*, *Makris (2019)* κ.α.

Η δυναμική θεωρία της σεισμικής μόνωσης βάσης περιγράφεται αναλυτικά σε πληθώρα βιβλίων και δημοσιεύσεων με ενδεικτική αναφορά στους *Naeim & Kelly (1999)* και στον *Chopra (2017)* κ.α. Βασική διαφορά σε σχέση με την κλασική διατύπωση είναι η μη συμβατικού τύπου απόσβεση των μονωτήρων, η οποία είναι συγκεντρωμένη στη βάση της κατασκευής.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της σεισμικής μόνωσης περιγράφονται στους *De Luca & Guidi (2019)* όπου αναφέρεται η τάση για την επίτευξη περιόδων στόχων μεγαλύτερων από 4.0sec είτε με την μείωση του αριθμού των εφεδράνων και την αύξηση της ικανότητας μετακίνησης τους είτε με την αύξηση του καννάβου των εφεδράνων που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό.

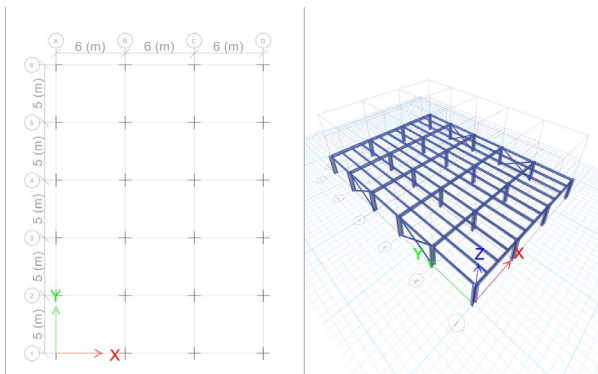
Τις τελευταίες δεκαετίες η μέθοδος έχει διαδοθεί ευρέως λόγω της προόδου των υλικών και της δυνατότητας που έχουμε για την κατασκευή συσκευών με ειδικά χαρακτηριστικά. Σήμερα τα είδη σεισμικής μόνωσης που χρησιμοποιούνται γενικά είναι δύο ειδών : α) Μόνωση με ελαστομεταλλικά εφέδρανα και β) Μόνωση με εφέδρανα ολίσθησης. Και τα δύο συστήματα διακρίνονται σε διάφορες υποκατηγορίες.

Προτείνεται επίσης η χρήση διαφόρων συνδυασμών όπως π.χ. LRB με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με στρώση FTPE από τους *Giarlelis et al. (2018)* είτε Friction Dampers με LRB από τους *Güneyisi & Deringöl (2018)* είτε HDRB με LFSB (steel PTFE) από τους *Mazza & Labernarda (2018)*.

## II. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

Εξετάζονται μεταλλικά κτίρια τριών, έξι και εννέα ορόφων με σύμμικτες πλάκες επί χαλυβδόφυλλων με την

θεώρηση ότι εξασφαλίζουν συνθήκες διαφράγματος. Οι διαστάσεις των κτιρίων είναι X-X :3X6.00=18.00 m, Y-Y: 5X5.00= 25.00 m με ύψος ορόφων 3.00 m. Σχ.2



Σχήμα 2: Κάνναβος και τυπικός όροφος των κτιρίων

Τα κτίρια στην διεύθυνση Y-Y έχουν κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα (Concentric Brace Frame - CBF) στα εξωτερικά πλαίσια. Στην διεύθυνση X-X η δυσκαμψία εξασφαλίζεται από τετράστιλα πλαίσια (Moment Resisting Frame - MRF). Τα κτίρια κατατάσσονται στην κατηγορία DCH κατά EC8 (2004) και οι ποιότητες χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν για τα μέλη είναι S235 και S355. Λήφθηκε υπόψη κινητό φορτίο 5.0 kN/m<sup>2</sup> με  $\psi_{2i} = 0.60$ , συντελεστής  $\varphi = 0.50$  και συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma = 1.0$ .

Για τα κτίρια με συμβατική θεμελίωση η σεισμική δράση και οι εδαφικές συνθήκες είναι οι προβλεπόμενες από τον EC8 (2004) για κατηγορία εδαφικής επιτάχυνσης 0.36g και έδαφος τύπου B, με φάσμα σχεδιασμού τύπου I στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση και ενιαίο συντελεστή συμπεριφοράς στις δυο διευθύνσεις  $q=4$ .

