

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SEESAW

**Παναγιώτα Σ. Κατσιμπίνη¹, Παρασκευή Κ. Ασκούνη², Γεώργιος Α. Παπαγιαννόπουλος³,
Δημήτρης Λ. Καράμπαλης⁴**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία συνοψίζονται τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης τρισδιάστατων μεταλλικών κατασκευών χαμηλού ύψους εξοπλισμένων με το σύστημα seesaw. Τα αποτελέσματα αυτά προέρχονται από μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας μεταλλικών κατασκευών 2, 5 και 8 ορόφων και περιλαμβάνουν τις καθ' ύψος κατανομές των μεγίστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων, των μεγίστων παραμενουσών σχετικών μετακινήσεων ορόφων καθώς επίσης και τις δυσμενέστερες κατανομές πλαστικών αρθρώσεων. Οι κατασκευές αυτές θεωρούνται είτε πλήρως πακτωμένες στο έδαφος είτε σε αλληλεπίδραση με αυτό. Από τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνεται ότι το σύστημα seesaw μπορεί να αποτελέσει μια ελκυστική λύση για μεταλλικές κατασκευές χαμηλού ύψους σε σύγκριση με τους συμβατικούς συνδέσμους δυσκαμψίας και τα γνωστά προβλήματα λυγισμού τους.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα seesaw προτάθηκε αρχικά από τους Kang and Tagawa (1,2) και η σεισμική του συμπεριφορά σε επίπεδα μεταλλικά πλαίσια χαμηλού ύψους ελέγχθηκε διεξοδικά από τους Katsimpini et. al. (3). Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια αρθρωμένη μεταλλική πλάκα, δύο καλώδια (ή συρματόσχοινα) που αγκυρώνονται (συνδέονται) πάνω στη μεταλλική πλάκα και σε κομβοελάσματα, σφικτήρες, καθώς και από ένα ζεύγος αποσβεστήρων που έχουν τοποθετηθεί κάθετα στην πλάκα αυτή. Στο Σχ.1 παρουσιάζεται ένα τυπικό μεταλλικό πλαίσιο που φέρει το εν λόγω σύστημα. Παραλλαγές του συστήματος αυτού σχετικά με τη θέση εγκατάστασης του ή/και τη διάταξη του, καθώς και με το είδος των αποσβεστήρων μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία (1-5).

Από τα πειραματικά και αριθμητικά και αποτελέσματα των εργασιών (1-5), συμπεραίνεται ότι το σύστημα seesaw μπορεί να μειώσει σημαντικά τη σεισμική απόκριση επίπεδων μεταλλικών πλαισίων και να αυξήσει την ικανότητα απόσβεσης αυτών. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει τη σεισμική συμπεριφορά τρισδιάστατων μεταλλικών κατασκευών χαμηλού ύψους (2, 5 και 8 ορόφων) μέσω αποτελεσμάτων σεισμικής απόκρισης των κατασκευών αυτών υπό πραγματικές σεισμικές κινήσεις. Τα αποτελέσματα αυτά περιλαμβάνουν τις καθ'

¹ Υποψήφια Διδάκτωρ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, penyk@hotmail.gr

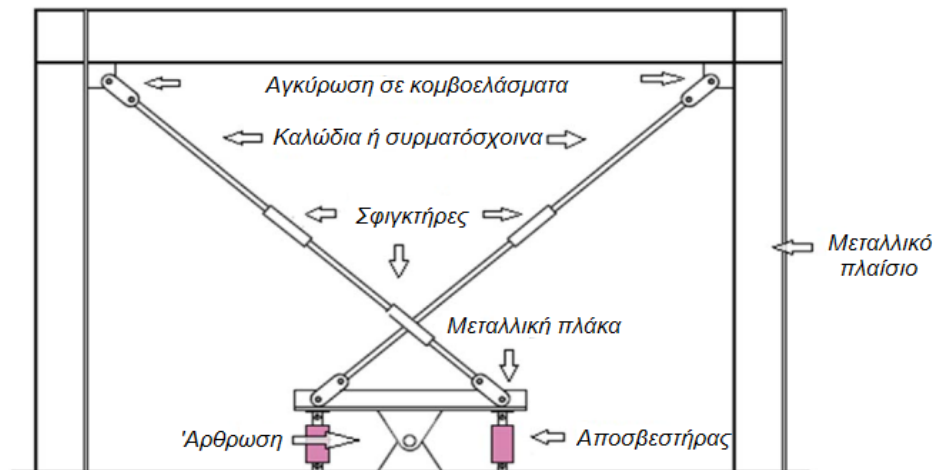
² Υποψήφια Διδάκτωρ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, askounie@gmail.com

³ Ακαδημαϊκός Υπότροφος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, gparagia@upatras.gr

⁴ Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, karabali@upatras.gr



ύψος κατανομές για τις μέγιστες σχετικές μετακινήσεις ορόφων (IDR) και τις μέγιστες σχετικές παραμένουσες μετακινήσεις ορόφων (RIDR) και εξάγονται θεωρώντας αρχικά τις κατασκευές εδραζόμενες σε απαραμόρφωτο έδαφος (πακτωμένες) και έπειτα λαμβάνοντας υπόψη την ενδοσιμότητα του εδάφους και την επερχόμενη αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής. Επίσης δείχνονται οι δυσμενέστερες περιπτώσεις κατανομών των πλαστικών αρθρώσεων στις μεταλλικές κατασκευές για τις ανωτέρω δυο περιπτώσεις έδρασης. Συμπεραίνεται ότι το σύστημα seesaw μπορεί να αποτελέσει μια ελκυστική εναλλακτική λύση για μεταλλικές κατασκευές χαμηλού ύψους απέναντι στους συμβατικούς συνδέσμους δυσκαμψίας. Τα βασικά μέλη του συστήματος seesaw, δηλαδή τα καλώδια (ή συρματόσχοινα) βρίσκονται πάντοτε σε εφελκυσμό κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στους κλασικούς συνδέσμους δυσκαμψίας για τους οποίους οι έλεγχοι σε λυγισμό είναι αναπόφευκτοι.



