

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αθήνα 157 80

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



Αντισεισμική Αποτίμηση και Σενάρια Ενίσχυσης Ξενοδοχειακής Μονάδας στην Αίγινα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΓΑΛΑΤΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ (Καθηγητής Ε.Μ.Π.)

AOHNA 2022

Πίνακας περιεχομένων

| Πίνακας περιεχομένων | 3 |
|--|------------|
| Περίληψη | 5 |
| Abstract | 5 |
| Ευχαριστίες | 6 |
| 1. Εισαγωγή | 7 |
| 2 Εισανωνικά Στοιχεία Αντισεισμικού Σχεδιασμού | 7 |
| 2.1. Υφιστάμενη Κατάσταση Κτηρίων στην Ελλάδα και Κανονιστικό Πλαίσιο Αντι | ດຣເດເມເເດນ |
| Στεδιασμού | .0000µ1100 |
| 2.2 Αντισεισμική Αποτίμηση Υφιστάμενων Φορέων | |
| 2.2.1 Εισανωνή στον Κανονισμό Επεμβάσεων «ΚΑΝ.ΕΠΕ» | |
| 2.2.2 Στάθμες Επιτελεστικότητας | |
| 2.3 Παράμετροι Θέσπιση στόχων Αντισεισμικής Αποτίμησης -Ανασχεδιασμού | 15 |
| 2.3.1. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας | 15 |
| 2.3.2. Κατηγορία Σπουδαιότητας | 16 |
| 2.3.3. Ποιότητα Εδάφους Θεμελίωσης | 17 |
| 2.3.4. Χαρακτηριστικά Φορέα | 19 |
| 2.3.4.1. Πλαστιμότητα | 19 |
| 2.3.4.2. Συντελεστής συμπεριφοράς q | 19 |
| 2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης | 20 |
| 3. Περινραφή Κτηρίου | |
| 3.1 Εισαγωγή | 22 |
| 3.2 Μορφολογία Φέροντος Οργανισμού | 22 |
| 3.3 Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά Φέροντος Οργανισμού | 25 |
| 3.3.1 Αντισεισμικός Αρμός | 25 |
| 3.3.2 Ανισόπεδη Θεμελίωση | 26 |
| 3.3.3. Φυτευτά Υποστυλώματα Ανωδομής | 27 |
| 3.3.4. Απόληξη Κλιμακοστασίου και Ανελκυστήρων | 27 |
| 4. Προσομοίωση Φέροντος Οργανισμού | |
| 4.1. Εισαγωγή | 28 |
| 4.2. Συλλογή Δεδομένων – Σ.Α.Δ. | 28 |
| 4.3. Υλικά | |
| 4.3.1. Σκυρόδεμα Β300 και Β225 | |
| 4.3.2. Χάλυβας StIII | |
| 4.4. Κόμβοι | |
| 4.4.1. Υπολογισμός Συντεταγμένων – Αρίθμηση Κόμβων | |
| 4.4.2. Κόμβος Ελέγχου | |
| 4.5. Θεμελίωση | |
| 4.6. Υπολογισμός Δράσεων Φορέα | 35 |
| 4.6.1. Εισαγωγή | 35 |
| 4.6.2. Αποτύπωση Ξυλοτύπων και Κατόψεων στο λογισμικό Autocad | 35 |
| 4.6.3. Υπολογισμός Συνολικών Κατανεμημένων Φορτίων | |
| 4.6.4. Υπολογισμός Συνδυασμών Φόρτισης | |
| 4.7. Προσομοίωση Μελών Φορέα | |
| 4./.1. Εισαγωγη | |

| 4.7.2. Υποστυλώματα | 42 |
|---|-----|
| 4.7.2. Δοκοί | 43 |
| 4.7.2.1. Υπολογισμός Συνεργαζόμενου Πλάτους Πλακοδοκών | 43 |
| 4.7.2.2. Υπολογισμός Οπλισμού | 43 |
| 4.7.3. Τοιχία Πυρήνα | 45 |
| 4.7.4. Περιμετρικές Τοιχοπληρώσεις | 46 |
| 4.8. Διαφράγματα | 47 |
| 4.9. Προσομοίωση Ιδιαίτερων Χαρακτηριστικών Φορέα | 48 |
| 4.9.1. Ενισχυμένες Ζώνες | 48 |
| 4.9.2. Αντισεισμικός Αρμός | 51 |
| 5. Ανάλυση και Αποτίμηση Φορέα | 52 |
| 5.1. Υπολογισμός Φορτίων Ανάλυσης | 52 |
| 5.1.1. Υπολογισμός Επαυξητικών Φορτίων | 52 |
| 5.1.2. Συνδυασμοί δράσεων ανάλυσης | 53 |
| 5.2. Αποτελέσματα Στατικής Ανελαστικής Ανάλυσης | 54 |
| 5.2.1. Ιδιομορφική Ανάλυση Κατασκευής | 54 |
| 5.2.2. Στρατηγική Φόρτισης Κτηρίου | 60 |
| 5.2.3. Στοχευμένες Μετατοπίσεις | 61 |
| 5.2.4. Κριτήρια Απόδοσης Μελών | 63 |
| 5.2.5. Καμπύλες Ικανότητας | 65 |
| 5.2.6. Αστοχίες Μελών | 77 |
| 5.3. Αποτίμηση Φορέα | |
| 6. Σενάρια Ενίσχυσης και Αποτίμηση τους | |
| 6.1. Εισαγωγή | 102 |
| 6.2. Ενίσχυση Πυρήνα με Μανδύα Σκυροδέματος | 103 |
| 6.2.1. Μεθοδολογία Ενίσχυσης Πυρήνα | |
| 6.2.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης Φορέα με Ενισχυμένο Πυρήνα | 105 |
| 6.3. Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Ινοπλισμένο Πολυμερές | |
| 6.3.1. Μεθοδολογία Ενίσχυσης με Ινοπλισμένο Πολυμερές | |
| 6.3.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης Φορέα με Ενισχυμένα Υποστυλώματα | 107 |
| 7. Συμπεράσματα | |
| 8. Βιβλιογραφία | |

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά σε αντισεισμική αποτίμηση και σενάρια αντισεισμικής ενίσχυσης ξενοδοχειακής εγκατάστασης, σύμφωνα με τον ισχύοντα Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Το κτήριο ανεγέρθηκε τη δεκαετία του 1970 και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο εξαιτίας της σύνθετης γεωμετρίας του, καθώς διαθέτει ορθογωνική διώροφη βάση επί της οποίας εδράζεται πεντάγωνη τριώροφη κατασκευή όσο και λόγω διάφορων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του, όπως το πλήθος φυτευτών υποστυλωμάτων των άνω ορόφων και οι προεντεταμένες δοκοί στις οποίες στηρίζονται. Για την αποτύπωση του φορέα, η οποία καθίσταται ιδιαίτερα απαιτητική, επιλέχθηκε το λογισμικό SeismoStruct. Η αποτίμηση του φορέα πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου pushover με φορτία που προέκυψαν από τον σεισμικό συνδυασμό g+0,3q, ενώ στη δυσκαμψία του φορέα συμπεριλήφθηκε η συνεισφορά των περιμετρικών μόνο τοιχοπληρώσεων. Ο φορέας, καθώς παρουσιάζει σημαντικές αντοχές για διέγερση και στις δύο κύριες διευθύνσεις, αποτιμάται σε πολύ καλή κατάσταση, δεδομένης της περιόδου ανέγερσής του, ενώ τα σενάρια ενίσχυσης που εξετάστηκαν και αφορούν σε ενίσχυση των τοιχίων και των υποστυλωμάτων του, με μανδύες σκυροδέματος και ινοπλισμένα πολυμερή, επιτυγχάνουν σημαντική βελτίωση της σεισμικής του συμπεριφοράς.

Abstract

This thesis concerns the seismic evaluation and retrofit of an existing hotel building, according to the standards of the Greek Code of Interventions (KAN.EPE.). This building was constructed in the 70s according to previous National Structural Codes. The structure is of great interest in terms of structural analysis due to its complex geometry, a rectangular 2-story basement supports a 3-story pentagon, the inclination of the ground and its structural components (floating columns, prestressed beams). The generation of the 3D building model is accomplished through the "SeismoStruct" software. Static non-linear analysis (pushover) is performed for the assessment of the seismic behavior of the structure by setting a "B1" performance level as described in the "KAN.EPE". The building, even though it was constructed according to previous National Structural Codes, exhibits significant resistance to seismic events. The proposed retrofitting of the building, which includes the reinforcement of the concrete walls and columns with concrete jacket and fiber-reinforced polymer, improve significantly its seismic behavior.

Ευχαριστίες

Το παρόν σύγγραμμα αποτελεί τη διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Εμμανουήλ Βουγιούκα, τον οποίο ευχαριστώ θερμά τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα όσο και για την αμέριστη στήριξη και καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης και συγγραφής της μελέτης αυτής. Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω θερμά και τους καθηγητές κ. Χρήστο Ζέρη και κ. Δημήτριο Βαμβάτσικο για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Μιχαέλα για την αγάπη, την υπομονή, την επιμονή και την κατανόηση που έδειξε όλα αυτά τα χρόνια. Ήταν και είναι το πιο σημαντικό μου στήριγμα.

1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την αντισεισμική αποτίμηση κεντρικής ξενοδοχειακής μονάδας, κατασκευής της δεκαετίας 1970, και τη διερεύνηση σεναρίων ενίσχυσής της. Η αντισεισμική αποτίμηση πραγματοποιήθηκε μέσω της ανάλυσης «push over analysis", με εφαρμογή του στατικής υπερωθητικής αναθεωρημένου Κανονισμού Επεμβάσεων (2^η Αναθεώρηση, 2017). Το συγκεκριμένο οικοδόμημα είναι μη κανονικό καθύψος, διαθέτει ανισόπεδη θεμελίωση και προεντεταμένες δοκούς. Συνεπώς και για τους λόγους αυτή η προσομοίωσή του αποτελεί ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία. Η αποτύπωση του έγινε με το στατικό πρόγραμμα SeismoStruct της εταιρείας Seismosoft, το οποίο επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό γωνιών στροφής χορδής και έχει διαθέσιμες ενσωματωμένες βιβλιοθήκες που ανταποκρίνονται στον Κανονισμό Επεμβάσεων. Η πορεία υλοποίησης της μελέτης αυτής ξεκινά με την προσομοίωση του φορέα, περιλαμβάνει την στατική υπερωθητική ανάλυση στις δύο κύριες διευθύνσεις, την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του φορέα και ολοκληρώνεται με τη διερεύνηση σεναρίων ενίσχυσης του φέροντος οργανισμού και την εκ νέου στατική υπερωθητική ανάλυση του ενισχυμένου πλέον φορέα.

2. Εισαγωγικά Στοιχεία Αντισεισμικού Σχεδιασμού

2.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Κτηρίων στην Ελλάδα και Κανονιστικό Πλαίσιο Αντισεισμικού Σχεδιασμού

Η Ελλάδα, ως χώρα της βαλκανικής χερσονήσου, μαζί με την Ιταλία αποτελούν τις πιο σεισμογενείς περιοχές της Ευρώπης. Πιο συγκεκριμένα, όπως αποτυπώνεται στο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Εικόνας 1. το σύνολο της ελληνικής επικράτειας εμφανίζει πιθανότητα άνω του 10% για σεισμική δραστηριότητα που ξεπερνά το 0.1 g σε περίοδο αναφοράς 50 ετών[1]. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 1 μέσω σύγχρονων στοχαστικών μοντέλων έχουν προκύψει από καταγραφή και ανάλυση σεισμικών δονήσεων οι οποίες έλαβαν χώρα στις υπό μελέτη περιοχές. Μία εξ αυτών είναι και ο ισχυρός σεισμός της Κορίνθου, ο οποίος το 1928 αποτέλεσε αφορμή για τη νομοθέτηση του πρώτου αντισεισμικού οικοδομικού κανονισμού Κορίνθου-Λουτρακίου (ΦΕΚ 234Α/7-11-1928). Ο συγκεκριμένος κανονισμός είχε αρχικά τοπικό χαρακτήρα και ενσωμάτωνε για πρώτη φορά στην Ελλάδα την επίδραση κατακόρυφων και οριζόντιων σεισμικών δράσεων στη στατική μελέτη των προς ανέγερση κτηρίων. Ακολούθησαν τροποποιήσεις και προσθήκες στο συγκεκριμένο κανονισμό κατά τα έτη 1931 και 1935 [ΦΕΚ 375Α/29-10-1931, ΦΕΚ 4A/4-1-1936] ενώ παράλληλα επεκτάθηκε και σε άλλες σεισμόπληκτες περιοχές και πιο συγκεκριμένα στη Λάρισα μετά τον καταστροφικό σεισμό το 1941 [ΦΕΚ 277Α/16-8-1941], στην Κεφαλλονιά και την Ζάκυνθο [ΦΕΚ 134Α/26-6-1954] μετά τους σεισμούς του Ιονίου το 1953. Ουσιαστικά η νομοθέτηση ως το σημείο αυτό ακολουθούσε τα γεγονότα σεισμικής ακολουθίας με αποσβεστικό χαρακτήρα.



Εικόνα 1. Ευρωπαϊκός Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας για πιθανότητα άνω του 10% εμφάνισης σεισμικής δραστηριότητα που ξεπερνά το 0.1 g σε περίοδο αναφοράς 50 ετών[1].

Ο πρώτος κανονισμός σκυροδέματος στον ελλαδικό χώρο εισάγεται το 1954 [ΦΕΚ 160A/26-6-1954] ενώ το έτος 1959 συντάχθηκε και εφαρμόστηκε ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ο οποίος είχε Πανελλαδικό χαρακτήρα και κατέτασσε τον Ελλαδικό χώρο σε 3 περιοχές σεισμικότητας κατηγορίες: ασθενώς (Ι), μετρίως (ΙΙ) και ισχυρώς (ΙΙΙ) σεισμόπληκτες ενώ κατηγοριοποιούσε επίσης τα εδάφη σε 4 υποκατηγορίες: μικρής (α), μέτριας (β), μεγάλης (γ) και εξαιρετικής (δ) επικινδυνότητας (ΦΕΚ 36A/26-2-1959). Έκτοτε ακολούθησαν περαιρέτω τροποποιήσεις του συγκεκριμένου κανονισμού [ΦΕΚ 190Α/14-9-1959, ΦΕΚ 253Α/14-9-1981] και προσθήκες [ΦΕΚ 239Β/16-4-1984, ΦΕΚ 587Β/1-10-1985] μέχρι και τη θεσμοθέτηση των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών.

Το 1991 εισάγεται ο πρώτος σύγχρονος κανονισμός σκυροδέματος «ΝΕΚΩΣ» [ΦΕΚ 1068B/31-12-1991] ενώ ακολουθεί το 1992 η σύνταξη του σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού με τίτλο : Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός «ΝΕΑΚ» [ΦΕΚ 613B/12-10-1992]. Ο τελευταίος βρίσκεται σε παράλληλη ισχύ με τον τροποποιημένο Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 [ΦΕΚ 774B/12-10-1994] έως την 30-6-1995. Ο ΝΕΑΚ τροποποιείται και συμπληρώνεται το 1995 [ΦΕΚ 534B/20-6-1995, ΦΕΚ 588B/6-6-1995] ενώ κατά το ίδιο έτος οι περιοχές Γρεβενών και Κοζάνης κατατάσσονται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ [ΦΕΚ 850B/11-10-1995].

Ο ισχύων έως και σήμερα (2022) αντισεισμικός κανονισμός «ΕΑΚ2000» εισήχθη το 1999 [ΦΕΚ 1329B/20-12-1999] και τροποποιήθηκε/ συμπληρώθηκε κατά τα έτη 2001 [ΦΕΚ 423B/ 12-3-2001] και 2003 [ΦΕΚ 781B/18-6-2003]. Στη συνέχεια λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας [ΦΕΚ 1154B/12-8-2003] όπου η ελληνική επικράτεια χωρίστηκε σε τρεις ζώνες (Ι έως ΙΙΙ) με αντίστοιχες σεισμικές επιταχύνσεις εδάφους 0.16 g, 0.24 g και 0.36 g (Εικόνα 2), ο αντισεισμικός σχεδιασμός ενσωμάτωσε τις αλλαγές αυτές [ΦΕΚ 1153B/12-8-2003], ενώ τροποποιήθηκε εκ νέου βάσει ΦΕΚ 270B/16-3-2010. Επιπλέον, το 2016 καταργήθηκε το Παράρτημα Ε'(ΦΕΚ 350B/17-2-2016) και εφεξής οι επεμβάσεις, προσθήκες ή ενισχύσεις σε υπάρχοντα κτήρια όφειλαν να ακολουθούν τις απαιτήσεις αποτίμησης και ανασχεδιασμού του Κανονισμού Επεμβάσεων «ΚΑΝΕΠΕ» ο οποίος αναλύεται παρακάτω ή του Ευρωκώδικα 8-3 «ΕΚ8-3», πλην ορισμένων εξαιρέσεων σχεδιασμένων με ΝΕΑΚ ή ΕΑΚ2000 με πλήρη πρόβλεψη των προστιθέμενων ορόφων ή περιπτώσεις μικρής αύξησης της σεισμικής δύναμης.



Εικόνα 2. Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος [Φ.Ε.Κ. Β΄ 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275].

Όσον αφορά τον ισχύον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος, αυτός εισήχθη το 2000 «ΕΚΩΣ» " [ΦΕΚ 1329Β/6-11-2000], διορθώθηκε το 2003 [ΦΕΚ 1153Β/12-8-2003], συμπληρώθηκε και τροποποιήθηκε [ΦΕΚ 447Β/5-3-2004, ΦΕΚ 576Β/28-4-2005, ΦΕΚ 270Β/16-03-2010] ενώ η εφαρμογή των ΕΑΚ2000 και ΕΚΩΣ2000 καθίσταται αποκλειστική από τις 30-6-2001 [ΦΕΚ 1564Β/22-12-2000]. Παράλληλα εφαρμόζονται Κανονισμοί Τεχνολογίας Σκυροδέματος [(ΦΕΚ 266Β/9-5-1985, ΦΕΚ 315Β/17-4-1997, ΦΕΚ 1561Β/2-6-2016] με διορθώσεις [ΦΕΚ 1839/Β/25-5-2017] και Κανονισμοί Τεχνολογίας Χαλύβων [ΦΕΚ 381Β/24-3-2000, ΦΕΚ 1416Β/17-7-2008] με διορθώσεις [ΦΕΚ 2113Β/13-10-2008]. Επίσης, σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. ΔΙΠΑΔ/οικ.372 "Εγκριση εφαρμογής και χρήσης των Ευρωκωδίκων σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα" [ΦΕΚ 1457Β/5-6-2014], εγκρίνεται η παράλληλη εφαρμογή και χρήση των μεταφρασμένων στην ελληνική γλώσσα κειμένων των Ευρωκωδίκων.

Οι Ευρωκώδικες αποτελούνται από 10 κύρια ευρωπαϊκά πρότυπα και χωρίζονται ως εξής[2]:

- Ευρωκώδικας 0 (EN 1990): Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων
- Ευρωκώδικας 1 (ΕΝ 1991): Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές
- Ευρωκώδικας 2 (EN 1992): Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα
- Ευρωκώδικας 3 (EN 1993): Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών

— Ευρωκώδικας 4 (ΕΝ 1994): Σχεδιασμός σύμμεικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα

- Ευρωκώδικας 5 (ΕΝ 1995): Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών
- Ευρωκώδικας 6 (EN 1996): Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία
- Ευρωκώδικας 7 (EN 1997): Γεωτεχνικός σχεδιασμός
- Ευρωκώδικας 8 (EN 1998): Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών
- Ευρωκώδικας 9 (EN 1999): Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο

Τα παραπάνω αφορούν ευρωκώδικες, αντισεισμικούς κανονισμούς και κανονισμούς οπλισμένου σκυροδέματος σχετικά με την ανέγερση νέων κτηρίων. Οι θεσμοθετημένες αυτές οδηγίες προέκυπταν έπειτα από καταστροφικούς σεισμούς με ψηλό ανθρώπινο και υλικό κόστος και εξασφάλιζαν ασφαλέστερες συνθήκες δόμησης για νέα κτήρια χωρίς όμως να δίνουν λύση στα υφιστάμενα κτήρια, τα όποια είχαν σχεδιαστεί άνευ η βάσει προγενέστερων αντισεισμικών σχεδιασμών. Συνεπώς δεν εξασφάλιζαν επαρκή θωράκιση για το σύνολο των κτηρίων της επικράτειας έναντι σεισμικών καταπονήσεων. Προκειμένου να τονιστεί η έκταση του προβλήματος ακολουθούν ορισμένα στατιστικά στοιχεία σχετικά με το δομικό πλούτο της Ελλάδας βάσει στοιχείων της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας «ΕΛΣΤΑΤ» μέσω της απογραφής κτηρίων που πραγματοποιήθηκε το 2011[3]. Δυστυχώς τα δεδομένα της κτηριακής απογραφής της παρούσας έκθεσης (Ιούνιος 2022).

Σύμφωνα λοιπόν με τα στοιχεία κτηριακής απογραφής του έτους 2011, το σύνολο των κτηρίων της Χώρας ήταν 4105637 εκ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό, 19,1% (783752 κτήρια), εντοπιζόταν στην Περιφέρεια Αττικής και το χαμηλότερο, 3,4% (140.810 κτήρια), εντοπιζόταν στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων (Εικόνα 3)[3]. Τα κτήρια αυτά ταξινομήθηκαν ως προς τη χρήση τους (μεικτή χρήση σύμφωνα με το είδος της κύριας χρήσης τους) και τα αποτελέσματα παρατίθενται σχηματικά στην Εικόνα 4[3]. Ακολουθεί, βάσει της Συνοπτικής παρουσίασης δράσεων του Εθνικού Προγράμματος Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κατασκευών «ΕΠΑΝΤΥΚ» σχηματική παράθεση του ποσοστού κτηρίων ελληνικής επικράτειας ανά περίοδο κατασκευής (Εικόνα 5)[4].



Εικόνα 3. Ποσοστιαία κατανομή των κτηρίων κατά Περιφέρεια[3]



Εικόνα 4.Κατανομή των κτηρίων μικτής χρήσης σύμφωνα με την κύρια χρήση τους[3]



Εικόνα 5. Ποσοστά κτηρίων ελληνικής επικράτειας ανά περίοδο κατασκευής[4]



Εικόνα 6. Χρονική περίοδος κατασκευής των κτηρίων κατά Περιφέρεια[3]

Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν τα δεδομένα της εικόνας 5, κατά το χρόνο εκπόνησης της μελέτης, ποσοστό 93% των υφισταμένων κτηρίων στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί έως το 1995 και επομένως εκτιμάται ότι δεν έχουν σχεδιαστεί με την εφαρμογή σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών (ΝΕΑΚ και ΕΑΚ). Επιπλέον φαίνεται ότι ποσοστό 33% των υφισταμένων κτηρίων στην Ελλάδα, δηλαδή 1.296.849 κτήρια σε σύνολο 3.990.512 κτηρίων, έχουν κατασκευαστεί έως το 1960, δηλαδή εκτιμάται ότι δομήθηκαν χωρίς την εφαρμογή του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1959[4]. Σε μεταγενέστερη μελέτη, προκύπτει πως το μεγαλύτερο ποσοστό 17,2%). Ακολουθούν τα κτήρια που κατασκευάστηκαν την περίοδο 1961-1970 με ποσοστό 15,6% (639.475 κτήρια) και τα κτήρια που κατασκευάστηκαν την περίοδο 1946-1960 με ποσοστό επί του συνόλου 14% (573.250 κτήρια)[3]. Από τα παραπάνω προκύπτει η

ανάγκη αντισεισμικού επανασχεδιασμού κτηρίων με σύγχρονους κανονισμούς σεισμικής θωράκισης. Στην κατεύθυνση αυτή και με στόχο τη διασφάλιση της ποιότητας των υφιστάμενων κτηρίων νομοθετήθηκε ο Κανονισμός Επεμβάσεων ο οποίος αποτελεί και το κυριότερο εργαλείο της παρούσας εργασίας. Κλείνοντας το εισαγωγικό αυτό μέρος αυτής της εργασίας κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθεί πως πέραν της προτεραιότητας η οποία δεν είναι άλλη από την εξασφάλιση σεισμικής θωράκισης των κτηρίων με στόχο τη διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας, οι κανονισμοί επεμβάσεων προστατεύουν και την πολιτισμική κληρονομιά της ελληνικής επικράτειας όπως αυτή αποτυπώνεται μέσα από το αρχιτεκτονικό ύφος κτηρίων τα οποία ανεγέρθηκαν σε προγενέστερο χρόνο καθώς τα κτήρια αποτελούν μέρος της ταυτότητας της κάθε εποχής.

2.2 Αντισεισμική Αποτίμηση Υφιστάμενων Φορέων

2.2.1 Εισαγωγή στον Κανονισμό Επεμβάσεων «ΚΑΝ.ΕΠΕ»

Παρά το σαφές πλαίσιο που θέτουν ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός και οι Ευρωκώδικες για τις νέες κατασκευές, στην περίπτωση των υφιστάμενων κατασκευών απαιτείται η εισαγωγή πρόσθετων εννοιών, απαιτήσεων και προβλέψεων οι οποίες καλύπτονται από τον Κανονισμό Επεμβάσεων «ΚΑΝ.ΕΠΕ». Ο Κανονισμός Επεμβάσεων «ΚΑΝ.ΕΠΕ.» ο οποίος εγκρίθηκε το 2012 [ΦΕΚ 42Β/20-1-2012] και εφαρμόζεται παράλληλα με τον Ευρωκώδικα 8, αφορά στη θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων δομημάτων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις. Ο Κανονισμός επεμβάσεων τροποποιήθηκε το 2013 [ΦΕΚ 2187Β/5-9-2013] ενώ η 2^η αναθεώρησή του έγινε το 2017 [ΦΕΚ 2984Β/30-8-2017]. Η σπουδαιότητα του συγκεκριμένου κανονισμού έγκειται στη θεσμοθέτηση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου αντιμετώπισης υφιστάμενων κτηρίων με τις πιθανές αστοχίες που αυτά εμφανίζουν είτε λόγω φυσικής φθοράς είτε λόγω σχεδιασμού τους με βάση προγενέστερους αντισεισμικούς κανονισμούς.

Η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων στηρίζεται στον σχεδιασμό με βάση την επιτελεστικότητα. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται μέσα από το σχεδιασμό των κατασκευών αυτές να διατηρούν μία προκαθορισμένη σεισμική συμπεριφορά για δεδομένη στάθμη σεισμικής έντασης. Η προκαθορισμένη αυτή σεισμική συμπεριφορά είναι η επιθυμητή ή ανεκτή οριακή κατάσταση βλαβών μετά τον σεισμό και, στην περίπτωση του Κανονισμού Επεμβάσεων, αφορά στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής. Σε συνάρτηση, λοιπόν, με τις ευρύτερες κοινωνικο-οικονομικές ανάγκες θεσπίζονται διάφορες «στάθμες επιτελεστικότητας» (στοχευόμενες συμπεριφορές) υπό δεδομένους αντίστοιχους σεισμούς σχεδιασμού. Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού αποτελούν συνεκτιμούν την στάθμη επιτελεστικότητας και τη σεισμική δράση σχεδιασμού με δεδομένη ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του έργου (Εικόνα 7). Η επίτευξη ή μη κάθε στόχου αποτίμησης ή ανασχεδιασμού για την εκάστοτε υπό μελέτη κατασκευή ελέγχεται, με τη βοήθεια μιας μεθόδου ανάλυσης, μέσω της σύγκρισης των υπολογιζόμενων μεγεθών απόκρισης με τα αντίστοιχα κριτήρια αποδοχής[5].

| Πιθανότητα | Στάθμη επιτελεστικότητας | | | |
|---|---------------------------|------------------------|------------------------|--|
| υπέρβασης σεισμικής | φέροντος οργανισμού | | | |
| δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών | «Περιορισμένες βλάβες» | «Σημαντικές βλάβες» | «Οιονεί Κατάρρευση» | |
| 10% | A1 | B1 | Г1 | |
| 50% | A2 | B2 | Г2 | |

Εικόνα 7. Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού

2.2.2 Στάθμες Επιτελεστικότητας

Οι στάθμες επιτελεστικότητας αποτελούν την συμπεριφορά του φορέα κατά την σεισμική καταπόνηση και είναι ιδιαίτερα σημαντικές κατά τον σχεδιασμό καθώς προσδιορίζουν το επίπεδο των βλαβών που είναι αποδεκτό να εμφανιστούν έπειτα από σεισμό συγκεκριμένης περιόδου επαναφοράς. Το επίπεδο αυτό καθορίζεται τόσο από το κόστος επισκευής όσο και από το κοινωνικο-οικονομικό αποτύπωμα που δύναται να έχει μερική ή πλήρης διακοπή χρήσης του φορέα. Οι στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον «ΚΑΝ.ΕΠΕ.» διακρίνονται σε:

- Α (Περιορισμένες βλάβες): Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους, ενώ οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων είναι αμελητέες. Πιο αναλυτικά, καμιά λειτουργία του κτηρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά τον σεισμό σχεδιασμού, εκτός ενδεχομένως από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Οι βλάβες του φέροντα οργανισμού ενδεικτικώς είναι αραιές τριχοειδείς καμπτικές ρωγμές, χωρίς μόνιμες μετακινήσεις υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων. Τα μη φέροντα στοιχεία του κτηρίου, όπως για παράδειγμα τα διαχωριστικά και οι τοιχοπληρώσεις, μπορεί να παρουσιάζουν κατανεμημένη ρηγμάτωση, χωρίς πτώσεις τεμαχίων επιχρίσματος. Κατά το σεισμό δεν αναμένεται να προκληθεί σοβαρός τραυματισμός ατόμων λόγω βλαβών ή πτώσης στοιχείων του μη φέροντος οργανισμού.
- Β (Σημαντικές βλάβες): Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου έχει υποστεί σημαντικές αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους και ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμούς τουλάχιστον μέτριας έντασης. Πιο αναλυτικά, κατά τον σεισμό σχεδιασμού δεν αναμένεται να προκληθεί σοβαρός τραυματισμός ατόμων λόγω βλαβών ή πτώσης στοιχείων του μη φέροντος οργανισμού. Οι βλάβες του φέροντα οργανισμού ενδεικτικώς είναι καμπτικές και διατμητικές ρωγμές, περιορισμένες απολεπίσεις σκυροδέματος, τοπικοί λυγισμοί διαμήκων ράβδων οπλισμού και άνοιγμα ορισμένων αγκίστρων συνδετήρων

σε λίγα υποστυλώματα ή τοιχώματα και μικρές γενικώς μόνιμες μετακινήσεις. Τα μη φέροντα στοιχεία έχουν υποστεί βλάβες, όπως πυκνές ρηγματώσεις και τοπικές πτώσεις τεμαχίων επιχρίσματος και τμημάτων τοιχοποιίας, χωρίς σημαντικές εκτός επιπέδου αστοχίες.

