

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ: ΣΚΡΑΠΑΛΛΙΟΥ ΕΥΜΟΡΦΙΑ ΧΩΡΑΦΑ ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ : Δ.Ρ. ΚΑΤΣΙΜΠΙΝΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί αποτέλεσμα της προσπάθειας και της αφοσίωσης που επενδύθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας σε όσους συνέβαλαν εποικοδομητικά στην πορεία και την ολοκλήρωσή της.

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στην αξιότιμη επιβλέπουσα της εργασίας μας, Δ.ρ. Κατσιμπίνη Παναγιώτας, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε με την ανάθεση του θέματος, τις χρήσιμες καθοδηγήσεις της και την ανεκτίμητη στήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, δεν θα μπορούσαμε παρά να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στις οικογένειές μας για την ανιδιοτελή υποστήριξή τους τόσο οικονομικά όσο και ηθικά κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη σύγχρονη εποχή, όπου οι πόλεις μας αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς και η ανάγκη για ασφαλή και ανθεκτική υποδομή γίνεται ολοένα και επιτακτικότερη, η κατασκευή ανθεκτικών κτιρίων αποτελεί προτεραιότητα. Αντιμέτωποι με τις προκλήσεις του σύγχρονου περιβάλλοντος, η ενίσχυση των κατασκευών έναντι σεισμών αναδεικνύεται ως ζωτικής σημασίας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζει στη σεισμική ανάλυση σύμμεικτων κατασκευών, δηλαδή κατασκευών που συνδυάζουν τόσο χάλυβα όσο και σκυρόδεμα. Ο στόχος είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς αυτών των συνθέτων υλικών κατά την έκθεσή τους σε σεισμικά φαινόμενα, καθώς και η ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών για τη βελτιστοποίηση της ανθεκτικότητάς τους.

Με βάση πειραματικά και αναλυτικά δεδομένα, η εργασία αυτή επιδιώκει την κατανόηση αυτών των κατασκευών για τη συμπεριφορά τους σε σεισμικές συνθήκες.

Τέλος, εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας προς όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και ανυπομονούμε να μοιραστούμε τα αποτελέσματά μας με την κοινότητα του πανεπιστήμιου μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στη σεισμική ανάλυση ενός σύμμεικτου πλαισίου, με εφαρμογή του λογισμικού ETABS. Σκοπός της είναι η εκτίμηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας της κατασκευής αυτής έναντι σεισμικών φορτίων. Μέσω της παρούσας εργασίας, εξετάζονται οι διαδικασίες και οι μεθοδολογίες που απαιτούνται για την ανάπτυξη μιας σωστής σεισμικής ανάλυσης. Χρησιμοποιώντας το ETABS, πραγματοποιείται η δημιουργία ενός ρεαλιστικού μοντέλου του σύμμεικτου πλαισίου, λαμβάνοντας υπόψη τις υλικές ιδιότητες και τις γεωμετρικές παραμέτρους των στοιχείων. Μετά τη δημιουργία του μοντέλου, πραγματοποιείται η σεισμική ανάλυση, στόχος της οποίας είναι η εκτίμηση των μετακινήσεων, των εσωτερικών δυνάμεων και των αποκρίσεων των δομικών στοιχείων κατά τη διάρκεια σεισμικού φορτίου. Η εξής διαδικασία δεν περιορίστηκε μόνο σε ένα διάφορο πλαίσιο αλλά επεκτάθηκε αντίστοιχα σε ένα τετραώροφο και εξάώροφο πλαίσιο με την βοήθεια του λογισμικού ETABS. Η απόφαση αυτή πάρθηκε θεωρώντας ότι με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας της κατασκευής όταν αυτή επεκτείνεται και είναι μεγαλύτερη των δύο ορόφων.

Λέξεις-κλειδιά: σεισμική ανάλυση, σύμμεικτο πλαίσιο, ETABS, αντοχή κατασκευών, ανθεκτικότητα, σεισμικά φορτία, δομικά στοιχεία, υλικές ιδιότητες, γεωμετρικές παράμετροι, σεισμικά φαινόμενα.

ABSTRACT AND KEYWORDS

This thesis focuses on the seismic analysis of a composite frame, utilizing the ETABS trial software. The purpose is to assess the strength and resilience of this structure against seismic loads. Through this work, the processes and methodologies required to develop an accurate seismic analysis are examined. Using ETABS, a realistic model of the composite frame is created, taking into account the material properties and geometric parameters of the elements. After creating the model, a seismic analysis is conducted, aiming to estimate the displacements, internal forces, and responses of the structural elements during seismic loading. This process was not limited to a two-story

frame but was also extended to a four-story and six-story frame with the help of the ETABS software. This decision was made considering that this way, we will have a comprehensive assessment of the strength and resilience of the structure when it extends and is greater than two stories.

Keywords: seismic analysis, composite frame, ETABS, structural strength, resilience, seismic loads, realistic model, structural elements, material properties, geometric parameters.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΗ	7
1.1 Γενική Περιγραφή Του Έργου.....	7
1.2 Γενικά Στοιχεία Για Σύμμεικτους Φορείς	7
1.3 Γενικά Στοιχεία Για Μεταλλικούς Φορείς	9
1.4 Πρόγραμμα Ανάλυσης ETABS.....	12
1.5 Το η Στον Σχεδιασμό Φορέων.....	13
Κεφάλαιο 2 Βασικές Αρχές και Θεωρία	14
2.1 Εισαγωγή στην σεισμική ανάλυση.....	14
2.2 Μηχανική Συμπεριφορά των Μεταλλικών Φορέων.....	15
2.2.1 Υλικά και Ιδιότητες.....	15
2.2.2 Συμπεριφορά κατά τη Φόρτιση	16
2.2.3 Αντοχή και Ασφάλεια:.....	16
2.2.4 Συμπεριφορά κατά των Σεισμών:.....	17
2.3 Μηχανική Συμπεριφορά Σύμμεικτων Φορέων.....	17
2.3.1 Αλληλεπίδραση μεταξύ στοιχείων.....	18
2.3.2 Προκαταρκτικές αναλύσεις.....	19
2.3.3 Αντοχή και ασφάλεια.....	20
2.3.4 Συμπεριφορά κατά τους σεισμούς.....	21

2.4 Συνδυασμένη Σεισμική Συμπεριφορά	22
2.4.1 Ανάλυση των Συμπεριφορών.	22
2.4.2 Αντιστοίχιση Υλικών.....	23
2.4.3 Επίδραση Συμβάντων.....	23
2.4.4 Ανάλυση Επιδράσεων.....	25
2.4.5 Αντοχή και Αντίδραση	25
2.5 Σχεδιασμός και Κανονισμοί	26
Κεφάλαιο 3 Σωληνωτές Χαλύβδινες Στήλες Γεμισμένες με Σκυροδεμα (CFT).....	26
3.1 Εισαγωγή στα CFT.....	27
3.1.2 Αναδρομή στις προτάσεις για τα μόντελα κυκλικών στηλών CFT	27
3.2 Συμπεριφορά κυκλικών στηλών CFT.....	28
3.2.1 Συμπεριφορά κυκλικών στηλών CFT σε καθαρή αξονική κάμψη.....	28
3.2.2 Αντοχή των κυκλικών στηλών CFT βολάν κάτω από καθαρή κάμψη	29
3.2.3 Κυκλικοί στύλοι CFT κάτω από αξονική δύναμη και στρέψη	30
3.3 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα κυκλικών στηλών CFT.....	31
4.1 Περιγραφή του Φορέα	31
4.2 Ορισμός Φορέων και Υλικών.....	34
4.2.1 Δομικός Χάλυβας.....	37
4.2.2 Οπλισμένο Σκυρόδεμα.....	38
4.3 Ορισμός Φορτίων	39
4.3.1 Διευκρίνιση Φορτίων	39
4.4 Συνδυασμοί Δράσεων	40
4.4.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας.....	41
4.5 Ορισμός Αναλύσεων	41
4.5.1 Σεισμική φόρτιση	41
4.5.2 Μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης	42
4.5.3 Μέθοδος μη Γραμμικής Ανάλυσης Χρονοσειρών.....	42
Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα Αναλύσεων.....	46
5.1 Φασματική Γραμμική Ανάλυση των Σεισμικών Δεδομένων	47
5.1.1 Σεισμική Αποκριση Κατασκευών - Ιδιομορφες.....	47

5.1.2 Αποτελέσματα Μετακινήσεων και Δυνάμεων	48
5.1.2.1 Διώροφο Πλαίσιο	48
5.1.2.2 Τετραώροφο Πλαίσιο	50
5.1.2.3 Εξαώροφο Πλαίσιο	52
5.1.3 Συμπεράσματα και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Φασματικής Ανάλυσης	53
5.2 Μη Γραμμική Χρονοιστορία Σεισμικών Δεδομένων: Μοντελοποίηση και Ανάλυση	54
5.2 Αποτελέσματα Μη Γραμμικής Ανάλυσης χρονοιστοριών.....	55
5.2.1 Διώροφο πλαίσιο.....	55
5.2.2 Τετραώροφο πλαίσιο	61
5.2.3 Εξαώροφο πλαίσιο	66
Κεφάλαιο 6 Πρόσθετη Μέθοδος Αλληλεπίδραση Κατασκευής-Εδάφους.....	71
6.1 Θεωρία και Παραδοχές	71
6.2 Φασματική Γραμμική Ανάλυση των Σεισμικών Δεδομένων	75
6.2.1 Σεισμική Απόκριση Κατασκευών - Ιδιομορφές.....	75
6.1.2 Αποτελέσματα Μετακινήσεων και Δυνάμεων	77
6.1.2.1 Διώροφο Πλαίσιο	77
6.1.2.2 Τετραώροφο Πλαίσιο	78
6.1.2.2 Εξαώροφο Πλαίσιο	79
6.2 Μη Γραμμική Χρονοιστορία Σεισμικών Δεδομένων: Μοντελοποίηση και Ανάλυση	80
6.2.1 Διώροφο Πλαίσιο.....	80
6.2.2 Τετραώροφο πλαίσιο	84
• 6.2.3 Εξαώροφο πλαίσιο.....	89
Κεφάλαιο 7 Σχολιασμός- Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	95
7.1 Σύγκριση Φασματικής Ανάλυσης και Ανάλυσης Χρονοϊστορίας	95
7.2 Σύγκριση Ανάλυσης με Πάκτωση και Αλληλεπίδραση Κατασκευής-Εδάφους	95
Βιβλιογραφία.....	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΗ

1.1 Γενική Περιγραφή Του Έργου

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη μελέτη τριών σύμμεικτων πλαισίων, τα οποία υπόκεινται σε διαστασιολόγηση και σεισμική ανάλυση για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητάς του. Η ανάλυση του πλαισίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ETABS (δοκιμαστική έκδοση), ένα προηγμένο εργαλείο που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση, τον σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση δομών κτιρίων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι κρίσιμα για τη λήψη αποφάσεων και την περαιτέρω βελτίωση της ανθεκτικότητας κατασκευών τέτοιου είδους.

1.2 Γενικά Στοιχεία Για Σύμμεικτους Φορείς

Οι σύμμεικτοι φορείς αντιπροσωπεύουν ένα είδος δομικών συστημάτων που συνδυάζουν διαφορετικά υλικά, όπως σκυρόδεμα, χάλυβας και ξύλο, σε ένα ενιαίο κατασκευαστικό σύνολο. Αυτό το μοντέλο αποσκοπεί στην εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων κάθε υλικού και στην αντιμετώπιση των αδυναμιών τους, παρέχοντας συνολικά κατασκευές με βελτιωμένες ιδιότητες ανθεκτικότητας και ασφάλειας.

Οι σύμμεικτοι φορείς μπορούν να λάβουν διάφορες μορφές, περιλαμβανομένων των στατικών συστημάτων (πλαίσια και πλέγματα) καθώς και των δυναμικών συστημάτων (οι αντισεισμικές ενισχυμένες κατασκευές). Η επιλογή του κατάλληλου τύπου φορέα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως οι απαιτήσεις του έργου, οι τοπικοί κανονισμοί και οι διαθέσιμοι πόροι.

Η ανάπτυξη σύμμεικτων φορέων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό/ανάλυση, καθώς και τη χρήση εξειδικευμένων τεχνικών για τη σύνδεση των διαφορετικών υλικών. Σημαντική είναι η τήρηση των κανονισμών και προδιαγραφών, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι Ευρωκώδικες, που ορίζουν τις απαιτήσεις για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο των κατασκευών. Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς εξασφαλίζει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των κατασκευών.

Ορισμένοι από τους βασικούς κανονισμούς που περιλαμβάνονται στον Ευρωκώδικα είναι οι εξής:

1. EN 1993: Αυτός ο κώδικας αφορά το σχεδιασμό και τον έλεγχο κατασκευών από χάλυβα. Περιλαμβάνει οδηγίες για τον σχεδιασμό δομικών μελών όπως δοκοί, στύλοι, διατομές, καθώς και συνδέσεις μεταξύ τους.

2. EN 1992: Αυτός ο κώδικας αφορά τον σχεδιασμό και την κατασκευή κατασκευών από σκυρόδεμα. Περιλαμβάνει οδηγίες για τον υπολογισμό της αντοχής του σκυροδέματος, καθώς και για τον σχεδιασμό διαφορετικών τύπων σκυροδέματος κατασκευών.

3. EN 1998: Αυτός ο κώδικας αφορά τον σχεδιασμό και τον έλεγχο κατασκευών για ανθεκτικότητα σε σεισμικές δονήσεις. Περιλαμβάνει οδηγίες για τον υπολογισμό των σεισμικών φορτίων και την αντισεισμική σχεδίαση κατασκευών.

Οι σύμμεικτοι φορείς παρουσιάζουν σημαντικά τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα, τα οποία εξαρτώνται από την εφαρμογή και τις συνθήκες του εκάστοτε έργου. Ενδεικτικά ισχύουν για κάθε ένα τα εξής:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Ανθεκτικότητα: Η συνδυασμένη χρήση διαφορετικών υλικών μπορεί να οδηγήσει σε μια κατασκευή με βελτιωμένη ανθεκτικότητα σε σεισμούς, άνεμο και άλλες φυσικές επιβαρύνσεις.

Οικονομία: Η επιλογή του κατάλληλου υλικού για κάθε μέρος της κατασκευής μπορεί να οδηγήσει σε μια οικονομικά αποδοτικότερη λύση, καθώς ορισμένα υλικά μπορεί να κοστολογηθούν σημαντικά πιο οικονομικά σε σχέση με αντίστοιχα παραπλήσιων μηχανικών ιδιοτήτων.

Ευελιξία στον σχεδιασμό: Ο συνδυασμός διαφορετικών υλικών επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό, καθώς μπορούν να επιλεγούν τα κατάλληλα υλικά για κάθε μέρος της κατασκευής ανάλογα με τις απαιτούμενες ανάγκες.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Πολυπλοκότητα: Η σχεδίαση και η κατασκευή σύμμεικτων φορέων μπορεί να είναι πιο πολύπλοκη σε σχέση με τη χρήση ενός μόνο υλικού.

Επιπλέον έργο: Η εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών υλικών μπορεί να απαιτήσει επιπλέον εργασία για τη σύνδεσή τους και την εξασφάλιση της συμβατότητας μεταξύ τους.

Συντήρηση: Οι σύμμεικτοι φορείς μπορεί να απαιτούν ειδική προσοχή στη συντήρηση, καθώς η διαφορετική συμπεριφορά των υλικών μπορεί να απαιτεί διαφορετικά μέτρα περιποίησης και συντήρησης.

ΛΟΙΠΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΥΠΟΨΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

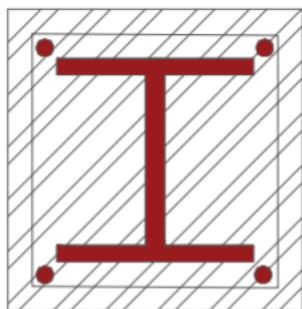
Κατά τον σχεδιασμό των σύμμεικτων φορέων, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η αντοχή σε σεισμούς, η αντοχή στον άνεμο, η αντοχή στις φορτίσεις και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την απόδοση της κατασκευής.

Όσον αφορά την αντοχή σε σεισμούς, ο σχεδιασμός του φορέα πρέπει να λάβει υπόψη τη γεωλογική και σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής κατασκευής. Οι επιβαρύνσεις από τον σεισμό μπορεί να οδηγήσουν σε κρίσιμες καταστάσεις, επομένως ο φορέας πρέπει να είναι σχεδιασμένος με τρόπο που να μπορεί να αντέξει σε σεισμικές δονήσεις

Επιπλέον, ο σχεδιασμός οφείλει να λαμβάνει υπόψη τις φορτίσεις που ασκούνται στην κατασκευή από το βάρος των υλικών και των ανθρώπων, καθώς και οποιαδήποτε εξωτερική φόρτιση που επιδρά στο κτίριο.

Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και άλλες κλιματολογικές συνθήκες, μπορεί επίσης να επηρεάσουν την αντοχή και τη συμπεριφορά του κτιρίου.

Ο σχεδιασμός των σύμμεικτων φορέων απαιτεί λεπτομερή ανάλυση και εκτίμηση πολλών παραγόντων προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η απόδοση της κατασκευής. Η χρήση σύμμεικτων κατασκευών έχει αναδειχθεί ως αποτελεσματική λύση για την επίτευξη αντοχής στις κατασκευές. Οι σύμμεικτες κατασκευές συνδυάζουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά του χάλυβα και του σκυροδέματος, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση για δομικές κατασκευές. Οι χαλύβδινες δομικές μονάδες διακρίνονται για την υψηλή τους αντοχή και την ολική άρνηση, ενώ τα σύμμικτα μέλη από χάλυβα-σκυρόδεμα εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα και των δύο υλικών.



Εικόνα 1.2 : Τομή Σύμμικτου Φορέα.

1.3 Γενικά Στοιχεία Για Μεταλλικούς Φορείς

Οι μεταλλικοί φορείς αποτελούν βασικό στοιχείο στον μηχανικό και κατασκευαστικό σχεδιασμό. Κατασκευάζονται κυρίως από χάλυβα ή αλουμίνιο, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά. Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία δομικών συστημάτων όπως πλαίσια, δοκοί και στύλοι σε κατοικίες και βιομηχανικά κτίρια. Οι μεταλλικοί φορείς παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε φορτία και είναι ιδιαίτερα

ανθεκτικοί σε διάφορες συνθήκες, όπως οι σεισμικές κινήσεις. Ο χάλυβας, ένα από τα κύρια υλικά, προσφέρει υψηλή αντοχή και ευελιξία, καθιστώντας τους ιδανικούς για ποικίλες εφαρμογές. Η χρήση τους αποτελεί αποδοτική και ανθεκτική λύση στον κατασκευαστικό τομέα, με τους Ευρωκώδικες να παρέχουν τους απαραίτητους κανονισμούς για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο τους.

Συγκεκριμένα, οι Ευρωκώδικες που σχετίζονται με τους μεταλλικούς φορείς περιλαμβάνουν:

- Τον Ευρωκώδικα 3 (EN 1993-1-1), ο οποίος καλύπτει τον γενικό σχεδιασμό και την αντοχή των μεταλλικών κατασκευών. Περιλαμβάνει απαιτήσεις για την υπολογιστική αντοχή, τον έλεγχο της ευστάθειας και άλλες τεχνικές λεπτομέρειες για τους μεταλλικούς φορείς.
- Τον Ευρωκώδικα 3-1-2 (EN 1993-1-2), ο οποίος αναφέρεται στον σχεδιασμό των μεταλλικών φορέων για την αντοχή σε πυρκαγιά. Περιλαμβάνει απαιτήσεις για την προστασία από τη θερμότητα και την αντοχή των μεταλλικών δομικών στοιχείων κατά την πυρκαγιά.
- Τον Ευρωκώδικα 3-1-3 (EN 1993-1-3), ο οποίος καλύπτει την προστασία από τον σεισμό. Περιλαμβάνει απαιτήσεις για τον σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών για την αντοχή στον σεισμό και την προστασία τους από τις σεισμικές δυνάμεις.
- Τον Ευρωκώδικα 3-1-8 (EN 1993-1-8), ο οποίος περιγράφει τον σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών για την αντοχή στην κοψιμότητα. Αυτό περιλαμβάνει την αντοχή των συνδέσεων και των συγκολλήσεων σε κατακόρυφα και οριζόντια φορτία.

Οι μεταλλικοί φορείς παρουσιάζουν διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία εξαρτώνται από την εφαρμογή και τις συνθήκες κάθε συγκεκριμένου έργου. Μερικά από αυτά είναι :

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Υψηλή αντοχή: Οι μεταλλικοί φορείς είναι γνωστοί για την υψηλή τους αντοχή και αντοχή σε καταπονήσεις, κάτι που τους καθιστά ιδανικούς για κατασκευές που απαιτούν υψηλή αντοχή.

Ευελιξία στον σχεδιασμό: Οι μεταλλικοί φορείς είναι ευέλικτοι και μπορούν να προσαρμοστούν σε ποικίλες αρχιτεκτονικές σχεδιαστικές απαιτήσεις, ενθαρρύνοντας τη δημιουργικότητα στον σχεδιασμό.

Ταχύτητα κατασκευής: Οι μεταλλικοί φορείς μπορούν να προετοιμαστούν εκ των προτέρων και να συναρμολογηθούν γρήγορα στην τοποθεσία, μειώνοντας έτσι τον χρόνο κατασκευής.

Ανακυκλωσιμότητα και Βιωσιμότητα: Οι μεταλλικοί φορείς είναι ανακυκλώσιμοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά μετά το τέλος της ζωής τους, κάνοντάς τους μια βιώσιμη επιλογή.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Πιθανότητα διάβρωσης: Οι μεταλλικοί φορείς μπορούν να διαβρωθούν αν δεν προστατευτούν σωστά από το περιβάλλον, ειδικά σε περιοχές με υψηλή υγρασία ή αλμύρα.

Δυσκολία στην πυρασφάλεια: Σε σχέση με άλλα υλικά όπως το σκυρόδεμα, οι μεταλλικοί φορείς μπορεί να μην παρουσιάζουν την ίδια αντίσταση στην πυρκαγιά και μπορούν να αποδειχθούν ευάλωτοι σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Αυξημένο κόστος: Σε ορισμένες περιπτώσεις, η κατασκευή μεταλλικών φορέων μπορεί να είναι πιο δαπανηρή σε σχέση με άλλα υλικά, όπως το σκυρόδεμα.

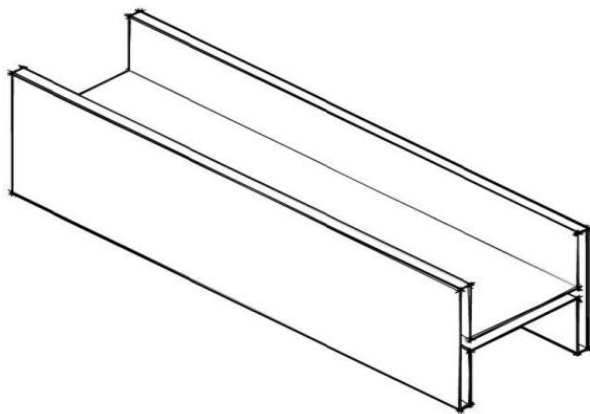
Δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας και ήχου: Οι μεταλλικοί φορείς μπορεί να μεταφέρουν θερμότητα και ήχο περισσότερο από άλλα υλικά, όπως το σκυρόδεμα, πράγμα που απαιτεί την κατάλληλη μόνωση και ακουστική επεξεργασία.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ

Αντοχή σε σεισμικά φορτία: Ο χάλυβας, ο κυριότερος υλικός παράγοντας των μεταλλικών φορέων, έχει τη δυνατότητα να αντέξει σεισμικές δυνάμεις λόγω της ελαστικότητάς του και της ικανότητάς του να αντέχει σε μεγάλες αποκλίσεις και παραμορφώσεις.

Δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας: Οι μεταλλικοί φορείς μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια από τον σεισμό με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, μειώνοντας έτσι τις επιπτώσεις στην κατασκευή.

Ευστάθεια κατά τη διάρκεια του σεισμού: Λόγω της υψηλής αντοχής τους και της ευελιξίας τους, οι μεταλλικοί φορείς μπορούν να διατηρήσουν την ευστάθειά τους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, ενισχύοντας έτσι την ασφάλεια των κτιρίων.



1.3 Εικόνα 2: Γραφική Απεικόνιση Μεταλλικής Δοκού.

1.4 Πρόγραμμα Ανάλυσης ETABS

Για τη σεισμική ανάλυση και τον σχεδιασμό του σύμμικτου πλαισίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ETABS (δοκιμαστική έκδοση), το οποίο παρέχει εργαλεία για τη δημιουργία διαφόρων τύπων δομικών μοντέλων, συμπεριλαμβανομένων πλαισίων και στύλων. Επιπλέον, το ETABS επιτρέπει την εκτέλεση σεισμικών αναλύσεων, τον σχεδιασμό αντισεισμικών συστημάτων και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των κατασκευών κατά τη διάρκεια σεισμών.

Οι κανονισμοί και τα πρότυπα σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται καθορίζουν τις απαιτήσεις για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο των κατασκευών. Το ETABS παρέχει τη δυνατότητα επιλογής του κατάλληλου κανονισμού ή προτύπου σχεδιασμού ανάλογα με την τοποθεσία και τους τύπους των κατασκευών. Μεταξύ των κανονισμών που εφαρμόζονται συχνά περιλαμβάνονται οι Ευρωκώδικες και τα τοπικά πρότυπα ασφαλείας.

Η ανάλυση και η επιλογή ενός προγράμματος υπολογιστικής μηχανικής όπως το ETABS για τον σχεδιασμό φορέων είναι κρίσιμης σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωση του έργου. Ας αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα και τα χαρακτηριστικά του ETABS στον σχεδιασμό φορέων:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ETABS

Πολυπλοκότητα του Συστήματος: Το ETABS προσφέρει ένα εκτεταμένο περιβάλλον σχεδιασμού με δυνατότητες για πολύπλοκη μοντελοποίηση και ανάλυση μεταλλικών φορέων, συμπεριλαμβανομένων συνδυασμών διαφορετικών στοιχείων.

Δυνατότητες Ανάλυσης: Το ETABS προσφέρει πολλές μεθόδους ανάλυσης που μπορούν να εφαρμοστούν σε μεταλλικούς φορείς, συμπεριλαμβανομένης της στατικής και δυναμικής ανάλυσης.

Συνεργασία με Άλλα Προγράμματα: Το ETABS μπορεί να συνεργαστεί με άλλα προγράμματα όπως το SAP2000 για επιπλέον ανάλυση ή επεξεργασία δεδομένων.

Ευελιξία Χρήστη: Το πρόγραμμα παρέχει ευέλικτες επιλογές ρύθμισης και παραμετροποίησης που επιτρέπουν στον χρήστη να προσαρμόσει την ανάλυση στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ETABS

Μοντελοποίηση: Το ETABS παρέχει ένα εύχρηστο περιβάλλον μοντελοποίησης που επιτρέπει την ακριβή αναπαράσταση των μεταλλικών φορέων και των συνδέσεών τους.

Ανάλυση Φορτίων: Το πρόγραμμα υποστηρίζει την ανάλυση σεισμικών, ανεμικών και άλλων φορτίων που επηρεάζουν τους μεταλλικούς φορείς.

Σχεδιασμός και Ελέγχος: Το ETABS παρέχει εργαλεία για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο των μεταλλικών φορέων σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές και τους κανονισμούς.

Αποτελεσματικότητα: Η χρήση προηγμένων αλγορίθμων και τεχνικών υπολογισμού εξασφαλίζει την αποτελεσματική εκτέλεση των αναλύσεων.

1.5 Το q Στον Σχεδιασμό Φορέων

Κατά τον σχεδιασμό φορέων, η παράμετρος q αντιπροσωπεύει το φορτίο ανά μονάδα μήκους του φορέα. Για τους σύμμεικτους φορείς, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη τα φορτία που δρουν τόσο στα μεταλλικά όσο και στα μη μεταλλικά τμήματα του φορέα.

Σε ένα σύμμεικτο σύστημα με χαλύβδινους δοκούς και υποστυλώματα ενισχυμένα με οπλισμένο σκυρόδεμα, το q θα πρέπει να ληφθεί υπόψη όχι μόνο για τα ασάλινα τμήματα αλλά και για τα σκυρόδεμα.

Όσον αφορά τους μεταλλικούς φορείς, το q είναι καθοριστικό για τον σχεδιασμό των δοκών, των στηρίξεων, και άλλων στοιχείων. Είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η κατανομή του φορτίου αυτού κατά μήκος του φορέα για τον εντοπισμό των περιοχών με μεγαλύτερες απαιτήσεις.

Με τη χρήση του ETABS, οι μηχανικοί μπορούν να μοντελοποιήσουν και να αναλύσουν πολύπλοκες δομές, λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των φορτίων q και να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά τους κατά τη δράση διαφόρων φορτίων, συμπεριλαμβανομένων των σεισμικών φορτίων.

Κεφάλαιο 2 Βασικές Αρχές και Θεωρία.

2.1 Εισαγωγή στην σεισμική ανάλυση

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, το έδαφος υφίσταται δονήσεις που προκαλούνται από την ελευθέρωση ενέργειας και τη μεταφορά κινητικής ενέργειας μέσω του εδάφους. Αυτή η κίνηση είναι γενικά γρήγορη και χαρακτηρίζεται από μια σειρά εναλλαγών στην κατεύθυνση και την ένταση της κίνησης.