Σχήμα 1: Μεταλλικό πλαίσιο που φέρει το σύστημα seesaw

2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

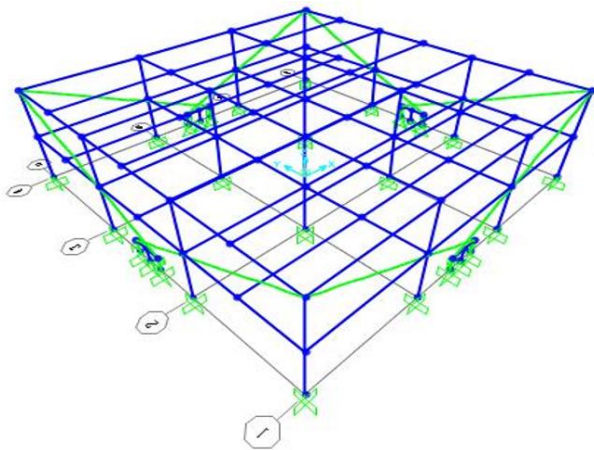
2.1 Οι υπό μελέτη μεταλλικές κατασκευές με το σύστημα seesaw

Οι μεταλλικές κατασκευές 2, 5 και 8 ορόφων που μελετήθηκαν, φαίνονται στα Σχ.2-4, όπου το σύστημα seesaw έχει εγκατασταθεί στα περιμετρικά μεταλλικά πλαίσια. Τα καλώδια: i) αγκυρώνονται στα άκρα των δοκών της περιμέτρου στην ίδια στάθμη ορόφου και ii) διαπερνούν δοκούς και υποστυλώματα σε συγκεκριμένες θέσεις στις οποίες έχουν προβλεφθεί κατάλληλες οπές. Η διάμετρος των οπών, όντας εξαρτώμενη από την διάμετρο των καλωδίων, δύναται να είναι τέτοια που πρακτικά να ωθεί προς την έκκεντρη διάταξη του συστήματος seesaw ως προς το μεταλλικό πλαίσιο στο οποίο αυτό τοποθετείται. Εντούτοις, στην παρούσα εργασία θεωρείται ότι το σύστημα seesaw τοποθετείται πάντοτε χωρίς εκκεντρότητα ως προς το μεταλλικό πλαίσιο.

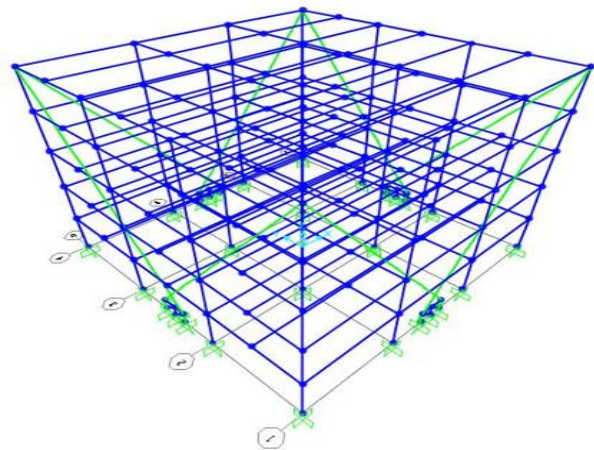
Οι μεταλλικές κατασκευές των Σχ.2-4 έχουν εμβαδό κάτοψης 18 m x 18 m και ύψος ορόφου 3 m. Και στις δυο οριζόντιες διευθύνσεις, η απόσταση δυο διαδοχικών υποστυλωμάτων είναι 6 m. Ο προσανατολισμός των υποστυλωμάτων φαίνεται στο Σχ.5. Τα μόνιμα (συμπεριλαμβανομένων του ίδιου βάρους της σύμμικτης πλάκας, επιστρώσεων κλπ.) και κινητά φορτία στις σύμμικτες



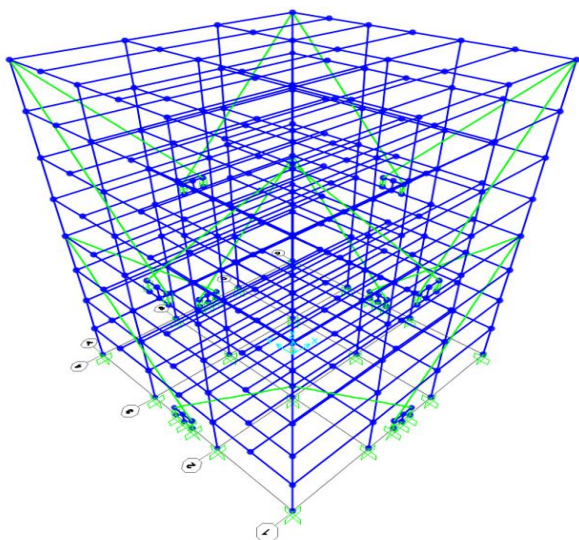
πλάκες είναι 8 kN/m^2 και 3 kN/m^2 αντίστοιχα. Οι μεταλλικές κατασκευές αρχικά σχεδιάστηκαν με συμβατικούς χιαστί συνδέσμους σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 3 και 8 (6,7). Το σεισμικό φορτίου σχεδιασμού αντιστοιχεί σε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $0.36g$, έδαφος κατηγορίας B, συντελεστή σπουδαιότητας 1 και συντελεστή συμπεριφοράς 3. Θεωρώντας διαφραγματική λειτουργία των πλακών λόγω της παρουσίας σύμμικτης πλάκας, με χρήση φασματικής ανάλυσης βρέθηκαν οι τέμνουσες ορόφων και στις δυο οριζόντιες διευθύνσεις προκειμένου να γίνει εκτίμηση της διαμέτρου των καλωδίων. Οι τελικές διατομές των δοκών και των υποστυλωμάτων των μεταλλικών κατασκευών των Σχ.2-4, καθώς και οι διάμετροι των καλωδίων και η μέγιστη εφελκυστική αντοχή τους αναγράφονται στον Πίνακα 1. Ο σχεδιασμός των καλωδίων γίνεται σύμφωνα με το σχετικό μέρος του Ευρωκώδικα 3 (8). Η κατηγορία του χάλυβα για τις δοκούς είναι S235 και για τα υποστυλώματα S355. Οι συνδέσεις δοκών υποστυλωμάτων θεωρήθηκαν άκαμπτες ενώ οι συνδέσεις των διαδοκίδων στις δοκούς των πλαισίων θεωρήθηκαν αρθρωτές.



