

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ, ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΥΟ ΟΡΟΦΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΝΕΟΤΕΡΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ

ΚΑΤΣΙΜΠΙΝΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός διώροφου κτιρίου χωρίς υπόγειο με βάση τους κανονισμούς 1959 και 1984 και η αποτίμησή του για στάθμη επιτελεστικότητας Β εφαρμόζοντας τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και κάνοντας χρήση της ελαστικής δυναμικής μεθόδου που χρησιμοποιεί τους δείκτες συμπεριφοράς m και της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Push-over). Στη συνέχεια εξετάστηκε η περίπτωση ανύψωσης άλλων δύο ορόφων με σχεδιασμό και διαστασιολόγηση με τον σύγχρονο κανονισμό ΕΑΚ 2003, καθώς και ο έλεγχος επάρκειας του τετραώροφου πλέον κτιρίου. Σκοπός της εργασίας είναι να ελεγχθεί η επάρκεια του κτιρίου έπειτα από σύγκριση των προγενεστέρων αντισεισμικών κανονισμών και να αποδοθεί ρεαλιστικά η ικανότητα προσθήκης δύο ορόφων σε υφιστάμενο κτίριο και να γίνει η αποτίμησή του. Η εργασία εκπονήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Scada Pro 15.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με έντονη σεισμική δράση, η οποία προκαλεί έντονες βλάβες στις κατασκευές και μερικές φορές ακόμα και την κατάρρευσή τους. Προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτός κρίνεται απαραίτητη η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός των υφιστάμενων κατασκευών, οι οποίες ενδεχομένως έχουν διαστασιολογηθεί με παλιότερους αντισεισμικούς κανονισμούς, στους οποίους απουσιάζουν οι σύγχρονες αντισεισμικές αντιλήψεις, όπως οι αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, ο ικανοτικός σχεδιασμός και ο έλεγχος κατασκευαστικών διατάξεων. Επίσης, στο παρελθόν η ανάλυση των κατασκευών γινόταν με χρήση απλοποιητικών παραδοχών χάριν ασφάλειας λόγω της έλλειψης υπολογιστικών μέσων και με απουσία χωρικής ανάλυσης, αλλά λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη λειτουργία της δισδιάστατης πλαισιακής λειτουργίας. Επομένως, ο Πολιτικός Μηχανικός καλείται να αποφασίσει αν υπάρχει ανάγκη ενίσχυση της υφιστάμενης κατασκευής για να μην τεθεί σε κίνδυνο η ζωή των χρηστών.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποτελεί μια πρωτοπόρα διαδικασία προσέγγισης από τη μελέτη σχεδιασμού ενός νέου κτιρίου και δίνει τη δυνατότητα στον μελετητή Μηχανικό να έχει ένα εγχειρίδιο για την ορθότερη και πιο αποτελεσματική ανάλυση μιας υπάρχουσας κατασκευής. Σκοπός του Ελληνικού Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό ενός υφιστάμενου δομήματος με ενδεχόμενες επεμβάσεις, ενισχύσεις και επισκευές. Λόγω ορισμένων αβεβαιοτήτων που εμπεριέχει η αξιοπιστία των αρχικών δεδομένων του υφιστάμενου κτιρίου και των αβέβαιων μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, ο κανονισμός αυτός προσθέτει συντελεστές ασφαλείας προκειμένου να αποφευχθεί η υπερεκτίμηση της αντοχής του υπάρχοντος κτιρίου οδηγώντας σε ασφαλέστερα αποτελέσματα.

Για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων επιλέχθηκε ένα διώροφο κτίριο και διαστασιολογήθηκε σύμφωνα με τους κανονισμούς του 1959 και 1984 και έγινε η αποτίμησή του με τη μέθοδο της ελαστικής δυναμικής μεθόδου που χρησιμοποιεί τους τοπικούς δείκτες συμπεριφοράς m και της ανελαστικής στατικής ανάλυσης με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για στάθμη επιτελεστικότητας Β. Επίσης, εξετάστηκε η περίπτωση ανύψωσης δύο επιπλέον ορόφων με σχεδιασμό και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2003, καθώς και η εκ νέου αποτίμησή του.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

2.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τη πλήρη μελέτη του υφιστάμενου κτιρίου:

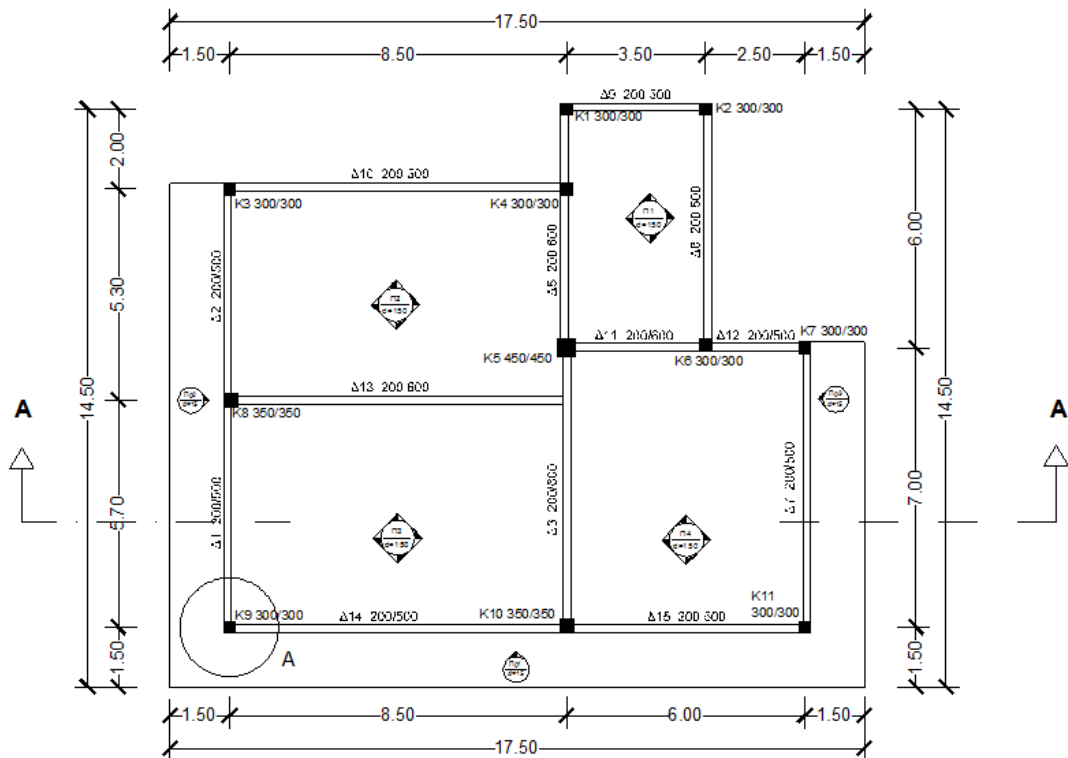
α) Πρόκειται για μια διώροφη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς υπόγειο, η οποία κατασκευάστηκε πριν από το 1985 και έχει ύψος ορόφου 3.2 m.

β) Τα στατικά έγιναν με σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής B225 με μέση τιμή θλιπτικής αντοχής κυβικού δοκιμίου 22,5 MPa (κατηγορία ανάλογη του σημερινού C16/20) και χάλυβα κατηγορίας StIII (κατηγορία ανάλογη του σημερινού S400) [5].

γ) Στις πλάκες ασκείται μόνιμο φορτίο 1.5 kN/m², κινητό φορτίο 2 kN/m², ενώ στους εξώστες είναι 5 kN/m². Το δώμα θεωρείται μη βατό επομένως υποθέτουμε ένα κινητό φορτίο της τάξης του 1/10 της φόρτισης των βατών πατωμάτων, δηλ. 0.2 kN/m² για την πλάκα και 0.5 kN/m² για τους εξώστες δώματος.

δ) Πρόκειται για μια συμμετρική κατοικία με κανονικότητα. Οι δύο εσοχές στη μια πλευρά του κτιρίου βρίσκονται μέσα στο ανεκτό όριο που ορίζει ο Ευρωκώδικας 8, επομένως δεν επηρεάζουν την κανονικότητα σε κάτοψη. Επίσης, το δομικό σύστημα είναι πλαισιακό με συγκεντρωμένα υποστυλώματα στη μια πλευρά.