Για τα κτίρια με μόνωση βάσης για την ίδια περιοχή σεισμικής δράσης και εδαφικών συνθηκών που αναφέρθηκαν, ο EC8 (2004) απαιτεί: για πλήρη μόνωση βάσης η κατασκευή πρέπει να συμπεριφερθεί ελαστικά οπότε λαμβάνεται  $q=1$  (χωρίς την χρήση της ευμενούς διάταξης  $q=1.50$ ), λαμβάνοντας υπ' όψιν την απόσβεση του συστήματος κτιρίου/μονωτήρων μέσω του συντελεστή  $\eta$ . Για κτίριο με σεισμική μόνωση, δεν απαιτούνται ειδικά φάσματα για να ληφθούν υπόψη τα ειδικά εδαφικά και σεισμικά χαρακτηριστικά της θέσης του κτιρίου EC8 (2004).

Και για τα δύο είδη κτιρίων, ήτοι με συμβατική θεμελίωση και με μόνωση βάσης, εκτελούνται μη-γραμμικές αναλύσεις στο πεδίο του χρόνου με χρήση τριών συμβατών τεχνητών επιταχυνσιογραφήματων σύμφωνα με τον EC8 (2004) θεωρώντας χρήση του ίδιου επιταχυνσιογραφήματος και στις τρεις διευθύνσεις για τον κατάλληλο συνδυασμό. Η επιλογή αυτή έγινε σκόπιμα για λόγους δυσμέτρησης διότι έτσι εμφανίζεται η μέγιστη ένταση ταυτόχρονα και στις τρεις διευθύνσεις.

Η μη-γραμμική συμπεριφορά στις φασματικές αναλύσεις λήφθηκε υπ' όψιν: α) για τα κτίρια μέσω του συντελεστή  $q$  και β) για τα εφέδρανα μέσω της επαπτομενικής τέμνουσας και της ισοδύναμης απόσβεσης. Οι τιμές τους υπολογίζονται με επαναληπτική διαδικασία διότι εξαρτώνται από την μέγιστη μετακίνηση της συγκεκριμένης φόρτισης.

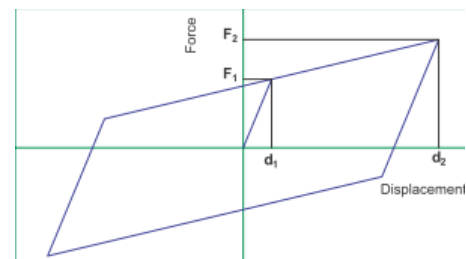
Στις μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας, η μη-γραμμική συμπεριφορά για τα κτίρια λήφθηκε υπόψη

μέσω της χρήσης συγκεντρωμένων πλαστικών αρθρώσεων στις θέσεις που προβλέπεται να εμφανισθούν με βάση τον αμερικανικό κανονισμό ASCE 41-17 (2017) στα διαγώνια μέλη και στις δοκούς και με χρήση του fiber model (ETABS v18 2020) στα υποστοιχώματα. Για τα εφέδρανα η μη-γραμμική συμπεριφορά λήφθηκε υπόψη μέσω των βρόγχων υστέρησης όπως προτείνονται από τον κατασκευαστή με το κατάλληλο μοντέλο του ETABS v18 (2020).

Όλα τα κτίρια με συμβατική θεμελίωση αναλύθηκαν με φασματική ανάλυση, διαστασιολογήθηκαν αρχικά με τον Ευρωκώδικα 3, ελέγχθηκαν ο συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης του ορόφου  $\theta$  και το κριτήριο περιορισμού βλαβών (σχετική παραμόρφωση ορόφου) ώστε να είναι εντός των απαιτούμενων ορίων (EC8 2004). Ακολούθως, τα κτίρια υποβλήθηκαν σε μη-γραμμικές αναλύσεις στο πεδίο του χρόνου για να διαπιστωθεί το μέγεθος και το είδος των βλαβών που θα υποστούν σε έναν πραγματικό σεισμό.