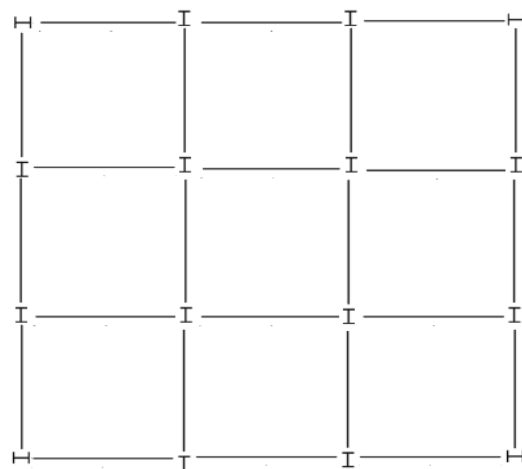
Σχήμα 2: Μεταλλική κατασκευή 2 ορόφων



Σχήμα 3: Μεταλλική κατασκευή 5 ορόφων



Σχήμα 4: Μεταλλική κατασκευή 8 ορόφων



Σχήμα 5: Προσανατολισμός υποστυλωμάτων

Πίνακας 1: Διατομές δοκών & υποστυλωμάτων, διάμετρος και μέγιστη αντοχή καλωδίων

Κατασκευή	Δοκοί	Υποστυλώματα	Διάμετρος (mm)	Μέγιστη αντοχή (kN)
2 ορόφων	IPE 450	HEM 320	48	1440
5 ορόφων	IPE 500	HEM 600	115	8270
8 ορόφων	IPE 500	HEM 700	115	8270

Για τα καλώδια: i) λήφθηκε υπόψη μια μικρή προένταση 3-5 kN και ii) θεωρήθηκε ότι ο τύπος αγκύρωσης (8) είναι τέτοιος ώστε η μέγιστη αντοχή τους που αναφέρεται Πίνακα 1 να μην χρειάζεται να απομειωθεί. Οι αποσβεστήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι γραμμικοί και έχουν σταθερά απόσβεσης ίση με 250 kNs/m. Αναφορικά με το Σχ.1, το ύψος της μεταλλικής πλάκας καθορίζεται από τη μετακίνηση του εμβόλου των αποσβεστήρων και είναι 870 mm. Το μήκος της μεταλλικής πλάκας είναι 1600 mm. Η μόρφωση της άρθρωσης του Σχ.1 γίνεται με τρία μεταλλικά ελάσματα εκ των οποίων το μεσαίο και παχύτερο έλασμα συγκολλάται στο κάτω μέρος της μεταλλικής πλάκας. Όταν το σύστημα seesaw εδράζεται σε δοκό (βλέπε Σχ.4), μεταβιβάζει μέσω των αποσβεστήρων τέμνουσες δυνάμεις. Στην περίπτωση αυτή συνιστώνται: i) ο σχεδιασμός των απαραίτητων νευρώσεων στη δοκό και ii) το μήκος της μεταλλικής πλάκας να είναι τέτοιο ώστε αν συμβεί αστοχία της δοκού αυτή να είναι καμπτική και όχι διατμητική.

2.2 Σεισμικές κινήσεις και προσομοιώσεις για τις μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας

Οι υπό μελέτη μεταλλικές κατασκευές που φέρουν το σύστημα seesaw υποβάλλονται σε μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας θεωρώντας τις δύο οριζόντιες συνιστώσες των 24 σεισμικών κινήσεων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Στον πίνακα αυτό αναφέρονται λεπτομέρειες σχετικές με αυτές τις σεισμικές κινήσεις όπως το μέρος, η ημερομηνία, ο καταγραφικός σταθμός, η σεισμική ένταση M_w και το είδος του εδάφους. Οι συντομογραφίες HR, SR και SL σημαίνουν σκληρός βράχος, ιζηματογενής και κροκαλοπαγής βράχος και μαλακό έδαφος/αλλουβιακή απόθεση, αντίστοιχα. Οι σεισμικές κινήσεις χρησιμοποιήθηκαν με θεώρηση γωνιών πρόσπτωσης 0°, 45° and 90° ως προς το κέντρο της κάμψης του Σχ.5 χωρίς να κλιμακωθούν. Το μέσο φάσμα των 24 σεισμικών κινήσεων υπερβαίνει το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.36g και έδαφος κατηγορίας B (7) στις περιόδους $T \geq 0.2s$ κατά τουλάχιστον 25%.

Για την εκτέλεση των μη-γραμμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας με χρήση του λογισμικού SAP 2000 (9), οι δοκοί και τα υποστυλώματα εξιδανικεύονται ως γραμμικά στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστικότητας και το υλικό τους ακολουθεί διγραμμικό νόμο (κράτυνση ίση με 2%). Οι πλαστικές αρθρώσεις των δοκών σχηματίζονται από κάμψη ενώ αυτές των υποστυλωμάτων από αλληλεπίδραση αξονικής δύναμης και διαξονικής κάμψης. Οι γεωμετρικές μη-γραμμικότητες, δηλαδή η επίδραση της αξονικής δύναμης στην κάμψη σε επίπεδο μέλους και οι μεγάλες μετακινήσεις σε επίπεδο κατασκευής, λαμβάνονται υπόψη. Θεωρήθηκε διαφραγματική λειτουργία σε κάθε στάθμη ορόφου και το μητρώο απόσβεσης υπολογίζεται για ιξώδη απόσβεση 3%. Οι γραμμικοί αποσβεστήρες προσομοιώθηκαν ως στοιχεία ιξώδους απόσβεσης με χρήση του στοιχείου Link του SAP 2000 (9). Τα οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία του συστήματος seesaw προσομοιώθηκαν ως άκαμπτα, ενώ για τα καλώδια λήφθηκαν υπόψη οι μη-γραμμικότητες (9) καθώς και μία μικρή προένταση 3-5 kN ώστε να εξασφαλιστεί η

ενεργοποίηση τους κατά την αντιστροφή της σεισμικής κίνησης. Οι μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας εκτελούνται θεωρώντας τις υπό μελέτη κατασκευές αρχικά εδραζόμενες σε απαραμόρφωτο έδαφος (πακτωμένες) και έπειτα σε ενδόσιμο έδαφος όπου εμφανίζεται η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.