Για μια κατασκευή που είναι θεμελιωμένη στο έδαφος, η βάση της κατασκευής κινείται μαζί με το έδαφος και υφίσταται τις δονήσεις του. Αυτή η κίνηση είναι ταχέως μεταβαλλόμενη και εναλλασσόμενη, καθώς το έδαφος δονείται προς διάφορες κατευθύνσεις και με διαφορετικές συχνότητες.

Συνολικά, η κίνηση του εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι έντονη και απρόβλεπτη, και αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στη συμπεριφορά των κατασκευών και την ασφάλειά τους.

Η σεισμική ανάλυση είναι σημαντική στον σχεδιασμό και την αντισεισμική σχεδίαση των κατασκευών για διάφορους λόγους:

- Αξιολόγηση της ανθεκτικότητας
- Πρόβλεψη των συνεπειών
- Βελτιστοποίηση του σχεδιασμού
- Συμμόρφωση με τους κανονισμούς και τις προδιαγραφές

Οι βασικές αρχές της σεισμολογίας περιλαμβάνουν:

- Κατανόηση του σεισμού
- Μέτρηση και καταγραφή σεισμικών γεγονότων
- Δονήσεις κτιρίων
- Μηχανική συμπεριφορά του εδάφους
- Επίδραση στην ανθρώπινη και κοινωνική δραστηριότητα

Οι τύποι σεισμών περιλαμβάνουν τους σεισμούς επιφανείας, τους υπογείους σεισμούς και τους μακρινούς σεισμούς. Οι σεισμοί επιφανείας προκαλούνται από τον άμεσο ή εγγύτερο υποκείμενο χώρο, ενώ οι υπόγειοι σεισμοί προέρχονται από βαθύτερες πηγές. Οι μακρινοί σεισμοί είναι σεισμοί που προκαλούνται σε απόσταση από τον τόπο της

κατασκευής και μεταφέρονται μέσω του εδάφους. Για τον υπολογισμό της σεισμικής δράσης, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων επιταχυντογράφου, της ανάλυσης σεισμικών ισχυρών, και των προσεγγίσεων με βάση τις προκαθορισμένες περιοχές και την κατανομή της σεισμικής δράσης στο έδαφος. Ο υπολογισμός της σεισμικής δράσης απαιτεί την ανάλυση της σεισμικής ζώνης όπου βρίσκεται η κατασκευή, τη χαρακτηριστική επιτάχυνση του εδάφους και τις διαφορετικές παραμέτρους σεισμικής δράσης που προκύπτουν από την τοπογραφία και τις γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής.

2.2 Μηχανική Συμπεριφορά των Μεταλλικών Φορέων

Η μηχανική συμπεριφορά των μεταλλικών φορέων είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό και την αντοχή τους υπό διάφορες συνθήκες. Ο τρόπος με τον οποίο οι μεταλλικοί φορείς αντιδρούν σε φορτία και δυνάμεις επηρεάζει την απόδοσή τους, την αντοχή τους και την ασφάλειά τους.

2.2.1 Υλικά και Ιδιότητες

Οι μεταλλικοί φορείς κατασκευάζονται κυρίως από υλικά όπως το ατσάλι και η σίδηρος, καθώς και άλλα κράματα μετάλλων. Κάθε υλικό έχει διαφορετικές ιδιότητες που το καθιστούν κατάλληλο για συγκεκριμένες εφαρμογές στη μηχανική κατασκευή.

Ο χάλυβας είναι ένα από τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται στη μηχανική κατασκευή λόγω των εξαιρετικών του ιδιοτήτων. Ας εξετάσουμε τις ιδιότητές του:

- **Μηχανική Αντοχή:** Ο χάλυβας είναι γνωστός για την υψηλή του μηχανική αντοχή, η οποία του επιτρέπει να αντέχει σε μεγάλες πιέσεις και τάσεις χωρίς να αλλοιωθεί ή να υποχωρήσει.
- **Σκληρότητα:** Ενώ η σκληρότητα του χάλυβα διαφέρει ανάλογα με τον τύπο και τη σύστασή του, συνήθως παρουσιάζει ικανοποιητικά επίπεδα σκληρότητας που τον καθιστούν ανθεκτικό στην τριβή και τη φθορά.
- **Αντοχή στην Διάβρωση :** Πολλές κατηγορίες χάλυβα προσφέρουν υψηλή αντίσταση στη διάβρωση και τη διάβρωση, κάνοντάς τον κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα με υψηλή υγρασία ή εκτεθειμένα σε συστατικά που προκαλούν διάβρωση .
- **Ευελιξία:** Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του χάλυβα είναι η ευελιξία του, η οποία του επιτρέπει να παραμορφώνεται και να επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα χωρίς να υποστεί καταστροφικές αλλαγές.

Γνωρίζοντας αυτές τις ιδιότητες του χάλυβα, ο σχεδιασμός των κατασκευών μπορεί να προσαρμοστεί και να βελτιστοποιηθεί για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης και ασφάλειας.

2.2.2 Συμπεριφορά κατά τη Φόρτιση

Η συμπεριφορά των μεταλλικών φορέων κατά τη φόρτιση είναι ένα κρίσιμο στοιχείο στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των κατασκευών. Κατά τη φόρτιση, τα μεταλλικά υλικά υπόκεινται σε διάφορες μορφές επιβάρυνσης, οι οποίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους. Κάποια βασικά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη σχετικά με τη συμπεριφορά κατά τη φόρτιση περιλαμβάνουν:

- **Ελαστική Συμπεριφορά:** Κατά την αρχική φόρτιση, τα μεταλλικά υλικά εμφανίζουν ελαστική συμπεριφορά, δηλαδή παρουσιάζουν αντίδραση στις δυνάμεις χωρίς να υποστούν μόνιμες αλλαγές στη μορφή τους. Αυτό σημαίνει ότι αν αφαιρεθεί η φόρτιση, το υλικό επανέρχεται στην αρχική του μορφή.
- **Πλαστική Συμπεριφορά:** Μετά την υπέρβαση ενός ορισμένου ορίου, τα μεταλλικά υλικά μπορεί να παρουσιάσουν πλαστική συμπεριφορά, όπου εμφανίζουν μόνιμη αλλοίωση του σχήματός τους χωρίς να αφαιρεθεί η εξωτερική φόρτιση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες αλλαγές στη δομή ή τη λειτουργία της κατασκευής.
- **Αντοχή στην Καταστροφική Αποτυχία:** Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα όρια αντοχής των μεταλλικών υλικών και των κατασκευών, καθώς και το σημείο όπου θα υποστούν ανεπανόρθωτη βλάβη ή καταστροφική αποτυχία.
- **Κατά την ανάπτυξη και τον σχεδιασμό των κατασκευών,** η κατανόηση της συμπεριφοράς των μεταλλικών φορέων κατά τη φόρτιση είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια, την απόδοση και την αντοχή τους.

2.2.3 Αντοχή και Ασφάλεια:

Η αντοχή και η ασφάλεια είναι δύο βασικά στοιχεία που συνδέονται με τη συμπεριφορά των μεταλλικών φορέων κατά τη λειτουργία τους. Ας εξετάσουμε τη σημασία και τα κριτήρια κάθε έννοιας:

- **Αντοχή:** Η αντοχή αναφέρεται στην ικανότητα ενός μεταλλικού φορέα να αντέξει φορτία και επιβαρύνσεις χωρίς να υποστεί ανεπιθύμητη αλλαγή στη μορφή του ή ακόμα και καταστροφή. Η αντοχή μπορεί να εκφραστεί με διάφορους τρόπους, όπως η αντοχή σε τράβηγμα, η συμπίεση, η κάμψη και άλλες μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

- Ασφάλεια: Η ασφάλεια αναφέρεται στη δυνατότητα ενός μεταλλικού φορέα να λειτουργεί υπό φορτίσεις χωρίς να προκαλεί κίνδυνο για τους ανθρώπους ή το περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι ο φορέας πρέπει να είναι σχεδιασμένος και κατασκευασμένος με τρόπο που να αντέχει τις ενδεχόμενες φορτίσεις χωρίς να παρουσιάζει απρόβλεπτες αποτυχίες.

Για να διασφαλιστεί η αντοχή και η ασφάλεια των μεταλλικών φορέων, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή τους, όπως η επιλογή κατάλληλων υλικών, η σωστή διαστασιολόγηση, η σωστή εφαρμογή των κανόνων και των προδιαγραφών, καθώς και η αυστηρή ελέγχου της ποιότητας κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Επιπλέον, η τακτική συντήρηση και ο έλεγχος της κατάστασης λειτουργίας τους είναι ουσιώδης για τη διατήρηση της ασφάλειας και της απόδοσής τους στον χρόνο.

2.2.4 Συμπεριφορά κατά των Σεισμών:

Η συμπεριφορά των μεταλλικών φορέων κατά τους σεισμούς αποτελεί ένα κρίσιμο σημείο στον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και άλλων κατασκευών. Κατά τους σεισμούς, οι μεταλλικοί φορείς εκτίθενται σε δυναμικές δυνάμεις που προκαλούν δονήσεις και παραμορφώσεις, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρές ζημιές αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

Κατά τον σχεδιασμό μεταλλικών φορέων για αντισεισμική προστασία, σημαντική είναι η επιλογή υλικών και η δομή τους, ώστε να είναι ικανοί να αντέξουν τις δυνάμεις του σεισμού. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η διασφάλιση της κατάλληλης ελαστικής και πλαστικής συμπεριφοράς των φορέων κατά τις παραμορφώσεις, προκειμένου να απορροφήσει η ενέργεια του σεισμού χωρίς να προκληθούν σοβαρές ζημιές.

Ένας τρόπος να επιτευχθεί αυτό είναι η χρήση μεταλλικών φορέων που να έχουν τη δυνατότητα να πλαστικοποιηθούν σε κρίσιμες περιοχές κατά τη διάρκεια του σεισμού, προκειμένου να αποφευχθεί η θραύση τους. Επιπλέον, η ενίσχυση των συνδέσμων και η προσθήκη ειδικών στοιχείων, όπως ανθρακούχων ινών, μπορεί να βελτιώσει την αντισεισμική αντοχή των μεταλλικών φορέων. Συνολικά, η σωστή σχεδίαση, επιλογή υλικών και εφαρμογή μέτρων προστασίας είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των κινδύνων κατά των σεισμών και τη διασφάλιση της ασφάλειας των κατασκευών και των ανθρώπων που τις χρησιμοποιούν.

2.3 Μηχανική Συμπεριφορά Σύμμεικτων Φορέων

Η μηχανική συμπεριφορά των σύμμεικτων φορέων αποτελεί ένα συναρπαστικό πεδίο μελέτης που αφορά τη συνεργασία και την αλληλεπίδραση διαφορετικών υλικών και στοιχείων σε μια κατασκευή. Ο συνδυασμός διαφορετικών υλικών, όπως μέταλλα,

σκυρόδεμα, ξύλο και σύγχρονα υλικά, δημιουργεί μια πληθώρα προκλήσεων και ευκαιριών στον τομέα της μηχανικής. Από τη στιγμή που οι κατασκευές αυτές εκτίθενται σε διάφορες φορτίσεις και συνθήκες, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε την αντίδρασή τους και τη συμπεριφορά τους σε διάφορες καταστάσεις.

Στον παρόντα τομέα, οι έρευνες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων ανάλυσης και σχεδιασμού, καθώς και στην εφαρμογή καινοτόμων υλικών με στόχο τη βελτίωση της αντοχής, της απόδοσης και της ασφάλειας των κατασκευών.

2.3.1 Αλληλεπίδραση μεταξύ στοιχείων

Στον τομέα της μηχανικής συμπεριφοράς των σύμμεικτων φορέων, η αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων αποτελεί κεντρικό σημείο μελέτης. Κάθε υλικό έχει τις δικές του μηχανικές ιδιότητες και αντιδρά διαφορετικά σε διάφορες φορτίσεις και συνθήκες.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ στοιχείων από χάλυβα και σκυροδέματος είναι ένα σημαντικό θέμα στον σχεδιασμό των σύμμεικτων κατασκευών. Ορισμένα από τα κύρια σημεία αλληλεπίδρασης είναι:

- **Μεταφορά φορτίου:** Τα στοιχεία χάλυβα και σκυροδέματος συνεργάζονται για τη μεταφορά φορτίου. Ο χάλυβας συνήθως αναλαμβάνει τις κατανομές φορτίου, ενώ το σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση και τη σταθεροποίηση των συνδέσεων.
- **Αντοχή σε διαφορετικές φορτίσεις:** Η αντοχή στη συντήρηση και στον πρόσκαιρο φορτίο μπορεί να είναι διαφορετική μεταξύ των υλικών, και ο σχεδιασμός πρέπει να λάβει υπόψη αυτές τις διαφορές.
- **Διαστασιολόγηση συνδέσεων:** Οι συνδέσεις μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή μετάδοση των φορτίων, αποφεύγοντας τη δημιουργία αδυναμιών που μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχίες ή καταστροφές.
- **Επίδραση του περιβάλλοντος:** Οι διαφορές στη θερμοκρασία, την υγρασία και τα χημικά περιβαλλοντικά παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση και τη μακροζωία των υλικών, επηρεάζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Συνολικά, η ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ στοιχείων είναι καθοριστική για την ανάπτυξη ασφαλών και αποτελεσματικών κατασκευών που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος και των εφαρμογών.

2.3.2 Προκαταρκτικές αναλύσεις

Κατά τη διεξαγωγή προκαταρκτικών αναλύσεων για την αλληλεπίδραση μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, εξετάζουμε τα ακόλουθα σημεία :

- Μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

Αναλύσεις των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα και του σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένων της αντοχής, της ελαστικότητας, της ανθεκτικότητας και άλλων σημαντικών χαρακτηριστικών.

- Συνθήκες φόρτισης.

Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την αλληλεπίδραση μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος είναι οι συνθήκες φόρτισης που αναμένεται να επικρατήσουν. Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν:

1. Στατικά φορτία: Τα στατικά φορτία περιλαμβάνουν το βάρος των κατασκευαστικών στοιχείων, όπως οι δοκοί, οι στύλοι και οι πλάκες. Η ανάλυση αυτών των φορτίων είναι σημαντική για τον σχεδιασμό των κατασκευών και την αντοχή τους σε στατικές φορτίσεις.

2. Δυναμικά φορτία: Τα δυναμικά φορτία προέρχονται από εξωτερικές δυνάμεις όπως οι δονήσεις, οι σεισμοί κ.α. Η ανάλυση των δυναμικών φορτίων είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της αντοχής της κατασκευής και την εξασφάλιση της ασφάλειάς της κατά τη διάρκεια δυναμικών φορτίσεων.

3. Μεταβαλλόμενα φορτία: Τα μεταβαλλόμενα φορτία περιλαμβάνουν αλλαγές στη φόρτιση λόγω θερμικών επιδράσεων, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Η ανάλυση αυτών των φορτίων είναι σημαντική για την κατανόηση των αλλαγών στην αντοχή της κατασκευής και τη διαχείρισή τους κατά την εκτέλεση του έργου.

- Σχεδιασμός συνδέσεων

Ανάλυση των μεθόδων και των προδιαγραφών για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών συνδέσεων μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος, λαμβάνοντας υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες και τις συνθήκες φόρτισης.

Για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών συνδέσεων μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος απαιτείται η εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων και προδιαγραφών. Που λαμβάνουν υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες και τις συνθήκες φόρτισης. Οι προδιαγραφές αυτές προέρχονται από διάφορα εθνικά και διεθνή πρότυπα, καθώς εξειδικευμένες οδηγίες και κανονισμούς κατασκευής. Μερικές από τις κύριες μεθόδους περιλαμβάνουν τη χρήση ειδικών συστημάτων συνδέσεων όπως βίδες ή πασσάλους,

συγκολλήσεις ή η χρήση ειδικών υλικών συνδέσεων. Ο σχεδιασμός αυτών των συνδέσεων πρέπει να είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και λαμβάνει υπόψη την αντοχή, την ελαστικότητα και την ανθεκτικότητα των υλικών. Ο σωστός σχεδιασμός αυτών των συνδέσεων είναι ουσιώδης για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της κατασκευής.

- Ανάλυση αλληλεπίδρασης.

Μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος με χρήση αναλυτικών μεθόδων ή αριθμητικών προσομοιώσεων, προκειμένου να κατανοήσουμε και να αξιολογήσουμε τη συμπεριφορά τους υπό διάφορες συνθήκες. Αυτές οι προσεγγίσεις επιτρέπουν την προσομοίωση της συμπεριφοράς των υλικών υπό διάφορες συνθήκες φόρτισης και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Μέσω αυτών των μεθόδων, μπορούμε να κατανοήσουμε και να αξιολογήσουμε πιο αποτελεσματικά τη συμπεριφορά των υλικών υπό διάφορες συνθήκες, προσφέροντας έτσι πολύτιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη κατασκευαστικών εφαρμογών.

- Ασφάλεια και αποτελεσματικότητα.

Αξιολόγηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των συνδέσεων και των κατασκευών που περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος. Η σωστή κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του χάλυβα και του σκυροδέματος καθώς και η ανάπτυξη βελτιστοποιημένων και ασφαλών συνδέσεων είναι ουσιαστική για την πρόληψη πιθανών ατυχημάτων και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των κατασκευών. Επιπλέον, η εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας των συνδέσεων μεταξύ των δύο υλικών είναι κρίσιμη για την επίτευξη των αναμενόμενων επιδόσεων και την εξασφάλιση της μακροχρόνιας ανθεκτικότητας των κατασκευών. Έτσι, η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα αποτελούν κύριους πυλώνες στη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος.

2.3.3 Αντοχή και ασφάλεια

Η ανάλυση της αντοχής και της ασφάλειας αποτελεί ζωτικής σημασίας παράγοντα για τη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος. Η αντοχή των υλικών σε διάφορες συνθήκες φόρτισης και η εξέλιξη της συμπεριφοράς τους κατά την αλληλεπίδραση αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία των κατασκευών. Επιπλέον, η διασφάλιση της ασφάλειας των κατασκευών είναι αναπόσπαστο μέρος της μηχανικής ανάλυσης και σχεδιασμού. Οι προδιαγραφές και οι προσεγγίσεις που εφαρμόζονται πρέπει να εξασφαλίζουν την αντοχή και την ασφάλεια των συνδέσεων μεταξύ των δύο υλικών, προκειμένου να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες συμπεριφορές και οι ενδεχόμενες ατυχήματα κατά τη διάρκεια της χρήσης.

Οι προδιαγραφές και οι προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στον μηχανικό σχεδιασμό και την ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Εθνικοί και διεθνείς κανονισμοί: Υπάρχουν προδιαγραφές που καθορίζουν τους κανόνες και τις οδηγίες για το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και γενικότερα κατασκευαστικών έργων. Αυτοί οι κανονισμοί περιλαμβάνουν συχνά οδηγίες σχετικά με τη χρήση του χάλυβα και του σκυροδέματος σε συνδυασμό, καθώς και τις προδιαγραφές για την αντοχή και την ασφάλεια των κατασκευών.
- Ευρωπαϊκοί Κώδικες: Οι Ευρωπαϊκοί Κώδικες, όπως ο Ευρωκώδικας 3 (Eurocode 3) για το σχεδιασμό χάλυβα και ο Ευρωκώδικας 2 (Eurocode 2) για το σκυρόδεμα, περιλαμβάνουν προδιαγραφές και οδηγίες για τον σχεδιασμό και την ανάλυση σύμμικτων κατασκευών.
- Πρότυπα και Τεχνικές Οδηγίες: Υπάρχουν πρότυπα και τεχνικές οδηγίες που εκδίδονται από εθνικούς οργανισμούς και επαγγελματικά σωματεία, τα οποία περιέχουν λεπτομερείς οδηγίες για τον σχεδιασμό, την εκτέλεση και τον έλεγχο κατασκευαστικών έργων με χρήση σύμμικτων υλικών.

2.3.4 Συμπεριφορά κατά τους σεισμούς

Η ανάλυση της συμπεριφοράς κατά τους σεισμούς εστιάζει στον υπολογισμό των δυνάμεων και των μετακινήσεων που ασκούνται στα κατασκευαστικά στοιχεία κατά τη διάρκεια σεισμικής δράσης. Κατά τη διάρκεια σεισμικής δράσης, τα κατασκευαστικά στοιχεία υπόκεινται σε διάφορες δυνάμεις και μετακινήσεις. Κάποιες από αυτές περιλαμβάνουν:

- Δυνάμεις οριζόντιας επιτάχυνσης: Κατά τη σεισμική δράση, τα κτίρια υπόκεινται σε οριζόντιες δυνάμεις λόγω του γεγονότος ότι η γη δονείται οριζόντια. Αυτές οι δυνάμεις μπορούν να προκαλέσουν την ανάπτυξη τάσεων στα κατασκευαστικά υλικά.
- Δυνάμεις συγκράτησης: Κατά τη διάρκεια σεισμού, οι δυνάμεις συγκράτησης μπορούν να προκληθούν λόγω της αντίδρασης των δομικών συστημάτων στις οριζόντιες δυνάμεις. Αυτές οι δυνάμεις μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των συνδέσεων μεταξύ των χάλυβα και του σκυροδέματος.
- Μετακινήσεις των κατασκευαστικών υλικών: Κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμών, τα κατασκευαστικά υλικά μπορεί να υποστούν σημαντικές μετακινήσεις λόγω των οριζόντιων δυνάμεων που ασκούνται σε αυτά. Αυτές οι μετακινήσεις μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα των κατασκευαστικών στοιχείων και των συνδέσεων τους.

Κατά τον σχεδιασμό σύμμεικτων κατασκευών, η χρήση αναλυτικών μεθόδων, όπως η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων ή η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων σε συνδυασμό με αριθμητικές προσομοιώσεις, είναι ουσιώδους σημασίας για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος κατά των σεισμών. Με τη χρήση αριθμητικών προσομοιώσεων, το ETABS επιτρέπει την προσομοίωση της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής κατά την εκτέλεση σεισμικών γεγονότων. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της ανάλυσης, μπορούν να αξιολογηθούν οι απαιτήσεις αντισεισμικής σχεδίασης και να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός των συνδέσεων μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος για μέγιστη αντοχή και ασφάλεια κατά των σεισμών..

Η σωστή αξιολόγηση και σχεδίαση των συμπεριφοράς των σύμμεικτων κατασκευών κατά τους σεισμούς είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ασφάλειας των κατοίκων και της ακεραιότητας των κατασκευών κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων. Η εφαρμογή των προαναφερθέντων προδιαγραφών και προσεγγίσεων εξασφαλίζει ότι ο σχεδιασμός και η κατασκευή των σύμμεικτων κατασκευών θα πληρούν υψηλά πρότυπα ασφάλειας, αντοχής και αποτελεσματικότητας.

2.4 Συνδυασμένη Σεισμική Συμπεριφορά

Η συνδυασμένη σεισμική συμπεριφορά αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό πεδίο στον τομέα της μηχανικής κατασκευών, το οποίο απαιτεί προσεκτική ανάλυση και κατανόηση. Καθώς οι κατασκευές γίνονται πιο πολύπλοκες και αντιμετωπίζουν περισσότερες δυνάμεις και συνθήκες, ο σχεδιασμός και η ανάλυση της συμπεριφοράς τους κατά τους σεισμούς αποκτούν καίρια σημασία.

2.4.1 Ανάλυση των Συμπεριφορών.

Η ανάλυση των συμπεριφορών αποτελεί κρίσιμο βήμα στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση σύμμεικτων κατασκευών κατά τους σεισμούς. Κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων, οι κατασκευαστικοί φορείς υποστέλλονται σε διάφορες επιδράσεις, οι οποίες προκαλούν αντιδράσεις στην κατασκευή. Κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων, οι κατασκευαστικοί φορείς εκτίθενται σε διάφορες επιδράσεις λόγω των οριζόντιων και κατακόρυφων δονήσεων που προκαλεί ο σεισμός. Αυτές οι επιδράσεις περιλαμβάνουν τις δυνάμεις που ασκούνται στα κατασκευαστικά υλικά, τις τάσεις που προκαλούνται στις δομικές συνιστώσες, καθώς και τις μετακινήσεις που υφίστανται τα κτίρια και οι κατασκευαστικές δομές. Αυτές οι επιδράσεις μπορούν να οδηγήσουν σε αντιδράσεις της κατασκευής, όπως παραμόρφωση, καταστροφή ή απώλεια της αντοχής, ανάλογα με τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών και τη σχεδίαση της κατασκευής. Αυτή η ανάλυση περιλαμβάνει τη μελέτη των δυνάμεων, των μετακινήσεων και των τάσεων που ασκούνται σε κάθε κατασκευαστικό στοιχείο και συνιστώντας, με σκοπό να κατανοήσουμε πώς αντιδρούν τα υλικά και οι συνδέσεις κατά τη διάρκεια του σεισμού. Μέσω αυτής της ανάλυσης, μπορούμε να εντοπίσουμε

τις περιοχές μεγαλύτερης ευαισθησίας, να προβλέψουμε πιθανές αδυναμίες και να επεξεργαστούμε τεχνικές λύσεις για τη βελτίωση της απόδοσης και της ασφάλειας της κατασκευής.

2.4.2 Αντιστοίχιση Υλικών

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, αξιολογούνται και να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις του έργου και των κατασκευαστικών στοιχείων. Η αντιστοίχιση υλικών συμπεριλαμβάνει την εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων κάθε υλικού, όπως η αντοχή, η ελαστικότητα και η ανθεκτικότητα, καθώς και των χαρακτηριστικών τους σε συνθήκες φόρτισης και σεισμικών δονήσεων. Επίσης, λαμβάνονται υπόψη οι προδιαγραφές και οι οδηγίες που ορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για τα υλικά και τις συνδέσεις τους, ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η αντοχή της κατασκευής κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων. Κατά τη διαδικασία αυτή, η επιλογή των υλικών πρέπει να είναι σύνθετη και να λαμβάνει υπόψη πολλούς παράγοντες, όπως οι μηχανικές ιδιότητες, η διαθεσιμότητα, η οικονομική βιωσιμότητα και οι τοπικές κατευθυντήριες γραμμές. Με μια σωστή αντιστοίχιση υλικών, επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόκριση της κατασκευής στις σεισμικές δυνάμεις, προσφέροντας ταυτόχρονα βέλτιστη ασφάλεια και αντοχή.

2.4.3 Επίδραση Συμβάντων.

Η επίδραση συμβάντων αφορά την αξιολόγηση του πώς πολλαπλά σεισμικά γεγονότα επηρεάζουν τον σύμμεικτο φορέα και πώς οι διάφορες σεισμικές δυνάμεις συνδυάζονται και επιδρούν στη συνολική απόκρισή του.

Κατά την επίδραση συμβάντων, λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα. Μερικοί από αυτούς περιλαμβάνουν τη διανομή της έντασης του σεισμού στο έδαφος, τη δυναμική αντίδραση του κτιρίου, την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων μερών του φορέα, και την απόκριση των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.

Επιπλέον, η επίδραση συμβάντων εστιάζει στην αξιολόγηση των πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων φορέων του σύμμεικτου συστήματος, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, και τον τρόπο με τον οποίο οι διάφορες συνιστώσες αντιδρούν μεταξύ τους κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων.

Οι πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων φορέων του σύμμεικτου συστήματος, όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, μπορεί να περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Μεταφορά φορτίων:** Ο χάλυβας και το σκυρόδεμα συνεργάζονται για τη μεταφορά των φορτίων μέσω των διάφορων συνδέσεων τους. Η αλληλεπίδραση αυτή επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο τα φορτία μεταδίδονται μεταξύ των διαφορετικών μερών του συστήματος.
- **Ενίσχυση:** Ο χάλυβας μπορεί να λειτουργήσει ως ενισχυτικό υλικό για το σκυρόδεμα, ενώ το σκυρόδεμα μπορεί να προσφέρει σταθερότητα και αντοχή στο σύστημα. Η συνεργασία τους μπορεί να βελτιώσει την αντοχή και την απόκριση του φορέα σε σεισμικές δυνάμεις.
- **Διακοπή σημείων:** Σε περιοχές όπου απαιτείται η διάκοψη του σκυροδέματος για τη διέλευση σωληνώσεων ή άλλων δομικών στοιχείων, ο χάλυβας μπορεί να λειτουργήσει ως στήριξη ή ενίσχυση για το σκυρόδεμα.
- **Αντιστάθμιση:** Ο χάλυβας και το σκυρόδεμα μπορεί να αλληλοσυμπληρώνονται σε περιοχές όπου το ένα υλικό δεν παρέχει επαρκή αντοχή ή στήριξη. Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να ισορροπήσει τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του φορέα.