Γ (Οιονεί κατάρρευση): Ο φέρων οργανισμός του κτηρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές, μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα βλάβες και οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία κατά τη διάρκεια και για ένα διάστημα μετά τον σεισμό), χωρίς να διαθέτει ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης.([6])

2.3 Παράμετροι Θέσπιση στόχων Αντισεισμικής Αποτίμησης -Ανασχεδιασμού

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η βασικότερη απαίτηση όσον αφορά το (ανα)σχεδιασμό αντισεισμικών κτηρίων είναι η διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας. Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Σχεδιασμός «ΕΑΚ 2000» αποτελεί βασικό εργαλείο για τη μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων ικανά να παραλάβουν με ασφάλεια ισχυρές σεισμικές καταπονήσεις. Οι κύριοι στόχοι του κανονισμού αυτού είναι: α) η προστασία της ανθρώπινης ζωής στην περίπτωση ισχυρών εντάσεων β) ο περιορισμός ή/και η αποφυγή των οικονομικών απωλειών σε περίπτωση μέτριων εντάσεων και γ) η διασφάλιση μιας ελάχιστης στάθμης λειτουργιών των έργων. Προκειμένου να ικανοποιηθούν αυστηρά κατά σειρά οι παραπάνω στόχοι και να θεσπιστούν τα ελάχιστα υποχρεωτικά κριτήρια αντισεισμικού σχεδιασμού τα κτήρια κατηγοριοποιούνται βάσει σπουδαιότητας ενώ λαμβάνεται υπόψη η ζώνη σεισμικού κινδύνου, η κατηγορία εδάφους, η χαρακτηριστική τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους και η συμπεριφορά του φορέα έπειτα από τη σεισμική καταπόνηση.

2.3.1. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας

Σύμφωνα με το εδάφιο 2.1, η ελληνική επικράτεια χωρίζεται σε 3 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας ανάλογα με το συντελεστή επιτάχυνσης του εδάφους βάσει του ΕΑΚ 2000 με τις τροποποιήσεις αυτού. Από την κατηγοριοποίηση αυτή προκύπτει ο χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (Εικόνα 8) και οι αντίστοιχοι συντελεστές σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους (Εικόνα 9)[7]. Για δομήματα συνήθους σημασίας η σεισμική δράση σχεδιασμού ορίζεται συμβατικά ως αυτή που έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια. Η πιθανότητα αυτή μεταφράζεται σε μέση περίοδο επανάληψης του σεισμού σχεδιασμού τα 475 έτη.



Εικόνα 8. Αναθεωρημένος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας

| Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας | I | II | Ш |
|--------------------------------|------|------|------|
| α | 0.16 | 0.24 | 0.36 |

Εικόνα 9. Συντελεστές Σεισμικής Επιτάχυνσης Εδάφους[7]

2.3.2. Κατηγορία Σπουδαιότητας

Η επόμενη παράμετρος που αναλύεται κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό αφορά στη σπουδαιότητα του υπό μελέτη κτίσματος η οποία προσαυξάνει το χαρακτηριστικό συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους ανά ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή του συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή σπουδαιότητας του κτηρίου. Ως προς τη σπουδαιότητα, τα κτήρια ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται σε ανθρώπινο και κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο ενδεχόμενη καταστροφή ή διακοπή της λειτουργίας τους. Για κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές λαμβάνεται υπόψη κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό ο σπουδαιότητας γ_i.Η κατηγοριοποίηση συντελεστής των κτηρίων βάσει σπουδαιότητας παρουσιάζεται στην Εικόνα 10[7]. Από τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτει η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού $\alpha_g = \gamma_i^* \alpha$.

| | Κατηγορία Σπουδαιότητας | γ_1 | | |
|----|---|------------|--|--|
| Σ1 | Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ. | 0.85 | | |
| Σ2 | Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ. | 1.00 | | |
| 50 | Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. | | | |
| Σ3 | Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ. | 1.15 | | |
| Σ4 | Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. | 1.30 | | |
| | Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.). | | | |

Εικόνα 10. Κατηγοριοποίηση των κτηρίων βάσει σπουδαιότητας[7]

2.3.3. Ποιότητα Εδάφους Θεμελίωσης

Επιπλέον θεωρούνται οι παρακάτω παράμετροι αντισεισμικού σχεδιασμού που σχετίζονται με την ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης. Η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αναφέρθηκε παραπάνω αφορά σε βραχώδες ή πολύ σκληρό έδαφος. Η κατηγοριοποίηση του εδάφους παρουσιάζεται στην Εικόνα 11. Κατά τη θεμελίωση σε μαλακά εδάφη, η τιμή αυτή επαυξάνεται με το συντελεστή εδάφους S, ο οποίος λαμβάνει τιμές από 1.00 έως 1.40 ανάλογα με την κατηγορία εδάφους (Εικόνα 12).

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ |
|-----------|--|
| | Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση |
| А | Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. |
| | Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ. |
| | Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. |
| P | Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. |
| В | Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ. |
| Г | Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. |
| | Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ. |
| Δ | Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας (1 _p > 50) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ. |
| | Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) |
| х | Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). |
| | Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. |
| | Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπυκνώσεως ή απώλειας αντοχής. |
| | Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. |
| | Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση. |

Εικόνα 11. Κατηγοριοποίηση εδάφους[7]

| Κατηγορία εδάφους | S | T_B (sec) | T_C (sec) | T_D (sec) |
|-------------------|------|-------------|-------------|-------------|
| А | 1.00 | 0.15 | 0.40 | 2.50 |
| В | 1.20 | 0.15 | 0.50 | 2.50 |
| С | 1.15 | 0.20 | 0.60 | 2.50 |
| D | 1.35 | 0.20 | 0.80 | 2.50 |
| Е | 1.40 | 0.15 | 0.50 | 2.50 |
| | | | | |

Εικόνα 12. Συντελεστής εδάφους και χαρακτηριστικές περίοδοι φάσματος σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΚ8.

2.3.4. Χαρακτηριστικά Φορέα

2.3.4.1. Πλαστιμότητα

Με τον όρο πλαστιμότητα περιγράφουμε την ικανότητα μια κατασκευής, μέλους η υλικού να υποστεί πλαστικές παραμορφώσεις, χωρίς απώλεια ή μείωση της φέρουσας ικανότητας αυτού. Τα υλικά τα οποία εμφανίζουν μικρή πλαστιμότητα χαρακτηρίζονται ως ψαθυρά (π.χ. άοπλο σκυρόδεμα), ενώ αντίθετα υλικά με μεγάλη πλαστιμότητα χαρακτηρίζονται ως όλκιμα(π.χ. χάλυβας). Η πλαστιμότητα αποτελεί μία από τις κυριότερες παραμέτρους για τις αντισεισμικές κατασκευές, καθώς καθορίζει αν μια κατασκευή θα καταρρεύσει ή όχι στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι περισσότεροι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στους κανονισμούς προϋποθέτουν ότι ένα μέρος της σεισμικής ενέργειας θα καταναλωθεί στην κατασκευή σαν έργο πλαστικών παραμορφώσεων. Η πλαστιμότητα μιας πραγματικής κατασκευής είναι δύσκολο να υπολογισθεί έστω και προσεγγιστικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν καθιερωμένες μέθοδοι ή κανονισμοί στους οποίους υπεισέρχεται άμεσα σαν φυσικό μέγεθος. Σε επίπεδο κατασκευής η πλαστιμότητα εξασφαλίζεται μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των μελών τα οποία συνθέτουν την κατασκευή. Ένα μέλος διαθέτει πλάστιμη συμπεριφορά, όταν, για μεν μονότονη φόρτιση παρατηρείται αύξηση των παραμορφώσεων χωρίς σημαντική μείωση της αντοχής του μέλους, για δε ανακυκλιζόμενη φόρτιση οι βρόγχοι υστέρησης δύναμης-παραμόρφωσης είναι περίπου σταθεροί σε πλάτος και σε μέγιστη δύναμη για σταθερό εύρος των κύκλων παραμόρφωσης. Αντίθετα, σε ένα μέλος που δεν έχει πλάστιμη συμπεριφορά, παρατηρείται σημαντική μείωση της αντοχής και της δυσκαμψίας, μετά από λίγους κύκλους φόρτισης-επαναφόρτισης.



Εικόνα 13. Ανακυκλιζόμενη φόρτιση για α) πλάστιμο μέλος και β) μη-πλάστιμο μέλος[8]

2.3.4.2. Συντελεστής συμπεριφοράς q

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η πλάστιμη συμπεριφορά των κατασκευών εισάγεται η έννοια του συντελεστή συμπεριφοράς q. Σύμφωνα με τον αναθεωρημένο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό «ΕΑΚ 2000», ο συντελεστής συμπεριφοράς q αποτελεί ένα δείκτη της μείωσης της σεισμικής επιτάχυνσης που εμφανίζει η πραγματική κατασκευή λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα.

Στην Εικόνα 14 παρατίθενται οι μέγιστες τιμές q ανάλογα με το είδος του υλικού κατασκευής και τον τύπο του δομικού συστήματος. Οι τιμές αυτές ισχύουν υπό την προϋπόθεση πως για το σεισμό σχεδιασμού υπάρχει έναρξη διαρροής του συστήματος (πρώτη πλαστική άρθρωση) και με την περαιτέρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατός ο σχεδιασμός αξιόπιστου μηχανισμού διαρροής με τη δημιουργία ικανού αριθμού πλαστικών αρθρώσεων (πλάστιμη συμπεριφορά). Για τις περιπτώσεις επιθυμητής ελαστικής συμπεριφοράς q=1.

| ΥΛΙΚΟ | ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ | q |
|---------------|--|--------------|
| | α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα | |
| 1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ | β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι | |
| ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνο-λικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους. | |
| | α. Πλαίσια | 4.00 |
| | β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα * | 4.00 |
| | γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα: | |
| 2. ΧΑΛΥΒΑΣ | διαγώνιοι σύνδεσμοι | 3.00 |
| | σύνδεσμοι τύπου V ή L | 1 .50 |
| | σύνδεσμοι τύπου Κ (όπου επιτρέπεται*) | 1.00 |
| | * Βλέπε Παράρτημα Γ. | |
| | α. Με οριζόντια διαζώματα | 1 .50 |
| 3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ | β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα | 2.00 |
| | γ. Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια) | 2.50 |
| | α. Πρόβολοι | 1.00 |
| | β. Δοκοί – Τόξα – Κολλητά πετάσματα | 1 .50 |
| 4. = 170 | γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις | 2.00 |
| | δ. Πετάσματα με ηλώσεις | 3.00 |

Εικόνα 14. Μέγιστες τιμές συντελεστή συμπεριφοράς q

2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης

Η αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) Συλλογή Στοιχείων β) Ανάλυση και γ) Έλεγχος Οριακών Καταστάσεων. Οι κυριότερες διαθέσιμές μέθοδοι ανάλυσης είναι οι ακόλουθες: 1.Ελαστική Στατική Ανάλυση, με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς (q) ή τοπικό δείκτη (m)

2.Ελαστική Δυναμική Ανάλυση, με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς (q) ή τοπικό δείκτη (m)

3.Ανελαστική Στατική Ανάλυση

4.Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται η Ανελαστική Στατική Ανάλυση για τη μελέτη του φορέα. Η μέθοδος αυτή έχει ως κύριο στόχο την εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτήριο υπόκειται σε σεισμική δράση για την οποία γίνεται αποτίμηση ή ανασχεδιασμός.

Η στατική ανελαστική ανάλυση βάσει «ΚΑΝ.ΕΠΕ.» λαμβάνει τις εξής παραδοχές:

A) Το προσομοίωμα του εξεταζόμενου κτηρίου θα συνεκτιμά με άμεσο τρόπο τα μηγραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης-παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων.

B) Το προσομοίωμα αυτό θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανεμημένα κατά τρόπο ανάλογο με τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτηρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης-μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτηρίου (κόμβος ελέγχου),το οποίο συνήθως επιλέγεται να είναι το κέντρο μάζας του δώματος της κατασκευής. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

Γ) Αφού επιλεγεί η σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού), ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας γίνεται για τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου που αντιστοιχεί στη σεισμική αυτή δράση. Ελέγχεται ότι για τη μετακίνηση αυτή η παραμόρφωση (γωνία στροφής κατά ή μετά τη διαρροή) των πλάστιμων δομικών στοιχείων δεν συνεπάγεται βαθμό βλάβης μμεγαλύτερο από εκείνον που γίνεται ανεκτός για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας του κτηρίου.

Δ) Όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (στοχευόμενη μετακίνηση δt) που προκαλείται από τη σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το φάσμα μετακινήσεων που αντιστοιχεί σε πλαστιμότητα συμβατή με τη μετακίνηση του κτηρίου.

E) Για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης επιτρέπεται η χρήση ευρέως αποδεκτών απλοποιητικών μεθόδων.

Η μέθοδος αυτή στοχεύει στην αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας δομημάτων, εκτιμώντας την παραμορφωσιμότητα και την αντοχή των τμημάτων της κατασκευής. Μέσα από τον προσδιορισμό των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία του εξεταζόμενου φορέα, όταν ο τελευταίος υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός, αποκαλύπτονται οι κρίσιμες περιοχές του φορέα, όπου οι ανελαστικές μετακινήσεις είναι σημαντικές, ενώ παράλληλα προσδιορίζονται οι πιθανές αδυναμίες του και αξιολογείται η ευστάθεια του δομικού συστήματος στο σύνολό του. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η χρήση κατάλληλου υπολογιστικού μοντέλου προσομοίωσης του εκάστοτε εξεταζόμενου φορέα, στο οποίο θα συνεκτιμάται με άμεσο τρόπο η ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων. Το εν λόγω προσομοίωμα υποβάλλεται, με την ταυτόχρονη δράση των κατακόρυφων φορτίων των δομικών στοιχείων, σε οριζόντια φορτία διαφορετικών καθ' ύψος κατανομών, τα οποία αυξάνουν μονότονα και αναπαριστούν τις αδρανειακές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα επίπεδα των ορόφων κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής διέγερσης. Από την ανάλυση του προσομοιώματος, η οποία διενεργείται έως ότου επέλθει η αστοχία του φορέα, κατασκευάζεται η καμπύλη αντίστασης (ικανότητας), της κατασκευής (capacity curve), η οποία εκφράζει τη σχέση μεταξύ της τέμνουσας βάσης του κτηρίου και της μετατόπισης κορυφής (κόμβου ελέγχου).

3. Περιγραφή Κτηρίου

3.1 Εισαγωγή

Η μελέτη κατασκευής του ξενοδοχείου πραγματοποιήθηκε το 1970, σύμφωνα με τους ισχύοντες τότε κανονισμούς, τον Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος του 1954 και τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959. Η κατασκευή της ξενοδοχειακής μονάδας ξεκίνησε στις αρχές της δεαετίας του 1970 και ολοκληρώθηκε το 1979, ενώ λειτούργησε πλήρως σαν τουριστική μονάδα από το επόμενο έτος (1980), με την έκδοση των αδειών λειτουργίας και κτηρίου. Το 2003 πραγματοποιήθηκε εκτενής ανακαίνιση του ξενοδοχείου, με αντικατάσταση κουφομάτων, ηλέκτρολογικών και υδραυλικών στοιχείων, αποκατάσταση των επιφανειών και της επίπλωσης.

Έπειτα από επιτόπιο έλεγχο, παρατηρούνται φθορές στον υλικό εξοπλισμό και τις επιφάνειες της κατασκευής, όχι, όμως, στα μέλη του φέροντος οργανισμού, στα οποία παρατηρούνται μόνο επιφανειακές βλάβες, λόγω της εκτεταμένης έκθεσης στα στοιχεία της φύσης. Κατά τον έλεγχο του κτηρίου δεν εντοπίστηκαν σημαντικές βλάβες στις δοκούς, τα υποστυλώματα και τα τοιχία του κτηρίου.

Το κτήριο της παρούσας μελέτης αποτελεί την κεντρική μονάδα ξενοδοχειακής εγκατάστασης και διαθέτει 97 δωμάτια, εκ των οποίων τα 28 βρίσκονται στον πρώτο όροφο και τα υπόλοιπα 69 στους ανώτερους τρεις. Ξεκίνησε να λειτουργεί ως ξενοδοχείο το καλοκαίρι το 1980, με την έκδοση των αδειών λειτουργίας και κτηρίου.

3.2 Μορφολογία Φέροντος Οργανισμού

Το κτήριο διαθέτει ιδιαίτερη γεωμετρία, καθώς αποτελείται από ένα διώροφο ορθογωνικό δόμημα με ανοιχτό υπόγειο - πυλωτή επί του οποίου στηρίζεται τριώροφη πεντάγωνη κατασκευή. Το ορθογωνικό τμήμα του φορέα αποτελείται από παράλληλα πλαίσια μεγάλων ανοιγμάτων 7 και 8,7 μέτρων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μικρότερες δοκούς. Τα υποστυλώματα είναι ορθογώνια διαστάσεων 45x65, ενώ οι δοκοί τις οποίες υποστηρίζουν έχουν διαστάσεις 45x70. Οι συνδετήριες δοκοί των πλαισίων έχουν διαστάσεις 25x50. Οι συνολικές διαστάσεις της κάτοψης των δύο πρώτων ορόφων είναι 72,4x15,7 μέτρα, ενώ περιβάλλονται και από πρόβολο (μπαλκόνι) πλάτους 2 μέτρων από τις δύο πλευρές προς τη θάλασσα, όπως φαίνεται στον ακόλουθο ξυλότυπο.



Εικόνα 1 Ξυλότυπος οροφής 1ου ορόφου.

Στην οροφή του δευτέρου ορόφου, στα πλαίσια 4 έως 8, εντοπίζονται πέντε προεντεταμένες δοκοί, διατομής 1,00x1,50 οι οποίες αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των φορτίων της ανωδομής. Οι δοκοί στηρίζονται σε υποστυλώματα διατομής 0,80x1,35 και δεν συνδέονται μεταξύ τους με δευτερεύουσες δοκούς, όπως φαίνεται στην κάτοψη οροφής του δευτέρου ορόφου.



Εικόνα 2 Ξυλότυπος οροφής του 2ου ορόφου, με την προβολή της ανωδομής.

Η πυλωτή, η οποία δεν είχε προβλεφθεί στην αρχική μελέτη, βρίσκεται κάτω από το μεγάλο άνοιγμα των πλαισίων των δύο υπερκείμενων ορόφων και η πρόσοψή της είναι στο επίπεδο του εδάφους από την βόρεια πλευρά του δομήματος (προς τη θάλασσα). Όπως φαίνεται και στην κάτοψη της οροφής της στην ακόλουθη εικόνα, στο σημείο των ενδιάμεσων υποστυλωμάτων των πλαισίων των άνω ορόφων έχει κατασκευαστεί τοιχίο, ενώ για την παραλαβή των φορτίων του 1^{ου} ορόφου χρησιμοποιούνται δοκοί ανοίγματος 8,7 μέτρων και διαστάσεων 20x60. Ορισμένες

από αυτές τις δοκούς δεν στηρίζονται σε υποστυλώματα αλλά στις περιμετρικές δοκούς διαστάσεων επίσης 20x60.



Εικόνα 3 Ξυλότυπος οροφής της πυλωτής.

Οι ανώτεροι όροφοι, πεντάγωνης κάτοψης, εμφανίζουν πλαισιακή λειτουργία σε τρεις διευθύνσεις. Προς τις δύο διαγώνιες διευθύνσεις, των 45° και 135°, έχουν κατασκευαστεί τρία πλαίσια, εκ των οποίων μόνο τα εξωτερικά, περιμετρικά της κατασκευής, συνδέονται στο πέρας τους. Η τρίτη σειρά πλαισίων ακολουθεί τις διευθύνσεις των κύριων αξόνων του φορέα. Οι δοκοί των εξωτερικών και των εσωτερικών πλαισίων είναι διαστάσεων 20x50 και των ενδιάμεσων 30x50. Στο κέντρο των ορόφων εντοπίζεται ο πυρήνας της κατασκευής, που αποτελείται από τα τοιχία των φρεατίων των ανελκυστήρων, και το κλιμακοστάσιο. Περιμετρικά των ορόφων υπάρχει μπαλκόνι πλάτους δύο μέτρων.



Εικόνα 4 Ξυλότυπος οροφής των ανώτερων τριών ορόφων του φορέα.

Οι πλάκες του φορέα είναι δοκιδωτές, συνολικού ύψους 15 εκατοστών, με εξαίρεση την οροφή του 2^{ου} ορόφου, η οποία έχει ύψος 18 εκατοστά. Αποτελούνται από συμπαγή ζώνη 7 εκατοστών και δοκίδες πλάτους 10 εκατοστών ανά μισό μέτρο, οπλισμένες με 2Φ16 ανά δοκίδα.



Εικόνα 5 Σκαρίφημα Δοκιδωτής Πλάκας της οροφής του 2ου ορόφου.

3.3 Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά Φέροντος Οργανισμού

Το κτήριο, εκτός από τη σύνθετη γεωμετρία του, εμφανίζει και μία πληθώρα ιδιαίτερων χαρακτηριστικών, τα οποία συνεισφέρουν στη δυσχέρεια του έργου αποτύπωσής του και επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία του φέροντος οργανισμού υπό σεισμική καταπόνηση.

3.3.1 Αντισεισμικός Αρμός

Το ορθογωνικό τμήμα της κατασκευής έχει ιδιαίτερα μεγάλο μήκος (72,4 μέτρα), συνεπώς στα 42,5 μέτρα τοποθετήθηκε αντισεισμικός αρμός δύο εκατοστών μεταξύ των πλαισίων 9 και 10 του φέροντος οργανισμού των κατώτερων ορόφων. Ο αντισεισμικός αρμός πρακτικά εξασφαλίζει την ανεξάρτητη λειτουργία των εκατέρωθεν φορέων για κατακόρυφη στατική φόρτιση. Κατά την οριζόντια διέγερση του φορέα παρουσιάζει αυξανόμενη δυσκαμψία σε θλίψη, μέχρι την απομείωση του πάχους του, στην οποία περίπτωση τα πλαίσια άπτονται μεταξύ τους, ενώ δεν διαθέτει ουσιαστική δυσκαμψία σε εφελκυσμό. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η θέση του αντισεισμικού αρμού, καθώς τα πλαίσια τα οποία χωρίζει βρίσκονται κάτω από την τριώροφη ανωδομή, στην οποία ο αρμός διακόπτεται.



Εικόνα 6. Θέση αντισεισμικού αρμού μεταξύ των υποστυλωμάτων των πλαισίων 9 και 10 στον 1ο όροφο.

3.3.2 Ανισόπεδη Θεμελίωση

Ο φορέας είναι θεμελιωμένος σε κεκλιμένο έδαφος σημαντικής κλίσης, με αποτέλεσμα η στάθμη του εδάφους από την πλευρά της θάλασσας να είναι περί τα έξι μέτρα χαμηλότερη από τη στάθμη του στην είσοδο του κτηρίου.



Εικόνα 7. Τομή Αρχικής Μελέτης (όχι εφαρμογής), που απεικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή η στάθμη του φυσικού εδάφους.

3.3.3. Φυτευτά Υποστυλώματα Ανωδομής

Τα υποστυλώματα των ανώτερων ορόφων είναι στην πλειοψηφία τους φυτευτά είτε στις δοκούς της οροφής του 2^{ου} ορόφου, είτε σε συμπαγείς ενισχυμένες ζώνες εντός της πλάκας της οροφής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το φυτευτό υποστύλωμα που εδράζεται επί ενισχυμένης ζώνης μεταξύ των πλαισίων 10 και 11 στην άλλη πλευρά του αντισεισμικού αρμού.



Εικόνα 8 Προοπτική απεικόνιση της έδρασης των Υποστυλωμάτων της Ανωδομής σε υποστυλώματα και ενισχυμένες ζώνες.

3.3.4. Απόληξη Κλιμακοστασίου και Ανελκυστήρων

Η αρχική μελέτη του κτηρίου διέθετε πρόβλεψη για την κατασκευή ενός επιπλέον ορόφου (6^{ου}). Αν και η κατασκευή του δεν υλοποιήθηκε ποτέ, δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις μελλοντικής πραγματοποίησής της. Συνεπώς, στην οροφή της τελευταίας στάθμης (οροφή 5^{ου} ορόφου), εντοπίζεται διώροφη κατασκευή που αποτελεί την απόληξη των φρεατίων των τριών ανελκυστήρων (δύο κεντρικοί για τους επισκέπτες/ενοίκους του ξενοδοχείου και ένας βοηθητικός για το προσωπικό), το κεντρικό κλιμακοστάσιο επεκτείνεται πέραν της οροφής του 5^{ου} ορόφου, ενώ υπάρχουν και αναμονές για επέκταση των υποστυλωμάτων του υποκείμενου ορόφου.



Εικόνα 9 Τομή των άνω ορόφων με τον μη υλοποιημένο 6ο όροφο (4ο στην εικόνα) του κτηρίου.

4. Προσομοίωση Φέροντος Οργανισμού

4.1. Εισαγωγή

Η προσομοίωση του φορέα πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SeismoStruct της εταιρείας Seismosoft, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και τα προγράμματα Autocad και Microsoft Excel για τους υπολογισμούς των χαρακτηριστικών της κατασκευής. Ακολουθούν τα στάδια, οι παραδοχές και οι μέθοδοι υλοποίησης της προσομοίωσης του φέροντος οργανισμού του κτηρίου.

4.2. Συλλογή Δεδομένων – Σ.Α.Δ.

Για τη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων προσομοίωσης του φορέα χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μελέτες και τεχνικές εκθέσεις που πραγματοποιήθηκαν από την έναρξη της διαδικασίας κατασκευής του ξενοδοχείου έως σήμερα. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία των διαστάσεων του φορέα, των κατόψεων των ορόφων,

των όψεων και των τομών του κτηρίου, καθώς και οι διαστάσεις δοκών και υποστυλωμάτων αντλήθηκαν από την πρόσφατη μελέτη τακτοποίησης αυθαιρέτων, που έλαβε χώρα από το 2016 έως το 2018, ενώ τα επίπεδα βλαβών του φέροντος οργανισμού ελέγχθηκαν τόσο με επιτόπιο έλεγχο, όσο και από δύο ανεξάρτητες τεχνικοοικονομικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν τα έτη 2019 και 2021.

Οι οπλισμοί των φερόντων μελών του φορέα εκτιμήθηκαν σύμφωνα με τα φορτία για την οριακή κατάσταση αστοχίας, όπως αυτά υπολογίσθηκαν, ενώ η ποιότητα των υλικών θεωρείται σύμφωνη με τη στατική μελέτη, καθώς ανταποκρίνεται στους κανονισμούς και τις συνήθεις πρακτικές της εποχής.

Δεδομένης της ελλιπούς γνώσης των οπλισμών των μελών του φορέα, η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων κρίνεται Ανεκτή. Παρ' όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψιν την Σ.Α.Δ. της γεωμετρίας του φορέα ως τουλάχιστον Ικανοποιητική και θεωρώντας τη μέθοδο που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των φορτίων, και κατά συνέπεια των οπλισμών, και παρουσιάζεται στη συνέχεια, ως αξιόπιστη, κρίνεται αποδεκτή η εφαρμογή μη γραμμικών μεθόδων αποτίμησης της κατασκευής για Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων Ικανοποιητική.

| Safety Factors | - | | | × |
|---|-------|----------|------------------|---|
| Safety Factors Specify the values of the Safety factors used in the checks | | | | |
| Eurocode 8, Part-3 ASCE 41-17 NTC-08 NTC-18 Greek Code TBDY | | | | |
| Brittle Mechanisms, Existing Materials (Section 4.5.2 and Appendix 4.1) | | | | |
| Partial Factor vc for concrete, Brittle mechanisms, Existing materials, High DRL | 1,150 | | Qk | |
| Partial Factor ys for steel, Brittle mechanisms, Existing materials, High DRL | 1,050 | • | Cancel | |
| Partial Factor yc for concrete, Brittle mechanisms, Existing materials, Satisfactory DRL | 1,300 | | _ | |
| Partial Factor ys for steel, Brittle mechanisms, Existing materials, Satisfactory DRL | 1,150 | × | Program Defaults | |
| Partial Factor γc for concrete, Brittle mechanisms, Existing materials, Tolerable DRL | 1,450 | | | |
| Partial Factor ys for steel, Brittle mechanisms, Existing materials, Tolerable DRL | 1,250 | * * | Set As Default | |
| Brittle Mechanisms, New Materials (Section 4.5.3.2, Table 4.3 and Appendix 4.1) | | | | |
| Coefficient y'm/ym for Normal (standard) accecibility, Brittle mechanisms | 1,050 | * | | |
| Coefficient y'm/ym for Reduced accecibility, Brittle mechanisms | 1,200 | * | | |
| Ductile Mechanisms, Existing Materials (Section 4.5.3.3 and Appendix 4.1) | | | | |
| Partial Factor y'm , Ductile mechanisms, New materials, High DRL | 1,000 | * | | |
| Partial Factor y'm , Ductile mechanisms, New materials, Satisfactory DRL | 1,100 | * | | |
| Partial Factor $\gamma^\prime m$, Ductile mechanisms, New materials, Tolerable DRL | 1,200 | * | | |
| Ductile Mechanisms, New Materials (Section 4.5.3.3 and Appendix 4.1) | | | | |
| Coefficient y'm/ym for Normal (standard) accecibility, Ductile mechanisms | 1,150 | * | | |
| Coefficient y'm/ym for Reduced accecibility, Ductile mechanisms | 1,250 | * | | |
| Other Safety Factors | | | | |
| Factor yRd (Section 9.3.1 and Appendix 9A) | 1,500 | • | | |
| Factor ySd, Intense and extensive damage and/or interventions (Section 4.5.1 and Table S4.2) | 1,200 | * | | |
| Factor ySd, Light and local damage and/or interventions (Section 4.5.1 and Table 54.2) | 1,100 | | | |
| Factor ySd, Without damage and without interventions (Section 4.5.1 and Table S4.2) | 1,000 | | | |
| | | | | |
| Factor yRD for beam-column joints (Section 7.2.5) | 1,200 | | | |
| Partial Factor yfd for fiber reinforced polymers, FRP (Section 8.2.2.2) | 1,200 | | | |
| Calculation of Chard Rotation Canacity | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Calculation of Silding Shear Capacity for Walls | | | | |
| () From equation (1.13) () From equation (1.14) | | | | |

Εικόνα 10. Συντελεστές Ασφαλείας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ανάλογα με τη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, οπως λαμβάνονται από το λογισμικό SeismoStruct.