Η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής λαμβάνεται υπόψη στις μη-γραμμικές αναλύσεις μέσω του διακριτού προσομοιώματος των Mulliken and Karabalis (10). Σύμφωνα με το προσομοίωμα αυτό ένα θεμέλιο και τμήμα του εδάφους που το περιβάλλει αντικαθίστανται από ένα σύστημα ελατηρίου-αποσβεστήρα-μάζας που έχει 6 βαθμούς ελευθερίας και άρα μπορεί να περιγράψει τις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις, το λικνισμό και τη στρέψη του θεμελίου. Οι τιμές των παραμέτρων του συστήματος ελατηρίου-αποσβεστήρα-μάζας υπολογίζονται από τις διαστάσεις του θεμελίου και το είδος του εδάφους (ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιων κυμάτων και μέτρο διάτμησης).

Για τις υπό μελέτη μεταλλικές κατασκευές, σχεδιάστηκε γενική κοιτόστρωση για περιπτώσεις εδάφους κατηγοριών C και D (7,11). Το μέτρο διάτμησης του εδάφους (που υπολογίζεται για ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιων κυμάτων 270 m/s και 180 m/s και πυκνότητα εδάφους 1800 kg/m³ και 1900 kg/m³ για έδαφος κατηγορίας C και D, αντίστοιχα) απομειώθηκε κατά 16% προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ανάπτυξη των μη-γραμμικών παραμορφώσεων για υψηλή εδαφική επιτάχυνση (11). Η επίδραση του βάθους εγκλιωτισμού της γενικής κοιτόστρωσης στις τιμές των παραμέτρων του συστήματος ελατηρίου-αποσβεστήρα-μάζας αμελήθηκε.

Πίνακας 2: Σεισμικές κινήσεις

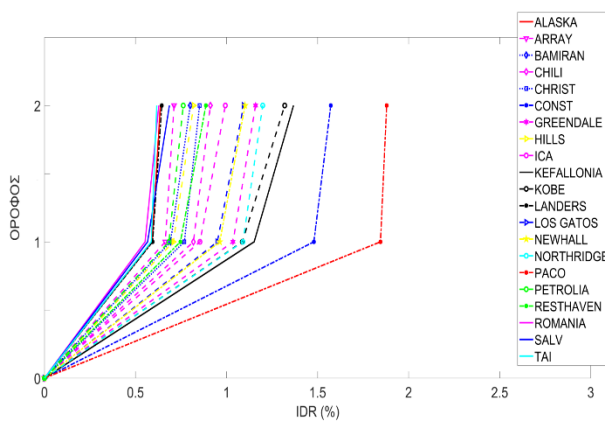
No.	Σεισμός, χώρα	Ημερομηνία	Καταγραφικός σταθμός	M _w	Είδος εδάφους
1.	San Fernando, U.S.A.	09/02/1971	Pacoima Dam	6.6	HR
2.	Imperial Valley, U.S.A.	15/10/1979	El Centro Array 6	6.5	SL
3.	Valparaiso, Chile	03/03/1985	Llolleo	7.9	SR
4.	Michoachan, Mexico	19/09/1985	SCT	8.0	SL
5.	Vrancea, Romania	30/08/1986	INCERC	7.3	SL
6.	Superstition Hills, U.S.A.	24/11/1987	Parachute Test Site	6.5	SL
7.	Loma Prieta, U.S.A.	17/10/1989	Los Gatos	7.0	HR
8.	Cape Mendocino, U.S.A.	25/04/1992	Cape Mendocino	6.9	SR
9.	Cape Mendocino, U.S.A.	25/04/1992	Petrolia	6.9	SR
10.	Landers, U.S.A.	28/06/1992	Lucerne Valley	7.3	SL
11.	Northridge, U.S.A.	17/01/1994	Rinaldi Receiving St.	6.7	SL
12.	Northridge, U.S.A.	17/01/1994	Newhall	6.7	SL
13.	Northridge, U.S.A.	17/01/1994	Sylmar Converter St.	6.7	SL
14.	Kobe, Japan	17/01/1995	Takatori	6.9	SL
15.	Chi-Chi, Taiwan	20/09/1999	TCU 052	7.6	SL
16.	El Salvador, El Salvador	13/01/2001	Observatorio	7.6	SR
17.	Denali, Alaska	03/11/2002	Taps Pump station 10	7.9	SR
18.	Bam, Iran	26/12/2003	Bam	6.5	SL
19.	Ica Pisca, Peru	15/08/2007	ICA2	8.0	SL
20.	Maule, Chile	27/02/2010	Constitution	8.8	SR
21.	Darfield, New Zealand	03/09/2010	Greendale	7.0	SL
22.	Christchurch, New Zealand	22/02/2011	Lyttelton Port Company	6.3	SL
23.	Christchurch, New Zealand	22/02/2011	Resthaven	6.3	SL
24.	Kefalonia, Lixouri	03/02/2014	Lixouri	6.1	SR