Η συμπεριφορά του σύμμεικτου φορέα μπορεί να είναι πολύπλοκη και να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων υλικών, της γεωμετρίας του φορέα, των συνθηκών φόρτισης και της εφαρμοζόμενης μεθόδου ανάλυσης. Ορισμένα παραδείγματα συμπεριφοράς του σύμμεικτου φορέα περιλαμβάνουν:

- **Ελαστική Συμπεριφορά:** Κατά την επιβάρυνση από σεισμικές δυνάμεις, ο φορέας εμφανίζει ελαστική συμπεριφορά, δηλαδή αποκρίνεται ελαστικά στις δυνάμεις και επιστρέφει στην αρχική του μορφή χωρίς μόνιμες μετατοπίσεις ή ζημιές.
- **Δομική Σταθερότητα:** Η διαμόρφωση και η τοποθέτηση των υλικών επηρεάζουν τη δομική σταθερότητα του φορέα. Η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων (όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα) μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητα του φορέα.
- **Συμπεριφορά σε Σεισμικά Γεγονότα:** Κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων, ο σύμμεικτος φορέας μπορεί να εμφανίσει συμπεριφορά που εξαρτάται από την ένταση του σεισμού, τη συχνότητα των δονήσεων και τη γεωμετρία του φορέα.
- **Μετακινήσεις:** Ο σύμμεικτος φορέας μπορεί να υποστεί μετακινήσεις και αποκλίσεις από την αρχική του θέση λόγω της εφαρμογής δυνάμεων στο σύστημα.

2.4.4 Ανάλυση Επιδράσεων

Η ανάλυση των επιδράσεων στον σύμμικτο φορέα εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο οι σεισμικές δυνάμεις επηρεάζουν τις διάφορες συνιστώσες του φορέα και πώς αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Κάθε συνιστώσα του φορέα, όπως οι στύλοι, οι δοκοί, τα πλακίδια και οι συνδέσεις μεταξύ τους, αντιδρά με διαφορετικό τρόπο στις επιβαρύνσεις του σεισμού. Κατανοώντας τον τρόπο με τον οποίο οι σεισμικές δυνάμεις αλληλεπιδρούν με τις διάφορες συνιστώσες του φορέα, μπορούμε να αναπτύξουμε πιο αποτελεσματικές μεθόδους σχεδιασμού και ενίσχυσης των κατασκευών για να αντέξουν στις σεισμικές δυνάμεις. Κατά την ανάλυση αυτή, εξετάζονται οι επιπτώσεις των σεισμικών δυνάμεων σε κάθε συνιστώσα του φορέα, όπως οι τάσεις, οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις που προκαλούνται. Αυτό μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά του φορέα κατά τη διάρκεια του σεισμού και την αντίδρασή του στις δυνάμεις που ασκούνται.

Επίσης, αξιολογείται ο τρόπος με τον οποίο οι διάφορες συνιστώσες του φορέα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κατά τη διάρκεια του σεισμού. Αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη των συνδέσεων μεταξύ των στοιχείων του φορέα και τον τρόπο με τον οποίο αντιδρούν στις δυνάμεις του σεισμού. Η κατανόηση αυτών των διαδικασιών είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη ασφαλών και αποτελεσματικών μεθόδων σχεδιασμού σεισμικά ανθεκτικών κατασκευών.

2.4.5 Αντοχή και Αντίδραση

Η αντοχή και η αντίδραση του σύμμικτου φορέα αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την ικανότητα του φορέα να αντέξει στις σεισμικές δυνάμεις και να αποκριθεί επιτυχώς σε αυτές.

- Αντοχή:

Η αντοχή αφορά την ικανότητα του σύμμικτου φορέα να αντέξει στις σεισμικές δυνάμεις χωρίς να υποστεί σοβαρές ζημιές ή κατάρρευση. Αυτό σημαίνει ότι ο φορέας πρέπει να έχει επαρκή αντοχή και ακεραιότητα ώστε να μεταφέρει τις δυνάμεις στη διάρκεια του σεισμού χωρίς να αποτύχει.

- Αντίδραση:

Η αντίδραση αναφέρεται στη συμπεριφορά του φορέα κατά τη διάρκεια των σεισμικών γεγονότων. Αυτό περιλαμβάνει τις παραμορφώσεις, τις μετακινήσεις και τις τάσεις που παρατηρούνται σε διάφορες συνιστώσες του φορέα. Η κατανόηση της αντίδρασης του φορέα μπορεί να βοηθήσει στον σχεδιασμό πιο αποτελεσματικών στρατηγικών ενίσχυσης και πρόληψης ζημιών.

Ο σχεδιασμός για την αντιστοίχιση της αντοχής και της αντίδρασης του φορέα απαιτεί λεπτομερή ανάλυση των διαφόρων συνιστωσών του, καθώς και των επιπτώσεων που έχουν οι σεισμικές δυνάμεις σε αυτές. Μέσω αυτής της ανάλυσης, μπορούν να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις για τον σχεδιασμό και την ενίσχυση του φορέα προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλειά του κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων.

2.5 Σχεδιασμός και Κανονισμοί

Κατά τον σχεδιασμό της κατασκευής μας, έγινε λεπτομερής εξέταση των κανονισμών που καθορίζουν τον σχεδιασμό σύμμεικτων κατασκευών. Πιο συγκεκριμένα, αναφερθήκαμε στον Ευρωκώδικα 4 (EN1994-1-EL) και εξετάσαμε την παράγραφο 6.7 για τις αρχές σχεδιασμού. Επίσης, στηριχθήκαμε στον Ευρωκώδικα 3-1-1 (EN1993-1-1 EL) για να αναλύσουμε τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Για τον αντισεισμικό σχεδιασμό, συμμετείχαν οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 (EN1998-1 EL). Ειδικότερα, αναφερθήκαμε στην παράγραφο 6.1 για τον συντελεστή συμπεριφοράς και ενσωματώσαμε τις πληροφορίες από τη σελίδα 152, καθώς και τα Σχήματα 6.1 έως 6.3 σελίδα 154, τα οποία αναφέρουν τους τύπους στατικών συστημάτων. Με βάση αυτές τις κατευθυντήριες γραμμές, προχωρήσαμε στον σχεδιασμό της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές προδιαγραφές και κανονισμούς για την ασφάλεια και την απόδοση του έργου.

Κεφάλαιο 3 Σωληνωτές Χαλύβδινες Στήλες Γεμισμένες με Σκυροδεμα (CFT)

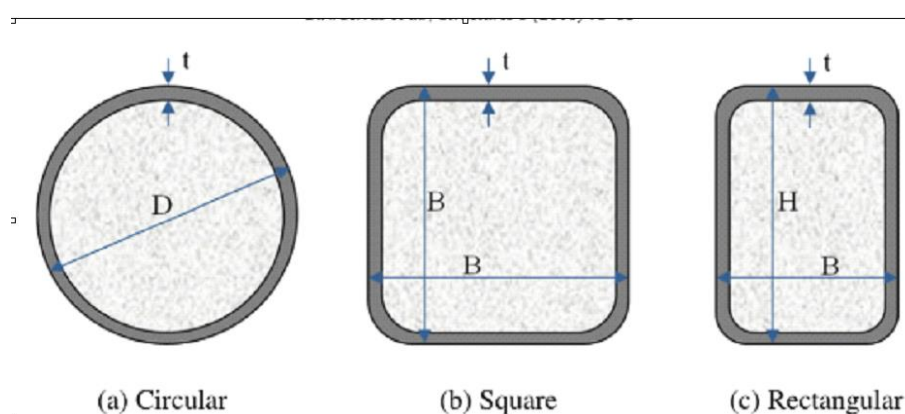
Η επιλογή να εστιάσουμε στην εξέταση αυτού του τύπου στύλων με κυκλικό τομέα γεμισμένους με σκυρόδεμα (CFT) πηγάζει από την αναγνώριση της σημασίας τους και της ευρείας χρήσης τους σε διάφορους τομείς της κατασκευαστικής πρακτικής.

Η προσπάθειά μας εστιάζεται στην κατανόηση της συμπεριφοράς και της απόδοσης των CFT στύλων μέσω μιας διεξοδικής ανάλυσης. Γι' αυτό το λόγο, αναζητήσαμε και βασιστήκαμε σε σημαντικές ερευνητικές εργασίες που προηγήθηκαν στον τομέα. Η προσέγγισή μας στην επιστημονική διαδικασία βασίζεται στο έργο αξιόλογων ερευνητών που εξετάζουν τη θεωρητική ανάπτυξη, την επικύρωση και την επέκταση των μοντέλων και των μεθόδων σχετικά με τους CFT στύλους. Συγκεκριμένα, αναφερόμαστε στις ερευνητικές εργασίες των George D. Hatzigeorgiou, Dionisios N. Serras, Konstantinos A. Skalomenos και Dimitri E. Beskos, οι οποίες προσφέρουν σημαντική συνεισφορά στην κατανόηση και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των CFT στύλων.

3.1 Εισαγωγή στα CFT

Ως CFT ορίζουμε την σωληνωτή χαλυβδινή στήλη η οποία είναι γεμισμένη με σκυρόδεμα. Τα σύνθετα μέλη χάλυβα-σκυρόδεμα όπως τα CFT διαθέτουν τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά και των δύο υλικών, όπως επαρκή αντοχή, δυσκαμψία και ακαμψία. Παρά το γεγονός, ότι έχει γίνει πολλή θεωρητική και πειραματική εργασία για τα μέλη CFT, η πραγματική αντοχή, η ανελαστική συμπεριφορά τους και η συγκράτηση του πυρήνα από σκυρόδεμα δεν είναι ακόμη καλά κατανοημένες και χρειάζονται περαιτέρω μελέτη.

Γενικά οι στήλες CFT έχουν επιδείξει επαρκή χωρητικότητα φορτίου, αρκετή δυσκαμψία και επαρκή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Επιπλέον ο χάλυβας σωλήνας λειτουργεί ως φόρμα για το χυτό σκυρόδεμα, μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής. Δεν απαιτείται καμία άλλη ενίσχυση αφού ο σωλήνας δρα ως μακροσκοπική και πλαγιασμένη ενίσχυση για τον πυρήνα από σκυρόδεμα. Το φαινόμενο της συγκράτησης προκαλεί τον πυρήνα από σκυρόδεμα να συμπεριφέρεται σε τριαξονική κατάσταση τάσης ενώ ο πυρήνας από σκυρόδεμα εμποδίζει το τοίχο του ανοικτού χάλυβα να λυγίσει προς τα μέσα.



Εικονα 3.1 διατομες CFT Πηγή George D. Hatzigeorgiou, Numerical model for the behavior and capacity of circular CFT columns, Part I: Theory, Engineering Structures, Volume30,Issue6,2008,Pages15731578,ISSN01410296,<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.001>

3.1.2 Αναδρομή στις προτάσεις για τα μόντελα κυκλικών στηλών CFT

Αρχική πρόταση για αναλυτικά μοντέλα που αφορούν την πρόβλεψη της αντοχής των CFT έγινε απο τους Hajjar και Gourley και Zhang και Shahrooz. Σε αυτά τα μοντέλα, υποτιθέεται οίη η συγκράτηση αυξάνει μόνο την δυσκαμψία του πυρήνα από σκυρόδεμα αλλά όχι την αντοχή. Ύστερα ο Tang και άλλοι ανέπτυξαν ένα μοντέλο για κυκλικούς σωλήνες λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων των υλικών στην ενίσχυση της αντοχής καθώς και την μετα-κορυφή

συμπεριφορά. Το μοντέλο του Tang για τις κυκλικές στήλες υιοθετήθηκε από τους Susantha και άλλους, οι οποίοι πρότειναν σχέσεις τάσης-απόστασης για σκυρόδεμα που συγκρατείται από σωλήνες σε διάφορα σχήματα χάλυβα. Οι Mukai και Nishiyama πρότειναν ότι οι τάσεις ζώνης στους σωλήνες χάλυβα για στήλες CFT είναι ίσες με το 20% της αντοχής σε τράσσα του χάλυβα. Οι Watanabe και άλλοι στην συνέχεια πραγματοποίησαν δοκιμαστικά μοντέλα για τον καθορισμό μιας σχέσης τάσης-απόστασης για συγκρατημένο σκυρόδεμα και πρότειναν μια μέθοδο για την ανάλυση της απόδοσης στην κατάρρευση των κολώνων γεμισμένων με σκυρόδεμα λαμβάνοντας υπόψη τον τοπικό λυγισμό των συστατικών πλακών και τις αρχικές ατέλειες. Οι Sakino και άλλοι πρότειναν σχεδιαστικές συνταγές για την πρόβλεψη της αξονικής συμπίεστης χωρητικότητας και της απόλυτης στιγμιαίας κάμψης των στηλών CFT με κυκλικές ή τετραγωνικές προβλέψεις. Ο Furlong διαπίστωσε ότι η τιμή της αντοχής σε κάμψη από την χωρητικότητα των χαλύβδινων σωλήνων ήταν περίπου 50% χαμηλότερη από αυτή που παρατηρήθηκε στα δοκάρια που δοκιμάστηκαν. Τέλος, οι Prion και Boehme, Lu και Kennedy, και ο Elchalakani πραγματοποίησαν πειραματικές δοκιμές που περιλάμβαναν πληθώρα δοκιμών. Τα ευρήματα των οποίων έδειξε ότι τα δοκάρια που δοκιμάστηκαν είχαν ικανοποιητική συμπεριφορά, όμως απέτυχαν όσον αφορά την ελαστικότητα.

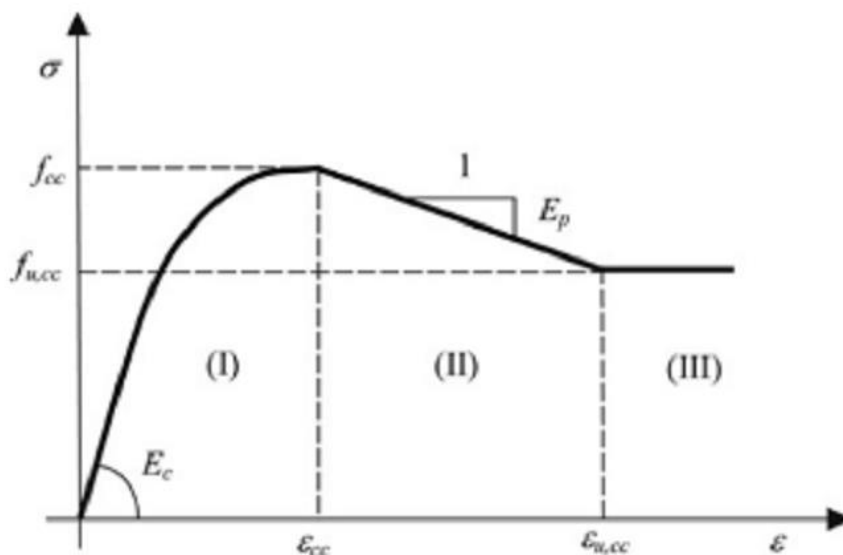
3.2 Συμπεριφορά κυκλικών στηλών CFT

Η συνολική συμπεριφορά των κυκλικών στηλών CFT φαίνεται να εξαρτάται από την ενέργεια του πυρήνα από σκυρόδεμα και του ατσαλένιου σωλήνα. Το σκυρόδεμα περιγράφεται σε τρεις περιοχές: ανοδική, καθοδική και σταθερή περιοχή τάσης. Η συμπεριφορά του ατσαλένιου βασίζεται σε ένα διγραμμικό μοντέλο τάσης-επιμήκυνσης, με την εφαρμογή του κριτηρίου von Mises για την πρόβλεψη των τεντωτικών και συμπίεστηκών αντοχών. Η εφαρμογή αυτών των μοντέλων υποστηρίζεται από ένα μοντέλο σύνθετης ενέργειας, με τη χρήση μιας εμπειρικής εξίσωσης για την τάση στον χαλύβδινο σωλήνα. Επιπλέον, η μοντελοποίηση των ινών επιλέχθηκε για να περιγράψει αναλυτικά την πλήρη συμπεριφορά των στηλών.

3.2.1 Συμπεριφορά κυκλικών στηλών CFT σε καθαρή αξονική κάμψη

Οι πειραματισμοί για την συμπεριφορά των κυκλικών στηλών πραγματοποιήθηκαν από τους Tommi et al., Tokino et al. και Huang et al., με οχτώ χαρακτηριστικά στοιχεία. Η επιλογή αυτών των στοιχείων βασίστηκε στο σχετικά μικρό μήκος των δειγμάτων, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επίδραση των κρουστικών αποτελεσμάτων στους στύλους-βολάν. Οι δοκιμές έγιναν σε στύλους με διαφορετικές διαμέτρους (από 37,5 έως 101) και διαφορετικούς λόγους αντοχής του χάλυβα στο σκυρόδεμα (από 7,0 έως 18,6). Η διάμετρος του σωλήνα κυμάνθηκε από 150 έως 300 mm, με το πάχος τοίχου να κυμαίνεται από 2,96 έως 5,0 mm. Όσον αφορά τις αντοχές του

χαλυβδοσωλήνα, οι τιμές κυμαίνονταν από 266 έως 377 MPa για την τραβηκτική αντοχή και από 18,1 έως 40,5 για τη συμπιεστική αντοχή. Συμπεραίνεται από τα πειράματα ότι οι υπολογισμένες και πειραματικές καμπύλες φόρτισης - μέσης αξονικής επιμήκυνσης ακολουθούν στενά το ίδιο πρότυπο σε όλες τις περιπτώσεις. Επιπλέον, οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι κυκλικοί στύλοι δεν εμφανίζουν καμία συμπεριφορά αποσβεσμού πέρα από την κορυφή. Η συνεχής αύξηση της αξονικής φόρτισης αποδίδεται στη σκλήρυνση του χάλυβα που λαμβάνεται υπόψη.



Σχήμα 3.2.1 Πειραματική καμπύλη φόρτισης - μέσης αξονικής επιμήκυνσης Πηγή George D. Hatzigeorgiou, Numerical model for the behavior and capacity of circular CFT columns, Part I: Theory, Engineering Structures, Volume 30, Issue6,2008,Pages15731578,ISSN01410296,<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.001>

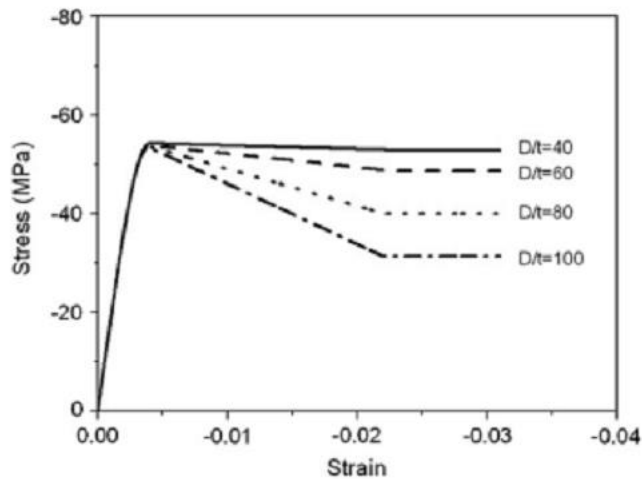
3.2.2 Αντοχή των κυκλικών στηλών CFT βολάν κάτω από καθαρή κάμψη

Η έρευνα σχετικά με την καθαρή συμπεριφορά κάμψης στις δοκούς σκυροδέματος - γεμισμένους χαλύβδινους σωλήνες φαίνεται να είναι περιορισμένη. Στη μελέτη αυτή, εξετάζονται δώδεκα χαρακτηριστικοί στύλοι, με διαστάσεις και υλικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.2. Η αντοχή σε κάμψη για αυτούς τους στύλους προβλέπεται με τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου και αναλυτικά από τον Elchalakani και συνεργάτες, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.1. Παρατηρείται ότι η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζει ακριβή αποτελέσματα και παρέχει πολύ καλή αριθμητική απόδοση για τη συμπεριφορά των κυκλικών στηλών CFT κάτω από καθαρή κάμψη.

Πίνακας 3.2.2 διαστάσεις και τα υλικά απο δώδεκα χαρακτηριστικούς στύλους

Influence of f_y/f_c ratio on concrete strength

D (mm)	t (mm)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	D/t	f_y/f_c	σ_h (MPa)	f_{yt} (MPa)	f_{yc} (MPa)
200	4	30	200	50	6.7	33.4	214.6	-181.2
200	4	30	300	50	10.0	75.2	330.4	-255.3
200	4	30	400	50	13.3	133.6	449.7	-316.1
200	4	30	500	50	16.7	208.8	570.6	-361.8



Σχημα 3.2.1 Πηγή George D. Hatzigeorgiou, Numerical model for the behavior and capacity of circular CFT columns, Part I: Theory, Engineering Structures, Volume 30, Issue6,2008,Pages15731578,ISSN01410296,<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.001>

3.2.3 Κυκλικοί στύλοι CFT κάτω από αξονική δύναμη και στρέψη

Οι κυκλικοί στύλοι CFT σε συνδυασμό συμπίεσης και κάμψης έχουν εξετασθεί εμπειρικά από τους O'shea και bridge και αναλυτικά απο τον Ευρωκώδικα 4. Και στις δυο αυτές περιπτώσεις, αναγνωρίζεται η τυπική συμπεριφορά των σύντομων στηλών, οι οποίοι επιτυγχάνουν την απόλυτη δυνατότητά τους χωρίς γενική διάταξη και συχνά υπόκεινται τόσο σε αξονικά φορτία όσο και σε στροφές στην πραγματική εφαρμογή. Η μελέτη των κυκλικών στηλών CFT κάτω απο αξονική δύναμη και στρέψη είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σενάρια όπου οι στήλες εκτίθενται σε διασταυρούμενες στροφές, όπως στις γωνιακες στήλες σε πολυώροφα κτίρια ή σε στύλους σύνθετης κατασκευής που λειτουργούν ως γεφυρικές στήλες.

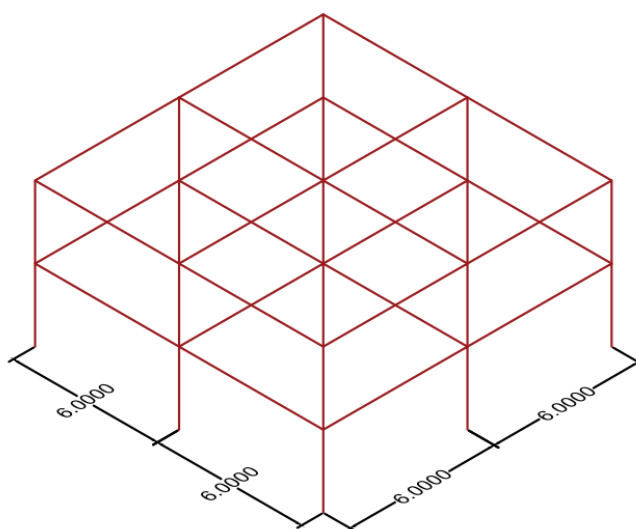
3.3 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα κυκλικών στηλών CFT

Παρά τα οικονομικά οφέλη που προσφέρει η χρήση χάλυβα και σκυροδέματος στην κατασκευαστική βιομηχανία, η κατανόηση της συμπεριφοράς των στηλών CFT παραμένει ανεπαρκής. Υπάρχει μια σημαντική ανισορροπία στα αναλυτικά μοντέλα που προτείνονται από διάφορους κώδικες και ερευνητές για την εκτίμηση της αντοχής μιας στήλης CFT και του αντικαταστατικού εφέ. Άλλα λόγια, παρά την ευρεία χρήση αυτών των υλικών, υπάρχει ακόμα ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη για την πλήρη κατανόηση και βελτίωση της απόδοσής τους.

Κεφάλαιο 4 Παρουσίαση Έργου

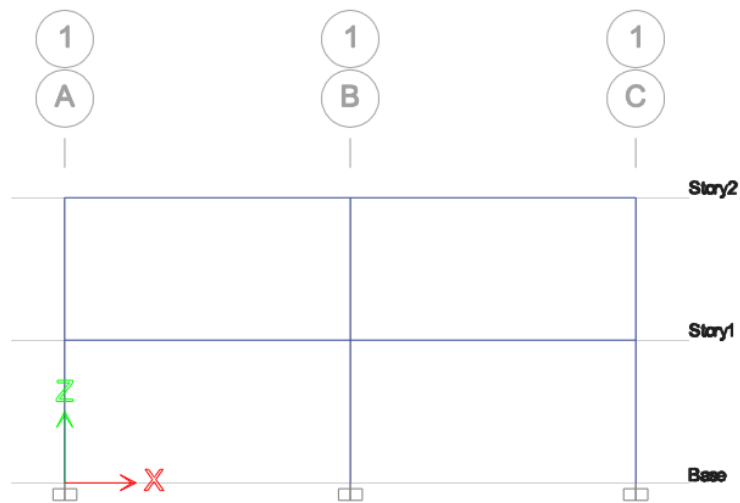
4.1 Περιγραφή του Φορέα

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, μελετώνται σύμμικτα πλαίσια τα οποία ανήκουν κτίριο που πρόκειται να κατασκευαστεί στον νομό Αχαΐας, στη βόρεια Πελοπόννησο.



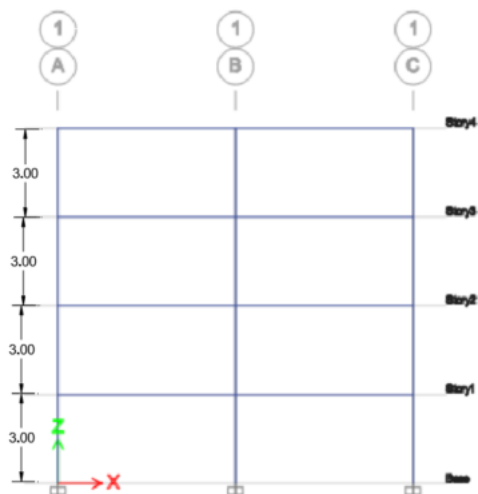
Εικόνα 4.1.1: Γενική απεικόνιση του κτιρίου.

Το δώροφο κτίριο έχει ορθογώνια κάτοψη διαστάσεων 12,00m x 12,00m και αποτελείται από τρεις κύριους φορείς, πλαίσια διατεταγμένα παράλληλα μεταξύ τους ανά 6,00m. Το μέγιστο ύψος του κτιρίου είναι 6m και η στέγη του είναι οριζόντια. Επιπλέον, το πλαίσιο μελέτης περιλαμβάνει έξι σύμμικτα υποστυλώματα ανά 6,00 m απόστασης μεταξύ τους, καθώς και τέσσερις δοκούς από χάλυβα απόστασης 3,00 m μεταξύ τους και 3,00m από το έδαφος.



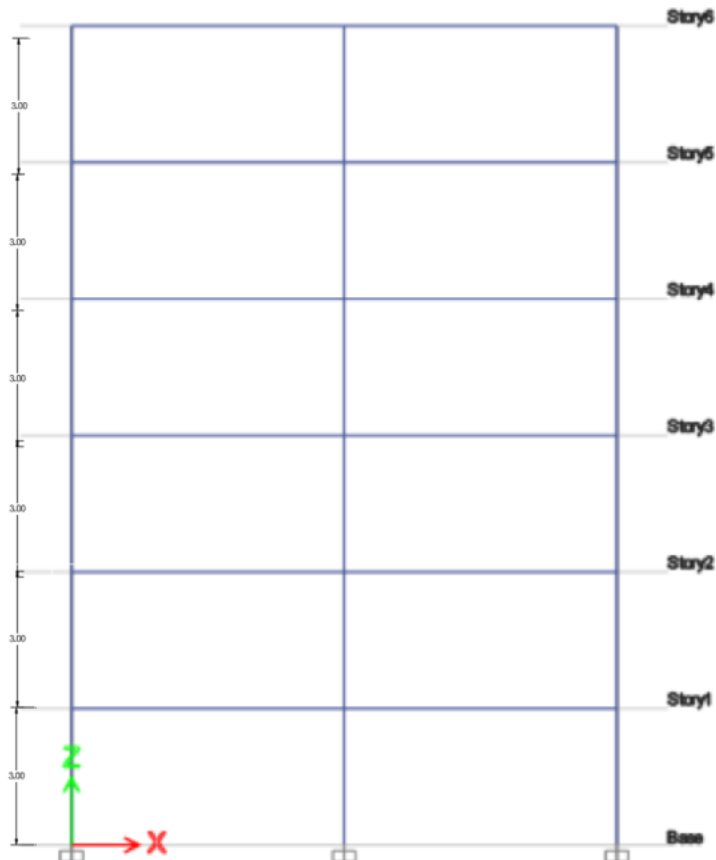
Εικόνα 4.1.2: Γενική απεικόνιση πρόσοψης του κτιρίου.

Το τετραώροφο κτίριο έχει ορθογωνική κάτοψη διαστάσεων 12,00m x 12,00m. Το μέγιστο ύψος του κτιρίου είναι 12m και η στέγη του είναι οριζόντια.



Εικόνα 4.1.3: Γενική απεικόνιση πρόσοψης του κτιρίου.

Το εξαώροφο κτίριο έχει ορθογωνική κάτοψη διαστάσεων 12,00m x 12,00m. Το μέγιστο ύψος του κτιρίου είναι 18m και η στέγη του είναι οριζόντια.



Εικόνα 4.1.4: Γενική απεικόνιση πρόσοψης του κτιρίου.