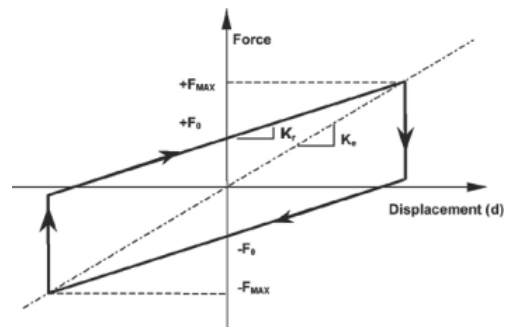
Στα κτίρια αυτά, με τις ίδιες διατομές στα μέλη τους, εφαρμόστηκε σεισμική μόνωση με δύο τρόπους :

A) Χρήση Σύνθετου συστήματος Lead Rubber Bearing LRB/Free Surface Sliders με στρώση PTFE, FSS/PTFE, με διάγραμμα συμπεριφοράς για τα LRB στο Σχ.3 και



Σχήμα 3:LRB Σχέση μετακινήσεων - δυνάμεων

B)Χρήση Friction Pendulum Systems FPS -Καμπύλων εφεδράνων τριβής με διάγραμμα συμπεριφοράς του Σχ.4.



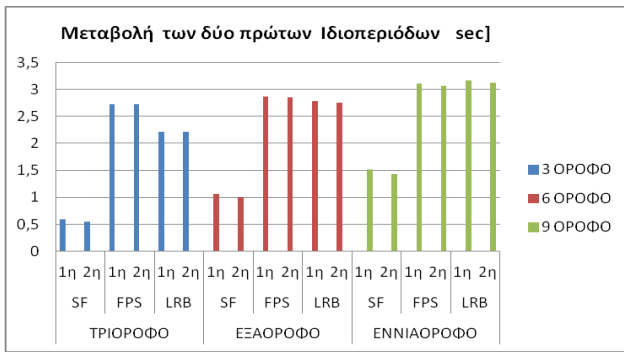
Σχήμα 4:FPS Σχέση μετακινήσεων - δυνάμεων

Τα μονωμένα κτίρια αναλύθηκαν φασματικά, έγινε έλεγχος, των διατομών τους κατά Ευρωκώδικα 3 του συντελεστή  $\theta$  κατά και του κριτηρίου περιορισμού βλαβών κατά EC8 (2004) και ακολούθως υποβλήθηκαν σε μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας για να διαπιστωθεί αν συμπεριφέρονται ελαστικά ή όχι.

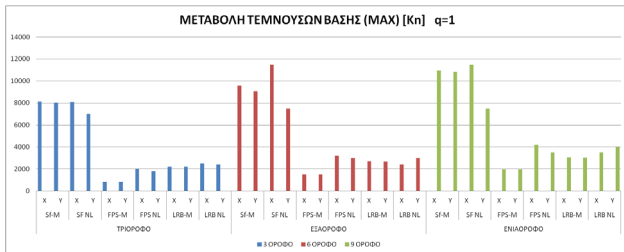
Οι αναλύσεις και η διαστασιολόγηση έγιναν με την εκπαιδευτική έκδοση του ETABS v18 (2020) .

### III. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

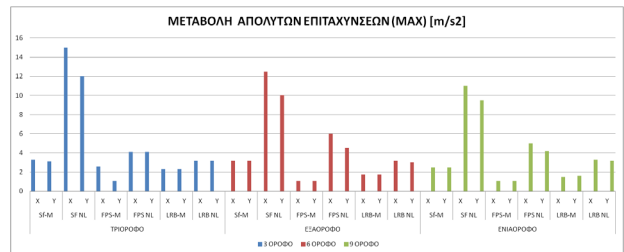
Παρακάτω παρουσιάζονται επιλεγμένα αποτελέσματα για την εξαγωγή συμπερασμάτων.



Σχήμα 5: Μεταβολή των δύο πρώτων ιδιοπεριόδων των κτιρίων



Σχήμα 6: Μεταβολή των τεμνουσών βάσης



Σχήμα 7: Μεταβολή των απολύτων επιταχύνσεων



Σχήμα 8: Συντελεστής περιορισμού της σχετικής μετακίνησης ορόφων

Στα Σχ.5 και Σχ. 6 φαίνεται ότι επιτεύχθηκε η αύξηση της τιμής των πρώτων δύο ιδιομορφών των μονωμένων κτιρίων και η μείωση των τεμνουσών δυνάμεων βάσης με άμεση επίδραση στην οικονομία του υλικού λόγω της μείωσης των δυνάμεων και ουσιαστικά την απαλλαγή των ειδικών ελέγχων. Από τα ίδια σχήματα φαίνεται η αποδοτικότητα της ΣΜΒ σε κατασκευές με μικρή πρώτη ιδιοπερίοδο συμβατικής κατασκευής και η μείωση της αποδοτικότητας της όσο η ανωτέρω περίοδος μεγαλώνει.