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

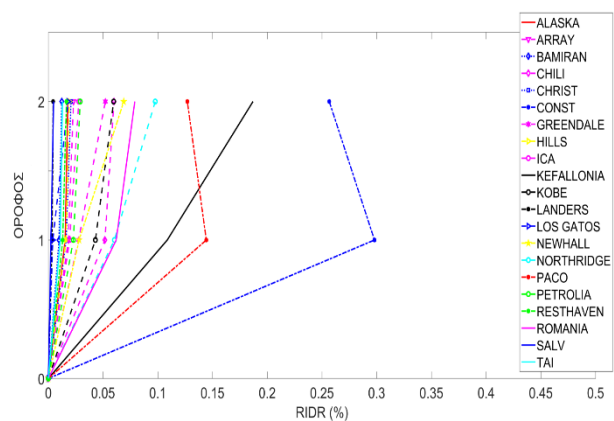
Τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης των υπό μελέτη κατασκευών που ακολουθούν παρουσιάζουν την καθ' ύψος κατανομή IDR και RIDR καθώς και την κατανομή πλαστικών αρθρώσεων, και είναι τα δυσμενέστερα που βρέθηκαν λαμβάνοντάς υπόψη τις προαναφερθείσες γωνίες πρόσπτωσης. Οι στροφές των πλαστικών αρθρώσεων ορίζονται στο SAP 2000 (9) σύμφωνα με τον ASCE 41-13 (12) και βρίσκονται είτε κάτω του ορίου άμεσης χρήσης (IO) είτε εντός των ορίων άμεσης χρήσης (IO) και προστασίας ζωής (LS). Στις περιπτώσεις που: i) υπήρξε υπέρβαση της τιμής 0.5% για τον όρο RIDR και ii) σημειώνεται αστοχία του καλωδίου (γίνεται υπέρβαση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής του Πίνακα 2) ή/και του αποσβεστήρα (δύναμη μεγαλύτερη από 250 kN), πρακτικά απαιτείται ανασχεδιασμός του συστήματος seesaw (δεν καλύπτεται στην παρούσα εργασία). Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι για τις κατασκευές σε ενδόσιμο έδαφος, τα αποτελέσματα σεισμικής απόκρισης και κατανομής πλαστικών αρθρώσεων παρουσιάζονται μόνο για έδαφος κατηγορίας D καθότι είναι δυσμενέστερα από τα αντίστοιχα για το έδαφος κατηγορίας C.

3.1 Μεταλλικές κατασκευές σε απαράμορφο έδαφος

Η κατασκευή του Σχ.2 εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά σε 23 από τις 24 σεισμικές κινήσεις του Πίνακα 2. Σε 2 από τις 23 σεισμικές κινήσεις παρατηρήθηκε υπέρβαση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής των καλωδίων, αλλά για το σύνολο των σεισμικών κινήσεων δεν συνέβη αστοχία των αποσβεστήρων. Η καθ' ύψος κατανομή IDR και RIDR για τις υπόλοιπες 21 σεισμικές κινήσεις φαίνεται στα Σχ.6-7, ενώ στο Σχ.8 δείχνεται η δυσμενέστερη κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που εμφανίστηκε.



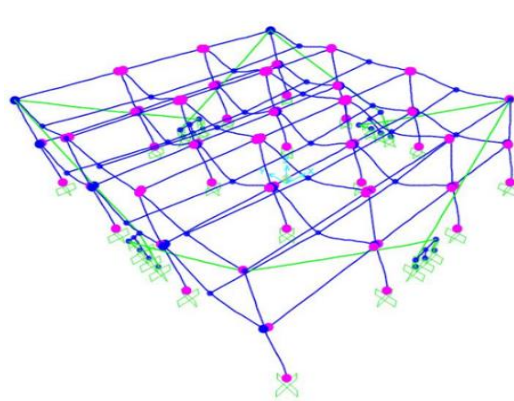
Σχήμα 6: Κατανομή IDR κατασκευής 2 ορόφων



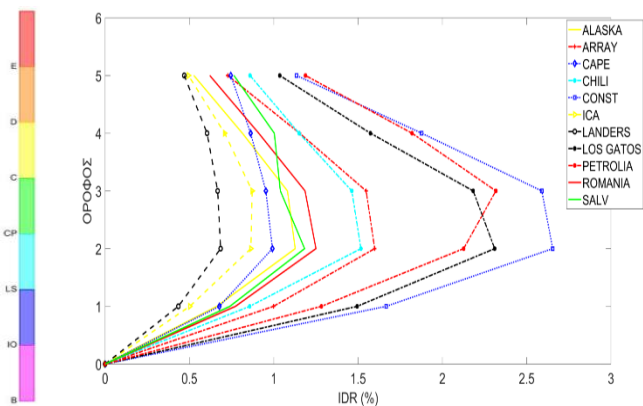
Σχήμα 7: Κατανομή RIDR κατασκευής 2 ορόφων

Η κατασκευή του Σχ.3 εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά σε 22 από τις 24 σεισμικές κινήσεις του Πίνακα 2. Εκ των 22 σεισμικών κινήσεων, σε 10 παρατηρήθηκε υπέρβαση της τιμής 0.5% για το RIDR και σε μια 1 υπέρβαση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής των καλωδίων. Για το σύνολο των σεισμικών κινήσεων δεν συνέβη αστοχία των αποσβεστήρων. Η καθ' ύψος κατανομή IDR και RIDR για τις υπόλοιπες 11 σεισμικές κινήσεις φαίνεται στα Σχ.9-10. Στο Σχ.11 δείχνεται η δυσμενέστερη κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που εμφανίστηκε.

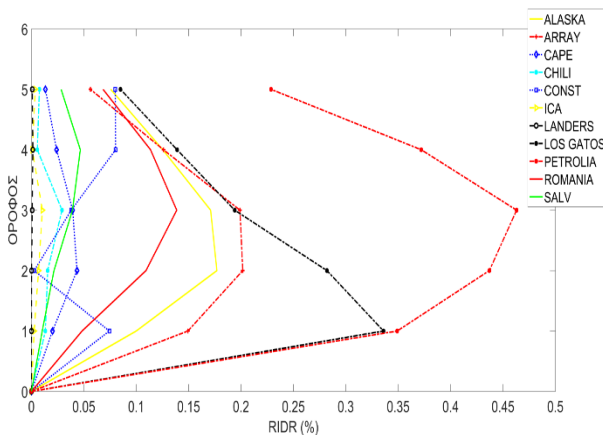
Η κατασκευή του Σχ.4 εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά για όλες τις σεισμικές κινήσεις του Πίνακα 2. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε υπέρβαση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής των καλωδίων για 5 σεισμικές κινήσεις, ενώ σε 7 σεισμικές κινήσεις σημειώθηκε υπέρβαση της τιμής 0.5% για το RIDR. Για το σύνολο των σεισμικών κινήσεων δεν συνέβη αστοχία των αποσβεστήρων. Η καθ' ύψος κατανομή των IDR και RIDR για τις υπόλοιπες 12 σεισμικές κινήσεις παρουσιάζεται στα Σχ.12-13, ενώ στο Σχ.14 δείχνεται η δυσμενέστερη κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που εμφανίστηκε.