Και για τα τρία κτίρια της μελέτης το σύστημα που έχουν σχεδιαστεί, σχηματίζει τη βάση της κατασκευής, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη σταθερότητα και αντοχή. Σε αυτή την κατασκευή, η σταθερότητα του κύριου φορέα ενάντια στην πλευρική εκτροπή στη διεύθυνση X επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλα τοποθετημένων οριζόντιων και κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας. Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας παρέχουν πλευρική ενίσχυση. Αυτοί οι σύνδεσμοι δέχονται και μεταφέρουν ασφαλώς τα οριζόντια φορτία του σεισμού που δρουν στην κατασκευή, καθώς και τις δευτερογενείς δυνάμεις που προκύπτουν από παραμορφώσεις. Επιπρόσθετα, αυτοί οι σύνδεσμοι εξασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά των φορτίων στο έδαφος. Οι κεφαλές των υποστυλωμάτων συνδέονται μεταξύ τους μέσω των δοκών από χάλυβα, η οποία διατρέχει το μήκος του κτιρίου κατά την κατεύθυνση X. Αυτές οι δοκοί αποτελούν σημαντικό στοιχείο για τη μεταφορά των οριζόντιων φορτίων προς τους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας και τη θεμελίωση του κτιρίου. Η χρήση χάλυβα για την κατασκευή των δοκών ενισχύει τη σταθερότητα και την αντοχή της κατασκευής στις διάφορες φορτίσεις και συνθήκες λειτουργίας.

Οι τεγίδες έχουν διαταχθεί ανά ίσες μεταξύ τους αποστάσεις και έχουν σαν κύριο σκοπό να μεταφέρουν τα φορτία από τα εδραζόμενα σε αυτές φύλλα επικάλυψης στα δοκάρια. Έχουν σχεδιαστεί αμφιέριστες και έχουν την δυνατότητα να εξασφαλίζουν το ζύγωμα στον ασθενή του άξονα σε περίπτωση εκτροπής λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Για την περαιτέρω ενίσχυση και ανάλυση της κατασκευής, χρησιμοποιήθηκε επιπλέον η μέθοδος των ελατηρίων. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του εδάφους και της κατασκευής. Τα ελατήρια τοποθετούνται στα θεμέλια και τα υποστυλώματα του κτιρίου, προσφέροντας πρόσθετη ελαστικότητα και δυνατότητα απορρόφησης των κατακόρυφων και οριζόντιων δυνάμεων. Αυτή η προσέγγιση βελτιώνει την απόκριση της κατασκευής σε σεισμικά φορτία, μειώνοντας τις παραμορφώσεις και αυξάνοντας τη σταθερότητα και την αντοχή. Η χρήση της μεθόδου των ελατηρίων επιτρέπει την λεπτομερέστερη και ακριβέστερη αξιολόγηση της συμπεριφοράς του κτιρίου υπό διάφορες συνθήκες φορτίου, εξασφαλίζοντας έτσι την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά του.

4.2 Ορισμός Φορέων και Υλικών

Για την κατασκευή του πλαισίου, επιλέχθηκαν τα ακόλουθα υλικά :

1. Διώροφο :

- Χάλυβας S275, με διατομή IPE400 και IPE500 στον πρώτο όροφο της κατασκευής . Αρχικά εξετάσαμε διαφορετικές διατομές χάλυβα, όπως IPE360 και IPE450, αλλά καταλήξαμε στη διατομή IPE400 ως την πιο κατάλληλη για τις απαιτήσεις αντοχής και απόδοσης της κατασκευής.

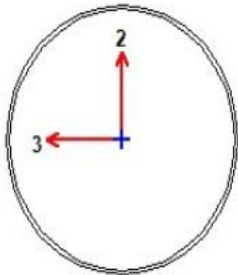
- Υποστυλώματα: Επιλέχθηκαν σύμμεικτα υποστυλώματα κυκλικής διατομής, με διαστάσεις $D=406,4$ mm και $t=6,3$ mm. Η επιλογή αυτή έγινε με γνώμονα την ανάγκη για αποτελεσματική στήριξη και σταθερότητα της κατασκευής.

2. Τετράωροφο

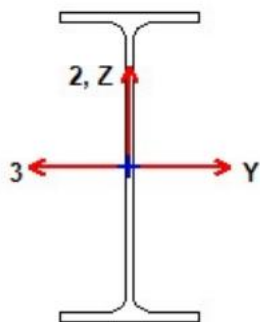
- Χάλυβας S275, με διατομή IPE500.
- Υποστυλώματα: Επιλέχθηκαν σύμμεικτα υποστυλώματα κυκλικής διατομής, με διαστάσεις $D=559$ mm και $t=10$ mm.

3. Εξαώροφο

- Χάλυβας S275, με διατομή IPE550.
- Υποστυλώματα: Επιλέχθηκαν σύμμεικτα υποστυλώματα κυκλικής διατομής, με διαστάσεις $D=610$ mm και $t=14,2$ mm.



Εικόνα 4.2.1: Γενική απεικόνιση κυκλικού υποστυλώματος .



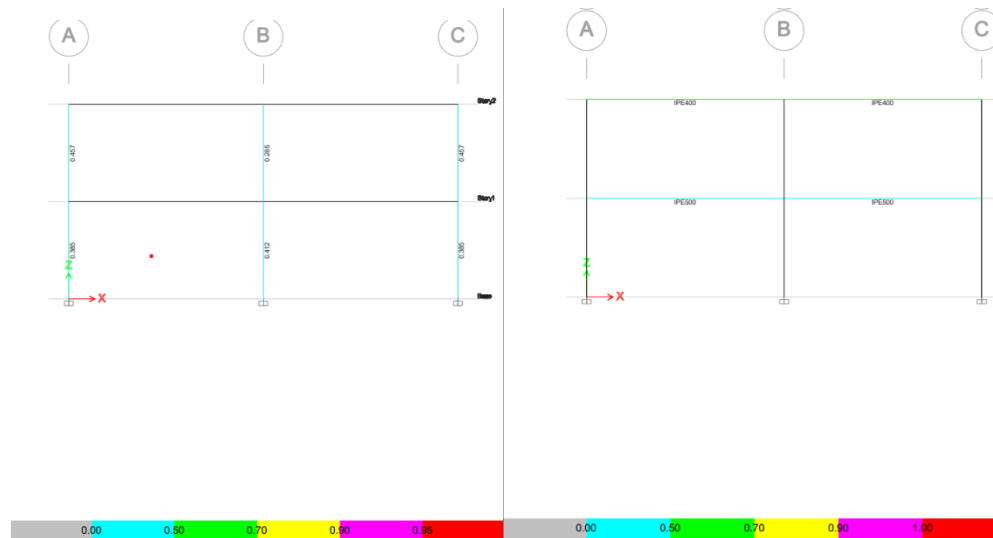
Εικόνα 4.2.2: Δοκάρια διατομής IPE .

- Σκυρόδεμα: Για τα σύμμεικτα υποστυλώματα, η βάση κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα κλάσης C25/30, το οποίο επιλέχθηκε για την αντοχή και την αντίσταση στις πιέσεις και τις καταπονήσεις, καθώς και για την ασφάλεια και τη σταθερότητα των υποστυλωμάτων.

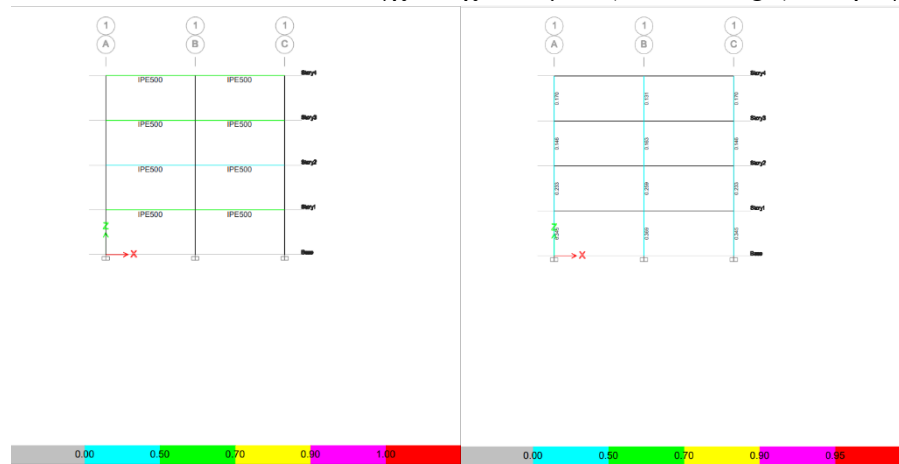
- Θεωρητική Ανάλυση Πλάκας: Πραγματοποιήθηκε θεωρητική ανάλυση της πλάκας σκυροδέματος πάχους 0.15 m για τη διασφάλιση της σωστής και αποδοτικής λειτουργίας της κατασκευής.

Οι παραπάνω επιλογές υλικών και διατομών έγιναν με λεπτομερή ανάλυση των απαιτήσεων του έργου και με γνώμονα την ασφάλεια και την αποδοτικότητα της κατασκευής.

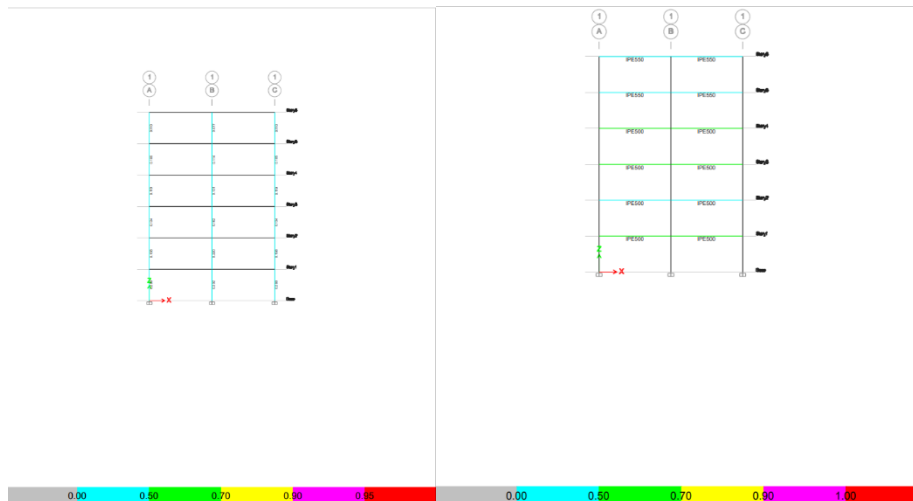
Παρακάτω δίνονται περισσότερες πληροφορίες για την διαδικασία ελέγχου σχεδιασμού (check design) χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της επάρκειας των δομικών στοιχείων βάσει των ισχυόντων κανονισμών. Στο συγκεκριμένο έργο, ο έλεγχος σχεδιασμού πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ETABS, το οποίο παρέχει γραφικές παραστάσεις για την επάρκεια κάθε δομικού στοιχείου.



Εικόνα 4.2.3 Διαδικασία ελέγχου σχεδιασμού (check design) δώροφου φορέα.



Εικόνα 4.2.4 Διαδικασία ελέγχου σχεδιασμού (check design) τετραώροφου φορέα.



Εικόνα 4.2.5 Διαδικασία ελέγχου σχεδιασμού (check design) εξαώροφου φορέα. Στις εικόνες, τα στοιχεία με γαλάζιο χρώμα δείχνουν επάρκεια, ενώ αν υπήρχαν κόκκινα σημεία, θα έδειχναν ανεπαρκή στοιχεία που χρειάζονται ενίσχυση ή ανασχεδιασμό. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα του check design δείχνουν ότι όλα τα υποστυλώματα και οι δοκοί του κτιρίου είναι επαρκή και δεν απαιτούνται επιπλέον ενισχύσεις. Αυτό διασφαλίζει την ασφάλεια και την αντοχή της κατασκευής βάσει των ισχυόντων κανονισμών.

4.2.1 Δομικός Χάλυβας

Ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα δομικά στοιχεία της κατασκευής είναι κατηγορίας S275 και οι ονομαστικές τιμές του ορίου διαρροής f_y και της εφελκύστηκης αντοχής f_u για εν θερμώ ελατούς χάλυβες δίνονται στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 10025-2 και EN 1993-1-1. Τα χαρακτηριστικά του χάλυβα που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.1

Αρχικά εξετάσαμε διαφορετικές διατομές χάλυβα, όπως IPE360 και IPE450, αλλά καταλήξαμε στη διατομή IPE400 ως την πιο κατάλληλη για τις απαιτήσεις αντοχής και απόδοσης της κατασκευής.

Πίνακας 4.2.1: Ονομαστική τιμή ορίου διαρροής f_y και ορίου θραύσης f_u κατά EN 1993-1-1

Ποιότητα κατά EN 1993-1-1	Ονομαστικό Πάχος στοιχείου t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} \leq t \leq 80\text{mm}$	
S275	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
		275	430	275

Οι τιμές σχεδιασμού για τους κύριους συντελεστές υλικού των δομικών χαλύβων, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς είναι οι εξής:

$$\text{Μέτρο ελαστικότητας } E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Μέτρο διάτμησης } G \approx 8077 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή $\nu=0.3$

Συντελεστής θερμικής διαστολής $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ ανά βαθμο Κελσίου

$$\text{Ειδικό βάρος } \gamma_a = 78,5 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

Τάση σχεδιασμού $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M$, $\gamma_M = 1,0$

4.2.2 Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Η κατηγορία του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε είναι C25/30 του οποίου οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος είναι:

$$\text{Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας } E_{cm} \approx 3193 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Λόγος Poisson

Ελαστική περιοχή $\nu = 0,2$

Ρηγμάτωση σκυροδέματος $\nu = 0$

Συντελεστής θερμικής διαστολής $\alpha = 10^{-5}$ ανά βαθμο Κελσίου

$$\text{Ειδικό βάρος } \gamma_c = 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Τάση σχεδιασμού $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_M$, $\gamma_M = 1,5$

Πίνακας 4.2.2: Ονομαστικές τιμές θλιπτικών και εφελκυστικών αντοχών σκυροδέματος

Κατηγορία σκυροδέματος	fck	fck,cube	fctm	fctk,0.95
C25/30	25	30	2.6 -3.5	1.8-2.2

4.3 Ορισμός Φορτίων

4.3.1 Διευκρίνιση Φορτίων

Οι μόνιμες δράσεις αναφέρονται σε όλα τα φορτία που είναι σταθερά παρόντα και αναμένεται να δρουν κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ζωής μιας κατασκευής, χωρίς σημαντικές μεταβολές στην έντασή τους. Αυτές οι δράσεις περιλαμβάνουν τα στατικά φορτία, όπως τα ίδια βάρη των δομικών στοιχείων, τις επικαλύψεις, και τον μηχανολογικό εξοπλισμό, που ασκούνται στην κατασκευή καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της, χωρίς να υφίστανται σημαντικές μεταβολές στον χρόνο. Από την περιγραφή αυτή προκύπτει ότι οι μόνιμες δράσεις αφορούν τα σταθερά βάρη και τις φορτίσεις που παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Ιδια βάρη κατασκευής :

Ίδιο βάρος σκυροδέματος : $g=25\frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$

Ίδιο βάρος χάλυβα : $g=78.5\frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$

Τα ίδια βάρη των στοιχείων του φέροντος οργανισμού (υποστυλώματα , δοκοί) λαμβάνονται αυτόματα από το πρόγραμμα όταν γίνεται η εισαγωγή τους στο μοντέλο.

Κινητά φορτία:

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα κτίρια προορίζονται για χρήση χώρου γραφείων επομένως ανήκει στην κατηγορία Β και προκύπτει $Q=2 \text{ kN/m}^2$.

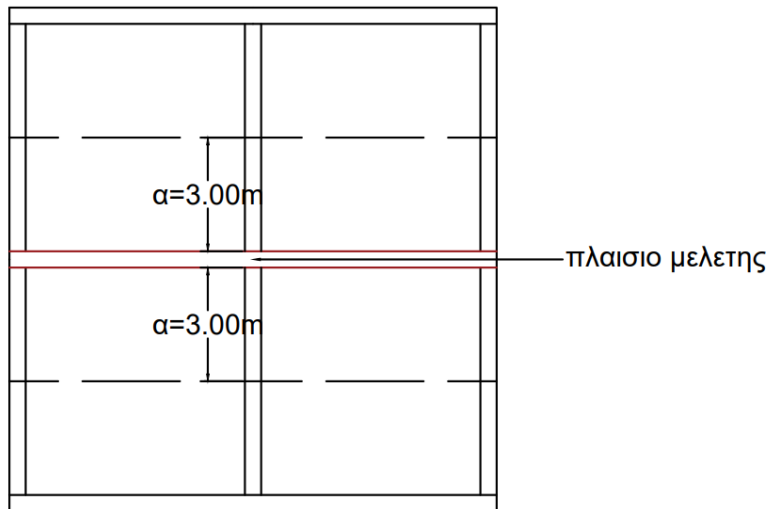
Οι τιμές των μόνιμων φορτίων που δρουν στον φορέα είναι:

1. Μόνιμο βάρος πλάκας η πλάκα ου επιλέχθηκε είναι σύμμεικτη.
Επιλέχθηκε πάχος $h_t=150\text{mm}$ άρα :

$$g=g_{\beta} + g_{\epsilon\pi.} = 25 \times 0.15 + 1.50 = 5.25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

2. Μόνιμο βάρος δοκού : $g=g \times \alpha = 5.25 \times 3 = 15.75 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

Τα ίδια βάρη των στοιχείων υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα.



Εικόνα 4.3.1: Γενική απεικόνιση πλαισίου μελέτης και καθορισμός α .

Θεωρούμε ότι το πλαίσιο είναι δισδιάστατο και είναι εσωτερικό πλαίσιο μιας τρισδιάστατης κατασκευής αρά δοκοί θα παραλάβουν το φορτίο από και από τα δυο γειτονικά πλαίσια. Δηλαδή το βάρος της δοκού που παραλαμβάνει φορτίο από τα δύο γειτονικά πλαίσια είναι το διπλάσιο του μοναδικού πλαισίου, άρα:

$$g \text{ δοκου} = 2 \times 15,75 = 31,15 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Με την ίδια μέθοδο αναλύονται και τα επιφανειακά κινητά φορτία σε γραμμικά.

$$Q_{\text{δοκου}} = 2 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m} = 6 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

4.4 Συνδυασμοί Δράσεων

Οι συνδυασμοί δράσεων αναφέρονται στον τρόπο με τον οποίο συνυπολογίζονται διάφορες δράσεις που επηρεάζουν μια κατασκευή. Αυτές οι δράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν το βάρος της κατασκευής, τα κλιματολογικά φορτία όπως ο αέρας και οι χιονοπτώσεις, τις σεισμικές δυνάμεις και άλλα εξωτερικά φορτία που μπορεί να δρουν στην κατασκευή κατά τη διάρκεια του χρόνου. Ο σωστός συνδυασμός δράσεων είναι σημαντικός για τον σχεδιασμό και την ανάλυση μιας κατασκευής, καθώς επηρεάζει την ασφάλεια και την αντοχή της. Οι προδιαγραφές και οι κανονισμοί ορίζουν τους συνδυασμούς δράσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον σχεδιασμό μιας κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες.

4.4.1 Οριακή Κατάσταση Αστογίας

Οι συνδυασμοί δράσεων χρησιμοποιούνται για να εξετάσουμε την αντοχή της κατασκευής σε διάφορες καταστάσεις φόρτωσης. Αυτοί οι συνδυασμοί ορίζονται από τα πρότυπα και τους κανονισμούς, όπως ο Ευρωκώδικας 1, και περιλαμβάνουν διάφορες δράσεις όπως το βάρος της κατασκευής, τα κλιματολογικά φορτία, τις σεισμικές δυνάμεις και άλλες επιβαρύνσεις. Καθένας από αυτούς τους συνδυασμούς αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη περίπτωση φόρτωσης που μπορεί να επηρεάσει την αντοχή της κατασκευής. Συνήθως, αυτοί οι συνδυασμοί λαμβάνουν υπόψη την ταυτόχρονη επίδραση πολλών διαφορετικών δράσεων που μπορεί να συμβούν ταυτόχρονα ή σε διαφορετικές συνθήκες, με σκοπό να διασφαλίσουν ότι η κατασκευή είναι ασφαλής και αντέχει σε όλες τις πιθανές φορτώσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δράσεις καθώς και οι συνδυασμοί .

G: Άθροισμα μόνιμων φορτίων

Q: Άθροισμα κινητών φορτίων

EX: Σεισμός κατά τη διεύθυνση +XX

1 ος Συνδυασμός: $1.35G+1.5Q$

2 ος Συνδυασμός : $G+0.3Q\pm EX$

Για τις μόνιμες φορτίσεις (G) και τις μεταβλητές φορτίσεις (Q), πραγματοποιούνται απλές γραμμικές ελαστικές αναλύσεις πρώτης τάξης. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη μόνο οι επιρροές πρώτης τάξης στο μοντέλο, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι επιρροές δεύτερης τάξης. Ωστόσο, για τη σεισμική φόρτιση, χρησιμοποιείται μια ιδιομορφική ανάλυση του φορέα για να ληφθούν υπόψη οι συμπεριφορές δεύτερης τάξης. Στη συνέχεια, με τη χρήση του φάσματος σχεδιασμού, πραγματοποιείται μια φασματική ανάλυση προκειμένου να υπολογιστούν οι εντάσεις που προκύπτουν στα μέλη της κατασκευής. Με αυτόν τον τρόπο, λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις δεύτερης τάξης που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συστήματος κατά τη δυναμική φόρτιση από το σεισμό.

4.5 Ορισμός Αναλύσεων

4.5.1 Σεισμική φόρτιση

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, το έδαφος δονείται με έναν εναλλασσόμενο ρυθμό, προκαλώντας μετακινήσεις γύρω από την αρχική θέση ηρεμίας. Αυτές οι μετακινήσεις επηρεάζουν τις κατασκευές, προκαλώντας κάμψη, διάτμηση και άλλες πιέσεις, ανάλογα με τη στατική τους διάταξη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο σεισμός δεν ασκεί απευθείας δυνάμεις στην κατασκευή, αλλά μετακινήσεις του εδάφους, οι οποίες αντιμετωπίζονται από τα κτίρια με τη χρήση της αντοχής τους σε διάφορες μορφές παραμόρφωσης.

4.5.2 Μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης

Στην εργασία αυτή για την ανάλυση έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος φασματικής ανάλυσης. Η φασματική ανάλυση είναι μια εξειδικευμένη μέθοδος ανάλυσης που επιτρέπει τον υπολογισμό της συνεισφοράς πολλαπλών ιδιομορφών σε μια κατασκευή. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως σε κτίρια μεσαίου μεγέθους, όπου οι ιδιομορφίες δεν είναι πάρα πολλές ή πάρα πολύπλοκες. Η απόκριση της κατασκευής προσομοιάζει το πραγματικό πολυβάθμιο σύστημα, αλλά με μικρότερο υπολογιστικό φόρτο. Κάθε ιδιομορφή αντιστοιχεί σε ένα απλό μονοβάθμιο σύστημα, επιτρέποντας την ανάλυση της συνεισφοράς της κάθε μίας ξεχωριστά. Οι αποκρίσεις όλων των ιδιομορφών συνδυάζονται σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες. Παρόλα αυτά, σε πιο περίπλοκες κατασκευές απαιτούνται πιο προηγμένες αναλύσεις που λαμβάνουν υπόψη μη γραμμικότητες και φαινόμενα υψηλότερης τάξης. Η μέθοδος αυτή είναι διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε πολλές κατασκευές λόγω της απλότητάς της και της ακρίβειάς που προσφέρει σε συνήθη κτίρια.

4.5.3 Μέθοδος μη Γραμμικής Ανάλυσης Χρονοσειρών

Σύμφωνα με την έρευνα "Nonlinear behaviour of RC frames under repeated strong ground motions" από τους George D. Hatzigeorgiou και Asterios A. Liolios . Αυτή η μελέτη εξετάζει την ανελαστική συμπεριφορά επιπέδων πλαισίων από ενισχυμένο σκυρόδεμα κάτω από διαδοχικές ισχυρές κινήσεις του εδάφους και παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

1. Η απαίτηση μετατόπισης αυξάνεται υπό διαδοχικές κινήσεις του εδάφους, όπως προκύπτει από τη σύγκριση της μελέτης με την έρευνα.
2. Η επίδραση των διαδοχικών κινήσεων του εδάφους στην ανάπτυξη και κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων παρατηρείται να είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στην περίπτωση μοναδικών σεισμικών γεγονότων.
3. Η τεχνική της δυναμικής ανάλυσης (IDA) επί διαδοχικών κινήσεων του εδάφους παρουσιάζει διαφορετικές απαιτήσεις από αυτές των μοναδικών σεισμικών γεγονότων, και σε ορισμένες περιπτώσεις η κατάρρευση εμφανίζεται μόνο κατά τις διαδοχικές κινήσεις.
4. Οι απαιτήσεις μετατόπισης των δομών φαίνεται να αυξάνονται υπό διαδοχικές κινήσεις του εδάφους, και μπορούν να ελεγχθούν με τη χρήση μειωμένων παραγόντων συμπεριφοράς.

Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες και πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία που προέρχονται από το άρθρο με τίτλο 'Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames Considering Soil-Structure Interaction', της Παναγιώτας Σ. Κατσιμπίνη .

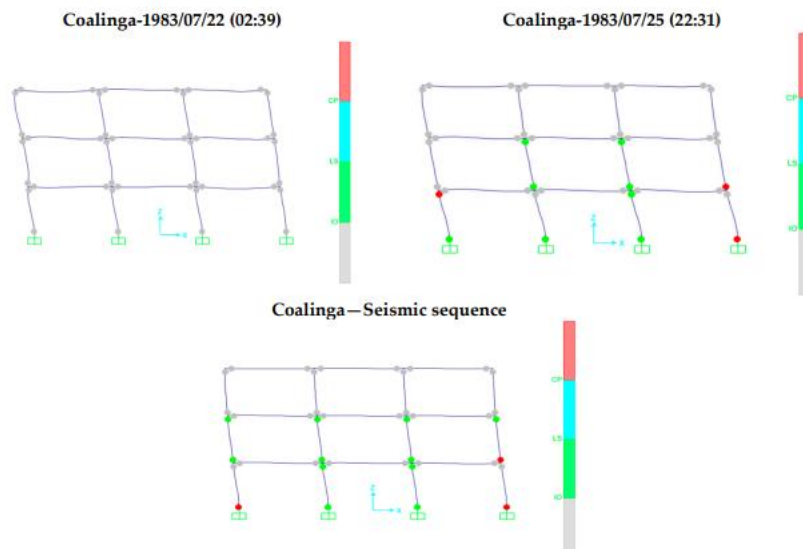


Figure 12. Plastic hinge formation for three-story regular frame under Coalinga earthquakes.

Εικόνα 4.5.3.1 Σχηματισμός των πλαστικών αρθρώσεων του τετραώροφου κανονικού σύμμεικτου πλαισίου. Πηγή Katsimpini, P.S. Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames Considering Soil–Structure Interaction. Buildings 2024, 14, 972. <https://doi.org/10.3390/buildings14040972>

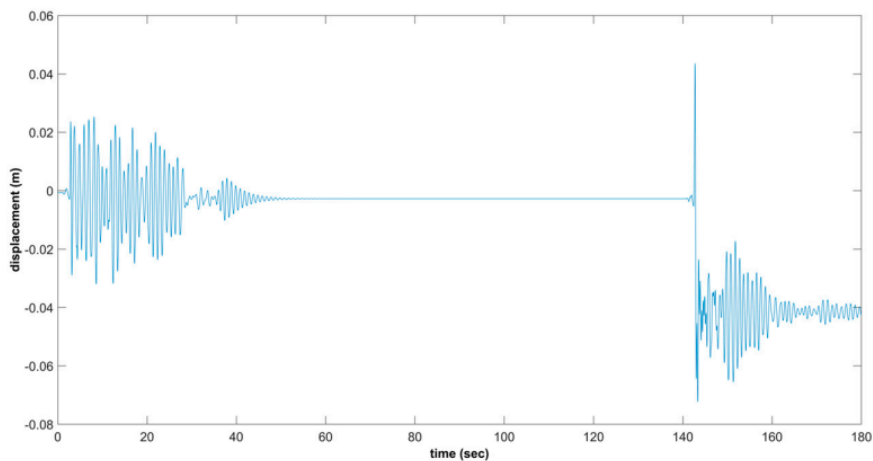


Figure 17. Time-history of horizontal top displacement for four-story regular frame.

Εικόνα 4.5.3.2 Χρονική ιστορία οριζόντιας μετατόπισης της κεντρικής αρθρώσεως στο επάνω μέρος της κατασκευής Πηγή Katsimpini, P.S. Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames Considering Soil–Structure Interaction. Buildings 2024, 14, 972. <https://doi.org/10.3390/buildings14040972>

Από τις εικόνες 4.5.4.1 και 4.5.3.2 είναι εμφανές ότι η κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων για κάθε μοναδικό σεισμικό γεγονός είναι διαφορετική σε σύγκριση με την κατανομή των πλαστικών αρθρώσεων που αντιστοιχεί στην σεισμική ακολουθία.

Η κύρια αιτία για τη χρήση αυτής της μεθόδου είναι η παρατήρηση διότι οι σεισμικές ακολουθίες οδηγούν σε αυξημένες απαιτήσεις μετατόπισης σε σύγκριση με μονά γεγονότα. Αυτή η παράμετρος είναι ζωτικής σημασίας και πρέπει να ληφθεί υπόψη από τις πιο πρόσφατες διατάξεις και κανονισμούς σχετικά με τη σεισμική αντοχή των κατασκευών.