4.3. Υλικά

Σύμφωνα με την αρχική Στατική Μελέτη του φορέα, η ποιότητα σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των πλαισίων των κατώτερων ορόφων είναι B300, ενώ στην πεντάγωνη κατασκευή και στις πλάκες εφαρμόστηκε σκυρόδεμα B225. Για τον οπλισμό των μελών του φορέα τοποθετήθηκε χάλυβας StIII, (Stahl III). Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες αντοχές των υλικών, με τους αντίστοιχους συντελεστές του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων Ικανοποιητική.

4.3.1. Σκυρόδεμα Β300 και Β225

Η μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος υπολογίσθηκε αντίστοιχα για B300 και B225 σε 30MPa και 22,5MPa, η μέση εφελκυστική στο 10% της θλιπτικής, τα μέτρα ελαστικότητας Ε σε 25,743GPa και 22,294GPa και το ειδικό βάρος του σκυροδέματος θεωρήθηκε ίσο με 25kN/m³, αλλά υπολογίστηκε και εφαρμόστηκε στο στάδιο επιβολής φορτίων στην κατασκευή. Στο λογισμικό επιλέχθηκε η καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων που υπολογίσθηκε από τους Mander et al. [9] για την περιγραφή της συμπεριφοράς του σκυροδέματος.



Εικόνα 11. Πίνακας Χαρακτηριστικών σκυροδέματος Β300.



Εικόνα 12. Πίνακας Χαρακτηριστικών σκυροδέματος Β225.

4.3.2. Χάλυβας StIII

Ο χάλυβας τόσο του κύριου οπλισμού όσο και των συνδετήρων έχει μέση αντοχή 460MPa και μέτρο ελαστικότητας που συντηρητικά εκτιμήθηκε σε 200GPa και ακολουθεί τη σχέση τάσεων – παραμορφώσεων που προτάθηκε από τους Menegotto και Pinto, [10]και συμπληρώθηκε από τους Filippou et al. [11] και Fragiadakis et al. [12], όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 13. Πίνακας Χαρακτηριστικών χάλυβα StIII.

4.4. Κόμβοι

4.4.1. Υπολογισμός Συντεταγμένων – Αρίθμηση Κόμβων

Οι συντεταγμένες των κόμβων του φορέα υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης τακτοποίησης αυθαιρέτων. Εξαιτίας της πολύπλοκης γεωμετρίας της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε και υπολογιστικό φύλο Excel για τον ταχύτερο προσδιορισμό της ακριβούς θέσης των κόμβων των ανώτερων ορόφων. Στην κατώτερη στάθμη θεμελίωσης ορίστηκε μηδενική κατακόρυφη συντεταγμένη, z = 0, και τα υψόμετρα των ορόφων καθορίστηκαν σε σχέση με αυτή, σύμφωνα με την τομή της μελέτης τακτοποίησης.



Εικόνα 14. Τομή Φορέα με διορθώσεις από τη Μελέτη Τακτοποίησης Αυθαιρέτων.

Δεδομένου του μεγάλου αριθμό κόμβων του μοντέλου προσομοίωσης, η αρίθμηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη θέση των κόμβων ως προς το καθολικό σύστημα συντεταγμένων.

Για την αρίθμηση των κατώτερων ορόφων ισχύουν τα εξής:

- Το πρώτο σύμβολο καθορίζει τη στάθμη του κόμβου. Με μηδέν (0) ορίσθηκε η στάθμη της οροφής της πυλωτής, ενώ με U ορίσθηκε η κατώτατη στάθμη θεμελίωσης, για z = 0.
- Το δεύτερο σύμβολο καθορίζει τη σειρά του κόμβου, με διεύθυνση παράλληλη στη μεγάλη διεύθυνση των ορθογωνικών ορόφων, Υ κατά το

καθολικό σύστημα συντεταγμένων στο πρόγραμμα. Δεδομένης της διάταξης των πλαισίων ορίστηκαν οι σειρές 1, 2 και 3.

Το τρίτο σύμβολο αναφέρεται στην αρίθμηση του πλαισίου του κόμβου.
 Συνολικά εντοπίζονται 15 πλαίσια. Όσον αφορά τις πρόσθετες δοκούς της οροφής της πυλωτής, οι οποίες εντοπίζονται μεταξύ των πλαισίων, οι κόμβοι τους διαφοροποιούνται με το γράμμα b από τον κόμβο που προηγείται.

Οι ανώτεροι όροφοι παρουσιάζουν πλαισιακή λειτουργία προς τρεις διευθύνσεις, εκ των οποίων η μία είναι η Υ, ενώ οι άλλες δύο σχηματίζουν γωνίες 46,11° και 133,89° με την Υ αντίστοιχα. Συνεπώς, επιλέχθηκε διαφορετική αρίθμηση των κόμβων των ορόφων για τα πλαίσια που ακολουθούν τις καθολικές διευθύνεις και για αυτά που ακολουθούν τις πλάγιες διευθύνσεις, ως εξής:

- Το πρώτο σύμβολο καθορίζει τη στάθμη του κόμβου.
- Το δεύτερο σύμβολο καθορίζει τη διεύθυνση των πλαισίων. Επιλέχθηκε ελληνική αρίθμηση για την πλάγια διεύθυνση των 46,11° και λατινική αρίθμηση για τη διεύθυνση Υ.
- Το τρίτο σύμβολο αναφέρεται στη θέση των κόμβων στη διεύθυνση των 133,89° και στην κάθετη διεύθυνση αντίστοιχα.

Ακολουθεί ξυλότυπος της μελέτης τακτοποίησης στον οποίο φαίνονται οι διευθύνσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την αρίθμηση των κόμβων οροφής των ανώτερων ορόφων.



Εικόνα 15. Ξυλότυπος οροφής των ορόφων 3, 4 και 5.

Τέλος, εφαρμόσθηκε ξεχωριστή αρίθμηση των κόμβων που ορίζουν:

- Τα τοιχώματα των φρεατίων των ανελκυστήρων, που αποτελούν τον πυρήνα της κατασκευής.
- Τις συμπαγείς ενισχυμένες ζώνες των φυτευτών υποστυλωμάτων.
- Βοηθητικά σημεία για τα οποία απαιτήθηκε η ύπαρξη δομικού κόμβου, χωρίς όμως να προσδιορίζουν κάποιο συγκεκριμένο μέλος του φορέα, όπως οι κόμβοι των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του αντισεισμικού αρμού.

4.4.2. Κόμβος Ελέγχου

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 5.7.3.2. του ΚΑΝ.ΕΠΕ., ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης θα λαμβάνεται εν γένει στο κέντρο μάζας της οροφής του κτηρίου. Για κτήρια με σοφίτες ή μικρούς οικίσκους στο δώμα, ο κόμβος ελέγχου θα λαμβάνεται στην οροφή του πλήρους υποκείμενου ορόφου.

Στο υπό μελέτη δόμημα εντοπίζεται διώροφη απόληξη κλιμακοστασίου και ανελκυστήρα επί του τελευταίου ορόφου του κτηρίου. Θεωρώντας τις απολήξεις μικρούς οικίσκους δώματος, ορίζεται ως κόμβος ελέγχου της κατασκευής το κέντρο μάζας της οροφής του τελευταίου πλήρους ορόφου, του 5^{ου}.

4.5. Θεμελίωση

Στην παρούσα μελέτη, η προσομοίωση των συνθηκών στήριξης του φορέα γίνεται με την κλασσική προσέγγιση, αγνοώντας την αλληλεπίδραση εδάφους – θεμελίωσης. Κατά συνέπεια, λαμβάνονται συνθήκες πλήρους πάκτωσης στους κόμβους που βρίσκονται στη στάθμη του εδάφους. Στην ακόλουθη Εικόνα παρουσιάζεται μία τυπική προσομοίωση θεμελίωσης με δέσμευση και των έξι βαθμών ελευθερίας του κόμβου 0_1_1 σε τρεις διαστάσεις.



Εικόνα 16. Δέσμευση Βαθμών Ελευθερίας Κόμβων στο SeismoStruct.

4.6. Υπολογισμός Δράσεων Φορέα

4.6.1. Εισαγωγή

Τα φορτία που καλείται να παραλάβει η κατασκευή υπολογίζονται σύμφωνα με τα υπάρχοντα αρχιτεκτονικά σχέδια και τους ξυλότυπους της μελέτης τακτοποίησης αυθαιρέτων. Τα ιδιοβάρη των μελών του φορέα, που έχουν μηδενιστεί στα χαρακτηριστικά των υλικών, υπολογίζονται για μεικτό ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος γ = 25kN/m³.

4.6.2. Αποτύπωση Ξυλοτύπων και Κατόψεων στο λογισμικό Autocad

Ο υπολογισμός των μόνιμων και κινητών φορτίων της κατασκευής απαιτεί τον υπολογισμό των φορτικών επιφανειών των δοκών. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των ξυλότυπων των ορόφων στο λογισμικό Autocad, στους οποίους προβλήθηκαν οι φορτικοί συντελεστές των κινητών φορτίων, όπως υπολογίστηκαν από τα αρχιτεκτονικά σχέδια. Για τις φορτικές επιφάνειες των δοκών έγινε η παραδοχή ίσης επιρροής των δοκών στην παραλαβή των φορτίων των πλακών. Συνεπώς, χαράχθηκαν οι διχοτόμοι των γωνιών μεταξύ των δοκών, με την εντολή xline – bisect του λογισμικού, και προέκυψαν οι περίμετροι των φορτικών επιφανειών. Τα σχέδια που ακολουθούν αναφέρονται στις κατόψεις των ανώτερων ορόφων.



Εικόνα 17. Φορτικές επιφάνειες Δοκών Ορόφων.

Θεωρήθηκαν κινητά φορτία 2kPa για τα δωμάτια και τους βοηθητικούς χώρους, περιοχές στις οποίες δεν αναμένεται υψηλή πληθυσμιακή συγκέντρωση, και 5kPa για τους διαδρόμους, τα μπαλκόνια και το κλιμακοστάσιο.



Εικόνα 18. Αποτύπωση δοκών των ανώτερων ορόφων με κυανό και συντελεστές φόρτισης περιεγραμμένων εμβαδών με πράσινο για 2kPa και κίτρινο για 5kPa.

4.6.3. Υπολογισμός Συνολικών Κατανεμημένων Φορτίων

Τα εμβαδά των φορτικών επιφανειών υπολογίσθηκαν με την εντολή area του Autocad και τα αποτελέσματα συντάχθηκαν σε πίνακες στο Microsoft Excel για τον τελικό υπολογισμό των δράσεων του φορέα.

Τα συνολικά κινητά φορτία προέκυψαν ως το άθροισμα του γινομένου των χαρακτηριστικών τιμών φόρτισης, όπως αυτές ορίσθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, (5.4.2.), με τα αντίστοιχα εμβαδά των φορτικών επιφανειών.

$$Q = 5 * A_{5kPa} + 2 * A_{2kPa} (1)$$

Τα ιδιοβάρη των πλακών υπολογίσθηκαν υπέρ της ασφαλείας για συμπαγείς πλάκες ύψους 18 ή 15 εκατοστών, ανάλογα με τον όροφο. Έγινε παραδοχή πρόσθετων φορτίων επικαλύψεων 1,5kPa, καθώς δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στις επικαλύψεις των πλακών.
$$G_{pl} = 25 * A_b * h_{pl} (2)$$

Τα φορτία της περιμετρικής τοιχοποιίας εφαρμόστηκαν απευθείας στις υποκείμενες δοκούς, ενώ για τη δρομική τοιχοποιία έγινε η παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής των φορτίων στις δοκούς των ορόφων. Αυτό συνέβη διότι η μπατική τοιχοποιία είναι κατασκευασμένη σε όλα τα σημεία επί δοκών, κάτι που σπανίως παρατηρήθηκε για τη δρομική. Στη μοναδική περίπτωση όπου δρομική τοιχοποιία κατασκευάστηκε ακριβώς πάνω σε υποκείμενη δοκό και στις περιπτώσεις δοκών χωρίς υπερκείμενη τοιχοποιία, πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες προσαρμογές. Όσον αφορά στα φορτία των τοιχοπληρώσεων, αυτά λήφθηκαν σύμφωνα με τον Κανονισμό Φορτίσεων ως 2,1kN και 3,6kN, για δρομική και μπατική τοιχοποιία αντίστοιχα, ανά τετραγωνικό μέτρο όψης, ενώ τα κενά τους αμελήθηκαν.

$$g_{mp} = 3.6 * h_{fl} * L_b (3)$$

$$G_{dr} = 2.1 * h_{fl} * \sum_{dr} L_{dr} (4)$$

$$g_{dr} = G_{dr} * \frac{A_b}{A_{tot}} (5)$$

Τέλος, έγινε παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής των φορτίων κατά μήκος των δοκών, στα διαστήματα μεταξύ των κόμβων.

$$q_k = \frac{Q_k}{L} \ (6)$$

Στον ακόλουθο Πίνακα παρατίθενται οι φορτίσεις, των δοκών οροφής του 3^{ου} ορόφου, όπως αυτές υπολογίσθηκαν.

| 2/2 | | area (m2) | | 1 (122) | a ([k]] (m) | a. pl (kbl /m) | a h (khl/m) | g! (kN /m) | a tois (kN/m) | g,tot (kN/m) |
|---------|--------|-----------|--------|---------|-------------|----------------|-------------|------------|----------------|--------------|
| d/d | 5kpa | 2kpa | tot | L (III) | q (kiv/m) | g,pi (kiv/m) | g,D (KN/11) | g (KN/III) | g,toix (kin/m) | |
| B3_x1_1 | 11,431 | 6,404 | 17,835 | 5,064 | 13,816 | 13,207 | 2,500 | 5,283 | 17,953 | 38,943 |
| B3_x1_2 | 7,805 | 2,231 | 10,036 | 3,586 | 12,127 | 10,495 | 2,500 | 4,198 | 14,266 | 31,459 |
| B3_x1_3 | 13,124 | 6,023 | 19,147 | 6,414 | 12,109 | 11,194 | 2,500 | 4,478 | 15,217 | 33,389 |
| B3_x3_1 | 0,000 | 12,816 | 12,816 | 5,066 | 5,060 | 9,487 | 1,500 | 3,795 | 12,896 | 27,677 |
| B3_x3_2 | 1,959 | 4,468 | 6,427 | 3,591 | 5,216 | 6,712 | 1,500 | 2,685 | 9,123 | 20,019 |
| B3_x4_1 | 0,000 | 12,493 | 12,493 | 5,004 | 4,993 | 9,362 | 1,500 | 3,745 | 12,726 | 27,334 |
| B3_x4_2 | 1,895 | 4,431 | 6,326 | 3,560 | 5,151 | 6,664 | 1,500 | 2,665 | 9,058 | 19,887 |
| B3_x6_1 | 0,000 | 12,044 | 12,044 | 5,068 | 4,753 | 8,912 | 1,688 | 3,565 | 12,114 | 26,278 |
| B3_x6_2 | 3,376 | 4,517 | 7,893 | 3,589 | 7,220 | 8,247 | 1,688 | 3,299 | 11,210 | 24,444 |
| B3_x7_3 | 6,975 | 8,961 | 15,936 | 6,365 | 8,295 | 9,389 | 2,500 | 3,756 | 12,763 | 28,407 |
| B3_x7_4 | 7,299 | 1,233 | 8,532 | 6,641 | 5,867 | 4,818 | 2,500 | 1,927 | 6,549 | 15,794 |

Πίνακας 1. Υπολογισμός Κατανεμημένων Φορτίων οροφής 3°υ ορόφου.

| B3_x7_5 | 7,810 | 6,165 | 13,975 | 6,450 | 7,966 | 8,125 | 2,500 | 3,250 | 11,045 | 24,920 |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| B3_x8_1 | 0,000 | 12,048 | 12,048 | 5,060 | 4,762 | 8,929 | 1,688 | 3,572 | 12,137 | 26,325 |
| B3_x8_2 | 4,561 | 5,739 | 10,300 | 4,636 | 7,395 | 8,332 | 1,688 | 3,333 | 11,325 | 24,677 |
| B3_x9_3 | 0,000 | 18,105 | 18,105 | 6,365 | 5,689 | 10,667 | 3,750 | 4,267 | 14,500 | 33,183 |
| B3_x9_4 | 0,000 | 18,892 | 18,892 | 6,634 | 5,696 | 10,679 | 3,750 | 4,272 | 14,516 | 33,217 |
| B3_x9_5 | 0,000 | 18,286 | 18,286 | 6,450 | 5,670 | 10,631 | 3,750 | 4,253 | 14,452 | 33,086 |
| B3_x10_1 | 11,415 | 6,403 | 17,818 | 5,064 | 13,800 | 13,195 | 2,500 | 5,278 | 17,936 | 38,908 |
| B3_x10_2 | 8,788 | 5,360 | 14,148 | 4,632 | 11,801 | 11,454 | 2,500 | 4,582 | 15,570 | 34,105 |
| B3_x10_3 | 12,505 | 10,236 | 22,741 | 6,549 | 12,673 | 13,022 | 2,500 | 5,209 | 17,701 | 38,431 |
| B3_x10_4 | 12,183 | 10,320 | 22,503 | 6,450 | 12,644 | 13,083 | 2,500 | 5,233 | 17,784 | 38,601 |
| B3_x10_5 | 14,046 | 10,065 | 24,111 | 6,450 | 14,009 | 14,018 | 2,500 | 5,607 | 19,055 | 41,180 |
| B3_A_1 | 13,984 | 9,899 | 23,883 | 6,450 | 13,910 | 13,885 | 2,500 | 5,554 | 18,875 | 40,815 |
| B3_A_2 | 12,293 | 9,708 | 22,001 | 6,385 | 12,667 | 12,921 | 2,500 | 5,169 | 17,565 | 38,155 |
| B3_A_3 | 12,786 | 10,305 | 23,091 | 6,614 | 12,782 | 13,092 | 2,500 | 5,237 | 17,796 | 38,625 |
| B3_A_4 | 6,301 | 2,754 | 9,055 | 3,324 | 11,135 | 10,215 | 2,500 | 4,086 | 13,886 | 30,688 |
| B3_A_5 | 13,958 | 9,705 | 23,663 | 6,365 | 14,014 | 13,941 | 2,500 | 5,577 | 18,951 | 40,969 |
| B3_B_1 | 0,000 | 18,265 | 18,265 | 6,450 | 5,664 | 10,619 | 3,750 | 4,248 | 14,435 | 33,052 |
| B3_B_2 | 0,000 | 18,093 | 18,093 | 6,424 | 5,633 | 10,562 | 3,750 | 4,225 | 14,357 | 32,893 |
| B3_B_3 | 0,000 | 18,742 | 18,742 | 6,575 | 5,701 | 10,689 | 3,750 | 4,276 | 14,530 | 33,245 |
| B3_B_4 | 0,000 | 5,495 | 5,495 | 3,316 | 3,314 | 6,214 | 3,750 | 2,486 | 8,447 | 20,897 |
| B3_B_5 | 0,063 | 19,045 | 19,108 | 6,373 | 6,026 | 11,244 | 3,750 | 4,497 | 15,284 | 34,775 |
| В3_Г_1 | 7,058 | 1,269 | 8,327 | 6,443 | 5,871 | 4,847 | 2,500 | 1,939 | 6,588 | 15,873 |
| В3_Г_2 | 6,979 | 1,286 | 8,265 | 6,422 | 5,834 | 4,826 | 2,500 | 1,930 | 6,560 | 15,817 |
| В3_Г_З | 7,191 | 1,349 | 8,540 | 6,576 | 5,878 | 4,870 | 2,500 | 1,948 | 6,620 | 15,938 |
| B3_Δ_1 | 2,910 | 3,213 | 6,123 | 3,501 | 5,991 | 6,558 | 1,688 | 2,623 | 8,915 | 19,785 |
| B3_Δ_2 | 1,386 | 14,575 | 15,961 | 5,326 | 6,774 | 11,238 | 1,688 | 4,495 | 15,276 | 32,697 |
| B3_Z_1 | 1,961 | 4,155 | 6,116 | 3,501 | 5,174 | 6,551 | 1,500 | 2,620 | 8,905 | 19,576 |
| B3_Z_2 | 0,000 | 14,221 | 14,221 | 5,325 | 5,341 | 10,015 | 1,500 | 4,006 | 13,613 | 29,134 |
| B3_H_1 | 1,949 | 4,151 | 6,100 | 3,494 | 5,165 | 6,547 | 1,500 | 2,619 | 8,899 | 19,565 |
| B3_H_2 | 0,000 | 14,160 | 14,160 | 5,326 | 5,317 | 9,970 | 1,500 | 3,988 | 13,552 | 29,010 |
| B3_0_1 | 12,856 | 5,710 | 18,566 | 6,237 | 12,137 | 11,163 | 2,500 | 4,465 | 15,174 | 33,302 |
| B3_0_2 | 7,613 | 2,072 | 9,685 | 3,494 | 12,080 | 10,395 | 2,500 | 4,158 | 14,130 | 31,182 |
| B3_0_3 | 11,858 | 7,080 | 18,938 | 5,326 | 13,791 | 13,334 | 2,500 | 5,334 | 18,125 | 39,293 |
| B3_I_1 | 3,479 | 3,135 | 6,614 | 3,850 | 6,147 | 6,442 | 1,125 | 2,577 | 8,757 | 18,901 |
| B3_I_2 | 0,000 | 5,932 | 5,932 | 2,350 | 5,049 | 9,466 | 1,125 | 3,786 | 12,867 | 27,245 |
| B3_I_3 | 0,000 | 2,866 | 2,866 | 2,250 | 2,548 | 4,777 | 1,125 | 1,911 | 6,493 | 14,305 |
| B3_I_4 | 0,000 | 0,738 | 0,738 | 1,860 | 0,794 | 1,488 | 1,125 | 0,595 | 2,023 | 5,231 |
| B3_II_1 | 3,501 | 3,051 | 6,552 | 3,850 | 6,132 | 6,382 | 1,125 | 2,553 | 8,675 | 18,735 |
| B3_III_1 | 6,658 | 1,387 | 8,045 | 4,400 | 8,196 | 6,857 | 2,500 | 2,743 | 9,320 | 21,419 |
| B3_III_2 | 3,430 | 3,317 | 6,747 | 3,850 | 6,178 | 6,572 | 2,500 | 2,629 | 8,933 | 20,634 |
| B3_III_3 | 5,460 | 5,964 | 11,424 | 4,600 | 8,528 | 9,313 | 2,500 | 3,725 | 12,659 | 28,198 |
| B3_III_4 | 7,227 | 2,517 | 9,744 | 6,550 | 6,285 | 5,579 | 2,500 | 2,231 | 7,583 | 17,893 |
| B3_IV_1 | 0,000 | 17,817 | 17,817 | 6,300 | 5,656 | 10,605 | 3,750 | 4,242 | 14,416 | 33,014 |
| B3_IV_2 | 0,000 | 18,907 | 18,907 | 6,550 | 5,773 | 10,825 | 3,750 | 4,330 | 14,714 | 33,619 |
| B3_IV_3 | 0,000 | 18,907 | 18,907 | 6,550 | 5,773 | 10,825 | 3,750 | 4,330 | 14,714 | 33,619 |

| B3_V_1 | 12,847 | 9,432 | 22,279 | 6,300 | 13,190 | 13,261 | 2,500 | 5,305 | 18,026 | 39,092 |
|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| B3_V_2 | 12,445 | 10,045 | 22,490 | 6,550 | 12,567 | 12,876 | 2,500 | 5,150 | 17,503 | 38,029 |
| B3_V_3 | 13,339 | 10,036 | 23,375 | 6,550 | 13,247 | 13,383 | 2,500 | 5,353 | 18,191 | 39,427 |
| B3_1_1 | 0,000 | 10,859 | 10,859 | 4,900 | 4,432 | 8,310 | 1,500 | 3,324 | 11,297 | 24,431 |
| B3 1 2 | 1,632 | 7,354 | 8,986 | 3,820 | 5,986 | 8,821 | 1,500 | 3,529 | 11,991 | 25,841 |
| B3 2 1 | 0,000 | 1,243 | 1,243 | 2,230 | 1,115 | 2,090 | 3,125 | 0,836 | 2,841 | 8,893 |
| B3 2 2 | 2,123 | 0,000 | 2,123 | 2,910 | 3,648 | 2,736 | 3,125 | 1,094 | 3,719 | 10,674 |
| B3 3 1 | 0,000 | 12,005 | 12,005 | 4,900 | 4,900 | 9,188 | 1,500 | 3,675 | 12,489 | 26,851 |
| B3 3 2 | 1.960 | 5.336 | 7.296 | 3.820 | 5.359 | 7.162 | 1.500 | 2.865 | 9.736 | 21.263 |
| B3 4 1 | 0.000 | 3.219 | 3.219 | 2.230 | 2.887 | 5.413 | 3.125 | 2.165 | 7.358 | 18.062 |
| B3 4 2 | 2.122 | 2.729 | 4.851 | 2.910 | 5.522 | 6.251 | 3.125 | 2.501 | 8.498 | 20.374 |
| B3 5 1 | 0.000 | 12 005 | 12 005 | 4 900 | 4 900 | 9 188 | 1 500 | 3 675 | 12 489 | 26 851 |
| B3 5 2 | 1 960 | 5 336 | 7 296 | 3 820 | 5 359 | 7 162 | 1 500 | 2 865 | 9 736 | 21 263 |
| B3 5 3 | 0.000 | 4 750 | 4 750 | 3 960 | 2 399 | 4 498 | 1 125 | 1 799 | 6 114 | 13 537 |
| B3 6 1 | 0,000 | 2 818 | 2 818 | 3 960 | 1 423 | 2 669 | 1 125 | 1 067 | 3 627 | 8 488 |
| B3 7 1 | 0.000 | 10 861 | 10.861 | 4 900 | 4 433 | 8 312 | 1 500 | 3 325 | 11 299 | 24 436 |
| B3_7_1 | 1,520 | 5,481 | 7,001 | 3,820 | 4,859 | 6,873 | 1,500 | 2,749 | 9,342 | 20,464 |

4.6.4. Υπολογισμός Συνδυασμών Φόρτισης

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.5.2. του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τις μεταβλητές δράσεις χρησιμοποιούνται γενικώς οι καθιερωμένες τιμές γ_f και ψ_i κατά τους Κανονισμούς. Στην παρούσα μελέτη λαμβάνονται:

- γ_q = 1,5 για τους βασικούς συνδυασμούς δράσεων
- ψ₂ = 0,3 για τυχηματικούς συνδυασμούς, σύμφωνα με τον Πίνακα Α.1.1 του Παραρτήματος Α του ΕΚΟ

Αντίστοιχα, ανάλογα με τη Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων, οι τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας λαμβάνονται ως εξής:

- γ_g = 1,35 για τους βασικούς συνδυασμούς φόρτισης και Ικανοποιητική Σ.Α.Δ.
- γ_g = 1,1 για τους υπόλοιπους συνδυασμούς φόρτισης, συμπεριλαμβανομένης και της τυχηματικής δράσης του σεισμού και Ικανοποιητική Σ.Α.Δ., όπως εισάγεται από το λογισμικό.