ε) Ως θεμελίωση θεωρήθηκε η πάκτωση στη βάση όλων των υποστυλωμάτων.



Σχήμα 2:Κάτοψη κτιρίου

2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Η ανάλυση του υφιστάμενου φορέα έγινε με χρήση του προγράμματος Scada Pro 15. Ο φορέας προσομοιώθηκε όπως προδιαγράφεται στον Ευρωκώδικα 8 [2]. Το υπολογιστικό προσομοίωμα είναι χωρικό και περιλαμβάνει το σύνολο των γραμμικών δομικών στοιχείων, τα οποία θεωρούνται όλα πρωτεύοντα. Όλες οι πλάκες στο μοντέλο διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να έχουν διαφραγματική λειτουργία. Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§5.4.6) για τα συστήματα πλακών δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα, το αντίστοιχο διάφραγμα επιτρέπεται να θεωρείται απαραμόρφωτο χωρίς αναλυτικό υπολογισμό. Επιπλέον σ αυτό συμβάλλει η παρουσία περιμετρικών δοκών ,το σταθερό άχος της πλάκας χωρίς ανισοσταθμίες και χωρίς ανοίγματα. Στο συγκεκριμένο λογισμικό, οι πλάκες επιλύονται με τη μέθοδο Marcus με την οποία αρχικά γίνεται η κατανομή των φορτίων των πλακών σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PUSHOVER

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Κύριος στόχος της υπερωθητικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που αναπτύσσονται σε δομικά στοιχεία κατασκευών όταν αυτές υπόκεινται σε σεισμική δράση με σκοπό να γίνει η αποτίμηση της συμπεριφοράς τους συγκρίνοντάς την με τις επιτρεπόμενες τιμές της επιθυμητής Στάθμης Επιτελεστικότητας και να διεξαχθεί ο κατάλληλος ανασχεδιασμός όπου είναι αναγκαίος (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.1.1).

Επιπλέον, η ανάλυση βασίζεται σε κάποιες θεμελιώδεις έννοιες οι οποίες είναι η απαίτηση, η ικανότητα αλλά και η συμπεριφορά. Η συμπεριφορά της κατασκευής εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο η ικανότητα μπορεί να ικανοποιεί ή όχι την απαίτηση. Δηλαδή θα πρέπει η κατασκευή να έχει την ικανότητα να αντιστέκεται στην απαίτηση που επιβάλλει η σεισμική διέγερση έτσι ώστε η συμπεριφορά της να είναι συμβατή με τους στόχους που ενδεχομένως έχουν μπει για τον ανασχεδιασμό της.

Η εφαρμογή της υπερωθητικής ανάλυσης απαιτεί την άμεση προσομοίωση των μη γραμμικών νόμων δυνάμεων-παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων. Μετά την κατάστρωση του προσομοιώματος της κατασκευής ακολουθεί η υποβολή του σε οριζόντια κατανομημένα φορτία λόγω του σεισμού. Η επιβολή των φορτίων αυτών γίνεται σταδιακά μέχρι που κάποιο από τα δομικά στοιχεία να μην μπορεί πλέον να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Ως πρώτη κατανομή εφαρμόζεται η ομοιόμορφη κατανομή αποτελούμενη από οριζόντια φορτία ανάλογα της μάζας του κάθε ορόφου. Ως δεύτερη κατανομή (ιδιομορφική) εφαρμόζεται η τριγωνική κατανομή. Από τη σταδιακή αυτή εισαγωγή των οριζοντίων φορτίων προκύπτει η καμπύλη αντίστασης η οποία σχεδιάζεται σε όρους τέμνουσας βάσης - μετακίνησης ενός κατάλληλα επιλεγμένου χαρακτηριστικού σημείου της κατασκευής. Μετά την επιλογή της σεισμικής δράσης με την οποία θα γίνει ο έλεγχος της κατασκευής (δηλ. η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός) ακολουθεί ο έλεγχος των κριτηρίων επιτελεστικότητας ο οποίος πρέπει να γίνει για μετακίνηση του κόμβου ελέγχου ίση με τη μετακίνηση που αντιστοιχεί στην επιλεγόμενη σεισμική δράση.