Για την ανάλυση χρόνο ιστοριών σεισμικών γεγονότων, απαιτείται μια κατάλληλη βάση δεδομένων με τις καταγεγραμμένες παραμέτρους των σεισμών, όπως η επιτάχυνση, η ταχύτητα και η μετατόπιση του εδάφους. Κατά τη διαδικασία αυτή, οι σεισμοί μετατρέπονται σε χρόνο ιστορίες διακυμάνσεων των παραμέτρων, και στη συνέχεια εφαρμόζονται στο δομικό μοντέλο για την ανάλυση. Οι αναλύσεις αυτές μπορούν να παράγουν πληροφορίες σχετικά με την απόκριση της κατασκευής σε κάθε σεισμό, όπως οι μέγιστες παραμορφώσεις, οι μέγιστες ταχύτητες και οι μέγιστες επιταχύνσεις που υφίστανται οι κατασκευές κατά το χρόνο.

Κάθε ανάλυση αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο σεισμό και παράγει πληροφορίες για τη συμπεριφορά της κατασκευής σε αυτόν τον σεισμό. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από διαφορετικούς σεισμούς μπορεί να παρέχει εκτίμηση της συνολικής απόκρισης της κατασκευής σε διαδοχικές σεισμικές συνθήκες.

Τα δεδομένα επιτάχυνσης στις περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία προέρχονται από τον Παγκόσμιο Κατάλογο Ισχυρών Κινήσεων του PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center). Τα συγκεκριμένα δεδομένα περιλαμβάνουν τους εξής σεισμούς:

1. Σεισμός Whittier Narrows, 01/10/1987, Σαν Μαρίνο, 360 (Σταθμός CDMG 24401)

HP=0,4 Hz, LP=40,0 Hz

Αριθμός Σημείων: 32400, Διάρκεια Χρόνου: 0,00500 δευτερόλεπτα

2. Σεισμός Mammoth Lakes, 25/05/1980, Ποταμός Καταδίκης, 180 (Σταθμός CDMG 54099)

HP=0,1 Hz, LP=50,0 Hz

Αριθμός Σημείων: 113170, Διάρκεια Χρόνου: 0,00500 δευτερόλεπτα

3. Σεισμός Chalfant, 20/07/1986, Αγρόκτημα Ζακ, 270 (Σταθμός CDMG 54428)

HP=0,11 Hz, LP=40,0 Hz

Αριθμός Σημείων: 35965, Διάρκεια Χρόνου: 0,00500 δευτερόλεπτα

4. Σεισμός Coalinga, 22/07/1983, CHP, 090 (Σταθμός CDMG 46T04)

HP=0,3 Hz, LP=30,0 Hz

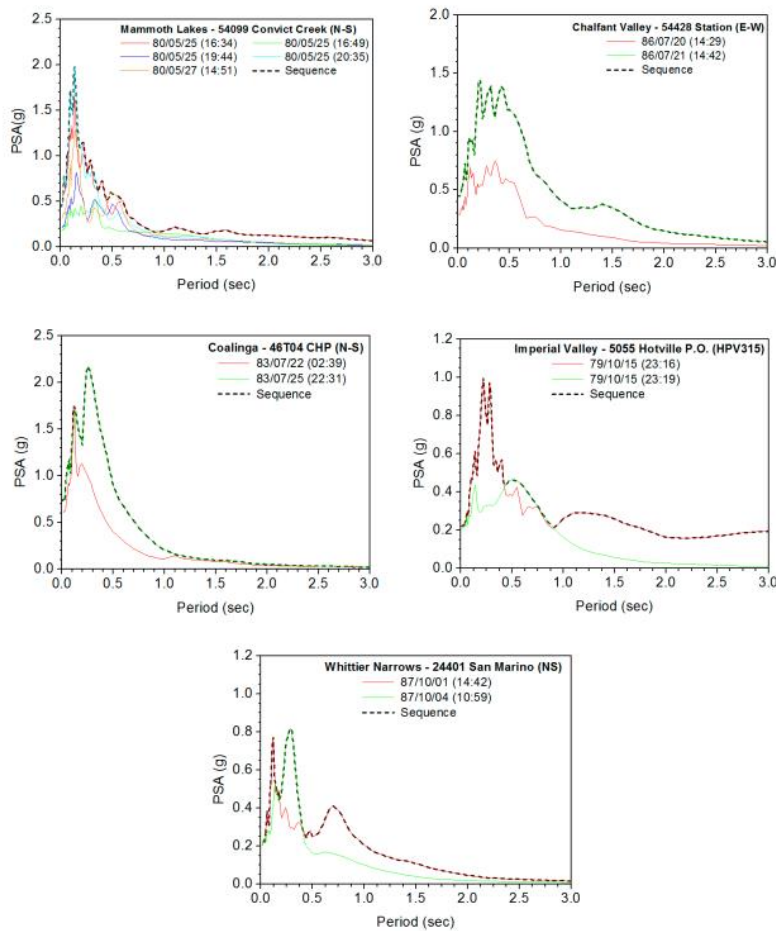
Αριθμός Σημείων: 36000, Διάρκεια Χρόνου: 0,00500 δευτερόλεπτα

5. Σεισμός Imperial Valley, 15/10/1979, Ταχυδρομείο Χόλτβιλ, 315 (Σταθμός USGS 5055)

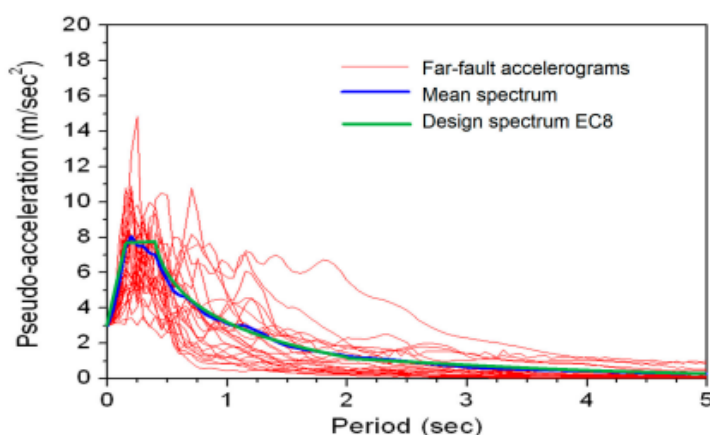
HP=0,1 Hz, LP=40,0 Hz

Αριθμός Σημείων: 31470, Διάρκεια Χρόνου: 0,00500 δευτερόλεπτα

Οι παραπάνω πληροφορίες παρέχονται με επεξεργασία από την Pacific Engineering.



Εικόνα 4.5.3.3 Φασματικές αποκρίσεις των εξεταζόμενων σεισμικών ακολουθιών. Πηγη Katsimpini, P.S. Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames



Εικόνα 4.5.3.4 Φασματικές αποκρίσεις των εξεταζόμενων μοναδικών σεισμών και του φάσματος σχεδιασμού του EC8. Πηγη Katsimpini, P.S. Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames Considering Soil–Structure Interaction. Buildings 2024, 14, 972. <https://doi.org/10.3390/buildings14040972>

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα Αναλύσεων

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις των σεισμικών δεδομένων. Η ανάλυση επικεντρώνεται κυρίως σε δύο βασικές πτυχές: τη φασματική γραμμική ανάλυση και τη μη γραμμική χρόνο ιστορία σεισμικών δεδομένων. Κάθε πτυχή περιλαμβάνει τις μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, και τις ερμηνείες που προκύπτουν από αυτά.

Αρχικά, παρουσιάζεται η φασματική γραμμική ανάλυση, όπου εξετάζονται οι μεθοδολογίες και τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Τα δεδομένα παρουσιάζονται με τρόπο που επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των σεισμικών επιπτώσεων στην κατασκευή.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η μη γραμμική χρόνο ιστορία σεισμικών δεδομένων, περιλαμβάνοντας μεθοδολογίες μη γραμμικής ανάλυσης και την εφαρμογή τους στα δεδομένα. Αναλύονται τα αποτελέσματα και προτείνονται ερμηνείες για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών κατά τους σεισμούς.

5.1 Φασματική Γραμμική Ανάλυση των Σεισμικών Δεδομένων

Η φασματική γραμμική ανάλυση των σεισμικών δεδομένων αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους τρόπους αξιολόγησης της δυναμικής απόκρισης κτιρίων ή άλλων κατασκευών σε σεισμικές δονήσεις. Οι κανονισμοί για τον σχεδιασμό κτιρίων συχνά προτείνουν ή απαιτούν τη χρήση αυτής της τεχνικής για τον υπολογισμό της αντοχής σε σεισμούς και την αξιολόγηση του κινδύνου. Έτσι, η φασματική γραμμική ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο που είναι πολύ σημαντικό για την ασφαλή και αποδοτική σχεδίαση κατασκευών σε περιοχές με σεισμική δραστηριότητα.

5.1.1 Σεισμική Απόκριση Κατασκευών - Ιδιομορφές

Στην δυναμική ανάλυση προσδιορίστηκαν οι ιδιομορφές του κτιρίου με αύξουσα σειρά τιμής ιδιοσυχνότητας. Έγινε παραδοχή ότι οι ιδιομορφικές μάζες είναι συγκεντρωμένες σε κάθε κόμβο δοκού - υποστυλώματος του κτιρίου. Επειδή η χρήση των φασμάτων δίνει μέγιστες τιμές, οι οποίες αφενός δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα και αφετέρου δεν έχουν κατά ανάγκη το ίδιο πρόσημο, τα αποτελέσματα ερμηνεύονται με τη βοήθεια κατάλληλων μεθόδων. Η φασματική ανάλυση εκτελέστηκε σύμφωνα με το φάσμα σχεδιασμού του Ευρωκωδικά 8, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό για την περιοχή μελέτης.

Παρακάτω ακολουθούν οι κυριότερες ιδιομορφές του διωρόφου φορέα.

ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (s)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΜΑΖΑΣ%
1	0,358	2,79	86,87
2	0,112	8,928	13,13

Πίνακας : Ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι διωρόφου.

Παρακάτω ακολουθούν οι κυριότερες ιδιομορφές του τετραωρόφου φορέα.

ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (s)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΜΑΖΑΣ%
1	0,541	1,848	79,92
2	0,153	6,536	12,97
3	0,074	13,513	5,34
4	0,047	21,27	0,17

Πίνακας : Ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι τετραώροφου .

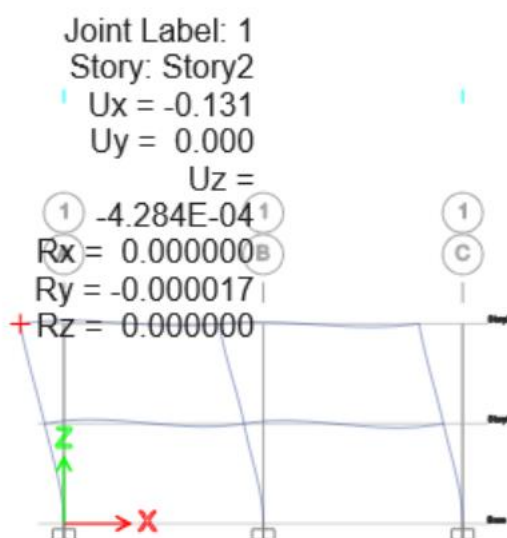
Παρακάτω ακολουθούν οι κυριότερες ιδιομορφές του εξαώροφου φορέα.

ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (s)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΜΑΖΑΣ%
1	0,789	1,26	78,63
2	0,222	4,50	11,60
3	0,110	9,09	4,98
4	0,066	15,15	2,80
5	0,045	22,22	1,50
6	0,036	27,27	0,49

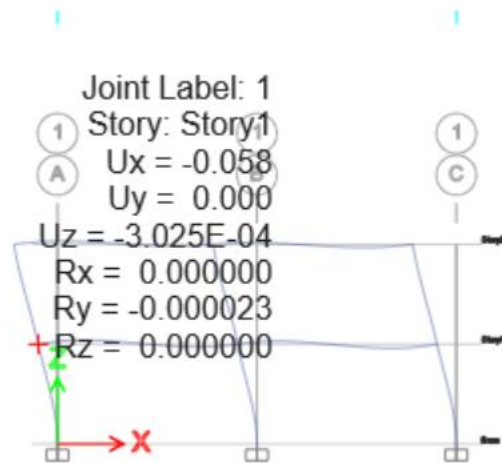
Πίνακας : Ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι εξαώροφου .

5.1.2 Αποτελέσματα Μετακινήσεων και Δυνάμεων

5.1.2.1 Διώροφο Πλαίσιο

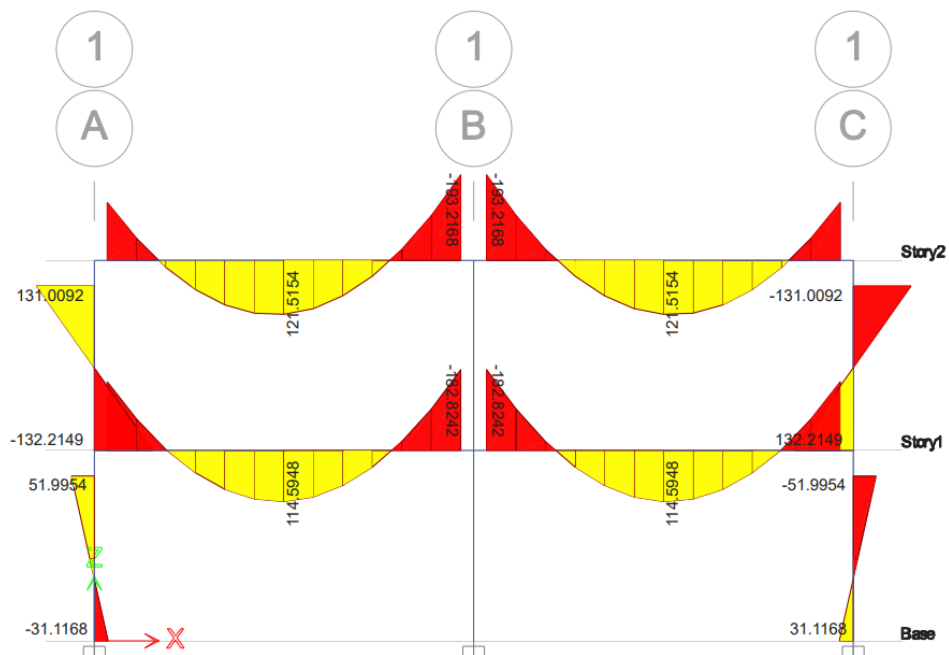


Εικόνα 5.1.2.1 Παραμορφωμένο σχήμα διώροφου φορέα υπό την επιρροή του σεισμικού φορτίου στην κατεύθυνση χ με ετικέτα στον κόμβο 1

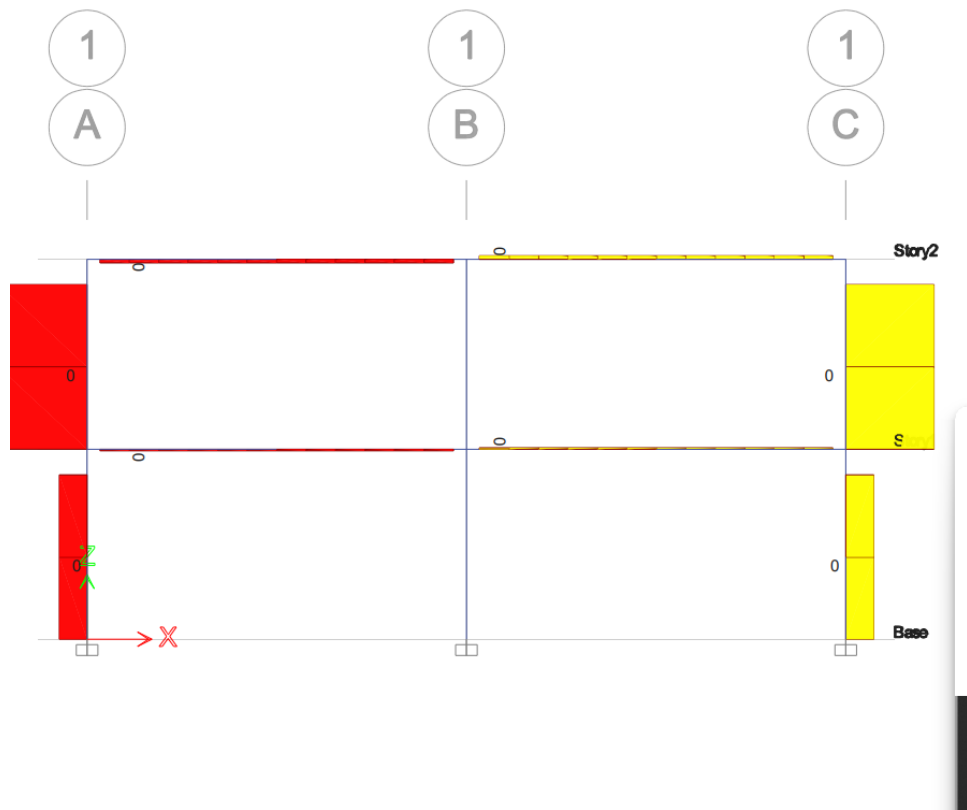


Εικονα 5.1.2.1 Παραμορφωμένο σχήμα δώροφου φορεα υπο την επιρροη του σεισμικου φορτιου στην κατευθηνση χ με ετικετα στον κομβο 2

- Δυνάμεις και Ροπές (Forces and Moments):

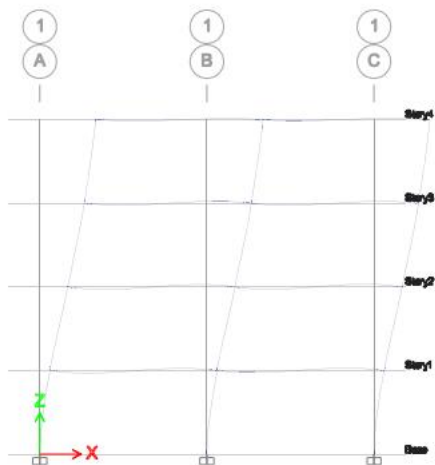


Εικονα 5.1.2.1 Διαγραμμα ροπων



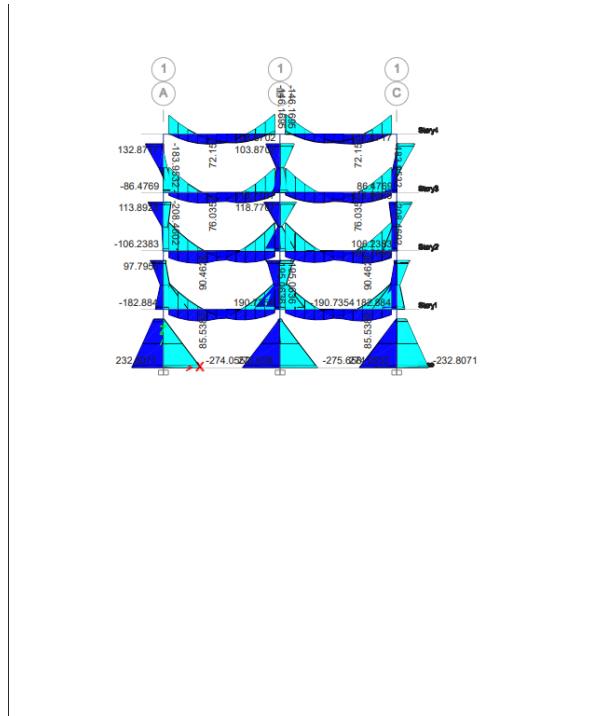
Εικόνα 5.1.2.1 Διαγράμμα Τεμνουσας Δυναμης

5.1.2.2 Τετραώροφο Πλαίσιο

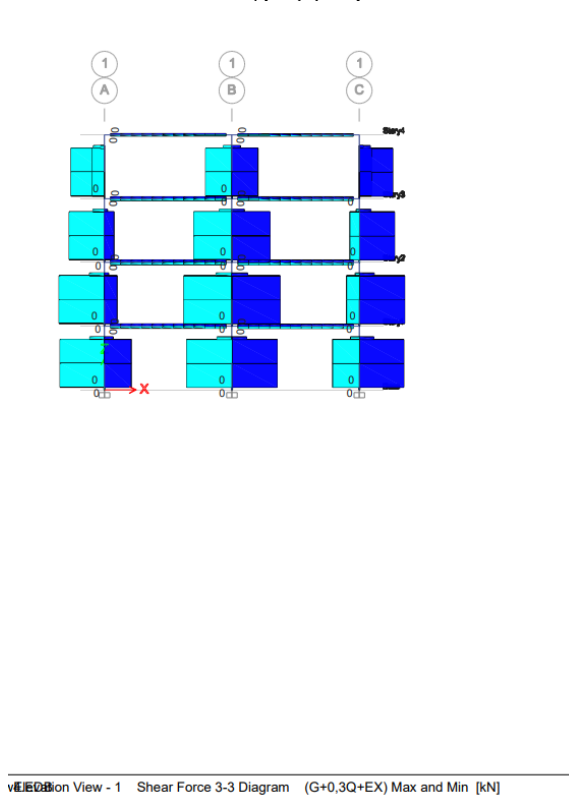


Εικόνα 5.1.2.2 Παραμορφωμενη μορφη πλαισιου

- Δυνάμεις και Ροπές (Forces and Moments):

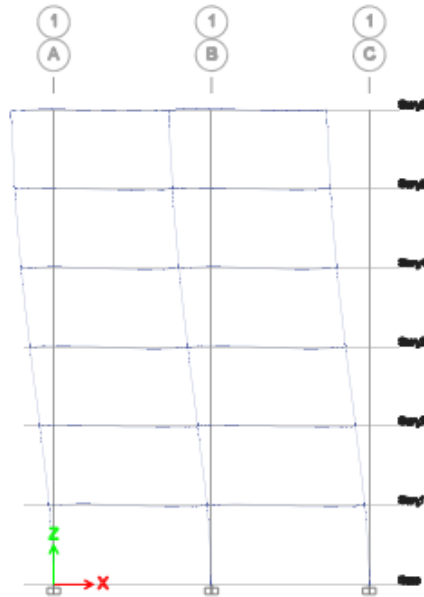


Εικονα 5.1.2.2 Διαγραμμα ροπων



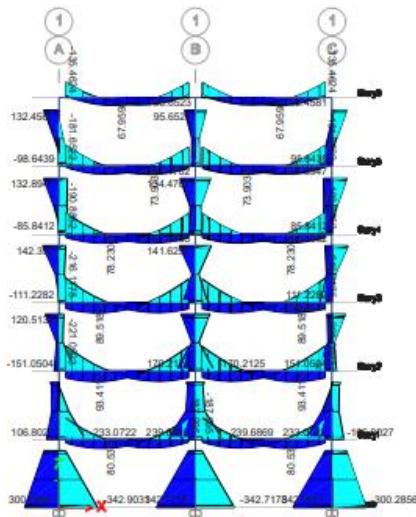
Εικονα 5.1.2.2 Διάγραμμα Τέμνουσας Δύναμης

5.1.2.3 Εξωροφο Πλαίσιο

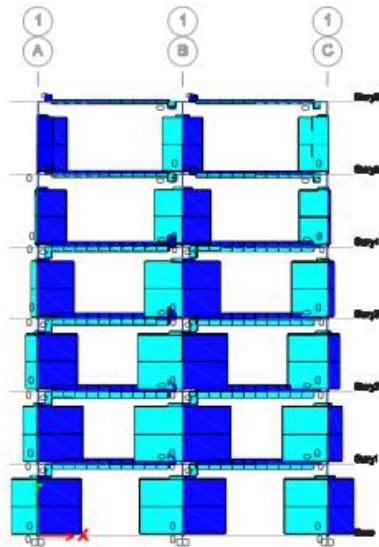


Εικόνα 5.1.2.2 Παραμορφωμένη μορφή πλαισιου

- Δυνάμεις και Ροτές (Forces and Moments):



Εικόνα Διάγραμμα ροπων



Εικόνα Διάγραμμα Τέμνουσας Δύναμης

5.1.3 Συμπεράσματα και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Φασματικής Ανάλυσης

Συμπερασματικά, η φασματική ανάλυση που εκτελέστηκε παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την απόκριση της κατασκευής σε σεισμικά φορτία. Βασικά συμπεράσματα από την ανάλυση περιλαμβάνουν:

Ιδιοπερίοδοι και Ιδιομορφές:

Οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιομορφές που προσδιορίστηκαν υποδεικνύουν τις φυσικές συχνότητες δόνησης της κατασκευής. Οι βασικές ιδιομορφές συνεισφέρουν σημαντικά στην απόκριση της κατασκευής σε σεισμική διέγερση, καθορίζοντας την αρχική συμπεριφορά της.

Κατανομή Μαζών:

Το ποσοστό συμμετοχής της μάζας σε κάθε ιδιομορφή παρέχει πληροφορίες για την κατανομή της δυναμικής ενέργειας της κατασκευής. Η σημαντική συμμετοχή της μάζας στις πρώτες ιδιομορφές είναι κρίσιμη για την ακριβή πρόβλεψη της σεισμικής απόκρισης και για την αναγνώριση των κρίσιμων περιοχών που επηρεάζονται περισσότερο.

Μετακινήσεις και Παραμορφώσεις:

Οι υπολογισμένες μετακινήσεις στους κόμβους δείχνουν τα επίπεδα παραμόρφωσης που μπορεί να αναμένονται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Οι μέγιστες μετακινήσεις

υποδεικνύουν τις πιο ευάλωτες περιοχές της κατασκευής σε ζημιές, βοηθώντας στον εντοπισμό των σημείων που χρήζουν ενίσχυσης.

Απορρόφηση Ενέργειας:

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στις διάφορες δομικές διατάξεις δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής να απορροφά και να διασπείρει τη σεισμική ενέργεια. Η ανάλυση αυτών των δυνάμεων μπορεί να οδηγήσει σε βελτιώσεις του σχεδιασμού για την αύξηση της σεισμικής αντοχής, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα της κατασκευής κατά τη διάρκεια σεισμών.

Συμπεριφορά Κατασκευής:

Τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης παρέχουν μια συνολική εικόνα της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής. Αυτό περιλαμβάνει την απόκριση σε διαφορετικά επίπεδα σεισμικών δυνάμεων και την ικανότητα της κατασκευής να παραμένει λειτουργική μετά από μια σεισμική διέγερση, διατηρώντας την ασφάλεια και τη σταθερότητα της κατασκευής.

Επιβεβαίωση Σχεδιαστικών Αρχών:

Η φασματική ανάλυση επιβεβαιώνει τις σχεδιαστικές παραδοχές και αρχές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον αρχικό σχεδιασμό της κατασκευής. Αυτό είναι κρίσιμο για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους κώδικες και τα πρότυπα σεισμικής αντοχής, επιβεβαιώνοντας την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των εφαρμοσμένων σχεδιαστικών πρακτικών.

5.2 Μη Γραμμική Χρονοιστορία Σεισμικών Δεδομένων: Μοντελοποίηση και Ανάλυση

Κατά την ανάλυση της μη γραμμικής χρονοιστορία σεισμικών δεδομένων, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσω διαγραμμάτων είναι απαραίτητη για την κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής. Τα κυριότερα διαγράμματα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν το διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio), το διάγραμμα RDR (Roof Displacement Ratio) και το διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration). Παρακάτω παρουσιάζονται λίγα λόγια για το καθένα από αυτά:

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio):

Το διάγραμμα IDR απεικονίζει τη σχετική μετακίνηση μεταξύ διαδοχικών ορόφων της κατασκευής κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Το ποσοστό αυτό εκφράζεται συνήθως ως το ποσοστό της μετακίνησης προς το ύψος του ορόφου. Το διάγραμμα αυτό είναι

κρίσιμο για την αξιολόγηση των παραμορφώσεων που υφίστανται οι όροφοι, βοηθώντας στον εντοπισμό περιοχών με πιθανές βλάβες. Τα υψηλά ποσοστά IDR μπορεί να υποδεικνύουν αυξημένο κίνδυνο αστοχίας σε διατμητικά τοιχώματα και συνδέσεις.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio):

Το διάγραμμα RIDR απεικονίζει τη μόνιμη (υπολειπόμενη) σχετική μετακίνηση μεταξύ διαδοχικών ορόφων της κατασκευής μετά το πέρας της σεισμικής διέγερσης. Το ποσοστό αυτό εκφράζεται συνήθως ως το ποσοστό της υπολειπόμενης μετακίνησης προς το ύψος του ορόφου. Το διάγραμμα αυτό είναι κρίσιμο για την αξιολόγηση των μόνιμων παραμορφώσεων που υφίστανται οι όροφοι, καθώς οι μεγάλες υπολειπόμενες μετακινήσεις μπορεί να υποδεικνύουν σοβαρές ζημιές και να απαιτούν άμεση επισκευή ή ενίσχυση.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration):

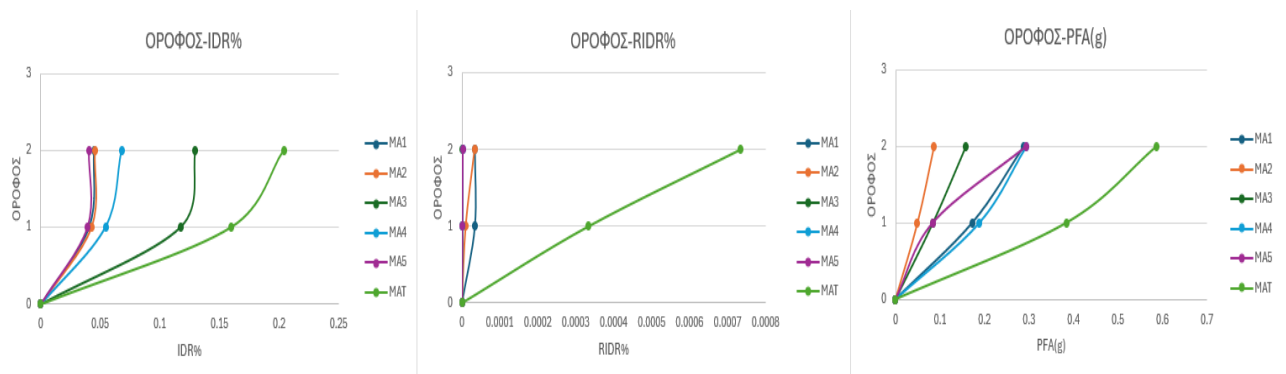
Το διάγραμμα PFA απεικονίζει τις μέγιστες επιταχύνσεις που καταγράφονται σε κάθε όροφο της κατασκευής κατά τη διάρκεια του σεισμού. Οι μέγιστες αυτές επιταχύνσεις είναι ενδεικτικές των δυνάμεων που ασκούνται στις μάζες των ορόφων, επηρεάζοντας την ασφάλεια των ενόικων και την ακεραιότητα των μη δομικών στοιχείων. Το διάγραμμα αυτό βοηθά στην αναγνώριση των ορόφων που μπορεί να παρουσιάσουν τα μεγαλύτερα προβλήματα λόγω σεισμικών επιταχύνσεων.