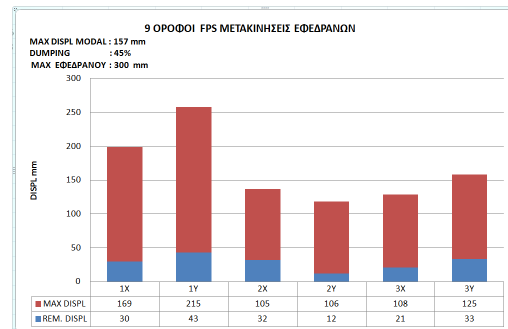
Η βελτιωμένη λειτουργικότητα των κατασκευών με ΣΜΒ αποδεικνύεται από την μείωση των απολύτων επιταχύνσεων στο Σχ.7 και του συντελεστή περιορισμού της σχετικής μετακίνησης των ορόφων στο Σχ.8. Για τον λόγο αυτό η ΣΜΒ προτιμάται σε ειδικές κτιριακές κατασκευές.

Η ΣΜΒ έχει βέβαια εφαρμογή και στην «ενίσχυση» υφισταμένων κατασκευών μέσω της μείωσης των σεισμικών δυνάμεων αλλά και σε κατασκευές που επιτρέπεται μόνο εξωτερική παρέμβαση στην βάση τους (π.χ. μνημεία).

Σύμφωνα με τις μη-γραμμικές αναλύσεις, οι κατασκευές με ΣΜΒ συμπεριφέρθηκαν ελαστικά χωρίς να υποστούν βλάβες αποδεικνύοντας την ικανότητα τους ως προς την άμεση χρήση τους, την απουσία επισκευών την λειτουργικότητα των εγκαταστάσεων και την οικονομία υλικού που μπορεί να επιτευχθεί.

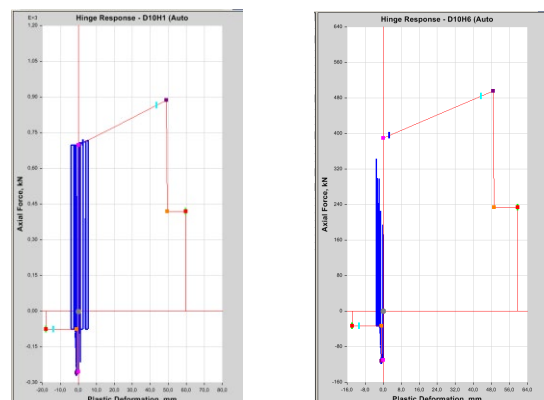
Διαπιστώθηκε ότι για τα κτίρια με ΣΜΒ-LRB οι τέμνουσες βάσεις από την φασματική ανάλυση και από τις μη-γραμμικές αναλύσεις είναι παρόμοιες (Σχ.6), σε αντίθεση με τα κτίρια με ΣΜΒ-FPS όπου η τιμή της φασματικής τέμνουσας υπολείπεται σημαντικά.

Σύμφωνα με τον *EC8 (2004)*, επιτρέπεται η ανάλυση κατασκευών με ΣΜΒ με γραμμικές μεθόδους μόνον όταν πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια. Τα κτίρια με ΣΜΒ-FPS δεν ικανοποιούν τα κριτήρια της απόσβεσης (>30%) και της δύναμης επαναφοράς (<2.50%W, όπου W το βάρος της κατασκευής), οπότε για αυτά η χρήση της φασματικής ανάλυσης δεν είναι επιτρεπτή αφού τα αποτελέσματα δεν κρίνονται αξιόπιστα και προκύπτει απόκλιση των τεμνουσών βάσης που υπολογίζονται μεταξύ των δύο μεθόδων.