Αποτέλεσμα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η καμπύλη ικανότητας του κτηρίου που εκφράζει την ανελαστική σχέση δύναμης – μετατόπισης μεταξύ της τέμνουσας βάσης και της μετατόπισης στην οροφή συνεκτιμώντας με άμεσο τρόπο τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου έντασης - παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων. Η σχέση αυτή είναι έντονα μη γραμμική και αντικαθίσταται με μια εξιδανικευμένη καμπύλη, που προκύπτει από τη διγραμμικοποίηση της αρχικής (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.3.1).

Η μη γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης που συνδέει την τέμνουσα βάσεως και τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου θα αντικαθίσταται από μια εξιδανικευμένη καμπύλη

για τον υπολογισμό της ισοδύναμης πλευρικής δυσκαμψίας K_e και της αντίστοιχης δύναμης διαρροής V_y του κτιρίου (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.4.3).

3.2 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικών και οικονομικών αναγκών θεσπίζονται διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας (στοχευόμενης συμπεριφοράς του κτιρίου). Οι στάθμες επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης και είναι οι ακόλουθες:

- Άμεση χρήση μετά το σεισμό «Μηδαμινές Βλάβες» (A): Είναι μια κατάσταση κατά την οποία αναμένεται ότι καμία λειτουργία του κτιρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά τον σεισμό σχεδιασμού, εκτός από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Είναι ενδεχόμενο να παρουσιαστούν μερικές τριχοειδής ρωγμές στον φέροντα οργανισμό.
- Ασφάλεια ζωής «Σοβαρές Βλάβες» (B): Είναι μια κατάσταση όπου κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν βλάβες με δυνατότητα επισκευής στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου, χωρίς όμως να συμβεί θάνατος ή σοβαρός τραυματισμός ατόμων εξαιτίας των βλαβών αυτών, και χωρίς να συμβούν ουσιώδεις βλάβες στον εξοπλισμό του κτηρίου.
- Οιονεί κατάρρευση (Γ): είναι μια κατάσταση κατά την οποία κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν εκτεταμένες σοβαρές βλάβες χωρίς δυνατότητα επισκευής στον φέροντα οργανισμό, ο οποίος όμως έχει ακόμα την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία, χωρίς να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης.

| Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών | Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού | | |
|--|--|-------------------|-------------------|
| | Περιορισμένες βλάβες | Σημαντικές βλάβες | Οιονεί κατάρρευση |
| 10% | A1 | B1 | Γ1 |
| 50% | A2 | B2 | Γ2 |

Πίνακας 3.1: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού

4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η αποτίμηση του κτιρίου έγινε με εφαρμογή της ανελαστικής στατικής Ανάλυσης Pushover σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8-Μέρος 1. Ως στόχος σχεδιασμού υιοθετήθηκε ο στόχος που αντιστοιχεί στη στάθμη επιτελεστικότητας "Σημαντικές βλάβες" για σεισμική δράση $\alpha=0,16g$ με πιθανότητα υπέρβασης στο συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών 50% με μέση περίοδο επαναφοράς 475 έτη. Το προσομοίωμα του κτιρίου φορτίστηκε με οριζόντια φορτία, τα οποία ακολουθούν την ομοιόμορφη και την τριγωνική κατανομή. Από τη σταδιακή αυτή εισαγωγή των οριζοντίων φορτίων προκύπτει η καμπύλη αντίστασης η οποία σχεδιάζεται σε όρους τέμνουσας βάσης – μετακίνησης ενός συγκεκριμένου σημείου της κατασκευής και έπειτα από διγραμμικοποίηση των φασμάτων αντίστασης υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του Ευρωκώδικα 8 η στοχευόμενη μετακίνηση. Η στοχευόμενη μετακίνηση δ , αποτελεί την απαίτηση την οποία «εγείρει» η σεισμική διέγερση και στην οποία θα πρέπει να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει η κατασκευή έχοντας κάποια συγκεκριμένη επιθυμητή συμπεριφορά (επίπεδο επιτελεστικότητας).