Ακολουθεί Πίνακας υπολογισμού των συνδυαστικών δράσεων για βασικό και τυχηματικό συνδυασμό φόρτισης σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$q_d = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k (7) q_d = g_k + 0,3 * q_k (8)$$

| Πίνακας 2 | . Υπολογισμός | Συνδυαστικών | Φορτίσεων | Δοκών | οροφής 3ου | ορόφου. |
|-----------|---------------|--------------|-----------|-------|------------|---------|
|-----------|---------------|--------------|-----------|-------|------------|---------|

| a/a | L (m) | q (kN/m) | g,tot (kN/m) | 1,35g+1,5q | g+0,3q |
|---------|-------|----------|--------------|------------|--------|
| B3_x1_1 | 5,064 | 13,816 | 38,943 | 73,297 | 46,982 |

| B3 x1 2 | 3,586 | 12,127 | 31,459 | 60,660 | 38,243 |
|----------------|-------|--------|--------|--------|---------|
| B3 x1 3 | 6.414 | 12.109 | 33.389 | 63.239 | 40.361 |
| B3 x3 1 | 5.066 | 5.060 | 27.677 | 44.954 | 31.963 |
| B3 x3 2 | 3,591 | 5.216 | 20.019 | 34.850 | 23.586 |
| B3 x4 1 | 5 004 | 4 993 | 27 334 | 44 390 | 31 565 |
| B3 x4 2 | 3 560 | 5 151 | 19 887 | 34 574 | 23 421 |
| B3_x6_1 | 5,068 | 4 753 | 26.278 | 42 605 | 30 332 |
| B3 x6 2 | 3 589 | 7 220 | 20,270 | 12,000 | 29.054 |
| | 6 265 | 8 205 | 24,444 | 50 792 | 23,034 |
| B2 v7 4 | 6,505 | 5 867 | 15 794 | 30,732 | 10 122 |
| B3 v7 5 | 6,450 | 7 966 | 24 920 | 45 590 | 29 801 |
| B3_x7_5 | 5,060 | 4 762 | 24,320 | 43,550 | 30 386 |
| B3_x8_1 | 4,636 | 7 305 | 20,323 | 42,082 | 29 363 |
| | 6 265 | 5 689 | 24,077 | 52 220 | 29,303 |
| B3_x9_4 | 6,505 | 5,696 | 33,183 | 53 386 | 38,200 |
| B3_X3_4 | 6,054 | 5,630 | 22.086 | 52 171 | 28.005 |
| B3_x3_5 | 5,064 | 13 800 | 38,000 | 73 226 | 46.939 |
| B3_x10_1 | 4 632 | 11 801 | 34,105 | 63 743 | 40,555 |
| B3_x10_2 | 6 549 | 12 672 | 29 /21 | 70 892 | 41,030 |
| B3_x10_3 | 6,450 | 12,073 | 28 601 | 70,832 | 46,070 |
| B3_X10_4 | 6,450 | 14,000 | 41 190 | 71,077 | 40,234 |
| B3_X10_5 | 6,450 | 12 010 | 41,180 | 76,067 | 49,501 |
| B3_A_1 | 6 285 | 12 667 | 28 155 | 70,510 | 45,009 |
| B3_A_2 | 6,585 | 12,007 | 28 625 | 70,510 | 45,770 |
| B3 A 4 | 3 324 | 11 135 | 30,688 | 58 131 | 37 097 |
| B3_A_4 | 6 265 | 14 014 | 40.969 | 76 220 | 49.270 |
| | 6,303 | 5 664 | 22 052 | 52 115 | 43,270 |
| | 6,430 | 5,004 | 22 802 | 53,115 | 27 8 72 |
| | 6 575 | 5,033 | 22,855 | 52,000 | 29,873 |
| B3 B 4 | 3 316 | 3 314 | 20 897 | 33 182 | 23 981 |
| B3 B 5 | 6 373 | 6.026 | 34 775 | 55 985 | 40.060 |
| вз г 1 | 6,443 | 5.871 | 15,873 | 30,236 | 19,222 |
| ВЗ Г 2 | 6,422 | 5,834 | 15,817 | 30,104 | 19,149 |
| ВЗГЗ | 6.576 | 5.878 | 15.938 | 30,333 | 19.295 |
| B3 Δ 1 | 3.501 | 5,991 | 19.785 | 35.696 | 23,560 |
| Β3 Δ 2 | 5.326 | 6.774 | 32.697 | 54,302 | 37,999 |
| B3 Z 1 | 3.501 | 5.174 | 19.576 | 34.189 | 23.086 |
| B3 Z 2 | 5.325 | 5.341 | 29.134 | 47.343 | 33.650 |
| B3 H 1 | 3,494 | 5.165 | 19.565 | 34.161 | 23.071 |
| B3_H_2 | 5,326 | 5,317 | 29,010 | 47,140 | 33,507 |
| B3 0 1 | 6.237 | 12.137 | 33.302 | 63.163 | 40.273 |
| B3 0 2 | 3.494 | 12.080 | 31.182 | 60.217 | 37.924 |
| <u>в</u> з 0 3 | 5.326 | 13.791 | 39.293 | 73.732 | 47.360 |
| B3 1 | 3.850 | 6.147 | 18.901 | 34.737 | 22.635 |
| B3 2 | 2.350 | 5.049 | 27.245 | 44.353 | 31.484 |
| | =, 3 | 2,2.3 | ,0 | ., | , |

| 1 | 1 | | | | |
|----------|-------|--------|--------|--------|--------|
| B3_I_3 | 2,250 | 2,548 | 14,305 | 23,134 | 16,500 |
| B3_I_4 | 1,860 | 0,794 | 5,231 | 8,252 | 5,992 |
| B3_II_1 | 3,850 | 6,132 | 18,735 | 34,489 | 22,447 |
| B3_III_1 | 4,400 | 8,196 | 21,419 | 41,211 | 26,020 |
| B3_III_2 | 3,850 | 6,178 | 20,634 | 37,122 | 24,550 |
| B3_III_3 | 4,600 | 8,528 | 28,198 | 50,859 | 33,576 |
| B3_III_4 | 6,550 | 6,285 | 17,893 | 33,584 | 21,568 |
| B3_IV_1 | 6,300 | 5,656 | 33,014 | 53,053 | 38,012 |
| B3_IV_2 | 6,550 | 5,773 | 33,619 | 54,045 | 38,712 |
| B3_IV_3 | 6,550 | 5,773 | 33,619 | 54,045 | 38,712 |
| B3_V_1 | 6,300 | 13,190 | 39,092 | 72,560 | 46,959 |
| B3_V_2 | 6,550 | 12,567 | 38,029 | 70,190 | 45,602 |
| B3_V_3 | 6,550 | 13,247 | 39,427 | 73,097 | 47,344 |
| B3_1_1 | 4,900 | 4,432 | 24,431 | 39,631 | 28,204 |
| B3_1_2 | 3,820 | 5,986 | 25,841 | 43,865 | 30,221 |
| B3_2_1 | 2,230 | 1,115 | 8,893 | 13,677 | 10,116 |
| B3_2_2 | 2,910 | 3,648 | 10,674 | 19,882 | 12,836 |
| B3_3_1 | 4,900 | 4,900 | 26,851 | 43,599 | 31,006 |
| B3_3_2 | 3,820 | 5,359 | 21,263 | 36,744 | 24,997 |
| B3_4_1 | 2,230 | 2,887 | 18,062 | 28,714 | 20,734 |
| B3_4_2 | 2,910 | 5,522 | 20,374 | 35,788 | 24,068 |
| B3_5_1 | 4,900 | 4,900 | 26,851 | 43,599 | 31,006 |
| B3_5_2 | 3,820 | 5,359 | 21,263 | 36,744 | 24,997 |
| B3_5_3 | 3,960 | 2,399 | 13,537 | 21,873 | 15,610 |
| B3_6_1 | 3,960 | 1,423 | 8,488 | 13,594 | 9,764 |
| B3_7_1 | 4,900 | 4,433 | 24,436 | 39,638 | 28,209 |
| B3_7_2 | 3,820 | 4,859 | 20,464 | 34,915 | 23,968 |

4.7. Προσομοίωση Μελών Φορέα

4.7.1. Εισαγωγή

Στο αρχικό στάδιο της μελέτης πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των μελών του φορέα σύμφωνα με την αρχική στατική μελέτη του κτηρίου, η οποία πραγματοποιήθηκε το 1970. Σύντομα όμως έγινε αντιληπτό πως οι οπλισμοί των δοκών των ορόφων του φορέα δεν ανταποκρίνονταν στα πραγματικά φορτία. Μετά από πιο προσεκτική ανάλυση της μελέτης, διαπιστώθηκε πως τα φορτία που υπολογίστηκαν σε αυτή ήταν σημαντικά μικρότερα των φορτίων που θεωρεί ο Κανονισμός Φορτίσεων, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται εκτενείς διατμητικές και καμπτικές αστοχίες και μεγάλα βέλη κάμψης στις δοκούς, για στατικά μόνο φορτία. Δεδομένης της σημερινής κατάστασης του φορέα, ο οποίος εμφανίζει μικρές, τοπικές βλάβες, έπειτα από μεγάλο διάστημα λειτουργίας του, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.3, έγινε η παραδοχή οπλισμού του σύμφωνα με τις ορθές κανονιστικές διατάξεις της εποχής κατασκευής του. Το λογισμικό SeismoStruct παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης των μελών του φορέα με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την αναμενόμενη συμπεριφορά τους. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες που προσφέρονται για την αποτύπωση ανελαστικής συμπεριφοράς μελών. Στην παρούσα μελέτη, όλα τα μέλη του φορέα έχουν προσομοιωθεί ως inelastic force-based frame elements (infrmFB), τα οποία διαθέτουν τη μεγαλύτερη ακρίβεια αποτύπωσης ανελαστικής συμπεριφοράς, καθ' όλο το μήκος των στοιχείων, προσφέροντας, συνεπώς, τη δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού των γωνιών στροφής χορδής από το πρόγραμμα. Για το σκοπό αυτό, τα infrmFB στοιχεία έχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού στοιχείων με διαφορετικό κατά μήκος οπλισμό. Οι διατομές των μελών διακριτοποιούνται σε ίνες, με σκοπό το βέλτιστο υπολογισμό των σχέσεων τάσεων – παραμορφώσεων στις διατομές των μελών. Ο επιθυμητός αριθμός των ινών των μελών εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της διατομής τους. Στη συγκεκριμένη μελέτη έχουν επιλεχθεί μέλη πέντε διατομών για τις δοκούς και ενιαίας διατομής για τα υποστυλώματα, ενώ η διακριτοποίηση των διατομών σε 150 ίνες, που επιλέγει αυτόματα το πρόγραμμα, κρίθηκε επαρκής.



Εικόνα 19. Διακριτοποίηση Πλακοδοκού Ανώτερων Ορόφων.

4.7.2. Υποστυλώματα

Οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων καταγράφηκαν εκτενώς στη μελέτη τακτοποίησης του κτηρίου. Η αποτύπωση των οπλισμών τους πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται στην ενότητα 4 της αρχικής μελέτης και αναφέρεται σε αντισεισμικό σχεδιασμό του φορέα, σύμφωνα με τον ΕΑΚ 1959, για ε = 4%. Ακολουθεί πίνακας με τις διαστάσεις και τους οπλισμούς των υποστυλωμάτων.

4.7.2. Δοκοί

4.7.2.1. Υπολογισμός Συνεργαζόμενου Πλάτους Πλακοδοκών

Για προσομοίωση των δοκών του φορέα έγινε παραδοχή λειτουργίας πλακοδοκού, το συνεργαζόμενο πλάτος των οποίων εκτιμήθηκε σύμφωνα με τον ΕΚ 2.1.1, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Πίνακας | 3. | Υπολογισμός | Συνεργαζόμενων | Πλατών | Πλακοδοκών | Οροφής | 1 ⁰⁰ |
|---------|----|-------------|----------------|--------|------------|--------|-----------------|
| ορόφου. | | | | | | | |

| , | dimer | nsions | | | | | h |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| a/a | bw | h | L | 10 | Deff,1 | Deff,2 | Deff |
| B1_1_1 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 0,000 | 1,190 | 1,640 |
| B1_1_2 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 1,190 | 2,830 |
| B1_1_3 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 1,190 | 2,830 |
| B1_1_4 | 0,450 | 0,700 | 15,700 | 15,700 | 2,680 | 1,600 | 4,600 |
| B1_1_5 | 0,450 | 0,700 | 15,700 | 15,700 | 1,600 | 2,740 | 4,750 |
| B1_1_6 | 0,450 | 0,700 | 15,700 | 15,700 | 2,740 | 2,740 | 5,930 |
| B1_1_7 | 0,450 | 0,700 | 15,700 | 15,700 | 2,740 | 1,600 | 4,750 |
| B1_1_8 | 0,450 | 0,700 | 15,700 | 15,700 | 1,600 | 2,680 | 4,600 |
| B1_1_9 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 0,000 | 1,640 |
| B1_1_10 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 0,000 | 1,190 | 1,640 |
| B1_1_11 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 1,190 | 2,830 |
| B1_1_12 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 1,190 | 2,830 |
| B1_1_13 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 1,190 | 2,830 |
| B1_1_14 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 1,190 | 2,830 |
| B1_1_15 | 0,450 | 0,700 | 7,000 | 5,950 | 1,190 | 0,000 | 1,640 |
| B1_2_1 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 0,000 | 1,479 | 1,929 |
| B1_2_2 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 1,479 | 3,408 |
| B1_2_3 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 1,479 | 3,408 |
| B1_2_9 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 0,000 | 1,929 |
| B1_2_10 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 0,000 | 1,479 | 1,929 |
| B1_2_11 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 1,479 | 3,408 |
| B1_2_12 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 1,479 | 3,408 |
| B1_2_13 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 1,479 | 3,408 |
| B1_2_14 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 1,479 | 3,408 |
| B1_2_15 | 0,450 | 0,700 | 8,700 | 7,395 | 1,479 | 0,000 | 1,929 |

4.7.2.2. Υπολογισμός Οπλισμού

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.6.1, προέκυψε η απαίτηση επανεκτίμησης του οπλισμού των δοκών του φορέα. Υπολογίστηκαν, συνεπώς, οι οπλισμοί των μελών του φορέα για την ποιότητα υλικών που επιλέχθηκε στην αρχική μελέτη, αλλά τις

τελικές τους διαστάσεις, όπως αυτές αποτυπώθηκαν κατά τη μελέτη τακτοποίησης αυθαιρέτων, με στόχο την ικανή παραλαβή του φορτικού συνδυασμού 1,35g + 1,5q, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

| a/a | d (m) | L (m) | 1,35g+1,5q | b _{eff} (m) | M _m (kNm) | μ_{Ed} | A _s (cm²) | $N_{\Phi 16}$ | $N_{\Phi 20}$ |
|----------|-------|-------|------------|----------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------------|
| B3_x1_1 | 0,475 | 5,064 | 73,297 | 1,061 | 169,754 | 0,056 | 8,934 | 5 | 3 |
| B3_x1_2 | 0,475 | 3,586 | 60,660 | 0,810 | 47,778 | 0,021 | 2,515 | 2 | 1 |
| B3_x1_3 | 0,475 | 6,414 | 63,239 | 1,290 | 234,957 | 0,063 | 12,366 | 7 | 4 |
| B3_x3_1 | 0,375 | 5,066 | 44,954 | 1,011 | 104,194 | 0,057 | 6,946 | 4 | 3 |
| B3_x3_2 | 0,375 | 3,591 | 34,850 | 0,760 | 40,587 | 0,030 | 2,706 | 2 | 1 |
| B3_x4_1 | 0,375 | 5,004 | 44,390 | 1,001 | 100,385 | 0,056 | 6,692 | 4 | 3 |
| B3_x4_2 | 0,375 | 3,560 | 34,574 | 0,755 | 39,573 | 0,029 | 2,638 | 2 | 1 |
| B3_x6_1 | 0,425 | 5,068 | 42,605 | 1,012 | 98,828 | 0,042 | 5,813 | 3 | 2 |
| B3_x6_2 | 0,425 | 3,589 | 43,830 | 0,760 | 50,988 | 0,029 | 2,999 | 2 | 1 |
| B3_x7_3 | 0,475 | 6,365 | 50,792 | 1,282 | 185,839 | 0,050 | 9,781 | 5 | 4 |
| B3_x7_4 | 0,475 | 6,641 | 30,122 | 1,329 | 119,977 | 0,031 | 6,315 | 4 | 3 |
| B3_x7_5 | 0,475 | 6,450 | 45,590 | 1,297 | 171,293 | 0,046 | 9,015 | 5 | 3 |
| B3_x8_1 | 0,425 | 5,060 | 42,682 | 1,010 | 98,695 | 0,042 | 5,806 | 3 | 2 |
| B3_x8_2 | 0,425 | 4,636 | 44,406 | 0,938 | 86,194 | 0,040 | 5,070 | 3 | 2 |
| B3_x9_3 | 0,475 | 6,365 | 53,330 | 1,382 | 195,128 | 0,049 | 10,270 | 6 | 4 |
| B3_x9_4 | 0,475 | 6,634 | 53,386 | 1,428 | 143,909 | 0,035 | 7,574 | 4 | 3 |
| B3_x9_5 | 0,475 | 6,450 | 53,171 | 1,397 | 199,774 | 0,050 | 10,514 | 6 | 4 |
| B3_x10_1 | 0,475 | 5,064 | 73,226 | 1,061 | 169,589 | 0,056 | 8,926 | 5 | 3 |
| B3_x10_2 | 0,475 | 4,632 | 63,743 | 0,987 | 83,768 | 0,029 | 4,409 | 3 | 2 |
| B3_x10_3 | 0,475 | 6,549 | 70,892 | 1,313 | 186,231 | 0,049 | 9,802 | 5 | 4 |
| B3_x10_4 | 0,475 | 6,450 | 71,077 | 1,297 | 181,116 | 0,049 | 9,532 | 5 | 4 |
| B3_x10_5 | 0,475 | 6,450 | 76,607 | 1,297 | 287,831 | 0,077 | 15,149 | 8 | 5 |
| B3_A_1 | 0,475 | 6,450 | 75,964 | 1,297 | 285,415 | 0,077 | 15,022 | 8 | 5 |
| B3_A_2 | 0,475 | 6,385 | 70,510 | 1,285 | 176,067 | 0,048 | 9,267 | 5 | 3 |
| B3_A_3 | 0,475 | 6,614 | 71,317 | 1,324 | 191,086 | 0,050 | 10,057 | 6 | 4 |
| B3_A_4 | 0,475 | 3,324 | 58,131 | 0,765 | 39,340 | 0,018 | 2,071 | 2 | 1 |
| B3_A_5 | 0,475 | 6,365 | 76,329 | 1,282 | 279,276 | 0,076 | 14,699 | 8 | 5 |
| B3_B_1 | 0,475 | 6,450 | 53,115 | 1,397 | 199,566 | 0,050 | 10,503 | 6 | 4 |
| B3_B_2 | 0,475 | 6,424 | 52,855 | 1,392 | 133,600 | 0,033 | 7,032 | 4 | 3 |
| B3_B_3 | 0,475 | 6,575 | 53,433 | 1,418 | 141,484 | 0,035 | 7,447 | 4 | 3 |
| B3_B_4 | 0,475 | 3,316 | 33,182 | 0,864 | 22,348 | 0,009 | 1,176 | 1 | 1 |
| B3_B_5 | 0,475 | 6,373 | 55,985 | 1,383 | 205,356 | 0,052 | 10,808 | 6 | 4 |
| B3_F_1 | 0,475 | 6,443 | 30,236 | 1,295 | 113,355 | 0,030 | 5,966 | 3 | 2 |
| В3_Г_2 | 0,475 | 6,422 | 30,104 | 1,292 | 76,046 | 0,020 | 4,002 | 2 | 2 |
| В3_Г_3 | 0,475 | 6,576 | 30,333 | 1,318 | 118,464 | 0,031 | 6,235 | 4 | 2 |
| B3_Δ_1 | 0,425 | 3,501 | 35,696 | 0,745 | 39,514 | 0,023 | 2,324 | 2 | 1 |

Πίνακας 4. Υπολογισμός Οπλισμού Ανοιγμάτων Δοκών Οροφής 3°° και 4°° Ορόφου έναντι Κάμψης.

| 1 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | |
|----------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|---|---|
| B3_Δ_2 | 0,425 | 5,326 | 54,302 | 1,055 | 139,113 | 0,057 | 8,183 | 5 | 3 |
| B3_Z_1 | 0,375 | 3,501 | 34,189 | 0,745 | 37,846 | 0,028 | 2,523 | 2 | 1 |
| B3_Z_2 | 0,375 | 5,325 | 47,343 | 1,055 | 121,239 | 0,064 | 8,083 | 5 | 3 |
| B3_H_1 | 0,375 | 3,494 | 34,161 | 0,744 | 37,663 | 0,028 | 2,511 | 2 | 1 |
| B3_H_2 | 0,375 | 5,326 | 47,140 | 1,055 | 120,765 | 0,064 | 8,051 | 5 | 3 |
| B3_0_1 | 0,475 | 6,237 | 63,163 | 1,260 | 221,904 | 0,061 | 11,679 | 6 | 4 |
| B3_0_2 | 0,475 | 3,494 | 60,217 | 0,794 | 45,026 | 0,020 | 2,370 | 2 | 1 |
| B3_0_3 | 0,475 | 5,326 | 73,732 | 1,105 | 188,889 | 0,059 | 9,942 | 5 | 4 |
| B3_I_1 | 0,275 | 3,850 | 34,737 | 0,805 | 46,501 | 0,060 | 4,227 | 3 | 2 |
| B3_I_2 | 0,275 | 2,350 | 44,353 | 0,550 | 15,003 | 0,028 | 1,364 | 1 | 1 |
| B3_II_1 | 0,275 | 3,850 | 34,489 | 0,805 | 46,169 | 0,060 | 4,197 | 3 | 2 |
| B3_III_1 | 0,475 | 4,400 | 41,211 | 0,948 | 72,055 | 0,026 | 3,792 | 2 | 2 |
| B3_III_2 | 0,475 | 3,850 | 37,122 | 0,855 | 33,702 | 0,014 | 1,774 | 1 | 1 |
| B3_III_3 | 0,475 | 4,600 | 50,859 | 0,982 | 65,915 | 0,023 | 3,469 | 2 | 2 |
| B3_III_4 | 0,475 | 6,550 | 33,584 | 1,314 | 130,125 | 0,034 | 6,849 | 4 | 3 |
| B3_IV_1 | 0,475 | 6,300 | 53,053 | 1,371 | 190,168 | 0,048 | 10,009 | 5 | 4 |
| B3_IV_2 | 0,475 | 6,550 | 54,045 | 1,414 | 142,018 | 0,035 | 7,475 | 4 | 3 |
| B3_IV_3 | 0,475 | 6,550 | 54,045 | 1,414 | 209,404 | 0,051 | 11,021 | 6 | 4 |
| B3_V_1 | 0,475 | 6,300 | 72,560 | 1,271 | 260,092 | 0,071 | 13,689 | 7 | 5 |
| B3_V_2 | 0,475 | 6,550 | 70,190 | 1,314 | 184,444 | 0,049 | 9,708 | 5 | 4 |
| B3_V_3 | 0,475 | 6,550 | 73,097 | 1,314 | 283,224 | 0,075 | 14,907 | 8 | 5 |
| B3_1_1 | 0,375 | 4,900 | 39,631 | 0,983 | 85,935 | 0,049 | 5,729 | 3 | 2 |
| B3_1_2 | 0,375 | 3,820 | 43,865 | 0,799 | 57,808 | 0,040 | 3,854 | 2 | 2 |
| B3_2_1 | 0,475 | 2,230 | 13,677 | 0,629 | 6,143 | 0,003 | 0,323 | 1 | 1 |
| B3_2_2 | 0,475 | 2,910 | 19,882 | 0,745 | 15,205 | 0,007 | 0,800 | 1 | 1 |
| B3_3_1 | 0,375 | 4,900 | 43,599 | 0,983 | 94,541 | 0,054 | 6,303 | 4 | 3 |
| B3_3_2 | 0,375 | 3,820 | 36,744 | 0,799 | 48,424 | 0,034 | 3,228 | 2 | 2 |
| B3_4_1 | 0,475 | 2,230 | 28,714 | 0,629 | 12,896 | 0,007 | 0,679 | 1 | 1 |
| B3_4_2 | 0,475 | 2,910 | 35,788 | 0,745 | 27,370 | 0,013 | 1,441 | 1 | 1 |
| B3_5_1 | 0,375 | 4,900 | 43,599 | 0,983 | 94,541 | 0,054 | 6,303 | 4 | 3 |
| B3_5_2 | 0,375 | 3,820 | 36,744 | 0,799 | 32,841 | 0,023 | 2,189 | 2 | 1 |
| B3_5_3 | 0,275 | 3,960 | 21,873 | 0,823 | 30,978 | 0,039 | 2,816 | 2 | 1 |
| B3_6_1 | 0,275 | 3,960 | 13,594 | 0,823 | 26,647 | 0,034 | 2,422 | 2 | 1 |
| B3_7_1 | 0,375 | 4,900 | 39,638 | 0,983 | 85,950 | 0,049 | 5,730 | 3 | 2 |
| B3_7_2 | 0,375 | 3,820 | 34,915 | 0,799 | 46,014 | 0,032 | 3,068 | 2 | 1 |

Όσον αφορά στις διατομές στις στηρίξεις των δοκών, έγινε η παραδοχή πως οι μισοί οπλισμοί κάθε δοκού εκατέρωθεν της στήριξης συνεχίζουν στην επόμενη δοκό, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην αρχική Στατική Μελέτη.

4.7.3. Τοιχία Πυρήνα

Ο πυρήνας του φορέα, ο οποίος αποτελείται από τα τοιχία των δύο φρεατίων των ανελκυστήρων του κτηρίου, προσομοιώθηκε με ανεξάρτητες διατομές τοιχίων οπλισμένου σκυροδέματος συνδεδεμένες μεταξύ τους με συνδέσμους πλήρους

δέσμευσης των βαθμών ελευθερίας τους. Για τον πυρήνα του φορέα έγινε παραδοχή όπλισης με εσχάρα Ø8/200.

| Edit Section Properties | |
|---|-------------------------------|
| Section Name: freatio_1 Section Type: Reinforced concrete rdsvs: Reinforced concrete rectangular no pseudo-columns wall section | 🗸 Ok 🎽 Cancel Hep |
| Materials and Dimensions Reinforcement Section Characteristics Longitudinal Reinforcement Reinforcement Pattern Edit Reinforcement Pattern | Show Transverse Reinforcement |
| corners(4@8mm) middle(20@8mm) Addtonal Reinfording Bars Transverse Reinforcement Hoppe bars # @mm • Specing (m) 0,200 🔄 No. of Strup Legs | |
| Along Widh 2 Along Height 2 Along Height 2 Along Height 2 Along Height 2 | |
| | |

Εικόνα 20. Διατομή Τοιχίου Φρεατίου

4.7.4. Περιμετρικές Τοιχοπληρώσεις

Το κτήριο διαθέτει περιμετρική μπατική τοιχοποία σε όλους τους ορόφους του, με εξαίρεση την πυλωτή. Η μπατική τοιχοποία υπολογίσθηκε ως κατανεμημένο φορτίο 3,6kN/m² επιφάνειας τοιχοποιίας στις δοκούς επί των οποίων εδράζεται. Η δυσκαμψία της θεωρήθηκε μόνο στα ανοίγματα που πληρούν τις προϋποθέσεις της παραγράφου 7.4. του ΚΑΝ.ΕΠΕ., σύμφωνα με την οποία ένας τοίχος πλήρωσης μπορεί να λαμβάνεται υπόψη μόνον όταν περιβάλλεται από στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, (είναι σφηνωμένος σε - ή συνδεδεμένος με - στοιχεία του σκελετού) τουλάχιστον κατά τις τρεις πλευρές του και δεν έχει μεγάλα ή/και πολλά ανοίγματα και δεν αστοχεί πρόωρα εκτός επιπέδου.

Οι περιμετρικές τοιχοπληρώσεις, των οποίων η δυσκαμψία λήφθηκε υπόψη, προσομοιώθηκαν ως πλαίσια με κόμβους τους κόμβους των περιμετρικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού. Για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των στοιχείων τοιχοποιίας, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί καμπύλες τάσεων παραμορφώσεων συστήματος θλιπτήρων και διατμητικό βρόγχο υστέρησης, σύμφωνα με τον Crisafulli F.J. [13], όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες. Η αντοχή της τοιχοποιίας εκτιμήθηκε συντηρητικά, όπως φαίνεται παρακάτω, καθώς το κτήριο θεωρείται πως έχει δεχθεί σημαντικές καταπονήσεις, σύμφωνα με το ιστορικό του, ενώ δεν έχει πραγματοποιηθεί συντήρηση τις τελευταίες δεκαετίες.







Εικόνα 22. Διάγραμμα Τάσεων - Παραμορφώσεων διαγώνιων θλιπτήρων.

4.8. Διαφράγματα

Οι πλάκες των ορόφων του κτηρίου προσομοιώθηκαν ως διαφράγματα με ενιαίους βαθμούς ελευθερίας τις μετακινήσεις επί του επιπέδου τους και τη στροφή τους περί τον κατακόρυφο άξονα. Εξαίρεση αποτελούν οι κατώτεροι όροφοι, των οποίων ο φέρων οργανισμός διακόπτεται από τον αρμό μεταξύ των πλαισίων 9 και 10, στους οποίους οι πλάκες εκατέρωθεν του αρμού θεωρούνται ξεχωριστές, (διαφορετικά διαφράγματα).



Εικόνα 23. Απεικόνιση των διαφραγμάτων του φορέα και της θέσης του αντισεισμικού αρμού.

Για τα κέντρα μάζας των διαφραγμάτων έγινε η παραδοχή πως συμπίπτουν με τα αντίστοιχα γεωμετρικά, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τα σχέδια τακτοποίησης του κτηρίου. Τα κέντρα μάζας ορίστηκαν ως οι κύριοι κόμβοι των διαφραγμάτων και δεσμεύτηκε η κατακόρυφη μετατόπισή τους, (θεωρήθηκε πλασματική κατακόρυφη στήριξη), καθώς δεν αποτελούν κόμβο σύνδεσης κανενός μέλους του φορέα. Ο προσδιορισμός τους εξυπηρετεί και την υπερωθητική ανάλυση, (pushover), καθώς επιτρέπει την ορθή τοποθέτηση των επαυξητικών φορτίων.

4.9. Προσομοίωση Ιδιαίτερων Χαρακτηριστικών Φορέα

Η υπό μελέτη κατασκευή, εκτός των κοινών μελών και στοιχείων της, διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά των οποίων η προσομοίωση κρίνεται μεν απαραίτητη, καθώς επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του φορέα, δεν είναι όμως τυποποιημένη, διότι δεν συναντώνται συχνά σε συνηθισμένες κατασκευές. Παράλληλα, οι διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ της αρχικής στατικής μελέτης του φορέα και της υφιστάμενης κατασκευής, καθιστούν τη σωστή προσομοίωσή των χαρακτηριστικών αυτών ακόμα πιο σημαντική.