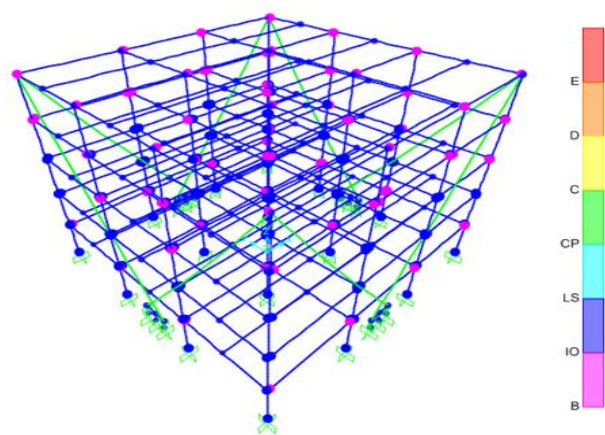
Σχήμα 8: Πλαστικές αρθρώσεις κατασκευής 2 ορόφων



Σχήμα 9: Κατανομή IDR κατασκευής 5 ορόφων



Σχήμα 10: Κατανομή RIDR κατασκευής 5 ορόφων



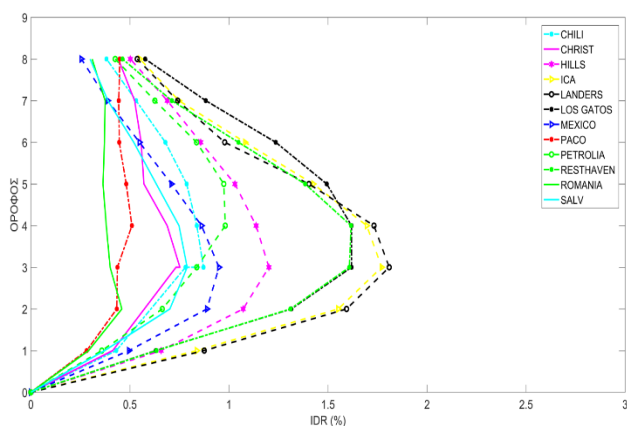
Σχήμα 11: Πλαστικές αρθρώσεις κατασκευής 5 ορόφων

3.2 Μεταλλικές κατασκευές σε ενδόσιμο έδαφος

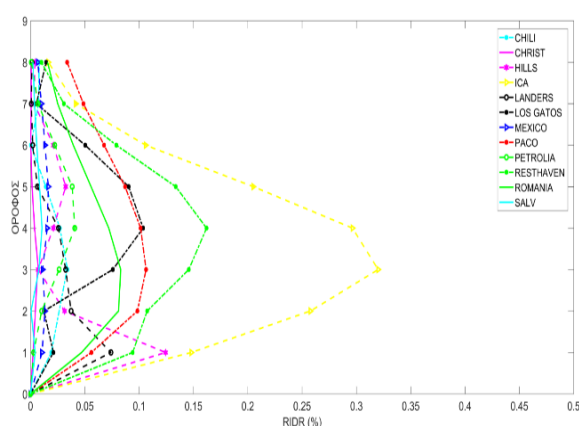
Η κατασκευή του Σχ.2 εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά σε 23 από τις 24 σεισμικές κινήσεις του Πίνακα 2. Σε 2 από τις 23 σεισμικές κινήσεις παρατηρήθηκε υπέρβαση της τιμής 0.5% για το RIDR, αλλά για το σύνολο των σεισμικών κινήσεων δεν συνέβη αστοχία των καλωδίων και των αποσβεστήρων. Η καθ' ύψος κατανομή IDR και RIDR φαίνεται στα Σχ.15-16. Στο Σχ.17 δείχνεται η δυσμενέστερη κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που εμφανίστηκε.

Η κατασκευή του Σχ.3 εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά σε όλες τις σεισμικές κινήσεις του Πίνακα 2. Σε 15 σεισμικές κινήσεις παρατηρήθηκε υπέρβαση της μέγιστης εφελκυστικής

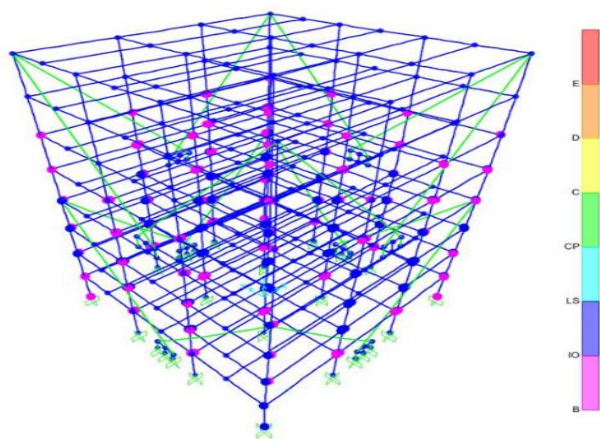
αντοχής των καλωδίων. Για το σύνολο των σεισμικών κινήσεων δεν συνέβη αστοχία του αποσβεστήρα. Η καθ' ύψος κατανομή IDR και RIDR για τις υπόλοιπες 9 σεισμικές κινήσεις φαίνεται στα Σχ. 18-19, ενώ στο Σχ.20 δείχνεται η δυσμενέστερη κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που εμφανίστηκε.