Σχήμα 9: Κτίριο 9 ορόφων με μόνωση FPS - Μετακινήσεις εφεδράνων

Στο Σχ. 9 παρουσιάζεται για το κτίριο εννέα ορόφων με ΣΜΒ η διασπορά των μεγίστων μετακινήσεων των FPS εφεδράνων για τις τρεις φορτίσεις χρονιότητας και οι παραμένουσες μετακινήσεις. Η διασπορά δείχνει την επιρροή των χαρακτηριστικών του κτιρίου και της σεισμικής δράσης στις μέγιστες μετακινήσεις των εφεδράνων και την χρησιμότητα χρήσης περισσότερων επιταχυνσιογραφημάτων όχι μόνο για λόγους στατιστικούς.



Σχήμα 10: Ανελαστική και ελαστική συμπεριφορά διαγωνίων μελών α) συμβατικής με διαρροή και β) μονωμένης κατασκευής ελαστική

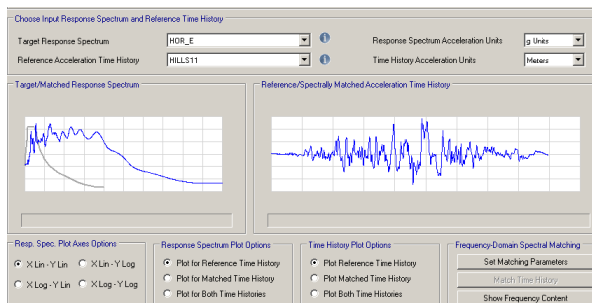
Στο Σχ. 10(a) φαίνεται η μη-γραμμική συμπεριφορά των διαγωνίων συνδέσμων κατά την σεισμική δράση σε κατασκευή με συμβατική θεμελίωση. Η μικρή

αποτελεσματικότητα της χρήσης τους οφείλεται στις απαιτήσεις του EC8 (2004) για το όριο λυγηρότητας των συνδέσμων ( $1.3 < \lambda < 2.0$ ) αλλά και στην θεώρηση μη συμμετοχής των θλιβόμενων διαγωνίων σε διάταξη τύπου X στην ανάληψη της σεισμικής τέμνουσας.

Στο Σχ.10(β) φαίνεται η ελαστική συμπεριφορά των διαγωνίων συνδέσμων σε κατασκευή με ΣΜΒ κατά τα προβλεπόμενα στον EC8 (2004) που απαιτεί αυτοί να μην διαστασιολογούνται για την ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων. Τα θλιβόμενα μέλη υπάρχουν και επηρεάζουν την συμπεριφορά του φορέα διότι αναλαμβάνουν μικρό ποσοστό του θλιπτικού φορτίου, υπόκεινται σε λυγισμό χωρίς να υποστούν βλάβες και παραμένουν ικανά να λειτουργήσουν ελαστικά και να αναλάβουν τις εφελκυστικές δυνάμεις κατά την αλλαγή φοράς της σεισμικής κίνησης.

Ακολούθως εξετάζεται το θέμα της συμπεριφοράς των μονωμένων κατασκευών στην περίπτωση υπέρβασης του μεγέθους και της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών της σεισμικής δράσης σχεδιασμού. Για το θέμα υπάρχει πληθώρα δημοσιεύσεων, όπου ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των Pavlidou and Komodromos (2020), Bao et al. (2018) και Sani et al (2018).

Από μελέτη του Σχ.12 όπου παρουσιάζεται η σχέση του φάσματος του επιταχυνσιογραφήματος του σεισμού Superstition Hills 1987 (καταγραφή parachute test site comp. 225) με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του EC8 (2004) για απόσβεση 5%, διαπιστώνεται ότι οι συνήθεις κατασκευές με μεγάλες περιόδους θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες φορτίσεις από τις προβλεπόμενες στον κανονισμό.



Σχήμα 12: Σύγκριση Φάσματος EC8 φάσματος επιταχυνσιογραφήματος

Στα κτίρια με ΣΜΒ η υπέρβαση εκδηλώνεται με εξάντληση των ορίων μετακίνησης των εφεδράνων και του αρμού με επακόλουθο την εμφάνιση κρουστικών φαινομένων Bao et al (2018). Η συμπεριφορά του κτιρίου θα εξαρτηθεί από τύπο του και άλλες παραμέτρους χωρίς να αποκλείονται οι ψαθυρές μορφές αστοχίας.

#### IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά η εφαρμογή της ΣΜΒ έχει άμεσα οικονομικά οφέλη και καλύτερη διαχείριση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου λόγω της μείωσης της σεισμικής τέμνουσας. Προσφέρει άμεση λειτουργία του κτιρίου μετά από ισχυρό σεισμό χωρίς την αναγκαιότητα επισκευών.