4.9.1. Ενισχυμένες Ζώνες

Τα υποστυλώματα των ανώτερων ορόφων του κτηρίου εδράζονται στην πλάκα οροφής του 2^{ου} ορόφου και στις πέντε προεντεταμένες δοκούς των πλαισίων 4 – 8. Για τα υποστυλώματα που δεν εδράζονται στις δοκούς, πραγματοποιείται η θεώρηση ύπαρξης ενισχυμένων ζωνών οι οποίες είτε στηρίζονται στα εκατέρωθεν υποστυλώματα, είτε λειτουργούν ως πρόβολοι. Σύμφωνα με τον επιτόπιο έλεγχο του κτηρίου δεν παρατηρούνται σημαντικά βέλη κάμψης στα σημεία έδρασης των φυτευτών υποστυλωμάτων, συνεπώς, και καθώς δεν έχουν βρεθεί πληροφορίες σχετικά με τις ενισχυμένες ζώνες, έγινε η παραδοχή ύπαρξης ενισχυμένων ζωνών πλήρους πλάτους και όπλισης για την παραλαβή των κατακόρυφων φορτίων. Οι ζώνες αυτές υφίστανται μόνο κατά τη μία διεύθυνση, κάθετα προς τις δοκούς των πλαισίων των κατώτερων ορόφων. Τα πλάτη εισαγωγής των φορτίων υπολογίσθηκαν ανάλογα με τον προσανατολισμό των υποστυλωμάτων σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$t_{y,\varphi=0} = b_y + 2 * \frac{h}{2} (9)$$

$$t_{y,\varphi=45} = \sqrt{b_x^2 + b_y^2} + 2 * \frac{h}{2} (10)$$

Τα πλάτη διανομής των φορτίων υπολογίσθηκαν ανάλογα με το εκάστοτε στατικό σύστημα σύμφωνα με τον Πίνακα Σ 9.1 του ΕΚΟΣ2000, από τις σχέσεις:

$$b_{m} = t_{y} + 2,50 * x * \left(1 - \frac{x}{l_{eff}}\right) (11)$$

$$b_{m} = t_{y} + 0,50 * x * \left(2 - \frac{x}{l_{eff}}\right) (12)$$

$$b_{m} = t_{y} + 1,50 * x * \left(1 - \frac{x}{l_{eff}}\right) (13)$$

$$b_m = t_y + 1,50 * x \ (14)$$

| | 1 | 2 | | 3 | |
|----|--|---|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Στατικό σύστημα Εντατικά μεγέθη | Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου b _m | | Όρια ισχύος | |
| 1 | × m _f | $b_{m} = t_{y} + 2.50 x (1 - \frac{x}{\ell})$ | 0 < x < 1 | $t_y \leq 0.80 \ell$ | $t_{x}\leq\ell$ |
| 2 | V Arr | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 0.50 {\rm x}$ | 0 < x < 1 | t _y ≤ 0.80ℓ | $t_x \leq \ell$ |
| 3 | × m _f | $b_{m} = t_{y} + 1.50 x (1 - \frac{x}{\ell})$ | 0 < x < 1 | $t_y \leq 0.80 \ell$ | $t_x \leq \ell$ |
| 4 | m _s | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 0.50 {\rm x} (2 - \frac{{\rm x}}{\ell})$ | 0 < x < 1 | $t_y \leq 0.80 \ell$ | $t_{x} \leq \ell$ |
| 5 | V k-x | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 0.30\rm x$ | 0.21 < x < 1 | t _y ≤ 0.40ℓ | $t_x \leq 0.20 \ell$ |
| 6 | ≁→x | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 0.40 (\ell - {\rm x})$ | 0 < x < 0.81 | t _y ≤ 0.40ℓ | $t_x \leq 0.20 \ell$ |
| 7 | , → x m _f | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + x \left(1 - \frac{x}{\ell}\right)$ | $0 < x < \ell$ | $t_y \le 0.80 \ell$ | $t_x \leq \ell$ |
| 8 | m₅ ∰k | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 0.50 {\rm x} \left(2 - \frac{{\rm x}}{\ell}\right)$ | $0 < \mathbf{x} < \ell$ | t _y ≤ 0.40ℓ | $t_x \leq \ell$ |
| 9 | V + x | $b_{m} = t_{y} + 0.30 x$ | $0.21 < \mathbf{x} < \ell$ | t _y ≤ 0.40ℓ | $t_x \leq 0.20 \ell$ |
| 10 | m _s ℓ_k | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 1.50 {\rm x}$ | $0 < x < \ell_k$ | $t_y \le 0.80 \ell_k$ | $t_{x} \leq \ell_{k}$ |
| 11 | v × | $b_{\rm m} = t_{\rm y} + 0.30 \rm x$ | $0.2\ell_k < x < \ell_k$ | $t_y \leq 0.40 \ell_k$ | $t_x \leq 0.20 \ell_k$ |

Εικόνα 24. Πίνακας Σ 9.1 ΕΚΟΣ2000: Υπολογιστικό Πλάτος Διανομής Φορτίου.

Ο οπλισμός ενισχυμένης ζώνης εφαρμόζεται σε πλάτος $b_m/2$, συνεπώς τόσο θεωρήθηκε και το πλάτος των διατομών στο λογισμικό. Το ύψος των ενισχυμένων ζωνών θεωρείται ίσο με 0,50 μέτρα, όσο και το πάχος της πλάκας στην οροφή του 2^{ου} ορόφου, στην περιοχή έδρασης των ανώτερων ορόφων.

Ακολουθεί Πίνακας υπολογισμού για τα πλάτη των ενισχυμένων ζωνών

| , | Διαστ | άσεις | Συντετα | ιγμένες | Πλα | άτη Εισαγω | νής | Πλάτη Διανομής Φορτίων | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|-----------------------|---------------|----------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| α/α | Στύ | λων | Στύ | λων | | Φορτίων | , | Mová Zú | οπακτες ώνες | Αμφί Ζά | πακτες ύνες | Αμφιαρθρωτές Ζώνες | | Ζώνες Πρόβολοι | |
| | b _x (m) | b _y (m) | х | Y | t _v (m) | x (m) | l (m) | b _m (m) | b _m /2 (m) | b _m (m) | b _m /2 (m) | b _m (m) | b _m /2 (m) | b _m (m) | b _m /2 (m) |
| I_4 | 0,30 | 0,30 | 24,45 | 7,86 | 0,80 | 2,35 | 6,3 | 3,01 | 1,51 | 2,71 | 1,36 | 2,37 | 1,18 | 4,33 | 2,16 |
| III_2 | 0,35 | 0,35 | 20,50 | 2,72 | 0,85 | Εδραζε δοι | ται επι ου | | | | | | | | |
| III_4 | 0,30 | 0,30 | 24,45 | 2,72 | 0,80 | 2,35 | 6,3 | 3,01 | 1,51 | 2,71 | 1,36 | 2,37 | 1,18 | 4,33 | 2,16 |
| III_5 | 0,30 | 0,30 | 29,05 | 2,72 | 0,80 | 4,05 | 6,3 | 2,97 | 1,48 | 3,55 | 1,77 | 1,69 | 0,85 | 6,88 | 3,44 |
| III_8 | 0,35 | 0,35 | 35,86 | 2,72 | 0,85 | 0,44 | 3,2 | 1,42 | 0,71 | 1,26 | 0,63 | 3,01 | 1,50 | 1,51 | 0,75 |
| IV_1 | 0,30 | 0,30 | 16,20 | -1,10 | 0,80 | 1,1 | 1,1 | 0,80 | 0,40 | 1,35 | 0,68 | 0,80 | 0,40 | 2,45 | 1,23 |
| IV_3 | 0,45 | 0,40 | 22,50 | -1,10 | 0,90 | 4,3 | 6,3 | 2,95 | 1,47 | 3,73 | 1,87 | 1,69 | 0,85 | 7,35 | 3,68 |
| IV_5 | 0,45 | 0,40 | 29,05 | -1,10 | 0,90 | 4,05 | 6,3 | 3,07 | 1,53 | 3,65 | 1,82 | 1,79 | 0,90 | 6,98 | 3,49 |
| IV_7 | 0,35 | 0,35 | 35,60 | -1,10 | 0,85 | 0,7 | 3,2 | 1,67 | 0,84 | 1,47 | 0,74 | 2,80 | 1,40 | 1,90 | 0,95 |
| V_1 | 0,35 | 0,35 | 16,20 | -6,00 | 0,85 | 1,1 | 1,1 | 0,85 | 0,43 | 1,40 | 0,70 | 0,85 | 0,43 | 2,50 | 1,25 |
| V_3 | 0,35 | 0,35 | 22,50 | -6,00 | 0,85 | 4,3 | 6,3 | 2,90 | 1,45 | 3,68 | 1,84 | 1,64 | 0,82 | 7,30 | 3,65 |
| V_5 | 0,35 | 0,35 | 29,05 | -6,00 | 0,85 | 4,05 | 6,3 | 3,02 | 1,51 | 3,60 | 1,80 | 1,74 | 0,87 | 6,93 | 3,46 |
| V_7 | 0,30 | 0,30 | 35,60 | -6,00 | 0,80 | 3,2 | 3,2 | 0,80 | 0,40 | 2,40 | 1,20 | 0,80 | 0,40 | 5,60 | 2,80 |
| V_7 πλ.προβ. | 0,30 | 0,30 | 35,60 | -6,00 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,40 | 1,30 | 0,65 | 0,80 | 0,40 | 2,31 | 1,15 |
| A_1 | 0,35 | 0,35 | 5,70 | 4,80 | 0,99 | 5,6 | 6,6 | 2,27 | 1,13 | 4,22 | 2,11 | 1,37 | 0,69 | 9,39 | 4,70 |
| A_3 | 0,35 | 0,35 | 10,17 | 9,45 | 0,99 | 1,13 | 6,6 | 2,40 | 1,20 | 2,03 | 1,01 | 3,07 | 1,53 | 2,69 | 1,34 |
| A_4 | 0,35 | 0,35 | 14,64 | 14,10 | 0,99 | 2,66 | 6 | 3,22 | 1,61 | 3,07 | 1,53 | 2,39 | 1,19 | 4,98 | 2,49 |
| A_6 | 0,30 | 0,30 | 19,18 | 18,82 | 0,92 | 1,32 | 1,32 | 0,92 | 0,46 | 1,58 | 0,79 | 0,92 | 0,46 | 2,90 | 1,45 |
| Α_6 πλ.προβ. | 0,30 | 0,30 | 19,18 | 18,82 | 0,92 | 2,72 | 2,72 | 0,92 | 0,46 | 2,28 | 1,14 | 0,92 | 0,46 | 5,00 | 2,50 |
| A_8 | 0,30 | 0,30 | 21,49 | 21,21 | 0,92 | 5,31 | 5,31 | 0,92 | 0,46 | 3,58 | 1,79 | 0,92 | 0,46 | 8,89 | 4,44 |
| Α_8 πλ.προβ. | 0,30 | 0,30 | 21,49 | 21,21 | 0,92 | 1,42 | 1,42 | 0,92 | 0,46 | 1,63 | 0,82 | 0,92 | 0,46 | 3,06 | 1,53 |
| A_10 | 0,35 | 0,35 | 25,90 | 25,80 | 0,99 | 1,30 | 1,30 | 0,99 | 0,50 | 1,65 | 0,82 | 0,99 | 0,50 | 2,95 | 1,47 |
| B_1 | 0,30 | 0,30 | 9,21 | 1,15 | 0,92 | 4,51 | 6,6 | 3,07 | 1,53 | 3,89 | 1,95 | 1,72 | 0,86 | 7,69 | 3,84 |
| B_3 | 0,45 | 0,40 | 13,69 | 5,79 | 1,10 | 2,39 | 6 | 3,26 | 1,63 | 3,02 | 1,51 | 2,61 | 1,30 | 4,69 | 2,34 |
| B_4 | 0,45 | 0,40 | 18,16 | 10,44 | 1,10 | 0,86 | 3,2 | 2,04 | 1,02 | 1,85 | 0,92 | 2,93 | 1,46 | 2,39 | 1,20 |
| B_6 | 0,35 | 0,35 | 22,70 | 15,16 | 0,99 | 2,2 | 6,3 | 3,14 | 1,57 | 2,81 | 1,41 | 2,62 | 1,31 | 4,29 | 2,15 |
| B_8 | 0,40 | 0,40 | 25,00 | 17,56 | 1,07 | 4,5 | 6,3 | 2,99 | 1,50 | 3,96 | 1,98 | 1,78 | 0,89 | 7,82 | 3,91 |
| B_10 | 0,35 | 0,35 | 29,41 | 22,15 | 0,99 | 2,61 | 2,61 | 0,99 | 0,50 | 2,30 | 1,15 | 0,99 | 0,50 | 4,91 | 2,45 |
| ٢_1 | 0,35 | 0,35 | 11,70 | -1,43 | 0,99 | 5,6 | 5,6 | 0,99 | 0,50 | 3,79 | 1,90 | 0,99 | 0,50 | 9,39 | 4,70 |
| Γ_1 πλ.προβ. | 0,35 | 0,35 | 11,70 | -1,43 | 0,99 | 1,49 | 1,49 | 0,99 | 0,50 | 1,74 | 0,87 | 0,99 | 0,50 | 3,23 | 1,61 |
| Г_2 | 0,35 | 0,35 | 15,70 | 2,72 | 0,99 | 4,4 | 6 | 2,75 | 1,38 | 3,78 | 1,89 | 1,66 | 0,83 | 7,59 | 3,80 |
| Г_4 | 0,40 | 0,40 | 20,64 | 7,86 | 1,07 | Εδραζε δοι | ται επι :ου | | | | | | | | |

Πίνακας 5. Υπολογισμός Πλατών Ενισχυμένων Ζωνών.

| Г_5 | 0,30 | 0,30 | 24,51 | 11,89 | 0,92 | 4,01 | 6,3 | 3,11 | 1,56 | 3,66 | 1,83 | 1,83 | 0,92 | 6,94 | 3,47 |
|------------------|------|------|-------|-------|------|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Δ_9 | 0,30 | 0,30 | 28,93 | 14,97 | 0,92 | 2,13 | 6,3 | 3,04 | 1,52 | 2,69 | 1,35 | 2,58 | 1,29 | 4,12 | 2,06 |
| Δ_10 | 0,35 | 0,35 | 32,62 | 18,81 | 0,99 | 5,82 | 5,82 | 0,99 | 0,50 | 3,90 | 1,95 | 0,99 | 0,50 | 9,72 | 4,86 |
| Δ_10 πλ.προβ. | 0,35 | 0,35 | 32,62 | 18,81 | 0,99 | 0,70 | 0,70 | 0,99 | 0,50 | 1,35 | 0,67 | 0,99 | 0,50 | 2,05 | 1,02 |
| E_7 | 0,30 | 0,30 | 26,99 | 11,94 | 0,92 | Εδραζε δοκ | ται επι κου | | | | | | | | |
| Z_9 | 0,45 | 0,40 | 33,47 | 10,25 | 1,10 | Εδραζε δοκ | ται επι κου | | | | | | | | |
| Z_10 | 0,35 | 0,35 | 37,17 | 14,09 | 0,99 | 0,74 | 6 | 1,97 | 0,98 | 1,69 | 0,84 | 3,19 | 1,59 | 2,10 | 1,05 |
| Н_9 | 0,45 | 0,40 | 37,94 | 5,60 | 1,10 | 1,64 | 6 | 2,89 | 1,44 | 2,52 | 1,26 | 2,92 | 1,46 | 3,56 | 1,78 |
| H_10 | 0,35 | 0,35 | 41,64 | 9,44 | 0,99 | 5,34 | 6 | 1,88 | 0,94 | 3,96 | 1,98 | 1,27 | 0,63 | 9,00 | 4,50 |
| Θ_7 | 0,30 | 0,30 | 39,99 | -1,57 | 0,92 | 3,69 | 3,69 | 0,92 | 0,46 | 2,77 | 1,38 | 0,92 | 0,46 | 6,46 | 3,23 |
| Θ_7 πλ.προβ. | 0,30 | 0,30 | 39,99 | -1,57 | 0,92 | 1,57 | 1,57 | 0,92 | 0,46 | 1,71 | 0,85 | 0,92 | 0,46 | 3,28 | 1,64 |
| 0_9 | 0,30 | 0,30 | 42,41 | 0,95 | 0,92 | Εδραζε δοκ | ται επι κου | | | | | | | | |
| 0_10 | 0,35 | 0,35 | 46,11 | 4,79 | 0,99 | 3,3 | 5,9 | 3,18 | 1,59 | 3,37 | 1,69 | 2,10 | 1,05 | 5,94 | 2,97 |

Προκειμένου να αποτυπωθεί η συμπεριφορά του φορέα που έχει παρατηρηθεί υπό ορθή στατική φόρτιση, κατά την οποία δεν εντοπίζονται προβλήματα στις ενισχυμένες ζώνες, θεωρήθηκε η ύπαρξη οπλισμού ικανού να παραλάβει τον φορτικό συνδυασμό αστοχίας.

4.9.2. Αντισεισμικός Αρμός

Για την προσομοίωση του αντισεισμικού αρμού επιλέχθηκε η εφαρμογή στοιχείου συνδέσμου, "link element", με συγκεκριμένες ιδιότητες ώστε να αναπαρίσταται αποτελεσματικά η μεταβολή της δυσκαμψίας σε σχέση με τη σχετική μετατόπιση των πλαισίων 9 και 10 τα οποία διαχωρίζει ο αρμός. Επιθυμητές ιδιότητες του στοιχείου προσομοίωσης του αντισεισμικού αρμού αποτελούν η έλλειψη δυσκαμψίας σε 'εφελκυσμό' του αρμού, δηλαδή στην αύξηση της απόστασης μεταξύ των των πλαισίων 9 και 10, και η αύξηση της δυσκαμψίας σε θλίψη, η οποία πρακτικά απειρίζεται με την εξάντληση του αρχικού πάχους του αντισεισμικού.

Το λογισμικό SeismoStruct διαθέτει πληθώρα καμπύλων δύναμης – παραμόρφωσης για την προσομοίωση συνδετικών στοιχείων. Καθώς, όμως, δεν εντοπίστηκε διάγραμμα που να προσομοιάζει απόλυτα τη συμπεριφορά του αντισεισμικού αρμού, έγινε η παραδοχή αμελητέας θλιπτικής αντοχής του αρμού. Συνεπώς, κρίθηκε καταλληλότερη η ακόλουθη καμπύλη, η οποία αναφέρεται σε δομικά διάκενα, αρμούς διαστολής και προσδέσεις καταστρώματος.



Εικόνα 25. Καμπύλη δύναμης - μετατόπισης στοιχείου 'gap-hook'.

Οι τέσσερις παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του στοιχείου είναι οι εκατέρωθεν αποστάσεις από την αρχική κατάσταση του μέλους, πέραν των οποίων αρχίζει να εφαρμόζεται δυσκαμψία για περεταίρω παραμόρφωση, και οι εκατέρωθεν δυσκαμψίες. Θεωρώντας μηδενική εφελκυστική αντοχή του αρμού θεωρήσαμε πρακτικά άπειρη εφελκυστική παραμόρφωση, (d = 1000m), για την εφαρμογή της δυσκαμψίας του. Αντίθετα, θεωρήσαμε εφαρμογή άπειρης δυσκαμψίας μετά την εξάντληση του πάχους του αρμού, (d = 2cm), έτσι ώστε να προσομοιωθεί η επαφή που πραγματοποιείται μεταξύ των μελών του φέροντος οργανισμού, των πλαισίων 9 και 10.

5. Ανάλυση και Αποτίμηση Φορέα

5.1. Υπολογισμός Φορτίων Ανάλυσης

5.1.1. Υπολογισμός Επαυξητικών Φορτίων

Ο υπολογισμός της ταλαντούμενης μάζας της κατασκευής προκύπτει από τον σεισμικό συνδυασμό δράσεων:

$$G + 0,3 * Q$$
 (15)

Όπου 0,3 ο συντελεστής ψ_2 σύμφωνα με τον Πίνακα Α.1.1 του ΕΚΟ για συνήθη κτήρια. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι μάζες των διαφραγμάτων του κτηρίου όπως αυτές υπολογίσθηκαν στο Microsoft Excel, λαμβάνοντας απλουστευτικά την επιτάχυνση της βαρύτητας g = 10m/s². Εξαιτίας της ασυνέχειας που εισάγει ο αντισεισμικός αρμός, υπολογίζονται και εφαρμόζονται ξεχωριστά τα σεισμικά φορτία στους κατώτερους ορόφους του κτηρίου.

| a/a | Κόμβος Κέντρου Μάζας | G+0,3Q (kN) | G+0,3Q (Mg) |
|-----|----------------------|-------------|-------------|
| Δ01 | _master_0_1 | 7099,651 | 709,965 |
| Δ02 | _master_0_2 | 4849,959 | 484,996 |
| Δ11 | _master_1_1 | 10945,314 | 1094,531 |
| Δ12 | _master_1_2 | 7552,066 | 755,207 |
| Δ21 | _master_2_1 | 17670,300 | 1767,030 |
| Δ22 | _master_2_2 | 5364,917 | 536,492 |
| Δ3 | _master_3 | 11795,218 | 1179,522 |
| Δ4 | _master_4 | 11795,218 | 1179,522 |
| Δ5 | _master_5 | 7633,39505 | 763,340 |
| Δ6 | _master_6 | 331,9800 | 33,198 |
| Δ7 | _master_7 | 126,3573 | 12,636 |

Πίνακας 6. Υπολογισμός Μαζών Διαφραγμάτων.

Για τους σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων θεωρείται τόσο ομοιόμορφη όσο και τριγωνική κατανομή των σεισμικών φορτίων καθ' ύψος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.

| a/a | Κόμβος Κέντρου Μάζας | Ομοιόμορφη Κατανομή | Τριγωνικη Κατανομή | |
|-----|----------------------|------------------------|-----------------------|--|
| Δ01 | _master_0_1 | 0,0834 | 0,0226 | |
| Δ02 | _master_0_2 | 0,0569 | 0,0155 | |
| Δ11 | _master_1_1 | 0,1285 | 0,0685 | |
| Δ12 | _master_1_2 | 0,0887 | 0,0473 | |
| Δ21 | _master_2_1 | 0,2075 | 0,2129 | |
| Δ22 | _master_2_2 | 0,0630 | 0,0646 | |
| Δ3 | _master_3 | 0,1385 | 0,1785 | |
| Δ4 | _master_4 | 0,1385 | 0,2161 | |
| Δ5 | _master_5 | 0,0896 | 0,1629 | |
| Δ6 | _master_6 | 0,0039 | 0,0079 | |
| Δ7 | _master_7 | 0,0015 | 0,0033 | |

Πίνακας 7. Κατανομές φορτίων καθύψος.

5.1.2. Συνδυασμοί δράσεων ανάλυσης

Στα πλαίσια των αναλύσεων με την ανελαστική στατική μέθοδο, τόσο για την αποτίμηση όσο και τον ανασχεδιασμό του υπό μελέτη υφισταμένου δομήματος, λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι σεισμικοί συνδυασμοί δράσεων, ανάλογα με τη διεύθυνση της κύριας σεισμικής δράσης, σύμφωνα με τη παράγραφο 5.4.9 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

| Πρωτέυουσα Διεύθυνση Χ | Πρωτέυουσα Διεύθυνση Υ |
|------------------------|------------------------|
| Ex + 0,3*Ey | Ey + 0,3*Ex |
| Ex - 0,3*Ey | Ey - 0,3*Ex |
| - Ex + 0,3*Ey | - Ey + 0,3*Ex |
| - Ex - 0,3*Ey | - Ey - 0,3*Ex |

Πίνακας 8. Σεισμικοί Συνδυασμοί Δράσεων.

Συνεπώς, θεωρώντας, σύμφωνα με το 5.1.1, δύο κατανομές των φορτίων καθύψος ανά συνδυασμό, προκύπτουν 16 διαφορετικοί συνδυασμοί φόρτισης.

5.2. Αποτελέσματα Στατικής Ανελαστικής Ανάλυσης

5.2.1. Ιδιομορφική Ανάλυση Κατασκευής

Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης του υφισταμένου δομήματος πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση του φορέα (eigenvalue analysis), με σκοπό τον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των ιδιομορφών του. Η ανάλυση εφαρμόστηκε στο ανελαστικό μοντέλο από το λογισμικό. Η χρήση ανελαστικών στοιχείων στην ανάλυση ιδιοτιμών έχει το πλεονέκτημα της απαλλαγής του χρήστη από τη διαδικασία υπολογισμού των μηχανικών ιδιοτήτων του τμήματος κάθε τύπου στοιχείου, λαμβάνοντας πλήρως υπόψη την παρουσία διαμήκων ράβδων οπλισμού εντός των διατομών. Οι ιδιοπερίοδοι και οι αντίστοιχες ιδιομορφές παρουσιάζονται στον Πίνακα 9. Συνολικά, περιγράφονται οι ιδιότητες των δέκα πρώτων ιδιομορφών της κατασκευής, όπως αυτές υπολογίζονται από το πρόγραμμα.

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά των δέκα πρώτων ιδιομορφών του φορέα με βάση την ιδιομορφική του ανάλυση με το πρόγραμμα SeismoStruct.

| Ιδιομορφή | | Συχνότητα | | Ενεργοποίηση Ποσοστού Μάζας (%) | | | | | | |
|-----------|------------------|-------------|--------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--|--|
| | ιοιοπερισσος (S) | (rad/s) | [Ux] | [Uy] | [Uz] | [Rx] | [Ry] | [Rz] | | |
| 1 | 0,78171118 | 8,03773246 | 33,61% | 0,49% | 0,00% | 0,13% | 2,30% | 10,23% | | |
| 2 | 0,72626581 | 8,65135765 | 15,42% | 25,60% | 0,00% | 8,58% | 1,06% | 18,30% | | |
| 3 | 0,67715922 | 9,27874139 | 10,29% | 27,09% | 0,00% | 10,00% | 0,59% | 3,40% | | |
| 4 | 0,45152897 | 13,91535368 | 6,82% | 0,34% | 0,00% | 0,01% | 0,15% | 2,58% | | |
| 5 | 0,35635926 | 17,6316039 | 0,00% | 11,66% | 0,00% | 1,00% | 0,00% | 25,72% | | |
| 6 | 0,31238065 | 20,11387478 | 1,55% | 2,00% | 0,00% | 0,27% | 0,01% | 0,51% | | |
| 7 | 0,30823057 | 20,38469203 | 0,02% | 2,97% | 0,00% | 0,55% | 0,02% | 12,97% | | |
| 8 | 0,2801785 | 22,42565077 | 0,06% | 0,10% | 3,86% | 7,40% | 0,17% | 0,00% | | |
| 9 | 0,2454114 | 25,60266309 | 4,14% | 5,56% | 0,04% | 1,39% | 0,84% | 0,27% | | |
| 10 | 0,21994701 | 28,56681393 | 3,07% | 4,29% | 0,02% | 1,04% | 0,67% | 0,01% | | |

Από τις δέκα ιδιομορφές, οι τρεις πρώτες είναι κυρίως μεταφορικές κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις, ενώ η πέμπτη είναι αμιγώς στρεπτική περί τον κατακόρυφο

άξονα. Γενικά παρατηρούνται στροφές περί τον κατακόρυφο άξονα, λόγω της έλλειψης σημαντικών τοιχωμάτων. Επίσης, σημαντικές στροφές παρατηρούνται και περί τον οριζόντιο άξονα Χ, παράλληλο στη μεγάλη πλευρά των ορθογωνικών κατώτερων ορόφων, όπως ήταν αναμενόμενο, δεδομένου πως οι ανώτεροι όροφοι προεξέχουν πέραν της έδρασής τους στην κάθετη στον άξονα Χ διεύθυνση. Αντίθετα, περί τον οριζόντιο άξονα Υ δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη στροφή στις πρώτες δέκα ιδιομορφές. Μόνο η όγδοη ιδιομορφή φαίνεται να συμμετέχει σε μετατόπιση κατά τον κατακόρυφο άξονα. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι παραμορφωμένες καταστάσεις του φορέα για τις δέκα πρώτες ιδιομορφές.



Εικόνα 26. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 1^η ιδιομορφή με περίοδο 0,782 sec.



Εικόνα 27. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 2^η ιδιομορφή με περίοδο 0,726 sec.



Εικόνα 28. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 3^η ιδιομορφή με περίοδο 0,677 sec.



Εικόνα 29. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 4^η ιδιομορφή με περίοδο 0,452 sec.



Εικόνα 30. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 5^η ιδιομορφή με περίοδο 0,356 sec.



Εικόνα 31. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 6^η ιδιομορφή με περίοδο 0,312 sec.



Εικόνα 32. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 7^η ιδιομορφή με περίοδο 0,308 sec.



Εικόνα 33. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 8^η ιδιομορφή με περίοδο 0,280 sec.



Εικόνα 34. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 9^η ιδιομορφή με περίοδο 0,245 sec.



Εικόνα 35. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για την 10^η ιδιομορφή με περίοδο 0,220 sec.

5.2.2. Στρατηγική Φόρτισης Κτηρίου

Οι αναλύσεις του φορέα πραγματοποιήθηκαν με έλεγχο μετατοπίσεων. Σε αυτόν τον τύπο φόρτισης, δεν ελέγχεται το διάνυσμα φορτίου, αλλά η απόκριση ενός συγκεκριμένου κόμβου στη δομή. Κατά τον ορισμό μίας φάσης ελέγχου απόκρισης, ζητείται ο ορισμός του κόμβου και του αντίστοιχου βαθμού ελευθερίας που πρόκειται να ελεγχθεί από τον αλγόριθμο, μαζί με τη στοχευόμενη μετατόπιση στην οποία θα τερματιστεί η ανάλυση. Επιπλέον, απαιτείται και ο καθορισμός του αριθμού των βημάτων (steps), στα οποία θα υποδιαιρεθεί η στοχευόμενη μετατόπιση.

Ο φορτικός συντελεστής, επομένως, δεν ελέγχεται άμεσα από τον χρήστη, αλλά υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα έτσι ώστε το εφαρμοσμένο διανυσματικό φορτίο, σε μια συγκεκριμένη αύξηση, να αντιστοιχεί στην επίτευξη της στοχευόμενης μετατόπισης στον ελεγχόμενο κόμβο σε αυτήν την αύξηση. Όταν η λύση σε ένα συγκεκριμένο βήμα αποτυγχάνει να συγκλίνει, η αρχική αύξηση μετατόπισης μειώνεται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση, μετά την οποία προσπαθεί να επιστρέψει στην αρχική της τιμή. Η φάση φόρτισης τελειώνει όταν επιτευχθεί η στοχευόμενη μετατόπιση ή όταν συμβεί δομική ή αριθμητική κατάρρευση.

Με αυτήν τη στρατηγική φόρτωσης, είναι δυνατό να ληφθούν υπόψη χαρακτηριστικά ακανόνιστης απόκρισης (π.χ. μαλακός όροφος), να αποτυπωθεί ο καθοδικός κλάδος μετά την κορυφή της απόκρισης και να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή των σημείων της καμπύλης δύναμης - μετατόπισης. Για αυτούς τους λόγους, ο

συγκεκριμένος τύπος φόρτισης αποτελεί, συνήθως, την καλύτερη επιλογή για τη διεξαγωγή μη προσαρμοστικής ανάλυσης pushover.

Όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, επιλέχθηκε στοχευόμενη μετατόπιση 0,30m, σημαντικά μεγαλύτερη από την αναμενόμενη, και η πραγματοποίησή της σε 100 διακριτά βήματα. Ως κόμβος ελέγχου ορίσθηκε το κέντρο μάζας του διαφράγματος οροφής του 5^{ου} ορόφου, όπως αναλύεται στην ενότητα 4.4.2. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η εισαγωγή της φόρτισης για τον έλεγχο μετατοπίσεων στη στατική ανελαστική ανάλυση στο λογισμικό.

| Edit Phase | × |
|---------------------|--------|
| Phase Type: | |
| Response Control 💌 | Ok |
| Target Displacement | Cancel |
| 0,30 | |
| Steps | |
| 100 | Help |
| | |
| Node Name | |
| _master_5 🔹 | |
| Direction | |
| у 🗸 | |
| | |

Εικόνα 36. Εισαγωγή φάσης φόρτισης για στοχευόμενη μετατόπιση 0,30m του κόμβου ελέγχου σε 100 βήματα στην ανελαστική στατική ανάλυση Pushover στο λογισμικό SeismoStruct.