Η χρήση αυτών των διαγραμμάτων στην ανάλυση σεισμικών δεδομένων προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα της συμπεριφοράς της κατασκευής υπό σεισμική διέγερση, επιτρέποντας την αναγνώριση κρίσιμων περιοχών και την λήψη μέτρων για την ενίσχυση της σεισμικής της αντοχής.

5.2 Αποτελέσματα Μη Γραμμικής Ανάλυσης χρονιστοριων

5.2.1 Διώροφο πλαίσιο

Σεισμός Mammoth Lakes



Στην παρούσα ανάλυση, εξετάσαμε πέντε διαφορετικά σεισμικά φαινόμενα (MA1, MA2, MA3, MA4, MA5) και ένα επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο (MAT) που αποτελείται από τα πέντε αυτά φαινόμενα. Τα διαγράμματα IDR, RIDR και PFA μας επιτρέπουν να αξιολογήσουμε τη συμπεριφορά της κατασκευής υπό τις σεισμικές διεγέρσεις.

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι σεισμοί MA1 έως MA5 δείχνουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.01% και 0.20%.

Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT παρουσιάζει αυξημένες τιμές IDR, με τιμές που φτάνουν μέχρι και το 0.25%, ιδιαίτερα στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σχέση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1 έως MA5 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, μεταξύ 0.0001% και 0.0007%, υποδεικνύοντας μικρές υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT εμφανίζει αυξημένες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, κυρίως στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα :

- Οι σεισμοί MA1 έως MA5 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.1g και 0.4g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT παρουσιάζει τις υψηλότερες επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.7g στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων και ενδεχόμενο κίνδυνο για δομικές και μη δομικές ζημιές.

Συνολικά Συμπεράσματα

Συνδυαστική Δράση Σεισμών: Ο MAT, που αποτελεί συνδυαστική δράση των σεισμών MA1 έως MA5, προκαλεί σημαντικά μεγαλύτερες παραμορφώσεις (IDR), μόνιμες παραμορφώσεις (RIDR) και επιταχύνσεις (PFA) σε σύγκριση με τους μεμονωμένους σεισμούς MA1 έως MA5.

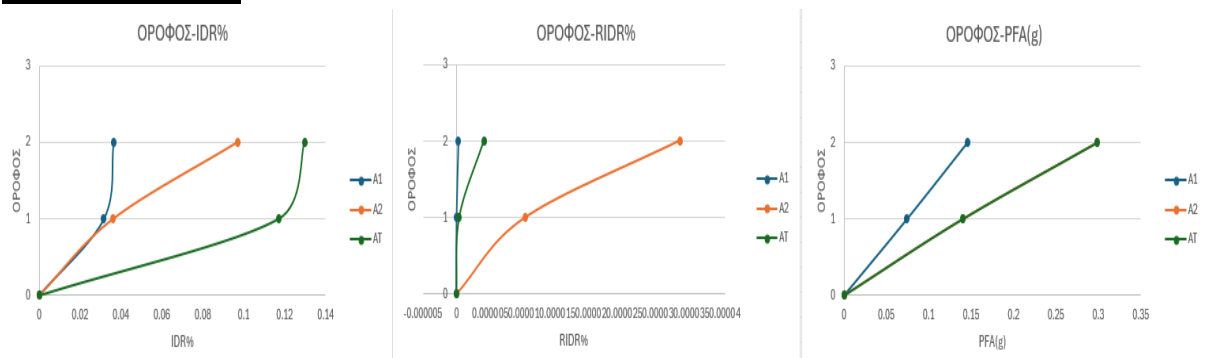
Διαφορές Μεταξύ Ορόφων: Ο πρώτος και δεύτερος όροφος παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες παραμορφώσεις και επιταχύνσεις στο σεισμικό φαινόμενο MAT,

υποδεικνύοντας αυξημένο κίνδυνο για δομικές ζημιές και μη δομικές βλάβες σε αυτά τα επίπεδα.

Μόνιμες Παραμορφώσεις: Οι μόνιμες παραμορφώσεις είναι σημαντικά υψηλότερες κατά τη συνδυαστική δράση των σεισμών (MAT), γεγονός που μπορεί να απαιτεί εκτεταμένες επισκευές.

Ασφάλεια και Επισκευές: Η ανάλυση υποδεικνύει ότι η κατασκευή μπορεί να αντιμετωπίσει μεγαλύτερες παραμορφώσεις και επιταχύνσεις κατά τη διάρκεια ενός συνδυαστικού σεισμικού φαινομένου, αυξάνοντας την ανάγκη για ενίσχυση της δομής και πιθανές επισκευές μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

Σεισμός Chalfant



Στην παρούσα ανάλυση, εξετάσαμε δυο διαφορετικά σεισμικά φαινόμενα (A1, A2) και ένα επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο (AT) που αποτελείται από τα δυο αυτά φαινόμενα. Τα διαγράμματα IDR, RIDR και PFA μας επιτρέπουν να αξιολογήσουμε τη συμπεριφορά της κατασκευής υπό τις σεισμικές διεγέρσεις.

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 δείχνουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.03% και 0.10%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT παρουσιάζει τιμές IDR, με τιμές που φτάνουν μέχρι και το 0.13%, ιδιαίτερα στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σχέση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, μεταξύ 0.000000495% και 0.000033%, υποδεικνύοντας μικρές υπολειπόμενες παραμορφώσεις.

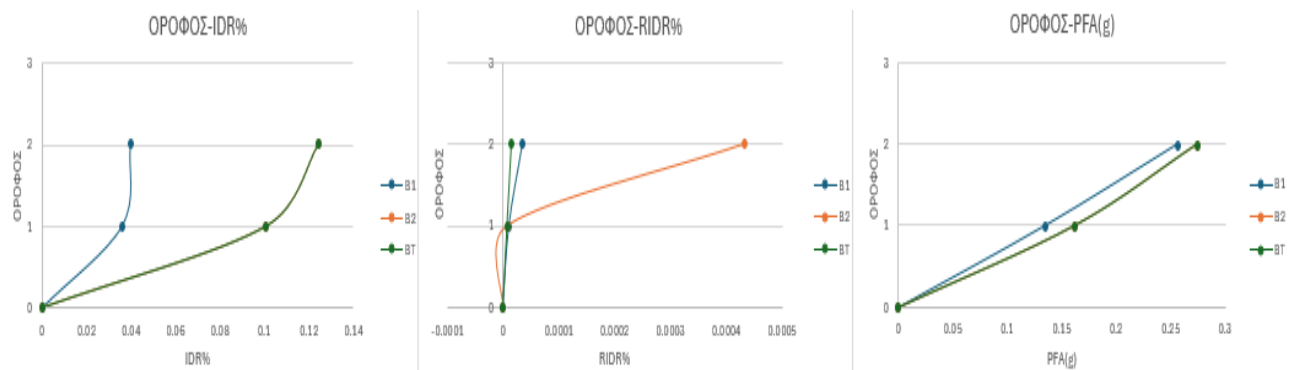
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΑΤ εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, κυρίως στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί Α1 και Α2 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.15g και 0.3g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΑΤ παρουσιάζει τις επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.3g στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων.

Σεισμός Coalinga



Στην παρούσα ανάλυση, εξετάσαμε δυο διαφορετικά σεισμικά φαινόμενα (B1, B2) και ένα επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο (BT) που αποτελείται από τα δυο αυτά φαινόμενα.

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.036% και 0.125%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT, που αποτελείται από τους σεισμούς B1 και B2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.124%, κυρίως στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τους επιμέρους σεισμούς B1 και B2.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 6.88e-06% και 0.0004%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.

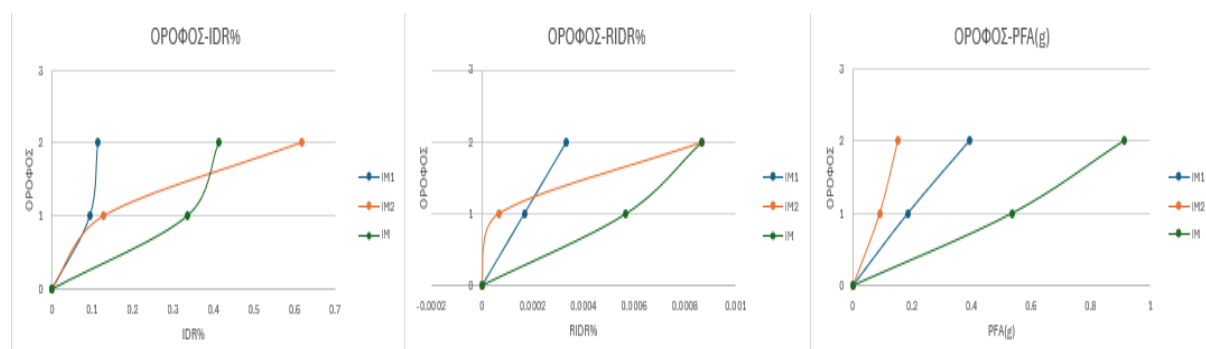
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΒΤ εμφανίζει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.000433% στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας πιθανή ανάγκη για επισκευές ή ενισχύσεις μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί Β1 και Β2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.161g και 0.256g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΒΤ παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.2747g στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμος Imperial Valley



Στην παρούσα ανάλυση, εξετάσαμε δυο διαφορετικά σεισμικά φαινόμενα IM1, IM2) και ένα επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο (IM) που αποτελείται από τα δυο αυτά φαινόμενα.

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.0933% και 0.6179%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM, που αποτελείται από τους σεισμούς IM1 και IM2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.4117%, κυρίως στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τους επιμέρους σεισμούς IM1 και IM2.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

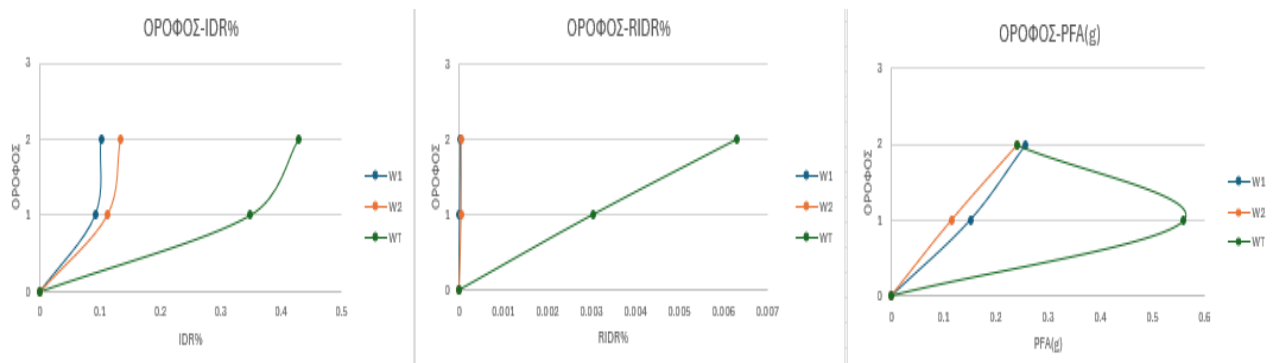
- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ $6.66667E-05\%$ και 0.000866667% , υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM εμφανίζει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.000866667% στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας πιθανή ανάγκη για επισκευές ή ενισχύσεις μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ $0.0909g$ και $0.3929g$, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως $0.9109g$ στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμός Whittier Narrows



Στην παρούσα ανάλυση, εξετάσαμε δυο διαφορετικά σεισμικά φαινόμενα (W1, W2) και ένα επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο (WT) που αποτελείται από τα δυο αυτά φαινόμενα.

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.0916% και 0.1334% .
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.4292% , κυρίως στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τους επιμέρους σεισμούς W1 και W2.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ $2.46E-06\%$ και $3.33333E-05\%$, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT εμφανίζει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.0063% στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας πιθανή ανάγκη για επισκευές ή ενισχύσεις μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

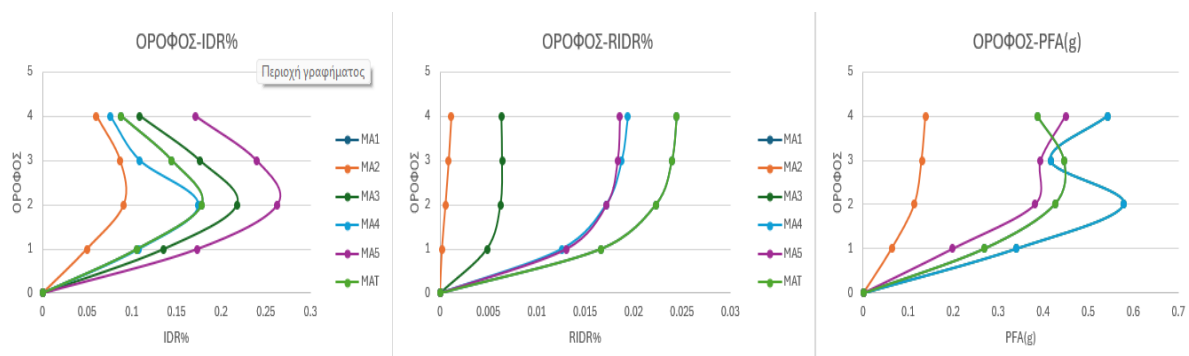
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ $0.1141g$ και $0.2569g$, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως $0.5588g$ στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

5.2.2 Τετραώροφο πλαίσιο

Σεισμός Mammoth Lakes



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.0496% και 0.2628% .

- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5, εμφανίζει τιμές IDR μέχρι και το 0.2628%, ιδιαίτερα στον τρίτο και τέταρτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

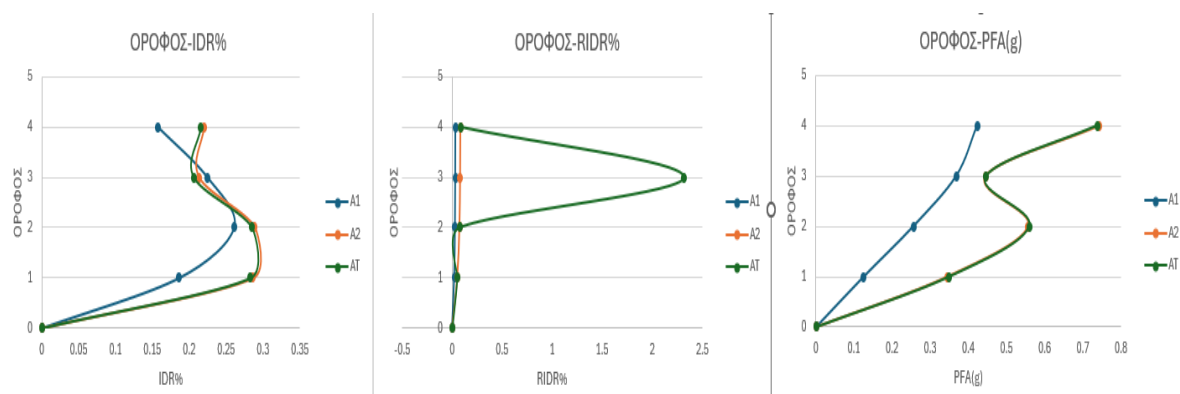
- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν τιμές RIDR που κυμαίνονται από 0.0002% έως 0.0244%, υποδεικνύοντας μικρές έως μέτριες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT εμφανίζει τιμές RIDR μέχρι και το 0.0244%, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις, ιδιαίτερα στους υψηλότερους ορόφους.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.06297g και 0.5788g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον δεύτερο και τρίτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT παρουσιάζει επιταχύνσεις μέχρι και 0.5788g, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμός Chalfant



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 δείχνουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.18% και 0.28%.

- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΑΤ παρουσιάζει τιμές IDR, με τιμές που φτάνουν μέχρι και το 0.28%, ιδιαίτερα στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σχέση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

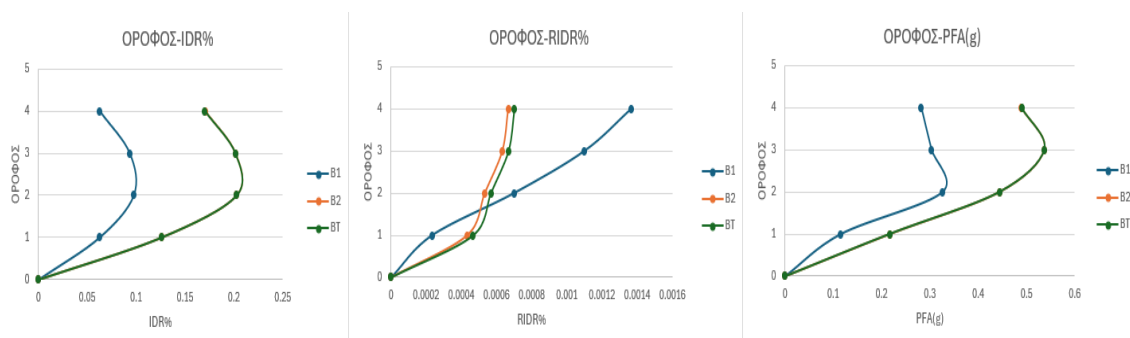
- Οι σεισμοί Α1 και Α2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, μεταξύ 0.020% και 0.05%, υποδεικνύοντας μικρές υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΑΤ εμφανίζει και αυτό μικρές έως μετριες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί Α1 και Α2 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.1g και 0.34g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΑΤ παρουσιάζει τις επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.73g στον τέταρτο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων.

Σεισμός Coalinga



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί Β1 και Β2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.06% και 0.12%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΒΤ, που αποτελείται από τους σεισμούς Β1 και Β2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.20%, κυρίως στον τρίτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τους επιμέρους σεισμούς Β1 και Β2.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.000233333% και 0.0013%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, κυρίως στον τέταρτο όροφο, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις.

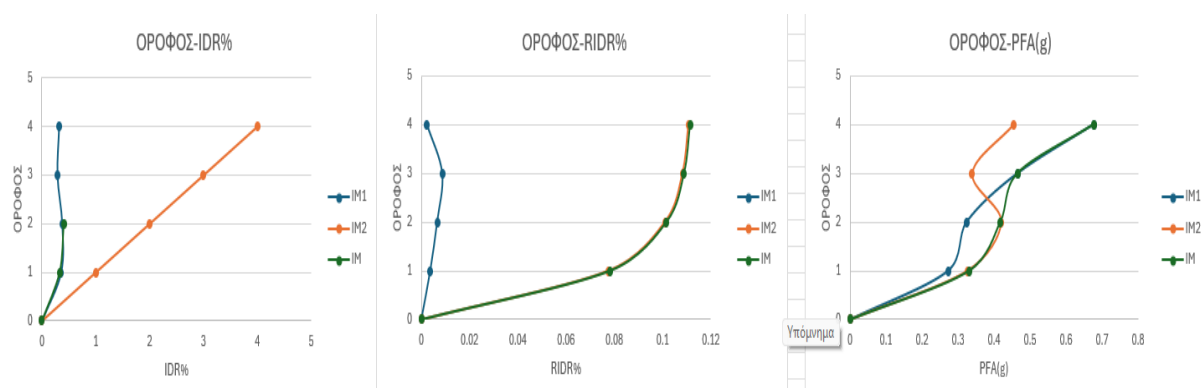
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

Οι σεισμοί B1 και B2 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.115657492g και 0.217025484g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον τρίτο όροφο.

Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT παρουσιάζει τις επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.216343527g στον τρίτο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων.

Σεισμος Imperial Valley



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.35% έως 0.43%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM, που αποτελείται από τους σεισμούς IM1 και IM2, εμφανίζει τιμές IDR έως και το 0.43%, κυρίως στον δεύτερο όροφο. Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

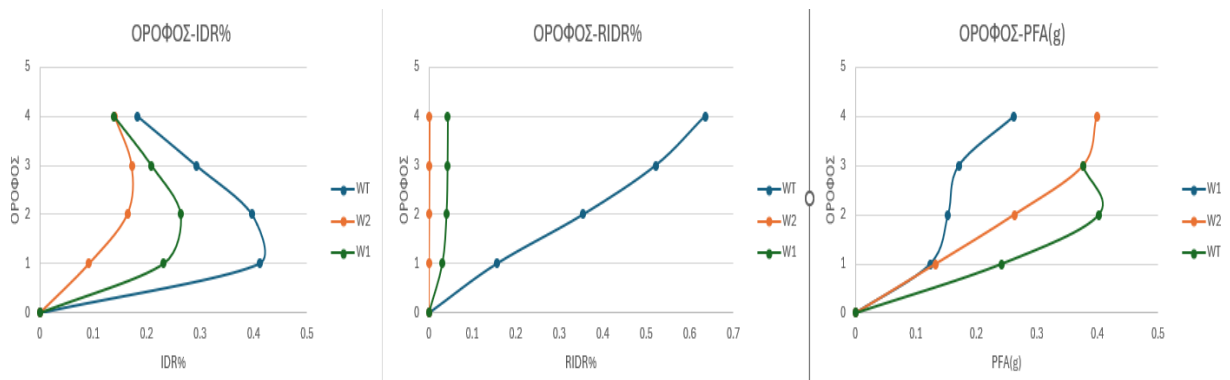
- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.008% και 0.11%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.111% στον τέταρτο όροφο, υποδεικνύοντας πιθανή ανάγκη για επισκευές ή ενισχύσεις μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.27g έως και 0.67g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον τέταρτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.677g στον τέταρτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμός Whittier Narrows



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.0923% έως και 0.264%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.4109%, κυρίως στον πρώτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τους επιμέρους σεισμούς W1 και W2.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.0002% και 0.434%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT εμφανίζει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.635% στον τέταρτο όροφο, υποδεικνύοντας πιθανή ανάγκη για επισκευές ή ενισχύσεις μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

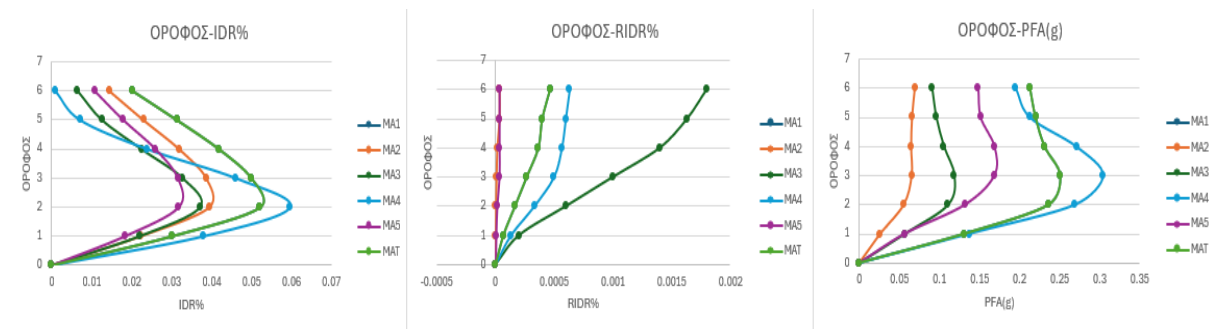
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.13g και 0.39g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον τέταρτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.411g στον τέταρτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

5.2.3 Εξαώροφο πλαίσιο

Σεισμός Mammoth Lakes



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.01% και 0.07%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5, εμφανίζει τιμές IDR μέχρι και το 0.07%, ιδιαίτερα στους χαμηλότερους ορόφους. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

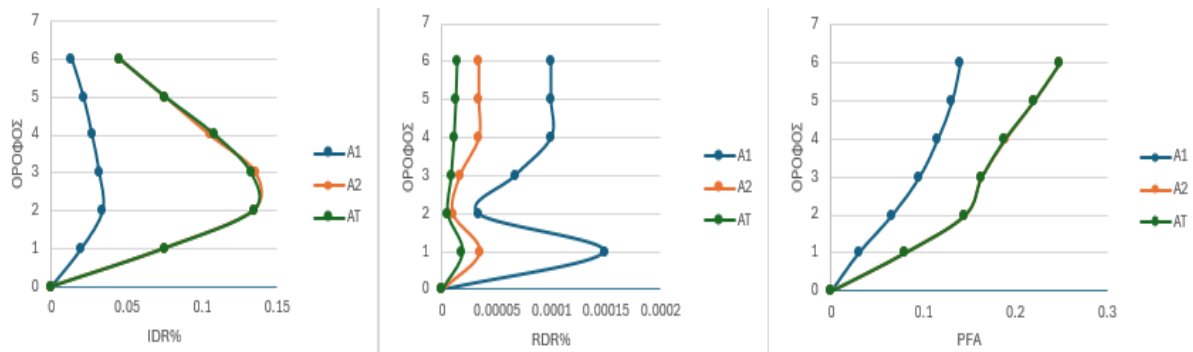
- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν τιμές RIDR που κυμαίνονται από 0.0005% έως 0.002%, υποδεικνύοντας μικρές έως μέτριες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT εμφανίζει τιμές RIDR μέχρι και το 0.002%, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις, ιδιαίτερα στους υψηλότερους ορόφους.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.05g και 0.35g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στους χαμηλότερους ορόφους.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT παρουσιάζει επιταχύνσεις μέχρι και 0.35g, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμός Chalfant



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 δείχνουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.03% και 0.10%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT παρουσιάζει τιμές IDR μέχρι και το 0.13%, ιδιαίτερα στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σχέση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

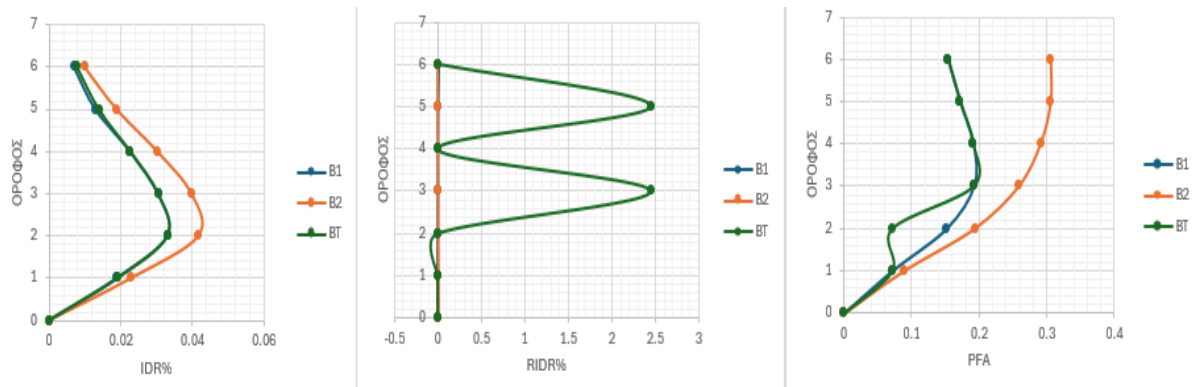
- Οι σεισμοί A1 και A2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, μεταξύ 0.000000495% και 0.000033%, υποδεικνύοντας μικρές υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, κυρίως στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.15g και 0.3g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT παρουσιάζει τις επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.3g στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων.

Σεισμός Coalinga



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 παρουσιάζουν παραμορφώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.01% και 0.03%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT δείχνει μεγαλύτερες τιμές IDR, που φτάνουν έως και το 0.06%, με τις μεγαλύτερες παραμορφώσεις να παρατηρούνται κυρίως στους υψηλότερους ορόφους.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 δείχνουν σχετικά χαμηλές τιμές RIDR, υποδεικνύοντας ότι οι υπολειπόμενες παραμορφώσεις είναι μικρές.

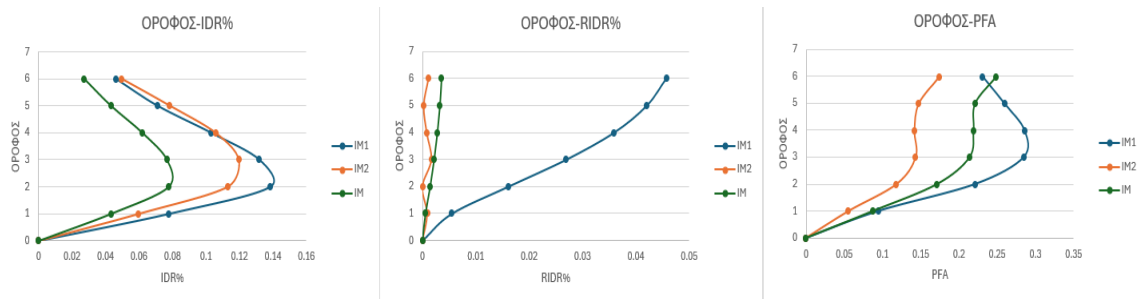
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΒΤ παρουσιάζει σημαντικά αυξημένες τιμές RIDR σε όλους τους ορόφους, γεγονός που υποδεικνύει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις και πιθανές ανάγκες για επισκευές.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί Β1 και Β2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται από 0.05g έως 0.2g.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΒΤ παρουσιάζει μεγαλύτερες επιταχύνσεις, φτάνοντας έως και 0.3g, ειδικά στους υψηλότερους ορόφους.