4.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα αναλύσεων Pushover με διαστασιόλογηση με τον Κανονισμό του 1959 και του 1984.

| Ανάλυση | Είδος | Κατανομή | Τέμνουσα Βάσης (kN) | Στοχευόμενη Μετακίνηση (m) | Μέγιστη Μετακίνηση (m) |
|---------|------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 | Τριγωνική | $F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1879 | 0,074 | 0,289 |
| 2 | Τριγωνική | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1880 | 0,086 | 0,291 |
| 3 | Τριγωνική | $F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1649 | 0,064 | 0,289 |
| 4 | Τριγωνική | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1376 | 0,043 | 0,200 |
| 5 | Ορθογωνική | $F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1840 | 0,063 | 0,311 |
| 6 | Ορθογωνική | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1933 | 0,076 | 0,211 |
| 7 | Ορθογωνική | $F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1810 | 0,068 | 0,132 |
| 8 | Ορθογωνική | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1559 | 0,029 | 0,200 |

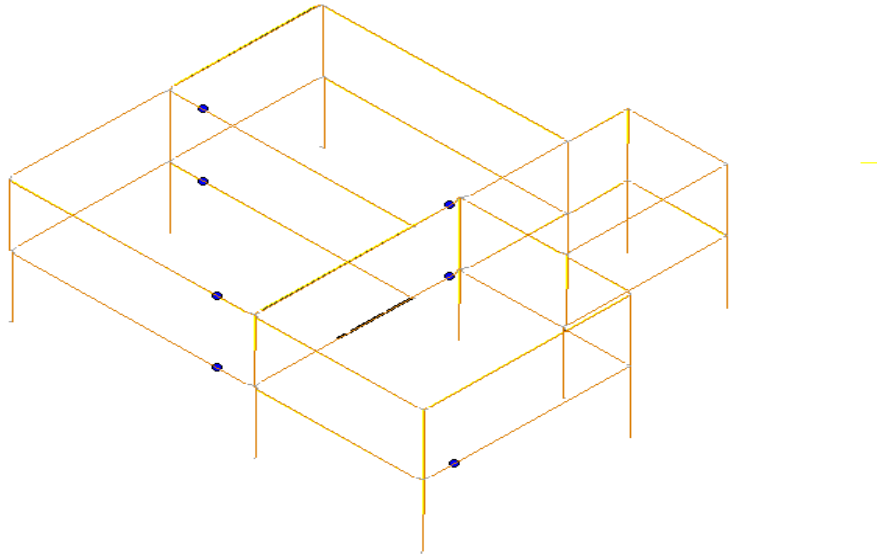
Πίνακας 4.1 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το υφιστάμενο κτίριο (Κανονισμός '59)

| Ανάλυση | Είδος | Κατανομή | Τέμνουσα Βάσης (kN) | Στοχευόμενη Μετακίνηση (m) | Μέγιστη Μετακίνηση (m) |
|---------|------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 | Τριγωνική | $F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1883 | 0,076 | 0,299 |
| 2 | Τριγωνική | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1884 | 0,090 | 0,297 |
| 3 | Τριγωνική | $F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1652 | 0,070 | 0,293 |
| 4 | Τριγωνική | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1380 | 0,050 | 0,202 |
| 5 | Ορθογωνική | $F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1842 | 0,065 | 0,315 |
| 6 | Ορθογωνική | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1939 | 0,078 | 0,214 |
| 7 | Ορθογωνική | $F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1812 | 0,078 | 0,138 |
| 8 | Ορθογωνική | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1559 | 0,030 | 0,201 |