5.2.3. Στοχευμένες Μετατοπίσεις

Το λογισμικό SeismoStruct παρέχει τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού των στοχευόμενων μετατοπίσεων ανάλογα με τις στάθμες επιτελεστικότητας της κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιείται και μία ιδιομορφική ανάλυση πριν την ανάλυση pushover, όπως συνέβη και στην παρούσα μελέτη. Για τον υπολογισμό αυτό, απαιτούνται:

• Η επιλογή δομικού κώδικα, στους οποίους περιλαμβάνεται και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

| Code Employed in the Target Displacement C | alculations |
|--|-------------|
| KANEPE, Greek Code | |
| EuroCode 8, Part-3 | |
| ASCE 41-17 | |
| PNTC-08, Italian Code | |
| TC-18, Italian Code | |
| KANEPE, Greek Code | |
| TBDY, Turkish Code | |
| | |

Εικόνα 37. Επιλογή δομικού Κώδικα.

 Η εκτίμηση κόμβου και διεύθυνσης για τους οποίος πραγματοποιούνται οι έλεγχοι

| Control Node5 👻 | Structural Type | | No. of Storeys |
|---------------------|-----------------|----------|----------------|
| Control Direction y | Type 1 | 🔘 Туре 2 | 5 🔻 |
| | | | |

Εικόνα 38. Επιλογή κόμβου και διεύθυνσης ελέγχου, τύπου κτηρίου και αριθμού ορόφων.

• Οι στάθμες επιτελεστικότητας, στην περίπτωση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

| Performance Obje | ctives | Select o | one or more performance | jectives to be used in the checks |
|--|--|--------------------------------|---|--|
| Greek Interventions Code. Ta | ble 2-1: Assessment or F | tedesign Objectives | 5 | |
| Probability of exceedance of seismic action within a | Target Building Performance Levels | | | |
| conventional life cycle of 50 years | Immediate Occupancy | Life Safety | Collapse Prevention | |
| 10% | 🖾 A1 | ✓ B1 | 🖾 C1 | |
| 50% | ✓ A2 | B2 | C2 | |
| The structure is only lightly da | maged with structural eleme | nts retaining their stre | ength and stiffness. Non-struct | a components may show distributed cracking, but the damage could be economically repaired. Permanent drifts are negligible |
| Performance Level of Life Sal The structure is significantly da | fety amaged with some residual I | (B) ateral strength and st | Probability of Exceedance 10 iffness. Several non-structural | / 50 years - Return Period 475 years imponents are damaged. Moderate permanent drifts are present. |
| Performance Level of Collapse The structure is heavily damage | e Prevention ed with low residual lateral : | (C) strength and stiffness. | . Most non-structural compone | s have collapsed. Large permanent drifts are present. |

Εικόνα 39. Επιλογή στάθμων επιτελεστικότητας.

 Εκτίμηση ελαστικού φάσματος απόκρισης σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον υπολογισμό των στοχευόμενων μετατοπίσεων, ή προσδιορισμός φάσματος από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού.



Εικόνα 40. Εκτίμηση ελαστικού φάσματος σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Εικόνα 41. Προσδιορισμός ελαστικού ή ανελαστικού φάσματος από τις βιβλιοθήκες του SeismoStruct.

5.2.4. Κριτήρια Απόδοσης Μελών

Το λογισμικό SeismoStruct παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής κριτηρίων απόδοσης, ή συμπεριφοράς, των μελών του φορέα, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Τα τρία κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη αφορούν στα χαρακτηριστικά των μελών που σχετίζονται με τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων τους:

- Γωνία στροφής χορδής για διαρροή
- Γωνία στροφής χορδής καμπτικής αστοχίας
- Διατμητική αντοχή

Όταν κάποιο μέλος φτάσει σε κάποια οριακή του κατάσταση, ενεργοποιείται το εκάστοτε κριτήριο, οπότε στην περίπτωση διαρροής η αντοχή του μέλους παραμένει

σταθερή, ενώ σε καμπτική αστοχία και διατμητική αστοχία γίνεται η θεώρηση 20% εναπομένουσας αντοχής.

| New Performance | e Criterion | | Concession, Name | | | × | | |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------|--|-----------|--------------------------|--|--|--|
| Criterion Name | Criterion Type | | | | Strength Degradation | on | | |
| | Frame Element Chord Rotat | ion Yielding [Automatically-def | ined limit] | - | Keep Strength 👻 | | | |
| Ok | | Value auto | | | | | | |
| Cancel | equation KANEPE 7.2 | .2: equation (S.2) or (S.3) | | • | Type of Notification | | | |
| | NOTE: Mean material value | ues and no safety or confide | nce factors will be used in the | | () Stop | Pause (• Notify C Inactive | | |
| Help | calculations. | | | | Description | rd Potation) < Calculated mean value | | |
| | | | | | (Frame Element Cho | ru kotatony < calculated mean value | | |
| Elements | | | | | | Visual Display | | |
| 2 fr 1 | 80 2 11 | ✓ 80 3 14v | 81 1 3 | | | Color Identifier | | |
| 2_fr_2 | ☑ B0_2_11b | B0_3_1y | B1_1_3y | | Select All | | | |
| ✓ 2_fr_3 | ☑ B0_2_12 | B0_3_2y | B1_1_4 | | | | | |
| 2_fr_4 | B0_2_12b | B0_3_2yb | B1_1_4y | | Select None | Damage Visual Effects | | |
| 🗹 2_fr_5 | B0_2_13 | B0_3_3y | B1_1_5 | _ | | | | |
| 🗹 3_fr_1 | B0_2_13b | B0_3_4y | B1_1_5y | | Invert Selection | None | | |
| ✓ 3_fr_2 | ✓ B0_2_14 | ✓ B0_3_5y | B1_1_6 | | Intere beleedon | Slight damage | | |
| ☑ 3_fr_3 | ✓ B0_2_15 | ✓ B0_3_5yb | ✓ B1_1_6y | _ | | Moderate damage | | |
| 3_fr_4 | B0_2_2 | B0_3_6y | ✓ B1_1_/ | | Select Group - | Serious damage | | |
| ✓ 3_11_5 | B0_2_2D | B0_3_0yD | ✓ BI_I_/y | | | Very serious damage | | |
| ₩ 4_11_1 ₩ 4 fr 2 | ₩ B0_2_3 | PO 2 8v | V D1_1_0 V D1_1_9v | C | alact Only Crown | Serious diagonal cracking | | |
| ✓ 4 fr 3 | B0 2 5 | B0 3 8vb | V B1 1 9 | 00 | siect only group | Delete element | | |
| √ 4 fr 4 | B0 2 5b | B1 1 1 | ✓ B1 2 1 | | | | | |
| ✓ 4 fr 5 | V B0 2 6 | B1 1 10 | B1 2 10 | E | Deselect Group 🔹 | | | |
| ☑ 5 fr 1 | B0 2 6b | ✓ B1 1 10v | ✓ B1 2 11 | _ | | 6 11 6 2 7 | | |
| ✓ 5_fr_2 | B0_2_7 | ☑ B1_1_11 | ☑ B1_2_12 | | | 284 - and the most of the most of the second | | |
| 5_fr_3 | B0_2_8 | B1_1_11y | B1_2_13 | | | the state of the state | | |
| ✓ 5_fr_4 | B0_2_8b | B1_1_12 | B1_2_14 | | | a start of the sta | | |
| 🗹 5_fr_5 | ☑ B0_2_9 | B1_1_12y | B1_2_15 | | | James. | | |
| 🗹 6_fr_1 | B0_3_10y | B1_1_13 | ☑ B1_2_2 | | | | | |
| 🗹 6_fr_2 | B0_3_10yb | B1_1_13y | B1_2_3 | | | apropriation of many and and and | | |
| ☑ 6_fr_3 | B0_3_11y | B1_1_14 | B1_2_9 | | | The second second | | |
| ☑ 6_fr_4 | B0_3_11yb | B1_1_14y | B1_3_10y | | | fit in the first | | |
| ☑ 6_tr_5 | ✓ B0_3_12y | ✓ B1_1_15 | B1_3_11y | | | | | |
| ₩ B0_2_1 | ₩ B0_3_12yb | ✓ B1_1_1y | ₩ B1_3_12y | | | Lit - it i | | |
| BU_2_10 | I BU_3_13y | ₩ B1_1_2 | ₩ B1_3_13y | | | from the and indring for | | |
| ₩ 80_2_10b | ₩ BU_3_13yb | ₩ B1_1_2y | ₩ B1_3_14y | | | 1.6. 1.1.1 | | |
| < | | | | ۲. | | | | |
| infrmFB, infrmFBPH | , infrmDB and infrmDBPH eler | nents with the rcrs, rccs, rcc | as, rerres, reles, retes, rezes, rets, r | cars, rci | rws, rcbws, rcjrs, rcjrs | s3, rejrs2, rejrs1, rejles, rejles3, rejtes, rejtes3, rejrres, | | |

Εικόνα 42. Κριτήριο διαρροής με εφαρμογή των εξισώσεων Σ.2 ή Σ.3 της παραγράφου 7.2.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Το κριτήριο εφαρμόζεται σε όλα τα μέλη του φορέα, ενώ οι αντοχές των μελών παραμένουν μέχρι την ενεργοποίηση του κριτηρίου καμπτικής οριακής αντοχής ή διατμητικής αντοχής τους.

| Edit Performance | Criterion | These Statements and the | of Street, Square, or other | The Party Name | |
|------------------|--|--|-----------------------------------|--------------------------|--|
| Criterion Name | Criterion Type | | | Strength Degradati | ion |
| Capacity | Frame Element Chord Rotat | tion Capacity [Automatically-defined limit] | • | Residual Strength | |
| Ok | | Value auto | | Residual Str | rength (%) 20 |
| Cancel | equation KANEPE 7.2 | 2.4: equation (S.11.b) and (S.2)/(S.3) | • | Type of Notification | n O Pause O Notify O Inactive |
| Hala | NOTE: Mean material valu calculations | ues and no safety or confidence factors v | will be used in the | Description | in the street, street |
| ūeip | carculations | | | (Frame Element Cho | ord Rotation) < Calculated mean value |
| lements | | | | | Visual Display |
| 2_fr_1 | Ø B0_2_11 | ☑ B0_3_14y ☑ B | 1_1_3 | Colore All | Color Identifier |
| 2_fr_2 | ☑ B0_2_11b | ☑ B0_3_1y ☑ B | 1_1_3y | Select All | |
| 2_fr_3 | B0_2_12 | ☑ B0_3_2y ☑ B | 1_1_4 | | |
| 2_fr_4 | B0_2_12b | ✓ B0_3_2yb ✓ B | 1_1_4y | Select None | Damage Visual Effects |
| 2_fr_5 | ☑ B0_2_13 | ☑ B0_3_3y ☑ B | 1_1_5 | | O Name |
| 3_fr_1 | ₩ B0_2_13b | ✓ B0_3_4y ✓ B | 1_1_5y | Invert Selection | © None |
| 3_fr_2 | ✓ B0_2_14 | ✓ BU_3_5y ✓ B. | 1_1_0 | | Slight damage |
| 3_11_3 | ₩ B0_2_15 | ▼ B0_3_5yD ▼ B. | 1_1_0y | | Moderate damage |
| 3_fr_5 | B0_2_2 | ▼ 80_3_0y ▼ 8 | 1_1_7v | Select Group 🔫 | Serious damage |
| 4 fr 1 | V B0 2 3 | ▼ B0_3_7v ▼ B | 1 1 8 | | Very serious damage |
| 4 fr 2 | V B0 2 4 | ✓ B0 3 8v ✓ B | 1 1 8v | Select Only Group + | Serious diagonal cracking |
| 4_fr_3 | ☑ B0_2_5 | ✓ B0_3_8yb ✓ B | 1_1_9 | | Delete element |
| 4_fr_4 | B0_2_5b | ✓ B1_1_1 ✓ B | 1_2_1 | Decelect Crown - | |
| 4_fr_5 | ✓ B0_2_6 | ✓ B1_1_10 ✓ B: | 1_2_10 | Deselect Group + | ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ |
| 5_fr_1 | ☑ B0_2_6b | ✓ B1_1_10y ✓ B1 | 1_2_11 | | 1 1. 1. 1.1.1 |
| 5_fr_2 | ☑ B0_2_7 | ✓ B1_1_11 ✓ B | 1_2_12 | | |
| 5_fr_3 | ✓ B0_2_8 | ✓ B1_1_11y ✓ B | 1_2_13 | | 1 1 1 1 |
| 5_tr_4 | ₩ BU_2_8b | ■ B1_1_12 ■ B | 1_2_14 | | |
| 5_17_5 | ₩ BU_2_9 | ■ B1_1_12y ■ B | 1_2_15 | | tory right |
| 0_11_1 6_fr_2 | B0_3_10y | P1 1 12v P | 1 2 2 | | In hand FI |
| 6 fr 3 | Ø 80 3 11v | ■ B1_1_15y ■ B | 1 2 9 | | the second secon |
| 6 fr 4 | Ø 80 3 11vb | ▼ B1 1 14v ▼ B | 1 3 10v | | |
| 6 fr 5 | Ø B0 3 12v | ▼ B1 1 15 ▼ B | 1 3 11v | | A A AFF |
| B0 2 1 | V B0 3 12vb | ✓ B1 1 1v ✓ B | 1 3 12v | | |
| B0_2_10 | Ø B0_3_13y | ☑ B1_1_2 ☑ B | 1_3_13y | | Then the |
| 80_2_10b | ☑ B0_3_13yb | ☑ B1_1_2y ☑ B | 1_3_14y | | PAN |
| | | | 4 | | |
| imes, intrmesPH, | Initimus and IntrmusPH eler | ments with the rcrs, rccs, rcqs, rcrrcs, rcl | ics, reces, rezes, rets, rears, r | crws, rebws, rejrs, rejr | so, rejrsz, rejrsz, rejres, rejreso, rejteso, rejreso, rejre |

Εικόνα 43. Κριτήριο οριακής αστοχίας (καμπτικής), σύμφωνα με τις σχέσεις Σ.11.β και Σ.2 και Σ.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς πρόκειται για δόμημα

κατασκευασμένο με τους προ 1985 κανονισμούς. Τα μέλη που φτάσουν σε αυτό το κριτήριο απομειώνουν την αντοχή τους στο 20% σύμφωνα με το Παράρτημα 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

5.2.5. Καμπύλες Ικανότητας

Με βάση όλα όσα αναφέρθηκαν μέχρι αυτό το σημείο, πραγματοποιήθηκαν οι 16 αναλύσεις pushover. Ακολουθούν οι καμπύλες ικανότητας που προέκυψαν από τις αναλύσεις με τις στοχευμένες μετατοπίσεις για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας A2 και B1. Παράλληλα σε πίνακες παρατίθενται τα δεδομένα των διγραμμικοποιημένων καμπύλων.



Εικόνα 44. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_y+0,3E_x.

| F _y (kN) | 12685 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 13543 |
| d _y (m) | 0,0485 |
| d _u (m) | 0,0813 |
| K (kN/m) | 261798 |

Πίνακας 10. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης $+E_y+0.3E_x$.



Εικόνα 45. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_y-0,3E_{x.}

| $\Pi V U K U (I I . O U O U O U O U O U O U O U O U O U O$ | Πίνακας 11. | Ομοιόμορφη | κατανομή για | συνδυασμό | φόρτισης | +E _v -0,3E _x . |
|---|-------------|------------|--------------|-----------|----------|--------------------------------------|
|---|-------------|------------|--------------|-----------|----------|--------------------------------------|

| F _y (kN) | 12500 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 13566 |
| d _y (m) | 0,0484 |
| d _u (m) | 0,0903 |
| K (kN/m) | 258086 |



Εικόνα 46. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης-Ε_γ+0,3Ε_x.

| F_{y} (kN) | 12500 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 13566 |
| d _y (m) | 0,0484 |
| d _u (m) | 0,0903 |
| K (kN/m) | 258086 |

Πίνακας 12. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_v+0,3E_x.



Εικόνα 47. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_y-0,3E_x.

| F_{y} (kN) | 12700 |
|---------------------|-------|
| F _u (kN) | 13543 |

| Πίνακας 13 | . Ομοιό | սօօփո | κατανομή | νια συνδυασ | πιό φόρτισης | -Ev-0.3Ex. |
|-------------|---------|-------|-----------|-------------|--------------|------------|
| intrakaç ±3 | . Oµ010 | μορφη | Katavopij | 7tu 0000000 | μο φοριισης | |

| F _u (kN) | 13543 |
|---------------------|--------|
| d _y (m) | 0,0485 |
| d _u (m) | 0,0813 |
| K (kN/m) | 261798 |



Εικόνα 48. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_x+0,3E_y.

| Πίνακας 14 | . Ομοιόμορφη | κατανομή για | συνδυασμό | φόρτισης | +E _x +0,3E _y . |
|------------|--------------|--------------|-----------|----------|--------------------------------------|
|------------|--------------|--------------|-----------|----------|--------------------------------------|

| F _y (kN) | 11600 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 13404 |
| d _y (m) | 0,0501 |
| d _u (m) | 0,1309 |
| K (kN/m) | 231435 |



Εικόνα 49. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_x-0,3E_y.

| F _y (kN) | 12350 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 13182 |
| d _y (m) | 0,0530 |
| d _u (m) | 0,0889 |
| K (kN/m) | 233031 |

Πίνακας 15. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_x-0,3E_y.



Εικόνα 50. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_x+0,3E_y.

| Πίνακας 16. | Ομοιόμορφη | κατανομή | νια | συνδυασμό | φόρτισης | -E _x +0,3E _v . |
|-------------|------------------|----------------|-----|---------------|---------------|--------------------------------------|
| | e he ce he b t l | not tot to pul | 1 | 00.000.000.00 | T 0 0 000 1 3 | = ~ · · ·) · = y · |

| F _y (kN) | 13050 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 14897 |
| d _y (m) | 0,0574 |
| d _u (m) | 0,1391 |
| K (kN/m) | 227327 |



Εικόνα 51. Ομοιόμορφη κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_x-0,3E_y.

| Πίνακας 17. Ομοιόμορφη | κατανομή για | συνδυασμό | φόρτισης | -E _x -0,3E _y . |
|------------------------|--------------|-----------|----------|--------------------------------------|
|------------------------|--------------|-----------|----------|--------------------------------------|

| F _y (kN) | 12900 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 14830 |
| d _y (m) | 0,0569 |
| d _u (m) | 0,1421 |
| K (kN/m) | 226803 |



Εικόνα 52. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_x+0,3E_y.

| F _y (kN) | 7300 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 8306 |
| d _y (m) | 0,0471 |
| d _u (m) | 0,1129 |
| K (kN/m) | 154950 |

Πίνακας 18. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_x+0,3E_y.



Εικόνα 53. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_x-0,3E_y.

| Πίνακας 19. | Τριγωνική | κατανομή | για συν | δυασμό | φόρτισης | $+E_{x}-0,3E_{y}.$ |
|-------------|-----------|----------|---------|--------|----------|--------------------|
|-------------|-----------|----------|---------|--------|----------|--------------------|

| F _y (kN) | 7800 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 8377 |
| d _y (m) | 0,0492 |
| d _u (m) | 0,0859 |
| K (kN/m) | 158535 |



Εικόνα 54. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_x+0,3E_y.

| Πίνακας 20. | Τριγωνική | κατανομή γ | για συνδυασμό | φόρτισης | -E _x -0,3E _y . |
|-------------|-----------|------------|---------------|----------|--------------------------------------|
|-------------|-----------|------------|---------------|----------|--------------------------------------|

| F _y (kN) | 8200 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 9060 |
| d _y (m) | 0,0544 |
| d _u (m) | 0,1121 |
| K (kN/m) | 150761 |



Εικόνα 55. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_x-0,3E_y.
| F _y (kN) | 8570 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 9504 |
| d _y (m) | 0,0547 |
| d _u (m) | 0,1151 |
| K (kN/m) | 156747 |

Πίνακας 21. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_x-0,3E_y.



Εικόνα 56. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_y+0,3E_x.

Πίνακας 22. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_y+0,3E_x.

| F _y (kN) | 7550 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 8204 |
| d _y (m) | 0,0462 |
| d _u (m) | 0,0873 |
| K (kN/m) | 163453 |



Εικόνα 57. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης +E_y-0,3E_x.

| Πίνακας 23. | Τριγωνική | κατανομή για | συνδυασμό | φόρτισης | $+E_{y}-0,3E_{x}.$ |
|-------------|-----------|--------------|-----------|----------|--------------------|
|-------------|-----------|--------------|-----------|----------|--------------------|

| F _y (kN) | 7450 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 8018 |
| d _y (m) | 0,0447 |
| d _u (m) | 0,0813 |
| K (kN/m) | 166632 |



Εικόνα 58. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_y+0,3E_x.

| F _y (kN) | 8050 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 8559 |
| d _y (m) | 0,0425 |
| d _u (m) | 0,0717 |
| K (kN/m) | 189250 |

Πίνακας 24. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_v+0,3E_x.



Εικόνα 59. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -Ε_γ-0,3Ε_x.

Πίνακας 25. Τριγωνική κατανομή για συνδυασμό φόρτισης -E_y-0,3E_x.

| F _y (kN) | 7900 |
|---------------------|--------|
| F _u (kN) | 8458 |
| d _y (m) | 0,0395 |
| d _u (m) | 0,0687 |
| K (kN/m) | 200058 |



Εικόνα 60. Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Καμπύλων Ικανότητας για Ομοιόμορφη Κατανομή Φόρτισης.



Εικόνα 61. Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Καμπύλων Ικανότητας για Τριγωνική Κατανομή Φόρτισης.

5.2.6. Αστοχίες Μελών

Στο λογισμικό SeismoStruct οι αναλύσεις pushover με έλεγχο απόκρισης, (response control), ολοκληρώνονται είτε όταν ο φορέας πραγματοποιήσει τη στοχευόμενη μετατόπιση, είτε όταν παρουσιαστεί αριθμητική απόκλιση ή αστοχία. Η θεώρηση των πλακών σαν διαφράγματα δύναται να οδηγήσει σε σημαντικές αριθμητικές αποκλίσεις, καθώς τα διαφράγματα δεν επιτρέπουν τις εντός του επιπέδου τους παραμορφώσεις. Είναι, συνεπώς, σύνηθες οι αναλύσεις να τερματίζονται πριν την ολοκλήρωση της δημιουργίας μηχανισμού κατάρρευσης. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται εκτενώς σε κατασκευές με μικρή πλαστιμότητα, όπως τα κτήρια που ανεγέρθηκαν σύμφωνα με παλαιότερους κανονισμούς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ιδιαίτερη γεωμετρία του φορέα συνεισφέρει σημαντικά στην εκδήλωση αριθμητικών αποκλίσεων κατά την ανάλυση.

Από την ανάλυση παρατηρείται πλαστικοποίηση συγκεκριμένων τοιχίων του πυρήνα του φορέα, σε κάθε συνδυασμό ομοιόμορφης φόρτισης, στο επίπεδο του 3^{ου} ορόφου κυρίως, και του 4^{ου} ορόφου δευτερευόντως. Μετά τη διαρροή διατομών των τοιχίων του πυρήνα ακολουθούν τα υποστυλώματα του 3^{ου} ορόφου, καθώς και ορισμένες δοκοί του 3^{ου} και του 4^{ου} ορόφου. Αναλυτικά παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες οι διατομές που αστόχησαν στο τελευταίο βήμα κάθε ανάλυσης. Στις αντίστοιχες εικόνες φαίνονται με ανοιχτό πράσινο τα μέλη που έφτασαν σε οριακή κατάσταση γωνίας στροφής χορδής και με κόκκινο τα μέλη που αστόχησαν σε διάτμηση.



Εικόνα 62. +Y+0,3Χ Παραμορφωμένη Κατάσταση x40.

Πίνακας 26. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +Ey+0,3*Ex και η σειρά με την οποία αυτές πραγματοποιήθηκαν.

Performance Criteria Checks

Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | Σειρά Αστοχίας |
|----------------------------|------------|------------|------------|-------------------|---------------|----------------|
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00503149 | 0,00286432 | 1,75661 | ***REACHED*** | 2 |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,00528203 | 0,00406164 | 1,30047 | ***REACHED*** | 4 |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00526464 | 0,00286354 | 1,83851 | ***REACHED*** | 1 |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,00846839 | 0,00837514 | 1,01113 | ***REACHED*** | 6 |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01003056 | 0,00778845 | 1,28788 | ***REACHED*** | 3 |
| B3_A_1 - End(A) - axis(2) | D1 | 0,00648712 | 0,00632266 | 1,02601 | ***REACHED*** | 6 |
| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,00923196 | 0,00839923 | 1,09914 | ***REACHED*** | 4 |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01246276 | 0,01053058 | 1,18348 | ***REACHED*** | 5 |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00973426 | 0,00908368 | 1,07162 | ***REACHED*** | 6 |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,00812676 | 0,00693535 | 1,17179 | ***REACHED*** | 6 |
| | | | | | | |

Frame Element Chord Rotation Capacity Criteria

Shear Capacity

Πίνακας 27. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_y-0,3*E_x και η σειρά με την οποία αυτές πραγματοποιήθηκαν.

| Performance Criteria Checks | | | | | | | | |
|--|-----------|------------|------------|-------------|-----------------------------|----------|--|--|
| Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | | |
| | Class | | | Performance | | Σειρά | | |
| | Name | Demand | Limit | Ratio | Status | Αστοχίας | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00899062 | 0,00278225 | 3,23142 | ***REACHED*** | 3 | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,00594715 | 0,00224149 | 2,65322 | ***REACHED*** | 7 | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,0121734 | 0,01087386 | 1,11951 | ***REACHED*** | 8 | | |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,0092707 | 0,00659219 | 1,40632 | ***REACHED*** | 7 | | |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(3) | freatio_2 | 0,0079269 | 0,00721578 | 1,09855 | ***REACHED*** | 8 | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(3) | freatio_3 | 0,01054246 | 0,00813059 | 1,29664 | ***REACHED*** | 8 | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,0097569 | 0,00278097 | 3,50845 | ***REACHED*** | 1 | | |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00572678 | 0,00290228 | 1,9732 | ***REACHED*** REACHED AT | 7 | | |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,00870336 | 0,00888453 | 0,97960872 | PREVIOUS STEP | 5 | | |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01027038 | 0,00791032 | 1,29835 | ***REACHED*** | 2 | | |
| B3_X10_5 - End(B) - axis(2) | D25 | 0,00684163 | 0,00634041 | 1,07905 | ***REACHED*** | 4 | | |

| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,00896814 | 0,00875985 | 1,02378 | ***REACHED*** | 4 |
|-----------------------------|--------|------------|------------|---------|---------------|---|
| K2_A_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01914225 | 0,01210854 | 1,58089 | ***REACHED*** | 6 |
| K2_A_1 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01683683 | 0,0133586 | 1,26037 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01657858 | 0,01181829 | 1,40279 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_A_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01498725 | 0,01376284 | 1,08896 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_III_2 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01480311 | 0,01367455 | 1,08253 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_III_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01305065 | 0,00952145 | 1,37066 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_III_5 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01136331 | 0,00913364 | 1,24412 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_IV_1 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01600629 | 0,01469363 | 1,08934 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01356761 | 0,0103041 | 1,31672 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01120585 | 0,01002776 | 1,11748 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_I_4 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01419078 | 0,01393059 | 1,01868 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_I_4 - End(B) - axis(3) | C30x30 | 0,01416439 | 0,01393971 | 1,01612 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_V_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01510683 | 0,01287412 | 1,17343 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_V_3 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01303456 | 0,01268421 | 1,02762 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_B_1 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01454514 | 0,01361847 | 1,06804 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00965334 | 0,00818484 | 1,17942 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_B_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01571314 | 0,01134133 | 1,38548 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01257193 | 0,00912844 | 1,37723 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_B_4 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01181103 | 0,01038346 | 1,13749 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_B_8 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01062835 | 0,01052241 | 1,01007 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_F_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01715696 | 0,01176554 | 1,45824 | ***REACHED*** | 7 |
| K2_F_1 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01569901 | 0,01281624 | 1,22493 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_F_2 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01307552 | 0,01165226 | 1,12214 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_F_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,0097873 | 0,00970921 | 1,00804 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_F_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01299721 | 0,01098131 | 1,18358 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_F_4 - End(B) - axis(3) | C40x40 | 0,01033344 | 0,01019415 | 1,01366 | ***REACHED*** | 8 |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,00978224 | 0,00946333 | 1,0337 | ***REACHED*** | 8 |



Εικόνα 63. Παραμορφωμένη Κατάσταση του φορέα για συνδυασμό - E_y +0,3* E_x , με ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή των φορτίων.

Πίνακας 28. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό - E_y +0,3* E_x

| Performance Criteria Checks | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-------------------|--------------------------|
| Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | |
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00899062 | 0,00278225 | 3,23142 | ***REACHED*** |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,00594715 | 0,00224149 | 2,65322 | ***REACHED*** |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,0121734 | 0,01087386 | 1,11951 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,0092707 | 0,00659219 | 1,40632 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(3) | freatio_2 | 0,0079269 | 0,00721578 | 1,09855 | ***REACHED*** |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(3) | freatio_3 | 0,01054246 | 0,00813059 | 1,29664 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,0097569 | 0,00278097 | 3,50845 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00572678 | 0,00290228 | 1,9732 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,00870336 | 0,00888453 | 0,97960872 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01027038 | 0,00791032 | 1,29835 | ***REACHED*** |
| B3_X10_5 - End(B) - axis(2) | D25 | 0,00684163 | 0,00634041 | 1,07905 | ***REACHED*** |
| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,00896814 | 0,00875985 | 1,02378 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01914225 | 0,01210854 | 1,58089 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01683683 | 0,0133586 | 1,26037 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01657858 | 0,01181829 | 1,40279 | ***REACHED*** |
| K2_A_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01498725 | 0,01376284 | 1,08896 | ***REACHED*** |
| K2_III_2 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01480311 | 0,01367455 | 1,08253 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01305065 | 0,00952145 | 1,37066 | ***REACHED*** |

| K2_III_5 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01136331 | 0,00913364 | 1,24412 | ***REACHED*** |
|-----------------------------|--------|------------|------------|---------|---------------|
| K2_IV_1 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01600629 | 0,01469363 | 1,08934 | ***REACHED*** |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01356761 | 0,0103041 | 1,31672 | ***REACHED*** |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01120585 | 0,01002776 | 1,11748 | ***REACHED*** |
| K2_I_4 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01419078 | 0,01393059 | 1,01868 | ***REACHED*** |
| K2_I_4 - End(B) - axis(3) | C30x30 | 0,01416439 | 0,01393971 | 1,01612 | ***REACHED*** |
| K2_V_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01510683 | 0,01287412 | 1,17343 | ***REACHED*** |
| K2_V_3 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01303456 | 0,01268421 | 1,02762 | ***REACHED*** |
| K2_B_1 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01454514 | 0,01361847 | 1,06804 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00965334 | 0,00818484 | 1,17942 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01571314 | 0,01134133 | 1,38548 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01257193 | 0,00912844 | 1,37723 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01181103 | 0,01038346 | 1,13749 | ***REACHED*** |
| K2_B_8 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01062835 | 0,01052241 | 1,01007 | ***REACHED*** |
| K2_F_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01715696 | 0,01176554 | 1,45824 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_1 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01569901 | 0,01281624 | 1,22493 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_2 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01307552 | 0,01165226 | 1,12214 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,0097873 | 0,00970921 | 1,00804 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01299721 | 0,01098131 | 1,18358 | ***REACHED*** |
| K2_F_4 - End(B) - axis(3) | C40x40 | 0,01033344 | 0,01019415 | 1,01366 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,00978224 | 0,00946333 | 1,0337 | ***REACHED*** |



Εικόνα 64. - Υ+0,3 Παραμορφωμένη Κατάσταση.