Σεισμος Imperial Valley



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.12% έως 0.14%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM, που αποτελείται από τους σεισμούς IM1 και IM2, εμφανίζει τιμές IDR έως και το 0.007 %, κυρίως στον δεύτερο όροφο.

- Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

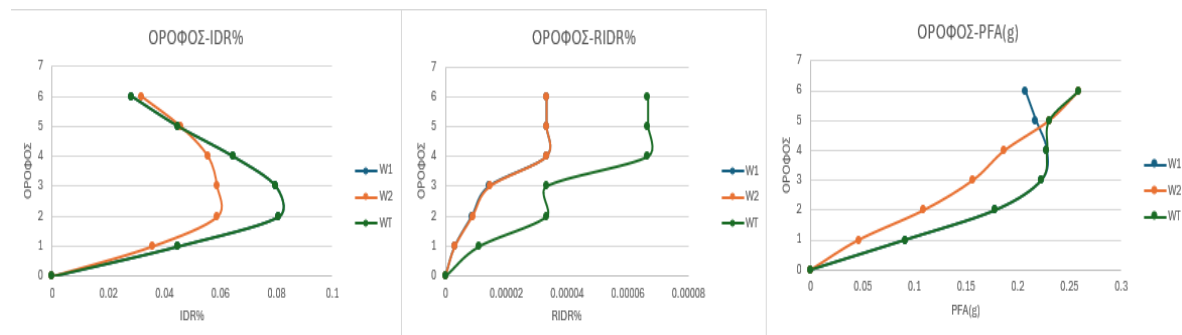
- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.001% και 0.04%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.003% στον εκτο όροφο.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.17g έως και 0.28g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον τρίτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.24g στον έκτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμός Whittier Narrows



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.045% έως και 0.08%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.08%, κυρίως στον δεύτερο όροφο.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.000003% και 0.000003%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT εμφανίζει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.000066% στον έκτο όροφο.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.04g και 0.25g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον έκτο όροφο.

- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.26g στον έκτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Κεφάλαιο 6 Πρόσθετη Μέθοδος Αλληλεπίδραση Κατασκευής-Εδάφους

6.1 Θεωρία και Παραδοχές

Η πρόσθετη μέθοδος ανάλυσης με τη χρήση ελατηρίων αποτελεί μια προοδευτική τεχνική για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του εδάφους και της κατασκευής. Αυτή η μέθοδος παρέχει μια ακριβέστερη εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής υπό διάφορες φορτίσεις, εξασφαλίζοντας την αντοχή και τη σταθερότητα του κτιρίου. Με την ενσωμάτωση των ελατηρίων, επιτυγχάνεται η απορρόφηση των δυνάμεων και η μείωση των παραμορφώσεων, καθιστώντας την κατασκευή πιο ανθεκτική σε σεισμικά και άλλα δυναμικά φορτία.

Σύμφωνα με τη μελέτη *Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames Considering Soil–Structure Interaction* Panagiota S. Katsimpini (2024), η σεισμική απόκριση των μεικτών κατασκευών από σκυρόδεμα και χάλυβα παρουσιάζει διάφορες προκλήσεις λόγω των διαφορετικών δυναμικών χαρακτηριστικών των δύο υλικών. Η διαφορά στις ιδιότητες απόσβεσης και στη συμπεριφορά υστέρησης καθιστούν δύσκολη την σχεδίαση και ανάλυση αυτών των κατασκευών με βάση τους παραδοσιακούς κώδικες σεισμικού σχεδιασμού, οι οποίοι συχνά αγνοούν την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (SSI).

Τα πρόσφατα δεδομένα δείχνουν ότι οι κατασκευές που εδράζονται σε άκαμπτο έδαφος έχουν διαφορετική σεισμική συμπεριφορά από εκείνες που εδράζονται σε εύκαμπτο έδαφος. Η ευκαμψία του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες παραμορφώσεις, ενώ η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής γενικά οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές του λόγου παραμόρφωσης ορόφου (IDR), της μέγιστης οριζόντιας μετατόπισης και της επιτάχυνσης σε σύγκριση με τις περιπτώσεις υποθέσεων άκαμπτου εδάφους.

Επιπλέον, η μελέτη των μεικτών κατασκευών υπό σεισμικές ακολουθίες, οι οποίες περιλαμβάνουν κύρια σεισμικά γεγονότα και μετασεισμούς, αποκαλύπτει ότι οι ακολουθίες αυτές αυξάνουν τις απαιτήσεις μετατόπισης και επηρεάζουν τις μόνιμες παραμορφώσεις. Αυτά τα φαινόμενα παρατηρούνται τόσο σε περιπτώσεις άκαμπτου όσο και εύκαμπτου εδάφους, καθώς και σε κανονικά και ακανόνιστα πλαίσια.

Η χρήση ελατηρίων στην ανάλυση αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής συμβάλλει στην ακριβέστερη προσομοίωση των δυναμικών χαρακτηριστικών του συστήματος και στην εκτίμηση των επιπτώσεων της εδαφικής ευκαμψίας στις παραμορφώσεις και τις δυνάμεις της κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί σε μεικτές κατασκευές από σκυρόδεμα και χάλυβα, όπου οι διαφορές στις δυναμικές αποκρίσεις των δύο υλικών απαιτούν ειδική μεταχείριση για την εξασφάλιση της ασφάλειας και της λειτουργικότητας των κτιρίων.

Με την εφαρμογή της πρόσθετης μεθόδου ανάλυσης με ελατήρια, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους και να ενσωματώσουν πιο ρεαλιστικές παραδοχές για την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής στις διαδικασίες σχεδιασμού και ανάλυσης σεισμικών φορτίων.

Παραδοχές:

- **Γραμμική Ελαστικότητα:** Τα ελατήρια θεωρούνται γραμμικά ελαστικά, εκτός αν υπάρχει συγκεκριμένη ανάγκη για μη γραμμική ανάλυση. Η γραμμικότητα βοηθά στην απλοποίηση των υπολογισμών και στη διατήρηση της ευστάθειας του μοντέλου.
- **Ομοιογένεια Εδάφους:** Το έδαφος θεωρείται ομοιογενές και ιστροπικό, χωρίς σημαντικές διαφοροποιήσεις στις μηχανικές του ιδιότητες.
- **Μικρές Μετατοπίσεις:** Οι μετατοπίσεις των σημείων σύνδεσης ελατηρίων θεωρούνται μικρές, ώστε να μην επηρεάζουν σημαντικά τη γεωμετρία του συστήματος.
- **Συνεργασία Εδάφους-Κατασκευής:** Υποτίθεται ότι υπάρχει τέλεια συνεργασία μεταξύ του εδάφους και της κατασκευής, δηλαδή δεν υπάρχει ολίσθηση ή αποκόλληση στη επιφάνεια.

Σταθερές Ελατηρίων και Γεωτεχνικές Παράμετροι

Για τον υπολογισμό των σταθερών ελατηρίων του συστήματος, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω γεωτεχνικές και γεωμετρικές παράμετροι:

1. Διώροφο πλαίσιο

Για τον υπολογισμό των σταθερών ελατηρίων του συστήματος, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω γεωτεχνικές και γεωμετρικές παράμετροι:

Ύψος θεμελίου (h): 0.6 m

Πλάτος (A): 1.5 m

Μήκος (B): 1.5 m

Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (vs): 270 m/sec

Πυκνότητα εδάφους (ρ): 1900 kg/m³

Λόγος Poisson (ν): 0.3

Συντελεστής (coeff): 0.50 (σύμφωνα με το EC8 Παράρτημα 5, Πίνακας 4.1)

Από τις παραπάνω παραμέτρους, υπολογίζονται οι ακόλουθες σταθερές:

Τέμνων μέτρο του εδάφους (G): 138,510,000 N/m²

Αποτελεσματική διάμετρος θεμελίου (D): 0.75 m

Αποτελεσματικό τέμνων μέτρο (Geff): 69,255,000 N/m²

Αποτελεσματική ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (v_{sef}): 190.92 m/sec

Σταθερές Ελατηρίων

Κάθετη σταθερά (K_{ver}): 348,748,392.86 N/m

Οριζόντια σταθερά (K_{hor}): 281,093,823.53 N/m

Σταθερά περιστροφής (K_{rock}): 166,954,017.86 N·m/rad

Σταθερά στρέψης (K_{tor}): 242,792,880.47 N·m/rad

Σταθερές Απόσβεσης

Κάθετη απόσβεση (C_{ver}): 1,096,010.46 Ns/m

Οριζόντια απόσβεση (C_{hor}): 179,991.25 Ns/m

Απόσβεση περιστροφής (C_{rock}): 393,514.39 Ns/rad

Απόσβεση στρέψης (C_{tor}): 121,130.13 Ns/rad

2. Τετραώροφο πλαίσιο

Ύψος θεμελίου (h): 0.8 m

Πλάτος (A): 1.75 m

Μήκος (B): 1.75 m

Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (v_s): 270 m/sec

Πυκνότητα εδάφους (ρ): 1900 kg/m³

Συντελεστής (coeff): 0.50 (σύμφωνα με το EC8 Παράρτημα 5, Πίνακας 4.1)

Από τις παραπάνω παραμέτρους, υπολογίζονται οι ακόλουθες σταθερές:

Τέμνων μέτρο του εδάφους (G): 138,510,000 N/m²

Αποτελεσματική διάμετρος θεμελίου (D): 0.875 m

Αποτελεσματικό τέμνων μέτρο (Geff): 69,255,000 N/m²

Αποτελεσματική ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (v_{sef}): 190.92 m/sec

- Σταθερές Ελατηρίων

Κάθετη σταθερά (K_{ver}): 406,873,125 N/m

Οριζόντια σταθερά (K_{hor}): 327,942,794.12 N/m

Σταθερά περιστροφής (K_{rock}): 265,116,796.88 N·m/rad

Σταθερά στρέψης (K_{tor}): 385,546,101.86 N·m/rad

Σταθερές Απόσβεσης

Κάθετη απόσβεση (C_{ver}): 1,491,792.02 Ns/m

Οριζόντια απόσβεση (C_{hor}): 244,988.10 Ns/m

Απόσβεση περιστροφής (C_{rock}): 729,033.99 Ns/rad

Απόσβεση στρέψης (C_{tor}): 224,408.51 Ns/rad

3. Εξαώροφο πλαίσιο

Για τον υπολογισμό των σταθερών ελατηρίων του συστήματος, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω γεωτεχνικές και γεωμετρικές παράμετροι:

Ύψος θεμελίου (h): 1 m

Πλάτος (A): 2 m

Μήκος (B): 2 m

Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (v_s): 270 m/sec

Πυκνότητα εδάφους (ρ): 1900 kg/m³

Λόγος Poisson (ν): 0.3

Συντελεστής (coeff): 0.50 (σύμφωνα με το EC8 Παράρτημα 5, Πίνακας 4.1)

Από τις παραπάνω παραμέτρους, υπολογίζονται οι ακόλουθες σταθερές:

Τέμνων μέτρο του εδάφους (G): 138,510,000 N/m²

Αποτελεσματική διάμετρος θεμελίου (D): 1.0 m

Αποτελεσματικό τέμνων μέτρο (G_{eff}): 69,255,000 N/m²

Αποτελεσματική ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων (v_{sef}): 190.92 m/sec

- Σταθερές Ελατηρίων

Κάθετη σταθερά (K_{ver}): 464,997,857.14 N/m

Οριζόντια σταθερά (K_{hor}): 374,791,764.71 N/m

Σταθερά περιστροφής (Krock): 395,742,857.14 N·m/rad

Σταθερά στρέψης (Ktor): 575,509,050.00 N·m/rad

Σταθερές Απόσβεσης

Κάθετη απόσβεση (Cver): 1,948,463.04 Ns/m

Οριζόντια απόσβεση (Chor): 319,984.45 Ns/m

Απόσβεση περιστροφής (Crock): 1,243,699.81 Ns/rad

Απόσβεση στρέψης (Ctor): 382,831.01 Ns/rad

Οι παραπάνω σταθερές υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις γνωστές γεωτεχνικές εξισώσεις και τις παραμέτρους του εδάφους και της θεμελίωσης.

$G = r \times (vs^2)\%$ shear modulus of soil

$$D = \sqrt{\left(\frac{BxA}{4}\right)}$$

$$D = \sqrt{(Gxcoeff)}$$

$$Kver=4.7xGeffxD/(1-v)$$

$$Khor=9.2xGeffxD/(2-v)$$

$$Krock=(4xGeffxD^3)/(1-v)$$

$$Ktor=8.31xGeffxD^3$$

$$Cver=0.8xDxKver/vsef$$

$$Chor=0.163xDxKhor/vsef$$

$$Crock=0.6xDxKrock/vsef$$

$$Ctor=0.127xDxKtor/vse$$

6.2 Φασματική Γραμμική Ανάλυση των Σεισμικών Δεδομένων

6.2.1 Σεισμική Απόκριση Κατασκευών - Ιδιομορφές

Παρακάτω ακολουθούν οι κυριότερες ιδιομορφές του διωρόφου φορέα.

ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (s)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΜΑΖΑΣ%
1	0,406	2,46	92,26
2	0,122	8,122	7,74

Πίνακας : Ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι διωρόφου.

Παρακάτω ακολουθούν οι κυριότερες ιδιομορφές του τετραωρόφου φορέα.

ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (s)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΜΑΖΑΣ%
1	0,586	1,707	83,74
2	0,159	6,289	11,75
3	0,072	13,965	2,91
4	0,041	23,243	0,52

Πίνακας : Ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι τετραωρόφου .

Παρακάτω ακολουθούν οι κυριότερες ιδιομορφές του εξαώροφου φορέα.

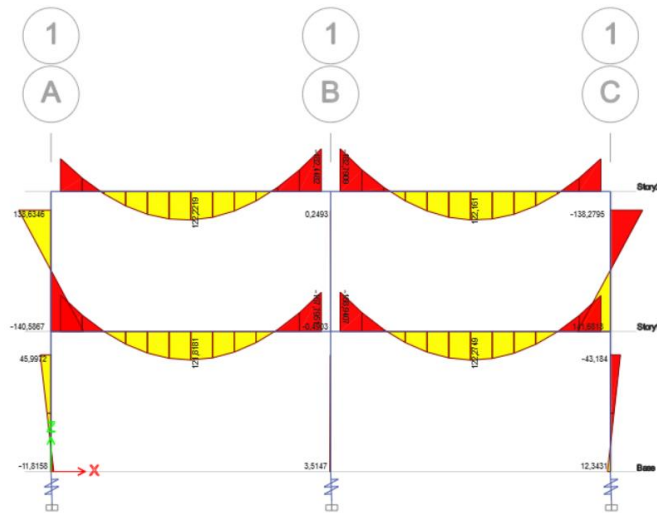
ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (s)	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΜΑΖΑΣ%
1	0,890	1,124	82,62
2	0,248	4,028	11,17
3	0,122	8,183	3,56
4	0,073	13,756	1,39
5	0,048	20,722	0,46
6	0,036	27,411	0,09

Πίνακας : Ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι εξάρωρου .

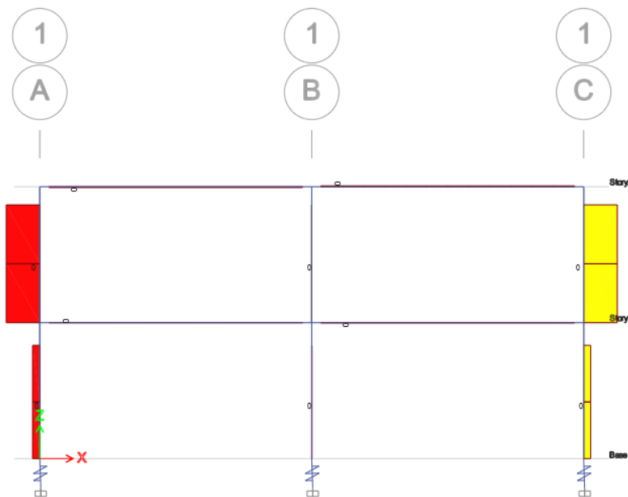
6.1.2 Αποτελέσματα Μετακινήσεων και Δυνάμεων

6.1.2.1 Διώροφο Πλαίσιο

- Ροπές και δυνάμεις



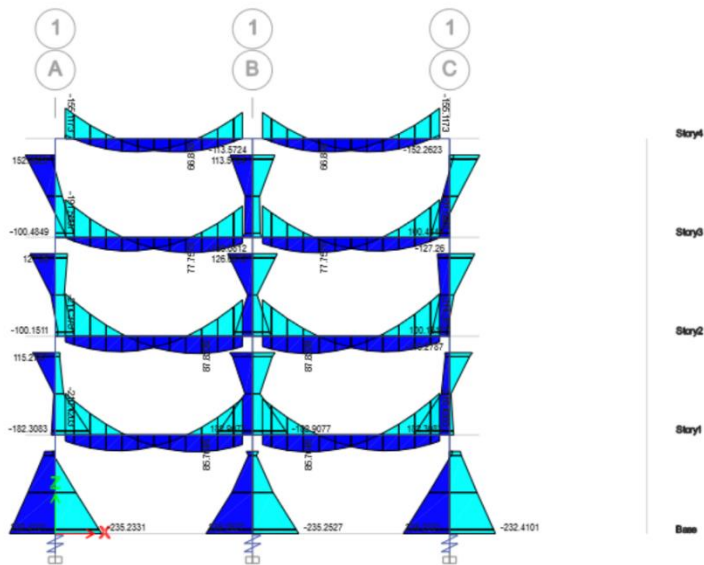
Εικόνα: Διάγραμμα Ροπών



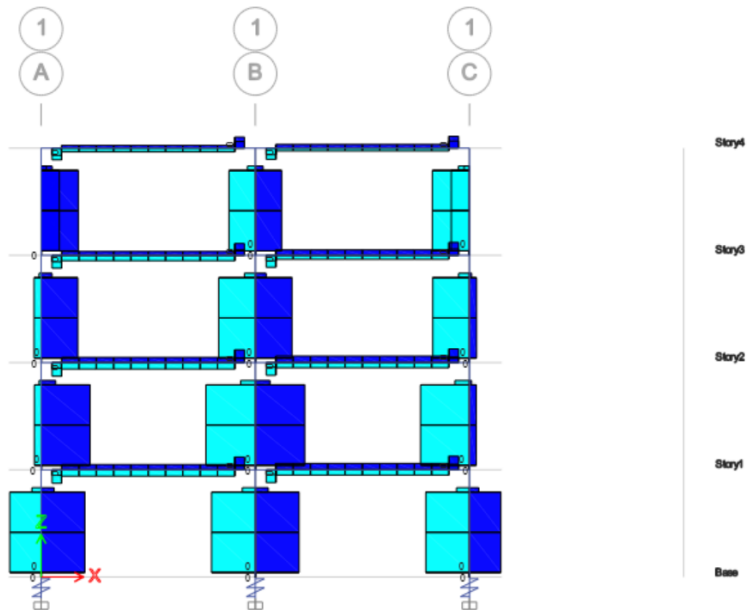
Εικόνα: Διάγραμμα Τέμνουσας Δύναμης

6.1.2.2 Τετράροφο Πλαίσιο

- Ροπές και δυνάμεις



Εικόνα: Διάγραμμα Ροπών

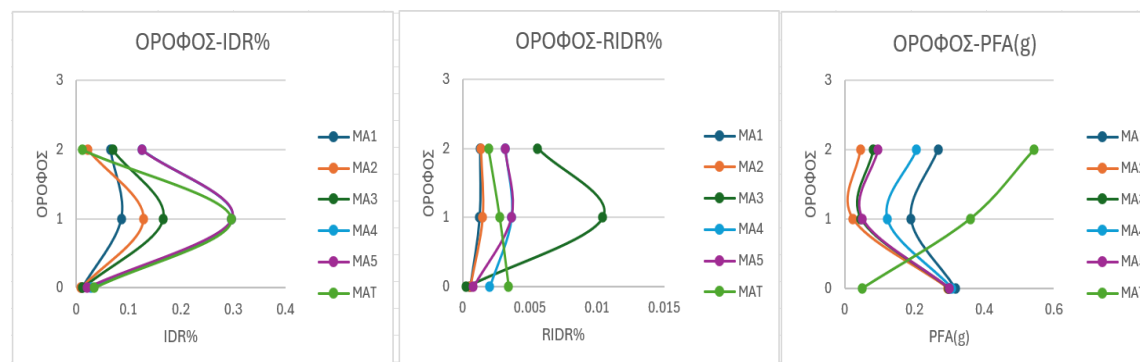


Εικόνα: Διάγραμμα Τέμνουσας Δύναμης

6.2 Μη Γραμμική Χρονοιστορία Σεισμικών Δεδομένων: Μοντελοποίηση και Ανάλυση

6.2.1 Διώροφο Πλαίσιο

Σεισμός Mammoth lakes



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.0119% έως 0.29%.

Ο σεισμός MAT προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, αλλά επίσης έχει τις υψηλότερες τιμές και στον δεύτερο όροφο.

Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1 έως MA5, υψηλές τιμές IDR έως 0,30% , υποδεικνύοντας την ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.0002% έως 0,0104%.

Το MAT παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, υποδεικνύοντας την επίδραση των επαναλαμβανόμενων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

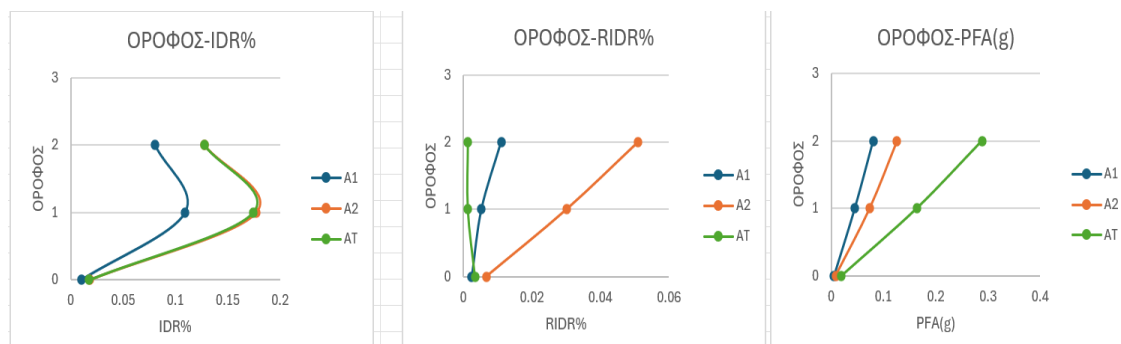
Συμπεράσματα:

Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.024g έως 0.307g.

Ο σεισμός MA4 προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στην βάση, όπως όλοι και οι μεμονωμένοι σεισμοί έχουν μεγαλύτερη παραμόρφωση στην βάση.

Το MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1 έως MA5, παρουσιάζει συνολικά υψηλότερες επιταχύνσεις, έως και 0,544g υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

Σεισμός Chalfant



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.009% έως 0.174%.

Ο σεισμός AT προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο έως και 0,17%.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.0034% έως 0.051%.

Το AT παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

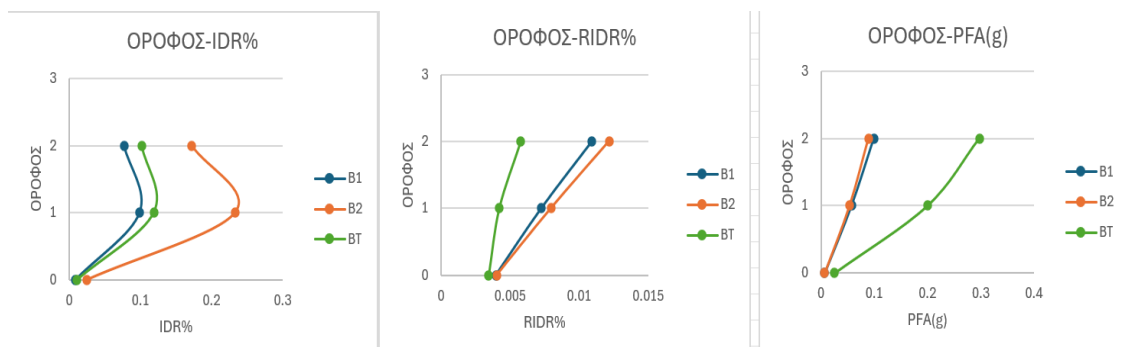
Συμπεράσματα:

Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.008g έως 0.12g.

Ο σεισμός A2 προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στον δεύτερο όροφο.

Το AT, που αποτελείται από τους σεισμούς A1 και A2, παρουσιάζει συνολικά υψηλότερες επιταχύνσεις, έως και 0,28g, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

Σεισμός Coalinga



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.010% έως 0.23%.

Ο σεισμός B2 προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, αλλά επίσης έχει τις υψηλότερες τιμές και στον δεύτερο όροφο.

Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT, που αποτελείται από τους σεισμούς B1 και B2, παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές IDR.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.0040% έως 0,0121%.

Το BT παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με ελαφρώς μικρότερες τιμές.

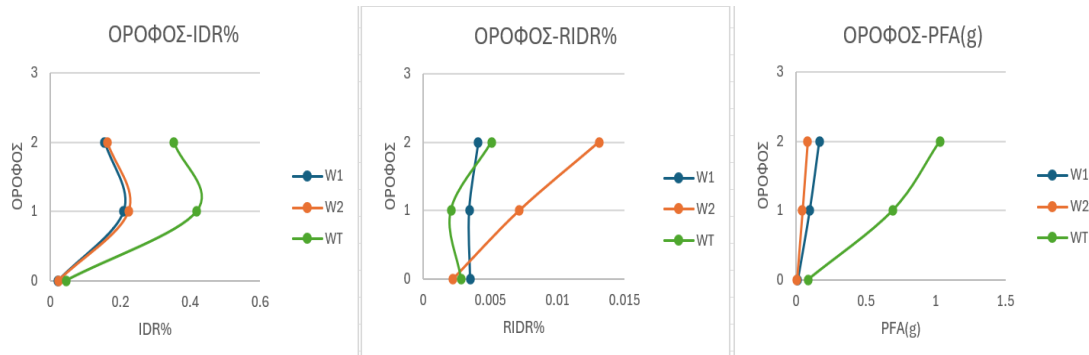
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.006g έως 0.099g.

Ο σεισμός BT έως και 0,297g προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στον δεύτερο όροφο, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

Σεισμός Whittier Narrows



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.023% έως 0.22%.

Ο σεισμός WT προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, αλλά επίσης έχει τις υψηλότερες τιμές και στον δεύτερο όροφο, που φτάνουν έως και 0,41%, υποδεικνύοντας την ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.0022% έως 0.0131%.

Το WT παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με μικρότερες τιμές που φτάνουν το 0,0051%.

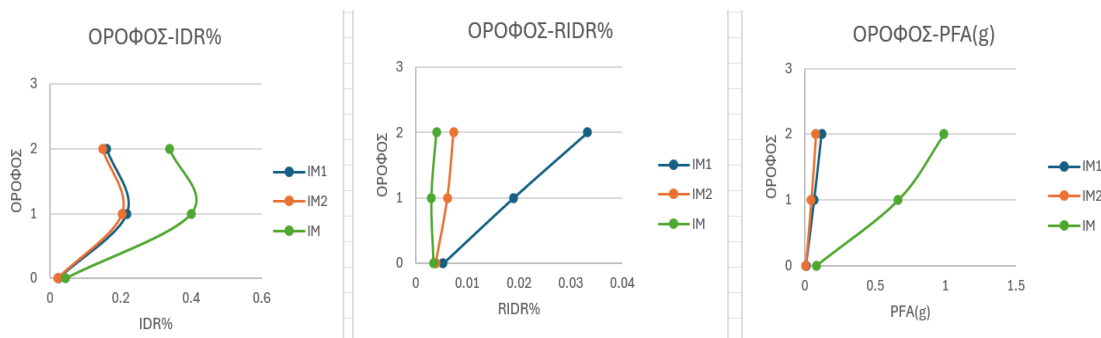
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.005g έως 0.167g.

Το WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, παρουσιάζει συνολικά πολύ υψηλότερες επιταχύνσεις έως και 1,07g, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

Σεισμός Imperial Valley



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.043% έως 0.20%.

Ο σεισμός IM προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, έως και 0,40%.

Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM παρουσιάζει υψηλές τιμές IDR, υποδεικνύοντας την ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0,0034% έως 0,0332%.

Το IM παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις μικρότερες με τους μεμονωμένους σεισμούς..