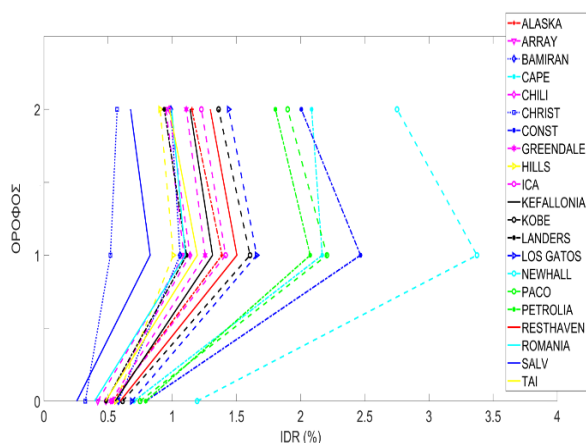
Σχήμα 12: Κατανομή IDR κατασκευής 8 ορόφων



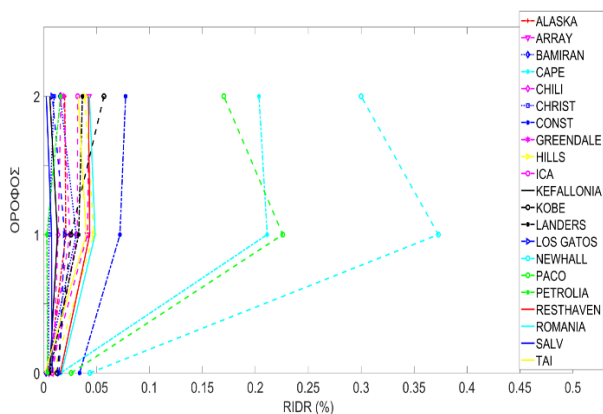
Σχήμα 13: Κατανομή RIDR κατασκευής 8 ορόφων



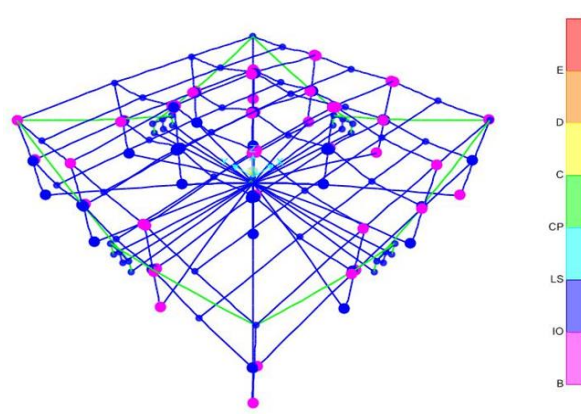
Σχήμα 14: Πλαστικές αρθρώσεις κατασκευής 8 ορόφων



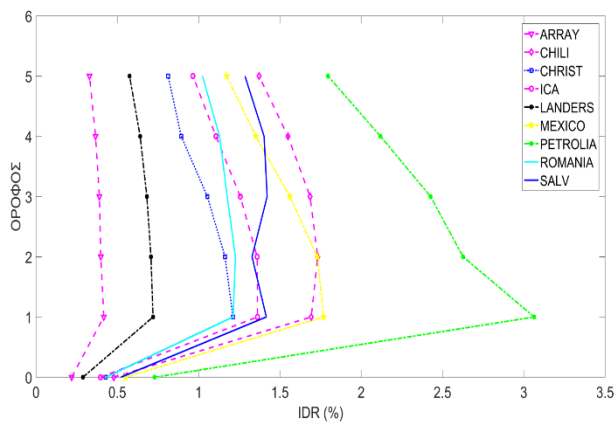
Σχήμα 15: Κατανομή IDR κατασκευής 2 ορόφων



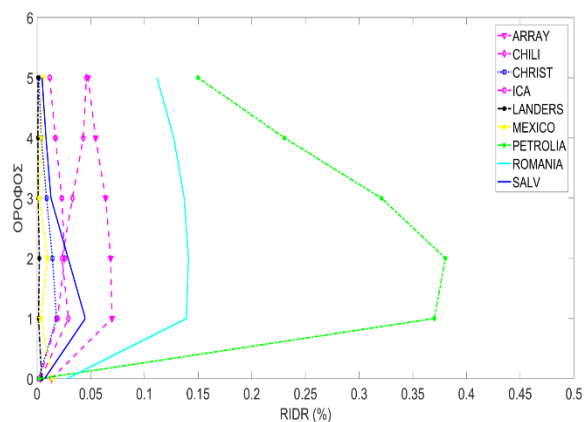
Σχήμα 16: Κατανομή RIDR κατασκευής 2 ορόφων



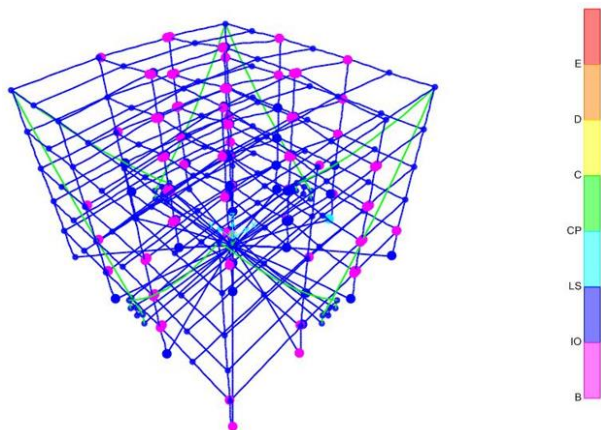
Σχήμα 17: Πλαστικές αρθρώσεις κατασκευής 2 ορόφων