Πίνακας 29. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό - E_y -0,3 E_x .

| Performance | Criteria | Checks |
|-------------|----------|--------|
| | | |

Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
|----------------------------|------------|------------|------------|-------------------|---------------|
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00503149 | 0,00286432 | 1,75661 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,00528203 | 0,00406164 | 1,30047 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00526464 | 0,00286354 | 1,83851 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,00846839 | 0,00837514 | 1,01113 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01003056 | 0,00778845 | 1,28788 | ***REACHED*** |
| B3_A_1 - End(A) - axis(2) | D1 | 0,00648712 | 0,00632266 | 1,02601 | ***REACHED*** |
| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,00923196 | 0,00839923 | 1,09914 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01246276 | 0,01053058 | 1,18348 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00973426 | 0,00908368 | 1,07162 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,00812676 | 0,00693535 | 1,17179 | ***REACHED*** |

Frame Element Chord Rotation Capacity Criteria



Εικόνα 65. -Ε_y-0,3Ε_x Παραμορφωμένη Κατάσταση.



Εικόνα 66. + E_x +0,3 E_y Παραμορφωμένη Κατάσταση.

Πίνακας 30. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_x+0,3*E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζεται και διατμητική αστοχία δοκών.

| | Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | |
|-----------------------------|--|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00397403 | 0,00198627 | 2,00075 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(3) | freatio_1 | 0,00838517 | 0,0064976 | 1,2905 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,00295154 | 0,0019272 | 1,53151 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(3) | freatio_1 | 0,00623633 | 0,0062159 | 1,00329 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00917344 | 0,00267513 | 3,42915 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_2 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00432944 | 0,00223209 | 1,93963 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00525686 | 0,00202188 | 2,59998 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00438715 | 0,00200812 | 2,18471 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,0085765 | 0,00214466 | 3,999 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00423746 | 0,00249016 | 1,70168 | ***REACHED*** | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00321433 | 0,00278731 | 1,1532 | ***REACHED*** | | |
| B2_3_8y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00621986 | 0,00571728 | 1,08791 | ***REACHED*** | | |
| B3_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,02065655 | 0,00915408 | 2,25654 | ***REACHED*** | | |
| B3_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,02000949 | 0,00995649 | 2,00969 | ***REACHED*** | | |
| B3_A_1 - End(A) - axis(2) | D1 | 0,010015 | 0,00660006 | 1,51741 | ***REACHED*** | | |
| B4_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,01413092 | 0,00915408 | 1,54367 | ***REACHED*** | | |
| B4_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01746826 | 0,00995649 | 1,75446 | ***REACHED*** | | |
| B5_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01576257 | 0,00986356 | 1,59806 | ***REACHED*** | | |
| K2_A_1 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,0125866 | 0,01165925 | 1,07954 | ***REACHED*** | | |
| K2_A_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01132491 | 0,01118318 | 1,01267 | ***REACHED*** | | |
| K2_A_3 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01440051 | 0,0119546 | 1,2046 | ***REACHED*** | | |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01808925 | 0,00992958 | 1,82175 | ***REACHED*** | | |
| K2_A_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01589859 | 0,01314753 | 1,20925 | ***REACHED*** | | |
| K2_III_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01386092 | 0,00955178 | 1,45113 | ***REACHED*** | | |
| K2_III_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00988802 | 0,00855118 | 1,15633 | ***REACHED*** | | |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00918187 | 0,00900668 | 1,01945 | ***REACHED*** | | |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00973222 | 0,00913758 | 1,06508 | ***REACHED*** | | |
| K2_I_4 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,0157416 | 0,01483255 | 1,06129 | ***REACHED*** | | |
| K2_V_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01098408 | 0,00891624 | 1,23192 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_1 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01413632 | 0,01328701 | 1,06392 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01214737 | 0,00907113 | 1,33912 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_3 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,01089432 | 0,00930285 | 1,17107 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01495183 | 0,00892106 | 1,67602 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_4 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,0097624 | 0,00973501 | 1,00281 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_6 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,0133656 | 0,01145891 | 1,16639 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_6 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01454383 | 0,01157891 | 1,25606 | ***REACHED*** | | |
| K2_B_8 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01321299 | 0,01037569 | 1,27346 | ***REACHED*** | | |
| K2_F_1 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01296355 | 0,0116082 | 1,11676 | ***REACHED*** | | |
| K2_F_2 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01288638 | 0,01152785 | 1,11785 | ***REACHED*** | | |

Performance Criteria Checks

84

| K2_Γ_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01137418 | 0,01034533 | 1,09945 | ***REACHED*** |
|----------------------------|--------|------------|------------|---------|---------------|
| K2_Γ_4 - End(B) - axis(2) | C40x40 | 0,01061446 | 0,01041353 | 1,0193 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_5 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01476124 | 0,01277853 | 1,15516 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01007242 | 0,00876205 | 1,14955 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01318163 | 0,00701094 | 1,88015 | ***REACHED*** |
| K2_E_7 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01258201 | 0,01215639 | 1,03501 | ***REACHED*** |
| K2_Z_9 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01071787 | 0,01054489 | 1,0164 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01194977 | 0,01043704 | 1,14494 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01157674 | 0,00955861 | 1,21113 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01289962 | 0,01124988 | 1,14664 | ***REACHED*** |
| | | | | | |

Shear Capacity

| | Class Name | Demand | | Limit | Performance Ratio | | Status |
|---------------------------|------------|--------|---|----------|-------------------|---|--------------------------|
| B3_I_1 - Sec(e) - axis(3) | D42 | | 0 | 55,60313 | | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B3_I_2 - Sec(e) - axis(3) | B15x30 | | 0 | 63,84638 | | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B4_1_2 - Sec(e) - axis(3) | B15x30 | | 0 | 64,70449 | | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |



Εικόνα 67. +E_x-0,3E_y Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα.

Πίνακας 31. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_x-0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών και ενός υποστυλώματος.

Performance Criteria Checks

Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
|---------------------------|------------|------------|------------|-------------------|---------------|
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00306051 | 0,00202188 | 1,5137 | ***REACHED*** |
| B3_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,01285049 | 0,00915408 | 1,4038 | ***REACHED*** |
| B3_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01219191 | 0,00995649 | 1,22452 | ***REACHED*** |
| B4_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,0113609 | 0,00995649 | 1,14105 | ***REACHED*** |
| B5_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,0105 | 0,00969901 | 1,08259 | ***REACHED*** |
| K2_O_9 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01126378 | 0,00695367 | 1,61983 | ***REACHED*** |

Frame Element Chord Rotation Capacity Criteria

| Shear C | apacity |
|---------|---------|
|---------|---------|

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
|---------------------------|------------|----------|----------|-------------------|--------------------------|
| B3_I_1 - Sec(e) - axis(3) | D42 | 0 | 55,60313 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B3_I_2 - Sec(e) - axis(3) | B15x30 | 0 | 66,48617 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B4_I_2 - Sec(e) - axis(3) | B15x30 | 0 | 66,76679 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| K2_O_9 - Sec(a) - axis(2) | C30x30 | 3,11E+14 | 84,42119 | 3,69E+12 | ***REACHED*** |
| K2_O_9 - Sec(a) - axis(3) | C30x30 | 8,76E+14 | 84,42119 | 1,04E+13 | ***REACHED*** |
| K2_O_9 - Sec(e) - axis(2) | C30x30 | 3,11E+14 | 84,42119 | 3,69E+12 | ***REACHED*** |
| K2_O_9 - Sec(e) - axis(3) | C30x30 | 8,76E+14 | 81,80484 | 1,07E+13 | ***REACHED*** |



Εικόνα 68. - Ε_x+0,3Ε_y Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα.

Πίνακας 32. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό -E_x+0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| | Frame Ele | ement Chord Ro | tation Yielding | Criteria | |
|-----------------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00331993 | 0,00196132 | 1,6927 | ***REACHED*** |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,00342127 | 0,00196361 | 1,74233 | ***REACHED*** |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00704917 | 0,00285036 | 2,47308 | ***REACHED*** |
| 2_fr_2 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00456182 | 0,00219939 | 2,07413 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00254601 | 0,0020538 | 1,23966 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00475348 | 0,00206175 | 2,30556 | ***REACHED*** |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,009589 | 0,00221988 | 4,3196 | ***REACHED*** |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00578492 | 0,00232427 | 2,48891 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00513755 | 0,00204 | 2,51841 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(3) | freatio_4 | 0,01308177 | 0,00408023 | 3,20614 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00557989 | 0,00209217 | 2,66704 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(3) | freatio_4 | 0,00979599 | 0,00408023 | 2,40084 | ***REACHED*** |
| 3_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,002607 | 0,00258095 | 1,01009 | ***REACHED*** |
| B1_1_4y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00934992 | 0,00770661 | 1,21323 | ***REACHED*** |
| B1_1_4y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 9,40E-03 | 0,0091493 | 1,03E+00 | ***REACHED*** |
| B1_1_7y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 9,56E-03 | 0,00771444 | 1,24E+00 | ***REACHED*** |
| B1_1_7y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 9,25E-03 | 0,00900468 | 1,03E+00 | ***REACHED*** |
| B1_3_4y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 9,28E-03 | 0,00764622 | 1,21E+00 | ***REACHED*** |
| B1_3_4y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00927433 | 0,00926828 | 1,00065 | ***REACHED*** |
| B1_3_7y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00906012 | 0,00769791 | 1,17696 | ***REACHED*** |
| B1_3_7y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00867035 | 0,00898316 | 0,96517883 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B3_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00712565 | 0,00610662 | 1,16687 | ***REACHED*** |
| B3_X10_5 - End(B) - axis(2) | D25 | 0,00997405 | 0,00651875 | 1,53006 | ***REACHED*** |
| B4_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00612642 | 0,0060773 | 1,00808 | ***REACHED*** |
| K1_1_5 - End(B) - axis(2) | Column_prestressed | 0,00876379 | 0,00899629 | 0,9741555 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| K1_3_5 - End(B) - axis(2) | Column_prestressed | 0,00900294 | 0,00889305 | 1,01236 | ***REACHED*** |
| K2_A_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01412701 | 0,01162599 | 1,21512 | ***REACHED*** |
| K2_A_10 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01552117 | 0,01251031 | 1,24067 | ***REACHED*** |
| K2_A_6 - End(B) - axis(3) | C30x30 | 0,01398183 | 0,01384475 | 1,0099 | ***REACHED*** |
| K2_A_8 - End(B) - axis(3) | C30x30 | 0,01584448 | 0,01525564 | 1,0386 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01026854 | 0,00935125 | 1,09809 | ***REACHED*** |
| K2_III_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01121719 | 0,00829436 | 1,35239 | ***REACHED*** |
| K2_III_8 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,0122972 | 0,01194509 | 1,02948 | ***REACHED*** |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01169903 | 0,00900584 | 1,29905 | ***REACHED*** |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01108205 | 0,00908179 | 1,22025 | ***REACHED*** |
| K2_B_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,0172556 | 0,01068703 | 1,61463 | ***REACHED*** |
| K2_B_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01174116 | 0,01156205 | 1,01549 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01139137 | 0,01009122 | 1,12884 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01091347 | 0,01047578 | 1,04178 | ***REACHED*** |

Performance Criteria Checks

| K2_B_6 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01519308 | 0,01167391 | 1,30146 | ***REACHED*** |
|----------------------------|--------|------------|------------|------------|--------------------------|
| K2_B_8 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01339986 | 0,01107636 | 1,20977 | ***REACHED*** |
| K2_F_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01187739 | 0,01001366 | 1,18612 | ***REACHED*** |
| K2_F_5 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01355844 | 0,01093712 | 1,23967 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01380962 | 0,01204244 | 1,14675 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_9 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,0157382 | 0,01324129 | 1,18857 | ***REACHED*** |
| K2_Z_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01842087 | 0,01093138 | 1,68514 | ***REACHED*** |
| K2_Z_10 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01584766 | 0,01570502 | 1,00908 | ***REACHED*** |
| K2_Z_9 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01375274 | 0,00909517 | 1,51209 | ***REACHED*** |
| K2_Z_9 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,0112707 | 0,00916879 | 1,22925 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01621182 | 0,00953546 | 1,70016 | ***REACHED*** |
| K2_H_9 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01396867 | 0,00888877 | 1,5715 | ***REACHED*** |
| K2_H_9 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,01164234 | 0,00924967 | 1,25868 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,02783364 | 0,01133474 | 2,45561 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,00784119 | 0,01272374 | 0,61626498 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| K2_O_10 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01766109 | 0,01275448 | 1,3847 | ***REACHED*** |
| K2_O_7 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01401597 | 0,0134506 | 1,04203 | ***REACHED*** |
| | | | | | |

| Shear Capacity | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|--------|----------|-------------------|--------------------------|--|--|--|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | |
| B3_I_1 - Sec(a) - axis(3) | D42 | 0 | 55,60313 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP | | | |
| B4_I_1 - Sec(a) - axis(3) | D42 | 0 | 55,60313 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP | | | |



Εικόνα 69. - Ε_x-0,3Ε_y Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα.

Πίνακας 33. Αστοχίες για ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό -E_x-0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| | Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | |
|-----------------------------|--|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|--|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00267213 | 0,00199337 | 1,34051 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00394541 | 0,0029196 | 1,35135 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,00715382 | 0,00224298 | 3,18943 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00295576 | 0,00229218 | 1,2895 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00332056 | 0,00227209 | 1,46146 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(3) | freatio_4 | 0,01139867 | 0,00408023 | 2,79364 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(3) | freatio_4 | 0,00659573 | 0,00408023 | 1,61651 | ***REACHED*** | | | |
| 3_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00266733 | 0,0026495 | 1,00673 | ***REACHED*** | | | |
| B1_1_4y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00947534 | 0,00799309 | 1,18544 | ***REACHED*** | | | |
| B1_1_4y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00955951 | 0,00888544 | 1,07586 | ***REACHED*** | | | |
| B1_1_7y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00985579 | 0,00794411 | 1,24064 | ***REACHED*** | | | |
| B1_1_7y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00963257 | 0,00885529 | 1,08778 | ***REACHED*** | | | |
| B1_3_4y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00970698 | 0,00791121 | 1,22699 | ***REACHED*** | | | |
| B1_3_4y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 0,00961104 | 0,00899657 | 1,0683 | ***REACHED*** | | | |
| B1_3_7y - End(A) - axis(2) | B25x50_f16 | 9,52E-03 | 0,00794337 | 1,20E+00 | ***REACHED*** | | | |
| B1_3_7y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 9,15E-03 | 0,00883806 | 1,04E+00 | ***REACHED*** | | | |
| B2_1_3y - End(B) - axis(2) | B25x50_f16 | 5,91E-03 | 0,00572346 | 1,03E+00 | ***REACHED*** | | | |
| B3_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 1,15E-02 | 0,00630992 | 1,82E+00 | ***REACHED*** | | | |
| B3_Δ_2 - End(B) - axis(2) | D15 | 0,00772174 | 0,00680991 | 1,1339 | ***REACHED*** | | | |
| B3_Z_1 - End(A) - axis(2) | D16 | 0,00974533 | 0,008684 | 1,12222 | ***REACHED*** | | | |
| B4_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00832437 | 0,00617341 | 1,34842 | ***REACHED*** | | | |
| K1_1_5 - End(B) - axis(2) | Column_prestressed | 0,00905689 | 0,00901689 | 1,00444 | ***REACHED*** | | | |
| K1_3_5 - End(B) - axis(2) | Column_prestressed | 0,00922404 | 0,00884759 | 1,04255 | ***REACHED*** | | | |
| K2_A_8 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01345721 | 0,01289969 | 1,04322 | ***REACHED*** | | | |
| K2_III_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00980435 | 0,00835155 | 1,17396 | ***REACHED*** | | | |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01099118 | 0,00910405 | 1,20728 | ***REACHED*** | | | |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01027263 | 0,00899028 | 1,14264 | ***REACHED*** | | | |
| K2_V_3 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01124082 | 0,01001787 | 1,12208 | ***REACHED*** | | | |
| K2_B_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,0137086 | 0,0116718 | 1,17451 | ***REACHED*** | | | |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01109558 | 0,00896103 | 1,2382 | ***REACHED*** | | | |
| K2_B_8 - End(B) - axis(2) | C40x40 | 0,01056042 | 0,01052223 | 1,00363 | ***REACHED*** | | | |
| K2_H_9 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01012277 | 0,0099729 | 1,01503 | ***REACHED*** | | | |
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01602675 | 0,01071006 | 1,49642 | ***REACHED*** | | | |
| K2_O_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01767746 | 0,0109354 | 1,61654 | ***REACHED*** | | | |
| K2_O_10 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01336405 | 0,01187134 | 1,12574 | ***REACHED*** | | | |

Performance Criteria Checks

Frame Element Chord Rotation Capacity Criteria



Πίνακας 34. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_x+0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| | Performance Criteria Checks | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|--|
| | Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | |
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00351753 | 0,00197437 | 1,7816 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(3) | freatio_1 | 0,00921224 | 0,00600404 | 1,53434 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,00302408 | 0,00193345 | 1,56409 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00987659 | 0,00208917 | 4,72752 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_2 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00374169 | 0,00318509 | 1,17475 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,006921 | 0,00204194 | 3,38942 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00370761 | 0,00194407 | 1,90713 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,00892202 | 0,00214589 | 4,15773 | ***REACHED*** | | | |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00363919 | 0,00214589 | 1,69589 | ***REACHED*** | | | |
| B3_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,02163835 | 0,00915408 | 2,36379 | ***REACHED*** | | | |
| B3_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,0210356 | 0,00995649 | 2,11275 | ***REACHED*** | | | |
| B3_A_1 - End(A) - axis(2) | D1 | 0,01007572 | 0,00664036 | 1,51735 | ***REACHED*** | | | |
| B4_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,01520059 | 0,00915408 | 1,66053 | ***REACHED*** | | | |

| B4_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01862598 | 0,00995649 | 1,87074 | ***REACHED*** |
|-----------------------------|--------|------------|------------|-----------|--------------------------|
| B5_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 1,71E-02 | 0,00994263 | 1,72E+00 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 1,23E-02 | 0,01175735 | 1,05E+00 | ***REACHED*** |
| K2_A_3 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 1,40E-02 | 0,01146411 | 1,22E+00 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 1,74E-02 | 0,01023632 | 1,70E+00 | ***REACHED*** |
| K2_A_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01546592 | 0,01313558 | 1,17741 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01333245 | 0,0095457 | 1,3967 | ***REACHED*** |
| K2_III_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00964184 | 0,00855108 | 1,12756 | ***REACHED*** |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00928922 | 0,00913297 | 1,01711 | ***REACHED*** |
| K2_I_4 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01519449 | 0,01497493 | 1,01466 | ***REACHED*** |
| K2_V_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01067762 | 0,00908975 | 1,17469 | ***REACHED*** |
| K2_B_1 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01371753 | 0,01336642 | 1,02627 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01167722 | 0,00911991 | 1,28041 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,01041496 | 0,00934863 | 1,11406 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01428395 | 0,00896355 | 1,59356 | ***REACHED*** |
| K2_B_6 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01288378 | 0,01145085 | 1,12514 | ***REACHED*** |
| K2_B_6 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01410665 | 0,01156441 | 1,21983 | ***REACHED*** |
| K2_B_8 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01282237 | 0,01037673 | 1,23568 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_1 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01250554 | 0,01170561 | 1,06834 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_2 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01248113 | 0,0114786 | 1,08734 | ***REACHED*** |
| K2_F_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01113579 | 0,01028265 | 1,08297 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_5 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01417601 | 0,01271318 | 1,11506 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01282709 | 0,01369312 | 0,9367546 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| K2_E_7 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01225254 | 0,01211468 | 1,01138 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01193979 | 0,0101784 | 1,17305 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01113316 | 0,00948787 | 1,17341 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01198599 | 0,01106408 | 1,08332 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01436654 | 0,0136753 | 1,05055 | ***REACHED*** |
| | | | | | |

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
|---------------------------|------------|--------|----------|-------------------|--------------------------|
| B3_I_1 - Sec(e) - axis(3) | D42 | 0 | 55,60313 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B3_I_2 - Sec(e) - axis(3) | B15x30 | 0 | 63,49989 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B4_I_2 - Sec(e) - axis(3) | B15x30 | 0 | 64,31355 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |



Εικόνα 71. +E_x-0,3E_y Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 35. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_x-0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

Performance Criteria Checks

| Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|--|--|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(3) | freatio_1 | 0,00414135 | 0,00408655 | 1,01341 | ***REACHED*** | | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00498953 | 0,0020533 | 2,43 | ***REACHED*** | | | | |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00244447 | 0,00200899 | 1,21677 | ***REACHED*** | | | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,00372442 | 0,00231871 | 1,60625 | ***REACHED*** | | | | |
| B3_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,0151344 | 0,00915408 | 1,65329 | ***REACHED*** | | | | |
| B3_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01410051 | 0,00995649 | 1,41621 | ***REACHED*** | | | | |
| B4_I_2 - End(A) - axis(2) | B15x30 | 0,01041096 | 0,00915408 | 1,1373 | ***REACHED*** | | | | |
| B4_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01355801 | 0,00995649 | 1,36173 | ***REACHED*** | | | | |
| B5_I_2 - End(B) - axis(2) | B15x30 | 0,01271747 | 0,00975103 | 1,30422 | ***REACHED*** | | | | |
| K2_H_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01125814 | 0,01015348 | 1,1088 | ***REACHED*** | | | | |
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,0121218 | 0,01162455 | 1,04278 | ***REACHED*** | | | | |
| K2_O_10 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01250167 | 0,01217018 | 1,02724 | ***REACHED*** | | | | |
| K2_O_9 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,00887103 | 0,00695367 | 1,27573 | ***REACHED*** | | | | |
| K2_O_9 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,00866292 | 0,00695367 | 1,24581 | ***REACHED*** | | | | |

Frame Element Chord Rotation Capacity Criteria





Εικόνα 72. -Ε_x+0,3Ε_y Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 36. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό -E_x+0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| | Performance Criteria Checks | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|--|--|--|--|
| | Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | | | | |
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,0035664 | 0,0019838 | 1,79776 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,00241033 | 0,00193134 | 1,24801 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00555726 | 0,00286949 | 1,93667 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_2 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,002599 | 0,00229521 | 1,13236 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00388717 | 0,00207827 | 1,87039 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00243113 | 0,00208243 | 1,16745 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,00856363 | 0,00221702 | 3,86268 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00408713 | 0,00229595 | 1,78015 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00492147 | 0,00212868 | 2,31198 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(3) | freatio_4 | 0,01116824 | 0,00408023 | 2,73716 | ***REACHED*** | | | | | | |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00439573 | 0,00207496 | 2,11846 | ***REACHED*** | | | | | | |

| 2_fr_5 - End(B) - axis(3) | freatio_4 | 0,00672363 | 0,00408023 | 1,64786 | ***REACHED*** |
|-----------------------------|-----------|------------|------------|----------|---------------|
| 3_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00260358 | 0,00235747 | 1,10439 | ***REACHED*** |
| B3_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00708088 | 0,00610218 | 1,16039 | ***REACHED*** |
| B3_X10_5 - End(B) - axis(2) | D25 | 1,03E-02 | 0,00659935 | 1,56E+00 | ***REACHED*** |
| B4_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00627413 | 0,0060924 | 1,02983 | ***REACHED*** |
| K2_A_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01152781 | 0,01141362 | 1,01 | ***REACHED*** |
| K2_A_10 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,01262084 | 0,01252423 | 1,00771 | ***REACHED*** |
| K2_A_6 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01160877 | 0,01130875 | 1,02653 | ***REACHED*** |
| K2_III_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00953225 | 0,00832059 | 1,14562 | ***REACHED*** |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01006386 | 0,0092814 | 1,0843 | ***REACHED*** |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00957972 | 0,00903141 | 1,06071 | ***REACHED*** |
| K2_B_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01443867 | 0,01046477 | 1,37974 | ***REACHED*** |
| K2_B_6 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01284968 | 0,01161466 | 1,10633 | ***REACHED*** |
| K2_B_8 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01097087 | 0,01089419 | 1,00704 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01028006 | 0,01011886 | 1,01593 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_5 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01138661 | 0,01116973 | 1,01942 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01132984 | 0,0110334 | 1,02687 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_9 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01319015 | 0,01222587 | 1,07887 | ***REACHED*** |
| K2_Z_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01557381 | 0,01076981 | 1,44606 | ***REACHED*** |
| K2_Z_9 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01170185 | 0,00913485 | 1,28101 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,00885819 | 0,00774563 | 1,14364 | ***REACHED*** |
| K2_H_10 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01291274 | 0,00721929 | 1,78865 | ***REACHED*** |
| K2_H_9 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01147125 | 0,00892059 | 1,28593 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,02124952 | 0,01119233 | 1,89858 | ***REACHED*** |

| Shear | Capacity | |
|-------|----------|--|
|-------|----------|--|

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
|---------------------------|------------|--------|----------|-------------------|--------------------------|
| B3_I_1 - Sec(a) - axis(3) | D42 | 0 | 55,60313 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| B4_I_1 - Sec(a) - axis(3) | D42 | 0 | 55,60313 | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP |



Εικόνα 73. -Ε_x-0,3Ε_y Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 37. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό -E_x-0,3E_y, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

Performance Criteria Checks

| | Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|--|--|--|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00532725 | 0,00220125 | 2,4201 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(3) | freatio_1 | 0,01013653 | 0,00701988 | 1,44398 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,0032863 | 0,00242374 | 1,35588 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(3) | freatio_1 | 0,00869162 | 0,00792078 | 1,09732 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00898443 | 0,00182918 | 4,91172 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,00622047 | 0,00406164 | 1,53152 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_2 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00593166 | 0,00213392 | 2,7797 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(2) | freatio_2 | 0,00673331 | 0,00282976 | 2,37946 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_3 - End(B) - axis(2) | freatio_2 | 0,00527297 | 0,00213285 | 2,47227 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(2) | freatio_3 | 0,01223666 | 0,00240323 | 5,09176 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00731484 | 0,00258587 | 2,82877 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00563072 | 0,00252004 | 2,23437 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(3) | freatio_4 | 0,01499971 | 0,00408023 | 3,6762 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00284839 | 0,00180198 | 1,5807 | ***REACHED*** | | | | | |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(3) | freatio_4 | 1,02E-02 | 0,00408023 | 2,50E+00 | ***REACHED*** | | | | | |
| 3_fr_4 - End(B) - axis(2) | freatio_3 | 0,00273492 | 0,00236117 | 1,15829 | ***REACHED*** | | | | | |
| B3_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,01223165 | 0,00636483 | 1,92176 | ***REACHED*** | | | | | |

| B3_B_5 - End(B) - axis(2) | D10 | 0,01058295 | 0,01025984 | 1,03149 | ***REACHED*** |
|-----------------------------|--------|------------|------------|------------|--------------------------|
| B3_Δ_2 - End(B) - axis(2) | D15 | 0,00905977 | 0,00708633 | 1,27848 | ***REACHED*** |
| B3_Z_1 - End(A) - axis(2) | D16 | 0,01174737 | 0,00833876 | 1,40877 | ***REACHED*** |
| B4_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00852204 | 0,00619448 | 1,37575 | ***REACHED*** |
| B4_Z_1 - End(A) - axis(2) | D16 | 0,0105984 | 0,00878719 | 1,20612 | ***REACHED*** |
| B5_Z_1 - End(A) - axis(2) | D16 | 0,01041927 | 0,01024604 | 1,01691 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01670942 | 0,01301261 | 1,28409 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01742133 | 0,01256655 | 1,38633 | ***REACHED*** |
| K2_A_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01642714 | 0,01300804 | 1,26285 | ***REACHED*** |
| K2_A_3 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01645375 | 0,01260338 | 1,3055 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01321026 | 0,0124939 | 1,05734 | ***REACHED*** |
| K2_A_6 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01720175 | 0,0127963 | 1,34427 | ***REACHED*** |
| K2_A_8 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01922519 | 0,02259093 | 0,85101369 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| K2_A_8 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01961481 | 0,02064422 | 0,95013559 | REACHED AT PREVIOUS STEP |
| K2_III_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01180524 | 0,00984923 | 1,1986 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(B) - axis(2) | C40x40 | 0,01037486 | 0,00997173 | 1,04043 | ***REACHED*** |
| K2_III_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01311023 | 0,00805784 | 1,62702 | ***REACHED*** |
| K2_III_5 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,00868436 | 0,00832322 | 1,04339 | ***REACHED*** |
| K2_III_8 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01377476 | 0,0111691 | 1,23329 | ***REACHED*** |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,0137779 | 0,00898369 | 1,53366 | ***REACHED*** |
| K2_IV_5 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01319968 | 0,00898074 | 1,46978 | ***REACHED*** |
| K2_IV_6 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01167322 | 0,01135432 | 1,02809 | ***REACHED*** |
| K2_I_4 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01285672 | 0,01269698 | 1,01258 | ***REACHED*** |
| K2_V_3 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01335447 | 0,01053184 | 1,26801 | ***REACHED*** |
| K2_B_1 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,0166765 | 0,01122995 | 1,485 | ***REACHED*** |
| K2_B_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,00953604 | 0,00881511 | 1,08178 | ***REACHED*** |
| K2_B_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01942602 | 0,01098458 | 1,76848 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01657445 | 0,00871247 | 1,90238 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01359412 | 0,00898743 | 1,51257 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(B) - axis(2) | C40x45 | 0,01066931 | 0,00968902 | 1,10118 | ***REACHED*** |
| K2_B_6 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01602833 | 0,01156621 | 1,38579 | ***REACHED*** |
| K2_B_6 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,0133641 | 0,01284489 | 1,04042 | ***REACHED*** |
| K2_B_8 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01526761 | 0,01104382 | 1,38246 | ***REACHED*** |
| K2_B_8 - End(B) - axis(2) | C40x40 | 0,01632626 | 0,01049185 | 1,55609 | ***REACHED*** |
| K2_F_1 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01367496 | 0,00693535 | 1,97178 | ***REACHED*** |
| K2_F_1 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01131131 | 0,00693535 | 1,63096 | ***REACHED*** |
| K2_F_2 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01332801 | 0,0116647 | 1,14259 | ***REACHED*** |
| K2_F_2 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01385095 | 0,01152197 | 1,20213 | ***REACHED*** |
| K2_F_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01478778 | 0,01013243 | 1,45945 | ***REACHED*** |
| K2_F_5 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01406599 | 0,01099003 | 1,27989 | ***REACHED*** |
| K2_F_5 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 0,01262106 | 0,01123961 | 1,12291 | ***REACHED*** |
| K2_A_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01394805 | 0,01258984 | 1,10788 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_9 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01587828 | 0,01336642 | 1,18792 | ***REACHED*** |
| K2_E_7 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01310653 | 0,01245023 | 1,05271 | ***REACHED*** |
| K2_Z_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,00999013 | 0,00975982 | 1,0236 | ***REACHED*** |
| K2_Z_9 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01290689 | 0,01027502 | 1,25614 | ***REACHED*** |
| | | | | | |

| K2_H_9 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01351707 | 0,010033 | 1,34726 | ***REACHED*** |
|----------------------------|--------|------------|------------|---------|---------------|
| K2_O_10 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,014875 | 0,01049199 | 1,41775 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01742694 | 0,0108163 | 1,61117 | ***REACHED*** |
| K2_O_10 - End(B) - axis(3) | C35x35 | 0,0119847 | 0,01192817 | 1,00474 | ***REACHED*** |
| K2_O_7 - End(A) - axis(3) | C30x30 | 0,01358998 | 0,01270018 | 1,07006 | ***REACHED*** |
| K2_O_9 - End(B) - axis(3) | C30x30 | 0,01205326 | 0,00991582 | 1,21556 | ***REACHED*** |

| Shear Capacity | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|--------|---|----------|-------------------|---|--------------------------|--|--|--|
| | Class Name | Demand | | Limit | Performance Ratio | | Status | | | |
| B3_I_1 - Sec(a) - axis(3) | D42 | | 0 | 55,60313 | | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP | | | |
| B4_I_1 - Sec(a) - axis(3) | D42 | | 0 | 55,60313 | | 0 | REACHED AT PREVIOUS STEP | | | |