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

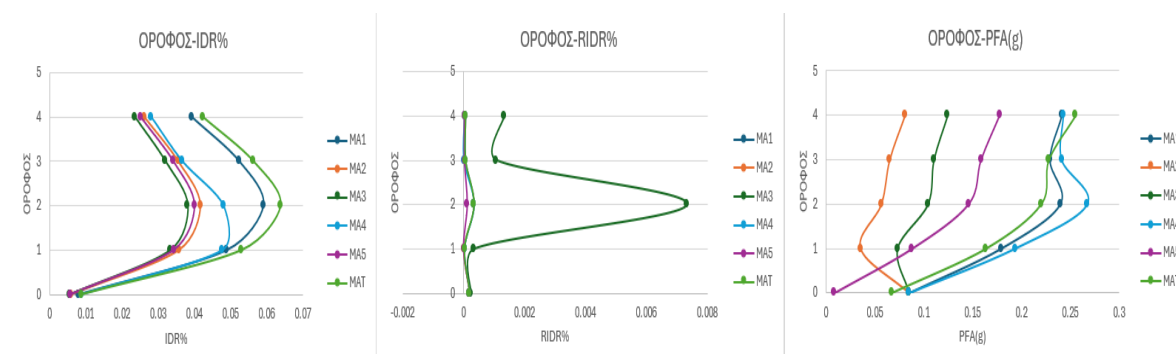
Συμπεράσματα:

Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.005g έως 0.98g.

Ο σεισμός IM προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στον δεύτερο όροφο υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

6.2.2 Τετραώροφο πλαίσιο

Σεισμός Mammoth Lakes



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.038% και 0.059%.

- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5, εμφανίζει τιμές IDR μέχρι και το 0.063%, ιδιαίτερα στον δεύτερο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τα επιμέρους σεισμικά φαινόμενα.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

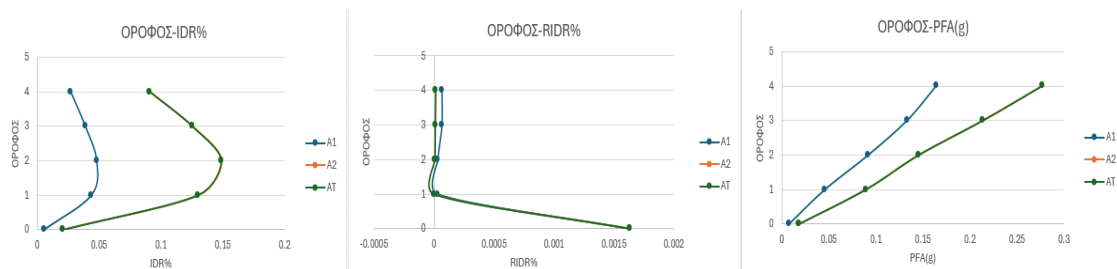
- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν τιμές RIDR που κυμαίνονται από 0.00012% έως 0.0073%, υποδεικνύοντας μικρές έως μέτριες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT εμφανίζει τιμές RIDR μέχρι και το 0.00033%.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί MA1, MA2, MA3, MA4 και MA5 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.0085g και 0.257g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον δεύτερο και τρίτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT παρουσιάζει επιταχύνσεις μέχρι και 0.255g, στον έκτο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

Σεισμός Chalfant



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 δείχνουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.043% και 0.15%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT παρουσιάζει τιμές IDR, με τιμές που φτάνουν μέχρι και το 0.15%, ιδιαίτερα στον δεύτερο όροφο.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

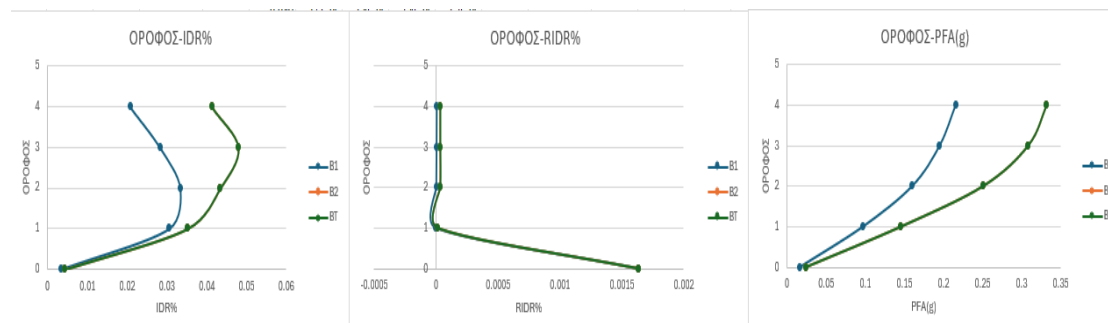
- Οι σεισμοί A1 και A2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, μεταξύ 0.0000049% και 0.00006%, υποδεικνύοντας μικρές υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT εμφανίζει και αυτό μικρές έως μέτριες υπολειπόμενες παραμορφώσεις έχοντας μεγάλη παραμόρφωση σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές στην βάση φτάνοντας το 0.0016%. Η υψηλότερη τιμή RIDR στη βάση υποδηλώνει ότι μπορεί να απαιτούνται πρόσθετες ενισχύσεις ή επισκευές στη συγκεκριμένη περιοχή για να διασφαλιστεί η δομική ακεραιότητα και η ασφάλεια του κτιρίου μετά από ένα επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί A1 και A2 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.004g και 0.27g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον δεύτερο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT παρουσιάζει τις επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.27 g στον τέταρτο όροφο.

Σεισμός Coalinga



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.003% και 0.04%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT, που αποτελείται από τους σεισμούς B1 και B2, εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.04%, κυρίως στον τέταρτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με τον επιμέρος σεισμο B1.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί B1 και B2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.000033333% και 0.000933%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, κυρίως στην βάση του που φτάνει 0.0016% , υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιθανές επισκευές ή ενισχύσεις.

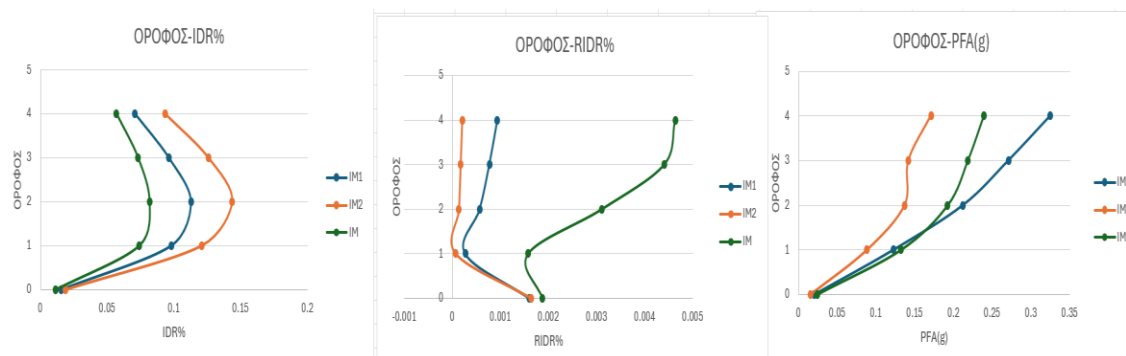
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

Οι σεισμοί B1 και B2 δείχνουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.016g και 0.33g, με τη μεγαλύτερη επιτάχυνση να καταγράφεται στον τρίτο όροφο.

Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο BT παρουσιάζει τις επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.233g στον τέταρτο όροφο, υποδεικνύοντας αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων.

Σεισμος Imperial Valley



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.011% έως 0.11%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM, που αποτελείται από τους σεισμούς IM1 και IM2, εμφανίζει τιμές IDR έως και το 0.14%, κυρίως στον δεύτερο όροφο.
- Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.0002% και 0.0016%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.

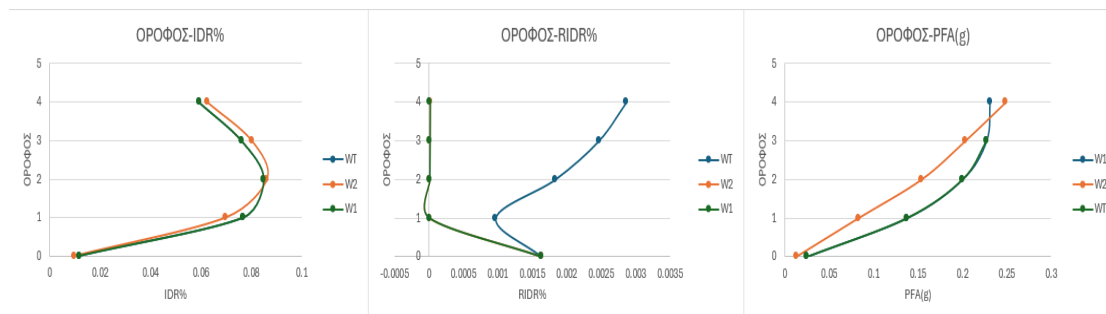
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM εμφανίζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.004% στον τέταρτο όροφο.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί IM1 και IM2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.015g έως και 0.32g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον τέταρτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.23g στον τέταρτο όροφο.

Σεισμός Whittier Narrows



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα παραμορφώσεων, με τις τιμές IDR να κυμαίνονται μεταξύ 0.0117% έως και 0.0085%.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, εμφανίζει τιμές IDR, φτάνοντας έως και το 0.008%, κυρίως στον δευτερο όροφο.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα :

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές RIDR, κυμαινόμενες μεταξύ 0.0000004% και 0.0016%, υποδεικνύοντας ελάχιστες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT εμφανίζει μεγαλύτερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις, φτάνοντας έως 0.0016% στην βάση, υποδεικνύοντας πιθανή ανάγκη για επισκευές ή ενισχύσεις μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

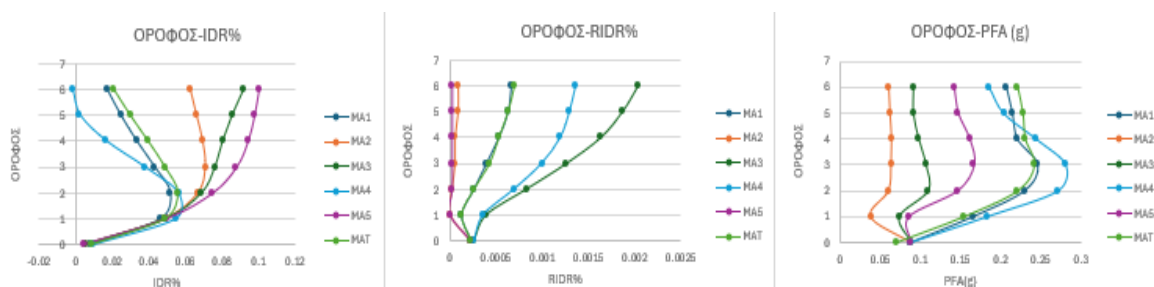
Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα :

- Οι σεισμοί W1 και W2 παρουσιάζουν επιταχύνσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0.013g και 0.24g, με τις υψηλότερες επιταχύνσεις να καταγράφονται στον τέταρτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT παρουσιάζει επίσης υψηλές επιταχύνσεις, φτάνοντας έως 0.24g στον τέταρτο όροφο. Αυτό υποδεικνύει αυξημένες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου.

• 6.2.3 Εξαώροφο πλαίσιο

- Σεισμός Mammoth lakes



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.0047% έως 0.1%.
- Ο σεισμός MA5 προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, αλλά επίσης έχει τις υψηλότερες τιμές και στον έκτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1 έως MA5, παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές IDR, υποδεικνύοντας την μη ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

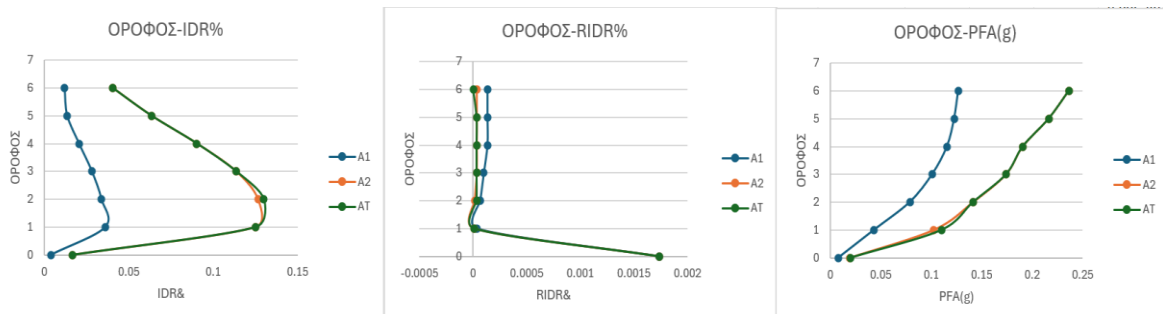
Συμπεράσματα:

- Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.00001% έως 0,002%.
- Το MAT παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές, υποδεικνύοντας την επίδραση των επαναλαμβανόμενων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.069g έως 0.28g.
- Ο σεισμός MA4 προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στον πρώτο, δεύτερο και τρίτο όροφο.
- Το MAT, που αποτελείται από τους σεισμούς MA1 έως MA5, παρουσιάζει συνολικά χαμηλότερες επιταχύνσεις, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις δεν μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.
- Σεισμός Chalfant



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.0037% έως 0.13%.
- Ο σεισμός AT προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR σε όλους τους ορόφους, ενώ οι τιμές του είναι παραπλήσιες με του σεισμού A2.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο AT, που αποτελείται από τους σεισμούς A1 και A2, παρουσιάζει υψηλές τιμές IDR, υποδεικνύοντας την ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.00001% έως 0.0017%.

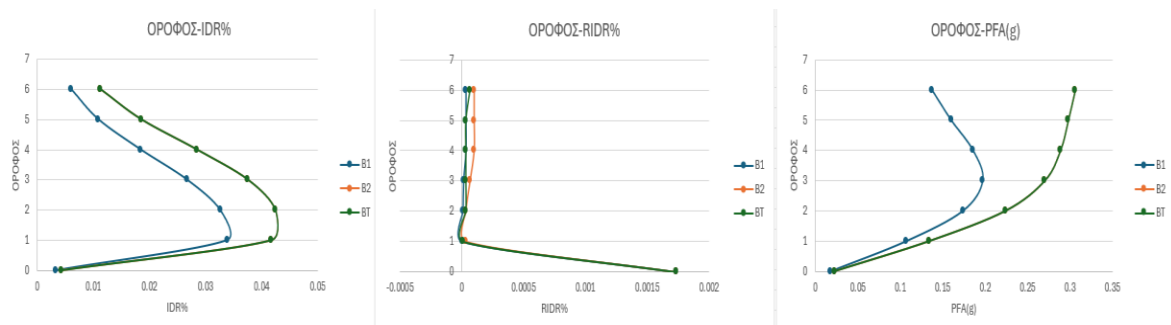
- Το ΑΤ παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με ελαφρώς μικρότερες τιμές, υποδεικνύοντας την μη επίδραση των επαναλαμβανόμενων σεισμικών δράσεων

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.007g έως 0.23g.
- Ο σεισμός ΑΤ προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις και στους έξι ορόφους.
- Το ΑΤ, που αποτελείται από τους σεισμούς Α1 και Α2, παρουσιάζει συνολικά υψηλότερες επιταχύνσεις, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

- Σεισμός Coalinga



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.0033% έως 0.042%.
- Ο σεισμός ΒΤ προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, αλλά επίσης έχει τις υψηλότερες τιμές και στον έκτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο ΒΤ, που αποτελείται από τους σεισμούς Β1 και Β2, παρουσιάζει υψηλότερες τιμές IDR, υποδεικνύοντας την ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

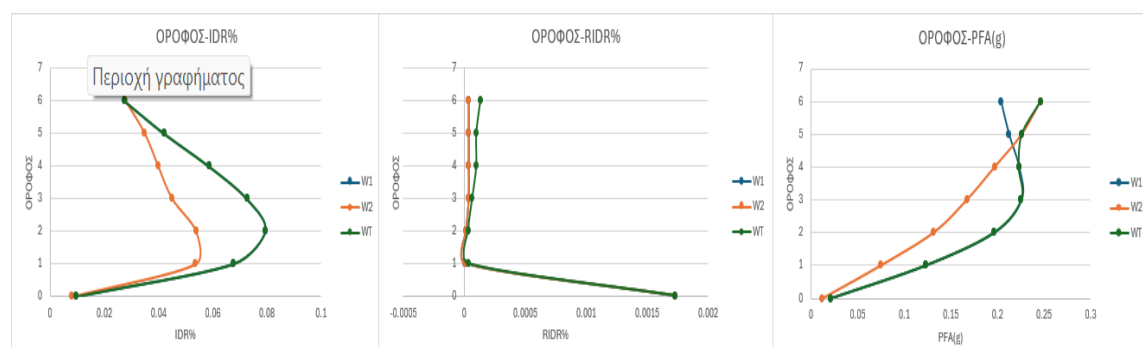
- Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.000012% έως 0,0017%.
- Το ΒΤ παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με ελαφρώς μικρότερες τιμές, υποδεικνύοντας την έλλειψη επίδρασης των επαναλαμβανόμενων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.018g έως 0.3g.
- Ο σεισμός ΒΤ προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις σε όλους τους ορόφους.
- Το ΒΤ, που αποτελείται από τους σεισμούς Β1 και Β2, παρουσιάζει συνολικά υψηλότερες επιταχύνσεις, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

- Σεισμός Whittier Narrows



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.0081% έως 0.072%.
- Ο σεισμός WT προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR στον πρώτο όροφο, αλλά επίσης έχει τις υψηλότερες τιμές στον δεύτερο, στον τρίτο και στον τέταρτο όροφο.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, παρουσιάζει υψηλές τιμές IDR, υποδεικνύοντας την ένταση των συνδυασμένων σεισμικών δράσεων.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.0000064% έως 0.053%.
- Το WT παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

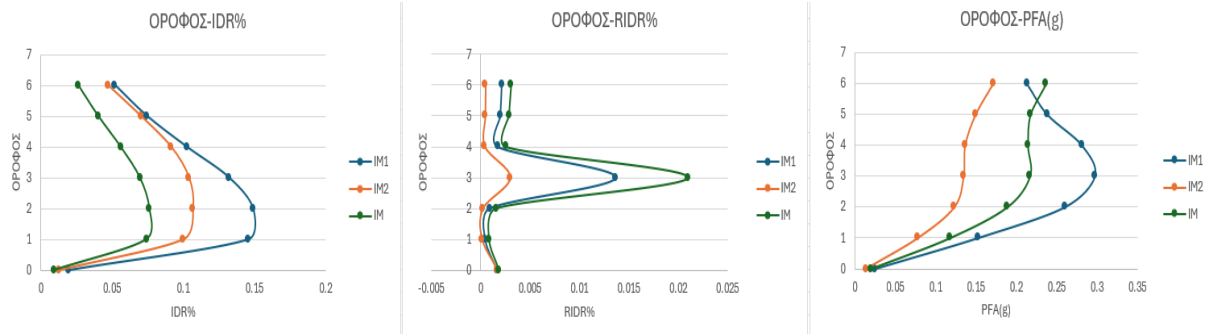
Συμπεράσματα:

Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.01g έως 0.24g.

Ο σεισμός WT προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στον δεύτερο όροφο.

Το WT, που αποτελείται από τους σεισμούς W1 και W2, παρουσιάζει συνολικά υψηλότερες επιταχύνσεις, υποδεικνύοντας ότι οι συνδυασμένες σεισμικές δράσεις μπορούν να εντείνουν την απόκριση της κατασκευής.

Σεισμός Imperial Valley



Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

Συμπεράσματα:

- Οι τιμές IDR κυμαίνονται από περίπου 0.0092% έως 0.14%.
- Ο σεισμός IM1 προκαλεί τις υψηλότερες τιμές IDR σε όλους τους ορόφους.
- Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο IM, που αποτελείται από τους σεισμούς IM1 και IM2, παρουσιάζει χαμηλές τιμές IDR.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

• Συμπεράσματα:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0,0001% έως 0,021%.

Το IM παρουσιάζει υπολειπόμενες παραμορφώσεις παρόμοιες με τους μεμονωμένους σεισμούς, με ελαφρώς μικρότερες τιμές.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

Συμπεράσματα:

- Οι μέγιστες επιταχύνσεις δαπέδων (PFA) κυμαίνονται από 0.013g έως 0.23g.
- Ο σεισμός IM1 προκαλεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις στους πέντε ορόφους εκτός του έκτου.
- Το IM, που αποτελείται από τους σεισμούς IM1 και IM2, παρουσιάζει συνολικά χαμηλότερες επιταχύνσεις.

Κεφάλαιο 7 Σχολιασμός- Σύγκριση Αποτελεσμάτων

7.1 Σύγκριση Φασματικής Ανάλυσης και Ανάλυσης Χρονοϊστορίας

Φασματική Ανάλυση:

Παρέχει μια γρήγορη και γενική εικόνα της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής. Χρησιμοποιείται συχνά για προκαταρκτικές μελέτες και συμμόρφωση με τους κανονισμούς σχεδιασμού. Μπορεί να μην καταγράψει λεπτομερώς τις μη γραμμικές επιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων επιπέδων της κατασκευής.

Ανάλυση Χρονοϊστορίας:

Προσφέρει μια λεπτομερή εικόνα της απόκρισης της κατασκευής με την πάροδο του χρόνου. Μπορεί να καταγράψει μη γραμμικές επιδράσεις και τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων επιπέδων της κατασκευής. Απαιτεί περισσότερους υπολογιστικούς πόρους και χρόνο για την εκτέλεση και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Συνολική Αξιολόγηση

Μεγαλύτερες Παραμορφώσεις : Το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο προκαλεί μεγαλύτερες παραμορφώσεις στους ορόφους (IDR) σε σύγκριση με τους μεμονωμένους σεισμούς. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στους χαμηλότερους ορόφους, υποδεικνύοντας την ανάγκη για επιπλέον ενισχύσεις ή επανεξέταση της δομικής αντοχής των κτιρίων σε τέτοιες συνθήκες.

Αυξημένες Υπολειπόμενες Παραμορφώσεις: Οι υπολειπόμενες παραμορφώσεις (RIDR) είναι σημαντικά μεγαλύτερες μετά το επαναλαμβανόμενο σεισμικό φαινόμενο, σε σύγκριση με τους μεμονωμένους σεισμούς. Αυτό δείχνει ότι οι κατασκευές μπορεί να υποστούν μόνιμες ζημιές που απαιτούν επισκευές, ειδικά στους υψηλότερους ορόφους.

Υψηλότερες Επιταχύνσεις: Οι επιταχύνσεις των δαπέδων (PFA) είναι αυξημένες κατά τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου στους μεσαίους και ανώτερους ορόφους. Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο για μη δομικές ζημιές και την ασφάλεια των ενοίκων.

Ανάγκη για Ενίσχυση και Επισκευές: Η ανάλυση υποδεικνύει ότι οι κατασκευές υπόκεινται σε μεγαλύτερες δυνάμεις και παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια ενός επαναλαμβανόμενου σεισμικού φαινομένου. Αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη για ενισχύσεις και πιθανές επισκευές μετά από έναν τέτοιο σεισμό.

7.2 Σύγκριση Ανάλυσης με Πάκτωση και Αλληλεπίδραση Κατασκευής-Εδάφους

Η αξιολόγηση της σεισμικής απόκρισης μιας κατασκευής μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους μοντελοποίησης, μεταξύ των οποίων οι πιο κοινές είναι η ανάλυση με πάκτωση και η ανάλυση με ελατήρια. Κάθε προσέγγιση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Σύγκριση Αποτελεσμάτων από τα Διαγράμματα

Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από τις αναλύσεις με πάκτωση και ελατήρια, μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Διάγραμμα IDR (Interstory Drift Ratio)

- Με Πάκτωση:

Οι τιμές IDR κυμαίνονται μεταξύ 0.15697% και 0.28477%.

Οι παραμορφώσεις είναι γενικά μεγαλύτερες λόγω της άκαμπτης θεμελίωσης που μεταφέρει όλες τις σεισμικές δυνάμεις απευθείας στις ανωδομές.

- Με Ελατήρια:

Οι τιμές IDR είναι χαμηλότερες σε σχέση με την ανάλυση με πάκτωση.

Η παρουσία ελατηρίων μειώνει τις παραμορφώσεις, καθώς η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής απορροφά μέρος της σεισμικής ενέργειας.

Διάγραμμα RIDR (Residual Interstory Drift Ratio)

- Με Πάκτωση:

Οι τιμές RIDR κυμαίνονται από 0.0202% έως 0.0797%.

Οι υπολειπόμενες παραμορφώσεις είναι μεγαλύτερες, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περισσότερες επισκευές μετά από σεισμικά φαινόμενα.

- Με Ελατήρια:

Οι τιμές RIDR είναι χαμηλότερες, υποδεικνύοντας μικρότερες υπολειπόμενες παραμορφώσεις.

Η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής μειώνει τις μόνιμες ζημιές στις ανωδομές.

Διάγραμμα PFA (Peak Floor Acceleration)

- Με Πάκτωση:

Οι επιταχύνσεις κυμαίνονται μεταξύ 0.12503g και 0.73704g.

Οι επιταχύνσεις είναι μεγαλύτερες, αυξάνοντας τον κίνδυνο για μη δομικές ζημιές και την ασφάλεια των ενοίκων.

- Με Ελατήρια:

Οι επιταχύνσεις είναι χαμηλότερες, υποδεικνύοντας μικρότερες δυνάμεις που δρουν στις μάζες των ορόφων.

Η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής βοηθά στη μείωση των επιταχύνσεων στις ανωδομές.

Συνολική Αξιολόγηση

Πλεονεκτήματα Ανάλυσης με Ελατήρια:

Η ανάλυση με ελατήρια προσφέρει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα και μειώνει τις πιθανότητες υπερεκτίμησης των δυνάμεων στις ανωδομές.

Η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής βελτιώνει την κατανομή των σεισμικών δυνάμεων και μειώνει τις παραμορφώσεις και επιταχύνσεις στις ανωδομές.

Πλεονεκτήματα Ανάλυσης με Πάκτωση:

Η ανάλυση με πάκτωση είναι πιο απλή και ταχύτερη στην εκτέλεση, κατάλληλη για προκαταρκτικές μελέτες και για κατασκευές με πολύ ισχυρή θεμελίωση.

Παρέχει συντηρητικά αποτελέσματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ασφαλή σχεδιασμό της κατασκευής.

Συμπερασματικά, η επιλογή μεταξύ της ανάλυσης με πάκτωση και της ανάλυσης με ελατήρια εξαρτάται από τη φύση του έργου, την ακρίβεια των δεδομένων που απαιτούνται και τους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους. Για πιο ακριβή και ρεαλιστικά αποτελέσματα, η ανάλυση με ελατήρια είναι προτιμότερη, ενώ για γρήγορες και προκαταρκτικές μελέτες, η ανάλυση με πάκτωση μπορεί να είναι επαρκής.

Βιβλιογραφία

- Τριανταφύλλου, Αθανάσιος Χ. (2013). **Μηχανική των υλικών**. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Πάτρα.
- Τριανταφύλλου, Αθανάσιος Χ. (2013). **Δομικά υλικά, 10η έκδοση**. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Πάτρα.
- Τριανταφύλλου, Αθανάσιος Χ. (2016). **Σύμμικτες κατασκευές**. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- Βάγιας, Ιωάννης Κ., Ερμόπουλος, Ιωάννης, & Ιωαννίδης, Γεώργιος Ι. **Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα και εφαρμογές**.
- Φαρδής, Μιχαήλ Ν. (2015). **Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος**. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Βάγιας, Ιωάννης Κ. (2014). **Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα**. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Chopra, K. Anil (2007). **Δυναμική των κατασκευών, θεωρία και εφαρμογές στη σεισμική μηχανική, 2η Ελληνική επανέκδοση**. Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.

- Bachmann, Hugo. **Αντισεισμική προστασία κατασκευών, 3η Ελληνική επανέκδοση.** Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.
- **Ευρωκώδικας 0:** Βάση για τον σχεδιασμό των κατασκευών.
- **Ευρωκώδικας 1:** Δράσεις σε κατασκευές.
- **Ευρωκώδικας 2:** Σχεδιασμός από σκυρόδεμα.
- **Ευρωκώδικας 3:** Σχεδιασμός από χάλυβα.
- **Ευρωκώδικας 4:** Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα.
- **Ευρωκώδικας 8:** Αντισεισμικός σχεδιασμός.
- George D. Hatzigeorgiou, Numerical model for the behavior and capacity of circular CFT columns, Part I: Theory, Engineering Structures, Volume 30, Issue 6,2008,Pages 1573-1578,ISSN 0141-0296,<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.001>.
- George D. Hatzigeorgiou, Numerical model for the behavior and capacity of circular CFT columns, Part II: Verification and extension, Engineering Structures, Volume 30, Issue 6,2008,Pages 1579-1589,ISSN 0141-0296,<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.002>.
- Dionisios N. Serras, Konstantinos A. Skalomenos, George D. Hatzigeorgiou, A displacement/damage controlled seismic design method for MRFs with concrete-filled steel tubular columns and composite beams, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 143,2021,106608,ISSN 0267-7261,<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106608>.
- Dionisios N. Serras, Konstantinos A. Skalomenos, George D. Hatzigeorgiou, Dimitri E. Beskos, Modeling of circular concrete-filled steel tubes subjected to cyclic lateral loading, Structures, Volume 8, Part 1,2016,Pages 75-93,ISSN 2352-0124, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2016.08.008>.
- Katsimpini, P.S. Seismic Response of Vertical Hybrid Concrete/Steel Frames Considering Soil–Structure Interaction. Buildings 2024, 14, 972. <https://doi.org/10.3390/buildings14040972>