Μειονεκτήματα της ΣΜΒ είναι το κόστος αγοράς, τοποθέτησης, προστασίας των συσκευών, η διπλή θεμελίωση, η ενεργοποίηση της για φορτίσεις ανέμου, η γήρανση των συσκευών κλπ.

Όσον αφορά τις μεθόδους αναλύσεων, οι γραμμικές μέθοδοι είναι αξιόπιστες μόνο όταν πληρούνται τα κριτήρια του EC8 (2004). Οι μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας προσφέρουν αξιόπιστη εικόνα της συμπεριφοράς της κατασκευής με προτιμότερη την χρήση περισσότερων των τριών επιταχυνσιογραφήματων.

Η χρήση των απλών χιαστί δεν είναι αποδοτική. Προτείνεται η επιλογή είτε συνδέσμων τύπου BRB είτε η επιλογή συνδέσμων σε διάταξη τύπου Λ ή V.

Το σύστημα FPS δεν έχει αντοχή στην παρουσία εφελκυστικών δυνάμεων. Χρήσιμη θα ήταν η ακριβέστερη θεώρηση της τριβής λόγω της εξάρτησης της από την αξονική δύναμη και την ταχύτητα ολίσθησης.

Το σύστημα LRB/FS(PTFE) ήταν αποδοτικό παρά την μικρή απόσβεση 10% που επιλέχθηκε έχοντας αντοχή στην παρουσία εφελκυστικών δυνάμεων στα εφέδρανα. Μειονέκτημα των ελαστομεταλλικών εφεδράνων είναι η γήρανση του υλικού και η απαίτηση αντικατάστασης τους. Και στα δύο είδη εφεδράνων υπάρχουν συστήματα με μεγάλη απόσβεση που δεν θα επιτρέψουν την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση τους.

Τελικά και τα δύο συστήματα ήταν αποδοτικά και δικαιολογούν την προτίμηση των μελετητών.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ASCE 41-17 (2017). *American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures*, Virginia, USA
- Bao, Y., Becker, T. C., Sone, T. & Hamaguchi, H. (2018). *To limit forces or displacements: collapse study of steel frames isolated by sliding bearings with and without restraining rims*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 112, 203-214.
- Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of structures. Theory and applications to Earthquake Engineering*.
- De Luca, A. & Guidi, L. G. (2019). *State of art in the worldwide evolution of base isolation design*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125, 105722.
- Deringol, A. H. & Bilgin, H. (2018). *Effects of the isolation parameters on the seismic response of steel frames*. Earthquakes and Structures, 15(3), 319-334.
- Deringöl, A. H. & Güneçyisi, E. M. (2019). *Effect of friction pendulum bearing properties on behaviour of buildings subjected to seismic loads*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125, 105746.
- Doshin :<https://doshinrubber.com/wp-content/uploads/2017/05/HDRB3-final-compress.pdf>
- FEMA, *Federal Emergency Management Agency. Quantification of building seismic performance factors*. Washington DC, USA
- ETABS v18 (2020), User's manual
- EC8 (2004). *Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance, Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*, European Committee for Standardization (CEN), Brussels
- Giarlelis, C. et al. (2018). *The seismic isolated Stavros Niarchos Foundation Cultural Center in Athens (SNFCC)*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 114, 534-547.
- Güneçyisi, E. M. & Deringöl, A. H. (2018). *Seismic response of friction damped and base-isolated frames considering serviceability limit state*. Journal of Constructional Steel Research, 148, 639-657.
- Makris, N. (2019). *Seismic isolation: Early history*. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 48(2), 269-283.
- Mazza, F. & Labernarda, R. (2018). *Effects of nonlinear modelling of the base-isolation system on the seismic analysis of rc buildings*. Procedia Structural Integrity, 11, 226-233.
- Naem, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons, New York, USA
- Pavlidou, C. & Komodromos, P. (2020). *Peak seismic response of a symmetric base-isolated steel building: near vs. far fault excitations and varying incident angle*. Earthquakes and Structures, 18(3), 349-365.
- Sani, H. P., Gholhaki, M. & Banazadeh, M. (2018). *Simplified direct measure for seismic isolated steel moment-resisting structures*. Journal of Constructional Steel Research, 147, 313-323.