Εικόνα 74. +Ε_γ+0,3Ε_x Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 38. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_y+0,3E_x, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| Performance Criteria Checks | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-------------------|---------------|--|--|--|--|
| Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | | | | | |
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status | | | | |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00834914 | 0,00276407 | 3,0206 | ***REACHED*** | | | | |
| 2_fr_1 - End(B) - axis(2) | freatio_1 | 0,0030884 | 0,0021604 | 1,42955 | ***REACHED*** | | | | |
| 2_fr_2 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,0105558 | 0,00993749 | 1,06222 | ***REACHED*** | | | | |

| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,00862161 | 0,00718897 | 1,19928 | ***REACHED*** |
|-----------------------------|-----------|------------|------------|----------|---------------|
| 2_fr_3 - End(B) - axis(3) | freatio_2 | 0,00543859 | 0,00492613 | 1,10403 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00828871 | 0,00280974 | 2,94999 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,01009997 | 0,00828713 | 1,21875 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01175049 | 0,00734935 | 1,59885 | ***REACHED*** |
| B3_A_1 - End(A) - axis(2) | D1 | 0,00740994 | 0,00637374 | 1,16257 | ***REACHED*** |
| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01073147 | 0,00800056 | 1,34134 | ***REACHED*** |
| B5_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,00962759 | 0,00955207 | 1,00791 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01209367 | 0,01020909 | 1,1846 | ***REACHED*** |
| K2_A_3 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01320377 | 0,01266825 | 1,04227 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01681862 | 0,01101375 | 1,52706 | ***REACHED*** |
| K2_A_6 - End(B) - axis(2) | C30x30 | 1,47E-02 | 0,01266599 | 1,16E+00 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,01107229 | 0,00944862 | 1,17184 | ***REACHED*** |
| K2_III_5 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,00989237 | 0,00934743 | 1,0583 | ***REACHED*** |
| K2_IV_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01109141 | 0,01019949 | 1,08745 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01020258 | 0,00879642 | 1,15986 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,01352299 | 0,00895743 | 1,5097 | ***REACHED*** |
| K2_B_6 - End(B) - axis(2) | C35x35 | 0,01310893 | 0,01189923 | 1,10166 | ***REACHED*** |
| K2_B_8 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01136949 | 0,01060169 | 1,07242 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_4 - End(A) - axis(2) | C40x40 | 0,01092337 | 0,01026098 | 1,06455 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_5 - End(A) - axis(2) | C30x30 | 0,01258618 | 0,01207508 | 1,04233 | ***REACHED*** |
| K2_Δ_10 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01138223 | 0,00711504 | 1,59974 | ***REACHED*** |



Εικόνα 75. +E_y-0,3E_x Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 39. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό +E_y-0,3E_x, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| | Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | |
|-----------------------------|--|------------|------------|-------------------|---------------|
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00658518 | 0,00198249 | 3,32168 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,00685288 | 0,00453314 | 1,51173 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00738245 | 0,00316095 | 2,33552 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00244342 | 0,00187852 | 1,30071 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,00988638 | 0,00845793 | 1,16889 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01268181 | 0,00745296 | 1,70158 | ***REACHED*** |
| B3_X10_5 - End(B) - axis(2) | D25 | 0,00737124 | 0,00638974 | 1,1536 | ***REACHED*** |
| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01123011 | 0,00800414 | 1,40304 | ***REACHED*** |
| B5_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01006984 | 0,0095749 | 1,05169 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01417898 | 0,0112036 | 1,26557 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01252422 | 0,01138581 | 1,09998 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,0097663 | 0,00950849 | 1,02711 | ***REACHED*** |
| K2_B_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01185379 | 0,01084048 | 1,09347 | ***REACHED*** |
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00923596 | 0,00882175 | 1,04695 | ***REACHED*** |
| K2_Γ_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 1,23E-02 | 0,01117706 | 1,10E+00 | ***REACHED*** |

Performance Criteria Checks

Frame Element Chord Rotation Capacity Criteria

Shear Capacity



Εικόνα 76. -Ε_y+0,3E_x Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 40. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό -E_y+0,3E_x, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

Performance Criteria Checks

Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria

| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
|-----------------------------|------------|------------|------------|-------------------|---------------|
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00658518 | 0,00198249 | 3,32168 | ***REACHED*** |
| 2_fr_3 - End(A) - axis(3) | freatio_2 | 0,00685288 | 0,00453314 | 1,51173 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00738245 | 0,00316095 | 2,33552 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00244342 | 0,00187852 | 1,30071 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(A) - axis(2) | D49 | 0,00988638 | 0,00845793 | 1,16889 | ***REACHED*** |
| B3_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01268181 | 0,00745296 | 1,70158 | ***REACHED*** |
| B3_X10_5 - End(B) - axis(2) | D25 | 0,00737124 | 0,00638974 | 1,1536 | ***REACHED*** |
| B4_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01123011 | 0,00800414 | 1,40304 | ***REACHED*** |
| B5_5_3 - End(B) - axis(2) | D49 | 0,01006984 | 0,0095749 | 1,05169 | ***REACHED*** |
| K2_A_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 0,01417898 | 0,0112036 | 1,26557 | ***REACHED*** |
| K2_A_4 - End(A) - axis(2) | C35x35 | 0,01252422 | 0,01138581 | 1,09998 | ***REACHED*** |
| K2_III_4 - End(A) - axis(3) | C40x40 | 0,0097663 | 0,00950849 | 1,02711 | ***REACHED*** |

| K2_B_3 - End(A) - axis(3) | C40x45 | 0,01185379 | 0,01084048 | 1,09347 | ***REACHED*** | |
|---------------------------|--------|------------|------------|----------|---------------|--|
| K2_B_4 - End(A) - axis(2) | C40x45 | 0,00923596 | 0,00882175 | 1,04695 | ***REACHED*** | |
| K2_F_1 - End(A) - axis(3) | C35x35 | 1,23E-02 | 0,01117706 | 1,10E+00 | ***REACHED*** | |

Shear Capacity



Εικόνα 77. -Ε_ν-0,3Ε_x Παραμορφωμένη Κατάσταση φορέα για τριγωνική καθύψος κατανομή φορτίων.

Πίνακας 41. Αστοχίες για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή οριζόντιας φόρτισης, για τον συνδυασμό -E_y-0,3E_x, στο τελευταίο βήμα της pushover. Εντοπίζονται και διατμητικές αστοχίες δοκών.

| Performance Criteria Checks | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-------------------|---------------|
| Frame Element Chord Rotation Yielding Criteria | | | | | |
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
| 2_fr_1 - End(A) - axis(2) | freatio_1 | 0,00427254 | 0,00292309 | 1,46166 | ***REACHED*** |
| 2_fr_4 - End(A) - axis(3) | freatio_3 | 0,00573432 | 0,00407718 | 1,40644 | ***REACHED*** |
| 2_fr_4 - End(B) - axis(3) | freatio_3 | 0,00409868 | 0,00407718 | 1,00527 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(A) - axis(2) | freatio_4 | 0,00508557 | 0,00266997 | 1,90473 | ***REACHED*** |
| 2_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00300231 | 0,00263587 | 1,13902 | ***REACHED*** |
| 3_fr_5 - End(B) - axis(2) | freatio_4 | 0,00286279 | 0,00268983 | 1,0643 | ***REACHED*** |
| B3_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,00975597 | 0,00628736 | 1,55168 | ***REACHED*** |

| B4_A_5 - End(B) - axis(2) | D5 | 0,0070545 | 0,00616111 | 1,14501 | ***REACHED*** |
|-------------------------------|------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| K2_V_6 - End(B) - axis(3) | C30x30 | 0,01037869 | 0,00856905 | 1,21118 | ***REACHED*** |
| | | | | | |
| | Frame Eler | ment Chord Rotat | ion Capacity Crite | eria | |
| | | | | | |
| | | Shear Capa | city | | |
| | Class Name | Demand | Limit | Performance Ratio | Status |
| B3_III_4_3 - Sec(e) - axis(2) | D48 | 140,9094 | 136,3425 | 1,0335 | ***REACHED*** |
| | | | | | |

5.3. Αποτίμηση Φορέα

Το συγκεκριμένο κτήριο υπολογίσθηκε και κατασκευάστηκε για συντελεστή οριζόντιας φόρτισης ε = 4%, ο οποίος αντιστοιχεί σε επιτάχυνση σχεδιασμού 0,07g σύμφωνα με τις σύγχρονες μεθόδους επίλυσης. Από τις αναλύσεις του φορέα για 16 διαφορετικούς συνδυασμούς φόρτισης, προκύπτει σημαντικά μεγαλύτερη ελάχιστη επιτάχυνση αντοχής του ε = 0,11g. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μάλιστα, το κτήριο επιτυγχάνει να πραγματοποιήσει μετατοπίσεις που αντιστοιχούν σε στόχο στάθμης επιτελεστικότητας B1, ενώ σχεδόν πάντα καλύπτει τς μετατοπίσεις που αντιστοιχούν στη στάθμη επιτελεστικότητας A2, όπως αυτές υπολογίζονται από το λογισμικό.

Αντίθετα, και όπως ήταν αναμενόμενο, δεδομένων των κανονισμών και της κατασκευαστικής νοοτροπίας κατά την ανέγερσή του, ο φορέας διαθέτει περιορισμένη πλαστιμότητα και καθοδικό κλάδο στις καμπύλες ικανότητας των αναλύσεων. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η οριακά ψαθυρή μορφή αστοχίας του και η εμφάνιση αστοχίας μηχανισμού ορόφου στον 3° όροφο, στις περισσότερες αναλύσεις. Εκτός του μηχανισμού ορόφου, παρατηρούνται και αρκετές περιπτώσεις διατμητικής αστοχίας δοκών. Η βελτίωση της συμπεριφοράς του φορέα έναντι των μορφών αστοχίας που αναφέρθηκαν αποτελεί και το κύριο αντικείμενο των σεναρίων ενίσχυσης που εξετάζονται στο κεφάλαιο 7 που ακολουθεί.

6. Σενάρια Ενίσχυσης και Αποτίμηση τους

6.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα μελέτη, η αποτίμηση του εξεταζόμενου κτηρίου μέσω της εφαρμογής της στατικής ανελαστικής μεθόδου, κατέδειξε την ανάγκη ενίσχυσής του, παρά τις αντοχές στις στατικές φορτίσεις που παρουσιάζει. Συγκεκριμένα, ο φορέας χρήζει ενίσχυσης ως προς την πλαστιμότητά του, έτσι ώστε να αποκλείονται οι ψαθυρές μορφές αστοχίας και ο μηχανισμός ορόφου που παρατηρείται, ενώ παράλληλα να επιτυγχάνεται η ικανοποιητική συμπεριφορά του ως προς τη στάθμη επιτελεστικότητας σημαντικών βλαβών, για 10% πιθανότητα υπέρβασης 50ετίας. Δεδομένης της φύσης των αστοχιών που παρατηρούνται, προτείνονται δύο σενάρια ενίσχυσης:

- Εφαρμογή μανδύα στα τοιχία του πυρήνα του φορέα, τα οποία και διαρρέουν πρώτα στις περισσότερες αναλύσεις
- Ενίσχυση των υποστυλωμάτων των ανώτερων ορόφων με ινοπλισμένο πολυμερές

6.2. Ενίσχυση Πυρήνα με Μανδύα Σκυροδέματος

6.2.1. Μεθοδολογία Ενίσχυσης Πυρήνα

Καθώς η μέθοδος της περίσφιξης των διατομών, είτε με χαλύβδινους κλωβούς, είτε με ινοπλισμένα πολυμερή δεν κρίνεται εφαρμόσιμη σε στοιχεία με μεγάλο λόγο διαστάσεων, (μακρόστενα στοιχεία), όπως τα τοιχία του πυρήνα του φορέα, επιλέγεται η δημιουργία μανδύα, με στόχο την αύξηση του εμβαδού της διατομής και του οπλισμού της, σύμφωνα με τις διατάξεις της ενότητας 8.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Τα τοιχία του πυρήνα αποτελούν και το φρεάτιο των ανελκυστήρων του κτηρίου, συνεπώς η αμφίπλευρη εφαρμογή της ενίσχυσης δεν είναι απαραίτητη. Επιλέγεται η μονόπλευρη εφαρμογή μανδύα 8 εκατοστών, με εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα. Για την εφαρμογή του μανδύα ενίσχυσης, απαιτείται η πραγματοποίηση των ακόλουθων διεργασιών:

- Εκτράχυνση της επιφάνειας των τοιχίων στην πλευρά της ενίσχυσης.
- Εφαρμογή βλήτρων, σπαστών, ή ηλεκτροσυγκόλλησης των κατά παράθεση ράβδων με αναρτήρες, για εξασφάλιση διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας, σύμφωνα με τις διατάξεις των κεφαλαίων 6.1 και 8.2 του KAN.ΕΠΕ. και τις σχετικές διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων.
- Εφαρμογή νέου οπλισμού μανδύα. Τοποθετούνται 2Φ20 στις γωνίες του μανδύα και κατανέμονται Φ14/20 στο ενδιάμεσο. Στην εγκάρσια διεύθυνση τοποθετούνται Φ10/20.
- Σκυροδέτηση μανδύα με εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα.

Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των τοιχίων είναι ποιότητας C25/30, ενώ οι χάλυβες των οπλισμών επιλέγονται B500C. Ακολουθούν οι διατομές των ενισχυμένων τοιχίων σύμφωνα από το λογισμικό SeismoStruct.

| Edit Section Properties | | The second second | | X |
|--|--|-------------------------------|---------------|----------|
| Section Name: freatio_1 Section Type: Reinforced concrete Materials and Dimensions Reinforcemen | rcbws: Reinforced concrete rectangular no pseudo-columns | wall section 👻 | V Ok X Cancel | Help |
| Restricted as a constant of the second secon | Section Dimensions (m) Val width 2,36000 Thickness of section core 0,20000 Cover Thickness 0,01000 | Show Transverse Reinforcement | | (2) |
| | | 4 | m | |

Εικόνα 78. Διατομή υφιστάμενου τμήματος τοιχίου του πυρήνα του φορέα.

| Edit Section Properties | | | | × |
|--|---|----------------|----------------------|-----|
| Section Name: freatio_mandyas_1 Section Type: Jacketed reinforced | concrete rcjrs1: Reinforced concrete 1-side jacketed rectar | ngular section | 🗸 🗸 Ok 🎽 Cancel Help | |
| Section Type: Jacketed reinforced. Materials and Dimensions Reinforcement Social Material(s) External Longitudinal Reinforcement SS00 Internal Longitudinal Reinforcement SS01 SS01 Internal Transverse Reinforcement SS02 Concrete jacket C25/30 Concrete jacket C25/30 C00 | rgrs1:Reinforced concrete 1-side jacketed rectar | ngular section | (3) | (2) |
| | | · · | " | • |

Εικόνα 79. Διατομή του τμήματος τοιχίου της προηγούμενης εικόνας, ενισχυμένου με μανδύα σκυροδέματος πάχος 8 cm.

6.2.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης Φορέα με Ενισχυμένο Πυρήνα

Για τον ενισχυμένο φορέα πραγματοποιήθηκε στατική ανελαστική ανάλυση με τους 8 συνδυασμούς φορτίσεως, για ομοιόμορφη και τριγωνική καθ' ύψος κατανομή φορτίων. Ακολουθεί η καμπύλη ικανότητας του κτηρίου για τον δυσμενέστερο συνδυασμό, τριγωνική καθ' ύψος κατανομή –E_y-0,3E_x, όπως προέκυψε από το λογισμικό SeismoStruct.



Εικόνα 80. Καμπύλη Ικανότητας φορέα μετά την ενίσχυση των τοιχίων του πυρήνα, για τριγωνική καθ' ύψος κατανομή δράσεων, με έλεγχο απόκρισης, για τον συνδυασμό -E_v-0,3E_x.

Παρατηρείται αυξημένη αντοχή του φορέα σε οριζόντια παραμόρφωση, όπως ήταν αναμενόμενο, καθώς και μικρή αύξηση της πλαστιμότητάς του. Ακολουθεί η απεικόνιση των παραμορφώσεων του κτηρίου στο τελευταίο στάδιο της pushover, για μετατόπιση δ_u = 0,09846m του κόμβου ελέγχου κατά την κύρια διεύθυνση της φόρτισης, Υ. Στα πλαίσια της προσομοίωσης του παραμορφωμένου φορέα, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα οπτικής απεικόνισης των μελών που έχουν ικανοποιήσει κάποιο από τα κριτήρια απόδοσης, όπως αναλύεται στην ενότητα 6.2.4, και των σημείων των πλαστικών αρθρώσεων. Με ανοιχτό πράσινο ορίζονται τα μέλη που ικανοποιούν το κριτήριο διαρροής, με σκούρο πράσινο το κριτήριο πλαστιμότητας και με κόκκινο το κριτήριο διάτμησης. Με μορφή σφαίρας απεικονίζεται η δημιουργία πλαστικής άρθρωσης.



Εικόνα 81. Παραμορφωμένη κατάσταση φέροντος οργανισμού του κτηρίου στο τελευταίο στάδιο την pushover. Για την ευκρινέστερη απεικόνιση των παραμορφώσεων του φορέα, παρουσιάζονται 40 φορές μεγαλύτερες στη συγκεκριμένη εικόνα.

6.3. Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Ινοπλισμένο Πολυμερές

6.3.1. Μεθοδολογία Ενίσχυσης με Ινοπλισμένο Πολυμερές

Στο δεύτερο στάδιο της διερεύνησης σεναρίων ενίσχυσης του φορέα, πραγματοποιείται ενίσχυση των υποστυλωμάτων των τριών ανώτερων ορόφων του κτηρίου, μέσω της περίσφιξής τους με ύφασμα από ινοπλισμένο πολυμερές. Η περίσφιξη των υποστυλωμάτων αναμένεται να αυξήσει σημαντικά την ικανότητά τους να παραλάβουν εγκάρσιες παραμορφώσεις, αυξάνοντας, συνεπώς, την πλαστιμότητα του κτηρίου.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης επιλέχθηκε η εφαρμογή του υλικού MapeWrap C UNI-AX 300, της εταιρείας MAPEI, το οποίο διαθέτει ίνες άνθρακα, εφαρμόζεται σε στρώσεις πάχους 0,164mm και παρουσιάζει εφελκυστική αντοχή 4900MPa. Ακολουθεί η καρτέλα εισαγωγής του υλικού σε διατομή υποστυλώματος 30x30 στο λογισμικό. Η ακτίνα εξομάλυνσης των γωνιών του στοιχείου θεωρείται 4 εκατοστά. Το πολυμερές εφαρμόστηκε σε όλα τα υποστυλώματα στις ανώτερες στάθμες του φορέα, σε μία στρώση.

Εικόνα 82. Καρτέλα εισαγωγής περίσφιξης με ινοπλισμένο πολυμερές, στη συγκεκριμένη περίπτωση του υλικού που εφαρμόζεται στα πλαίσια της ενίσχυσης.

6.3.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης Φορέα με Ενισχυμένα Υποστυλώματα

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της κατασκευής με την εφαρμογή των 16 διαφορετικών συνδυασμών φόρτισης. Στη συνέχεια παρατίθεται η καμπύλη ικανότητας του φορέα για καταπόνηση από τον δυσμενέστερο συνδυασμό, που, όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις, αναφέρεται σε τριγωνική καθ'ύψος κατανομή φορτίων, για συνδυασμό -E_v-0,3E_x.



Εικόνα 83. Καμπύλη Ικανότητας κατασκευής μετά την περίσφιξη των υποστυλωμάτων στις ανώτερες στάθμες του φορέα, για το δυσμενέστερο συνδυασμό φορτίσεως.

Η ανάλυση του φορέα μετά την ενίσχυση παρουσιάζει μικρή μεν αύξηση της αντοχής του σε τέμνουσα, αλλάζει όμως το μηχανισμό κατάρρευσης. Μετά την ενίσχυση οι πρώτες διαρροές εντοπίζονται, πλέον, στις δοκούς, ενώ στο μηχανισμό συμμετέχουν μέλη και των τριών ανώτερων ορόφων. Παράλληλα, παρατηρείται σημαντική αύξηση στην ικανότητα του κτηρίου να παραμορφωθεί πέραν του σημείου διαρροής του, όπως φαίνεται στο συγκριτικό διάγραμμα της Εικόνας 63. Η διγραμμικοποίηση της καμπύλης ικανότητας μετά την τελική ενίσχυση (M69_linear) έγινε για κλίση του κλάδου πλαστικών παραμορφώσεων σχεδόν ίση με αυτή της πρώτης ενίσχυσης. Είναι προφανές όμως, πως ο ενισχυμένος με ινοπλισμένο πολυμερές φορέας μπορεί να παραλάβει παραμόρφωση έως και 19 εκατοστά, πολύ μεγαλύτερη από τα 7 περίπου εκατοστά του υφιστάμενου φορέα.



Εικόνα 84. Καμπύλες Ικανότητας της κατασκευής στην υφιστάμενη κατάσταση (M67), με ενίσχυση του πυρήνα (M68) και με ενίσχυση πυρήνα και υποστυλωμάτων (M69). Έχουν σχεδιασθεί και οι αντίστοιχες εξιδανικευμένες καμπύλες ικανότητας.

Τέλος, παρατίθεται η απεικόνιση του φορέα στο τελευταίο βήμα της ανάλυση pushover, μετά την εφαρμογή των ενισχύσεων.


Εικόνα 85. Κάτοψη παραμορφωμένης κατάστασης φέροντος οργανισμού του κτηρίου στο τελευταίο στάδιο της pushover. Για την ευκρινέστερη απεικόνιση των παραμορφώσεων του φορέα, παρουσιάζονται 20 φορές μεγαλύτερες στη συγκεκριμένη εικόνα. Παράλληλα, παρατηρούνται και τα μέλη που έχουν διαρρεύσει καθώς και οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων.



Εικόνα 86. Πλάγια όψη παραμορφωμένης κατάστασης φέροντος οργανισμού του κτηρίου στο τελευταίο στάδιο της pushover. Για την ευκρινέστερη απεικόνιση

των παραμορφώσεων του φορέα, παρουσιάζονται 20 φορές μεγαλύτερες στη συγκεκριμένη εικόνα. Παράλληλα, παρατηρούνται και τα μέλη που έχουν διαρρεύσει καθώς και οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων.



Εικόνα 87. Όψη παραμορφωμένης κατάστασης φέροντος οργανισμού του κτηρίου στο τελευταίο στάδιο της pushover. Για την ευκρινέστερη απεικόνιση των παραμορφώσεων του φορέα, παρουσιάζονται 20 φορές μεγαλύτερες στη συγκεκριμένη εικόνα. Παράλληλα, παρατηρούνται και τα μέλη που έχουν διαρρεύσει καθώς και οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων.



Εικόνα 88. Προοπτική απεικόνιση παραμορφωμένης κατάστασης φέροντος οργανισμού του κτηρίου στο τελευταίο στάδιο της pushover. Για την ευκρινέστερη απεικόνιση των παραμορφώσεων του φορέα, παρουσιάζονται 20 φορές μεγαλύτερες στη συγκεκριμένη εικόνα. Παράλληλα, παρατηρούνται και τα μέλη που έχουν διαρρεύσει καθώς και οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων.

7. Συμπεράσματα

Το υπό μελέτη κτήριο, αν και κατασκευασμένο τη δεκαετία του 1970, παρουσιάζει αξιόλογες αντοχές. Στα μέλη των κατώτερων ορόφων δεν εντοπίζονται αστοχίες ή διαρροές, παρά την πληθώρα διαφορετικών συνδυασμών φόρτισης. Το κτήριο, σύμφωνο με το πνεύμα της εποχής ανέγερσής του, εμφανίζει αστοχίες πρώτα στα κατακόρυφα μέλη του φέροντος οργανισμού του, κατά τον αντισεισμικό έλεγχο, ενώ διαθέτει περιορισμένη δυνατότητα πλαστικής απόκρισης. Λόγω της ιδιαίτερης γεωμετρίας του, ο κρισιμότερος μηχανισμός αστοχίας του είναι ο μηχανισμός ορόφου της 3^{ης} στάθμης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως σε σημαντικό αριθμό επιτελεστικότητας, όπως αυτοί υπολογίσθηκαν από το λογισμικό SeismoStruct.

Στα πλαίσια της βελτίωσης της σεισμικής συμπεριφοράς του κτηρίου, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες απλές και εύκολα εφαρμόσιμες προτάσεις ενίσχυσής του, οι οποίες αποσκοπούν στην αύξηση της αντοχής του πυρήνα του φορέα και της πλαστιμότητάς του. Μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης, ο φορέας παρουσιάζει σύνθετο μηχανισμό κατάρρευσης, ο οποίος περιλαμβάνει μέλη και των τριών ανώτερων σταθμών, υψηλό δείκτη πλαστιμότητας και αυξημένη αντοχή σε τέμνουσα βάσης. Η ενίσχυση των δοκών δεν κρίνεται απαραίτητη σε αυτό το στάδιο, διότι, δεν απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής συμπεριφοράς του φορέα, καθώς, στους αρχικούς ελέγχους οι δοκοί διαρρέουν μετά από τα υποστυλώματα. Λαμβάνεται, επίσης, υπόψη και το γεγονός πως, βάση κατασκευαστικής νοοτροποίας της περιόδου ανέγερσης του κτηρίου, οι δοκοί είναι καλύτερα οπλισμένοι από τα υποστυλώματα, οδηγώντας σε αποφευκτέες, σήμερα, μορφές αστοχίας, όπως οι μηχανισμοί ορόφου.

Στα πλαίσια περαιτέρω ενίσχυσης του κτηρίου, προτείνεται η διερεύνηση της ενίσχυσης των τοιχοπληρώσεών του, ως μία ελάχιστα επεμβατική, αλλά πολλά υποσχόμενη μέθοδος ενίσχυσης, καθώς κατά τη διενέργεια της παρούσας μελέτης παρατηρήθηκε πως, αν και υπάρχει σημαντικός αριθμός τοιχοπληρώσεων, πολύ λίγες από αυτές πληρούν τις προϋποθέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για να συμμετάσχουν στη δυσκαμψία του φορέα.

8. Βιβλιογραφία

- 1. Giardini D, Wössner J, Danciu L. Mapping Europe's Seismic Hazard. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 2014; **95**(29): 261–262. DOI: 10.1002/2014EO290001.
- 2. Ευρωκώδικες | Ο.Α.Σ.Π. https://www.oasp.gr/node/7 [accessed May 29, 2022].
- 3. Απογραφή Κτηρίων 2011 ELSTAT. https://www.statistics.gr/censusbuildings-2011 [accessed May 29, 2022].
- 4. Συνοπτική παρουσίαση δράσεων ΕΠΑΝΤΥΚ (Εθνικό Πρόγραμμα Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κατασκευών). https://docplayer.gr/38084025-Synoptiki-paroysiasi-draseon-epantyk-ethniko-prograuua-antiseisuikis-enishysis-yfistauenon-kataskeyon.html [accessed May 29, 2022].
- 5. Μητρολιού Σ. Αποτίμηση και ενίσχυση υφισταμένου κτηρίου βάσει ΚΑΝΕΠΕ. 2015.
- 6. Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), 2η Αναθεώρηση 2017 | Ο.Α.Σ.Π. https://www.oasp.gr/node/92 [accessed May 29, 2022].
- 7. Ελληνικός
 Αντισεισμικός
 Κανονισμός
 (Ε.Α.Κ.-2000)
 Ο.Α.Σ.Π.

 https://www.oasp.gr/node/8 [accessed May 28, 2022].
 Ο.Α.Σ.Π.
- 8. Λουράντος Κ. Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, μελετημένο το 1961.
- 9. Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering* 1988; **114**(8): 1804– 1826. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804).
- 10. Menegotto M. Method of analysis of cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under normal force and bending. *Undefined* 1973.
- 11. Filippou FC, Popov EP, Bertero VV. Effects of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints 1983.

- Fragiadakis M, Papadrakakis M. Modeling, analysis and reliability of seismically excited structures: computational issues. *International Journal of Computational Methods* 2008; **05**(04): 483–511. DOI: 10.1142/S0219876208001674.
- 13. Crisafulli F. Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills 1997.