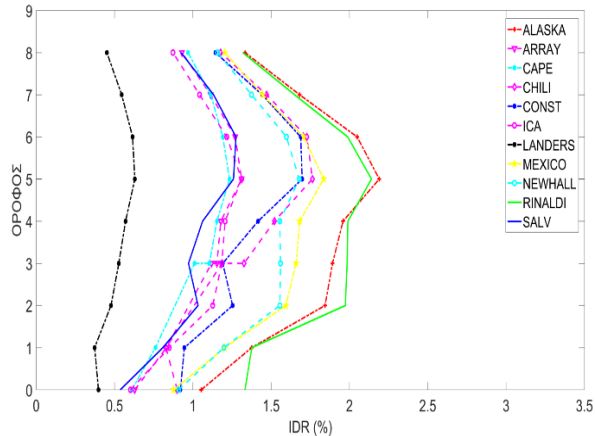
Σχήμα 18: Κατανομή IDR κατασκευής 5 ορόφων



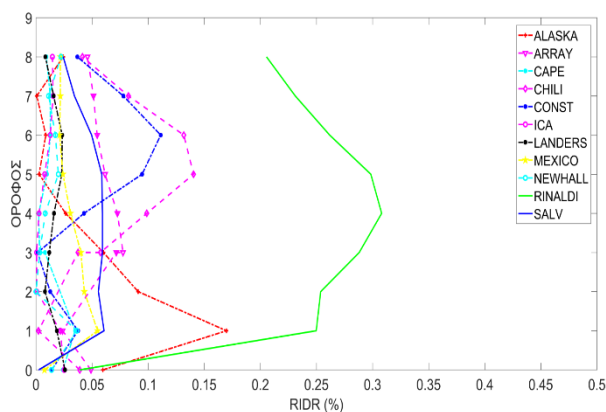
Σχήμα 19: Κατανομή RIDR κατασκευής 5 ορόφων



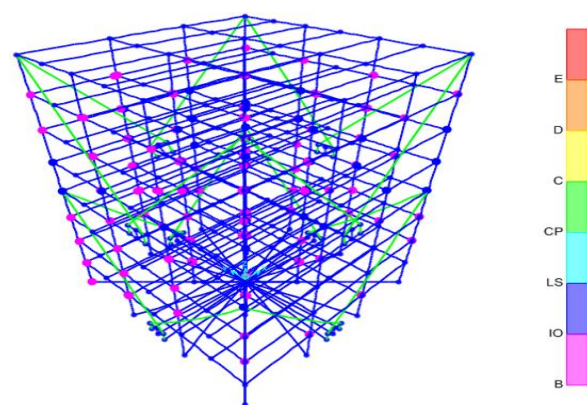
Σχήμα 20: Πλαστικές αρθρώσεις κατασκευής 5 ορόφων



Σχήμα 21: Κατανομή IDR κατασκευής 8 ορόφων



Σχήμα 22: Κατανομή RIDR κατασκευής 8 ορόφων



Σχήμα 23: Πλαστικές αρθρώσεις κατασκευής 8 ορόφων

Η κατασκευή του Σχ.4 εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά σε 22 από τις 24 σεισμικές κινήσεις του Πίνακα 2. Συγκεκριμένα, σε 10 σεισμικές κινήσεις παρατηρήθηκε υπέρβαση της τιμής 0.5% για το RIDR και σε μια 1 υπέρβαση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής των καλωδίων. Για το σύνολο των σεισμικών κινήσεων δεν συνέβη αστοχία του αποσβεστήρα. Η καθ' ύψος κατανομή

των IDR και RIDR για τις υπόλοιπες 11 σεισμικές κινήσεις παρουσιάζεται στα Σχήματα 21-22, ενώ στο Σχ.23 δείχνεται η δυσμενέστερη κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που εμφανίστηκε.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα Σχ.6-23, η αποδοτικότητα του συστήματος seesaw σε μια μεταλλική κατασκευή χαμηλού ύψους, είτε αυτή εδράζεται σε απαραμόρφωτο έδαφος είτε σε ενδόσιμο, είναι εμφανής. Οι βλάβες στις δοκούς και στα υποστυλώματα, όπως αυτές εκφράζονται μέσω των στροφών των πλαστικών αρθρώσεων, περιορίζονται σε αποδεκτά επίπεδα. Οι αποσβεστήρες του συστήματος seesaw δεν αστοχούν. Τα καλώδια του συστήματος seesaw σε αρκετές περιπτώσεις αστοχούν και πρέπει να γίνει ανασχεδιασμός τους. Τέλος συνίσταται ο σχεδιασμός ή ο ανασχεδιασμός των μεταλλικών κατασκευών που φέρουν το σύστημα seesaw να εξασφαλίζει ότι η μέγιστη τιμή του RIDR δεν θα υπερβαίνει το 0.35%.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kang JD, Tagawa H. Seismic performance of steel structures with seesaw energy dissipation systems using fluid viscous dampers. *Engineering Structures* 2013; 56: 431-442.
2. Kang JD, Tagawa H. Experimental evaluation of dynamic characteristics of seesaw energy dissipation system for vibration control of structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2014; 43: 1889-1995.
3. Katsimpini PS, Papagiannopoulos GA, Sfakianakis MG. On the seismic response and damping capacity of low-rise plane steel frames with seesaw system. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2018; 107: 407-416.
4. Kang JD, Tagawa H. Seismic performance of steel structures with seesaw energy dissipation systems using viscoelastic dampers. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2013; 42: 779-794.
5. Tagawa JD, Yamanishi T, Tataki A, Chan RWK. Cyclic behavior of seesaw energy dissipation system with steel slit dampers. *Journal of Constructional Steel Research* 2016; 117: 24-34.
6. *Eurocode 3 - Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2009.
7. *Eurocode 3 - Design of steel structures, Part 1-8: General rules, seismic actions and rules for buildings*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2009.
8. *Eurocode 3 - Design of structures with tension components, Part 1-11: General rules, seismic actions and rules for buildings*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2009.
9. *SAP 2000, Static and dynamic finite element analysis of structures [Version 19.0]*, Computers and Structures, Berkeley, California, 2016.
10. Mulliken JS, Karabalis DL. Discrete model for dynamic through-the-soil coupling of 3-d foundations and structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 1998; 27: 687-710.
11. *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance, Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2004.
12. *ASCE 41-13. Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. American Society of Civil Engineers, Virginia, 2014.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος “Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση” και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.