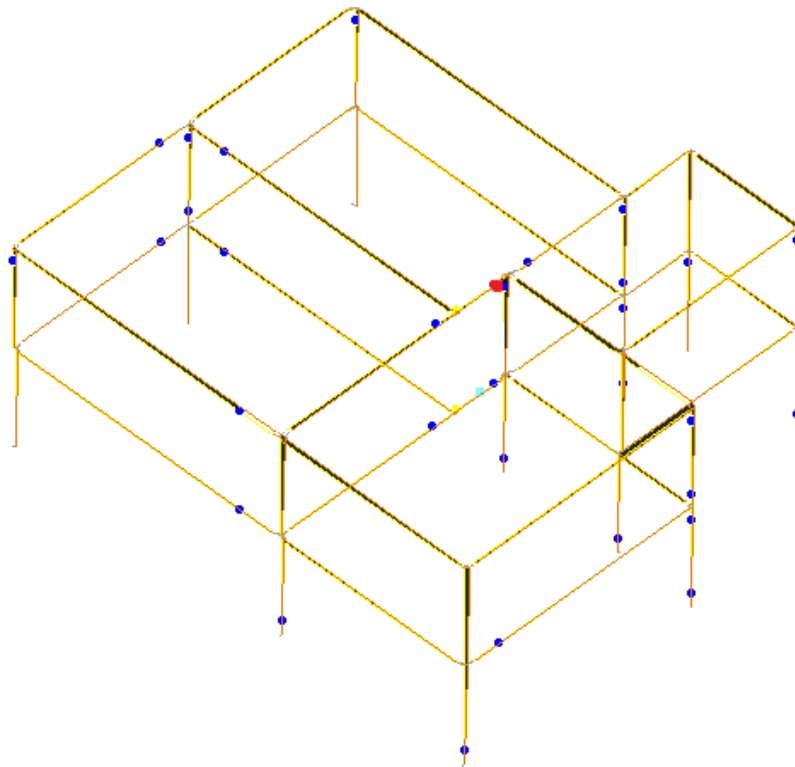
Πίνακας 4.2 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το υφιστάμενο κτίριο (Κανονισμός '84)

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

- Η κατασκευή επαρκεί πλήρως στην εξεταζόμενη στάθμη επιτελεσματικότητας SD, καθώς η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής είναι σε όλες τις φορτίσεις μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στοχευόμενη.
- Η πρώτη πλαστική άρθρωση της κατασκευής αντιστοιχεί σε μικρή τιμή οριζόντιου φορτίου, το οποίο υποδηλώνει ότι κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού φαινομένου παρουσιάζει σχετικά νωρίς ανελαστική συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει την αναγκαιότητα εφαρμογής ανελαστικής ανάλυσης για αποτίμηση κατασκευών.
- Τα πρώτα μέλη που εμφάνισαν διαρροή ήταν οι δοκοί και στη συνέχεια το κεντρικό υποστύλωμα.
- Ακόμη και μετά τη διαρροή ορισμένων στοιχείων του φέροντος οργανισμού, το κτίριο απέχει αρκετά από το σημείο κατάρρευσης, διότι ο φορέας παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας [3].
- Κατά την εφαρμογή του αντισεισμικού κανονισμού του 1984 παρατηρήθηκε μείωση του φορτίου στην εμφάνιση πρώτης πλαστικής άρθρωσης και αύξηση του φορτίου στην αστοχία.



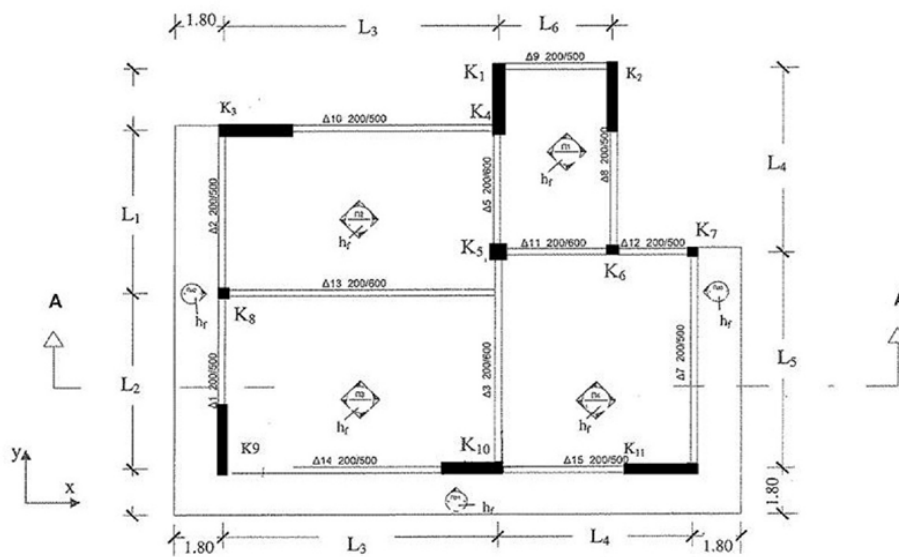
Σχήμα 4.1: Εμφάνιση πρώτων πλαστικών αρθρώσεων



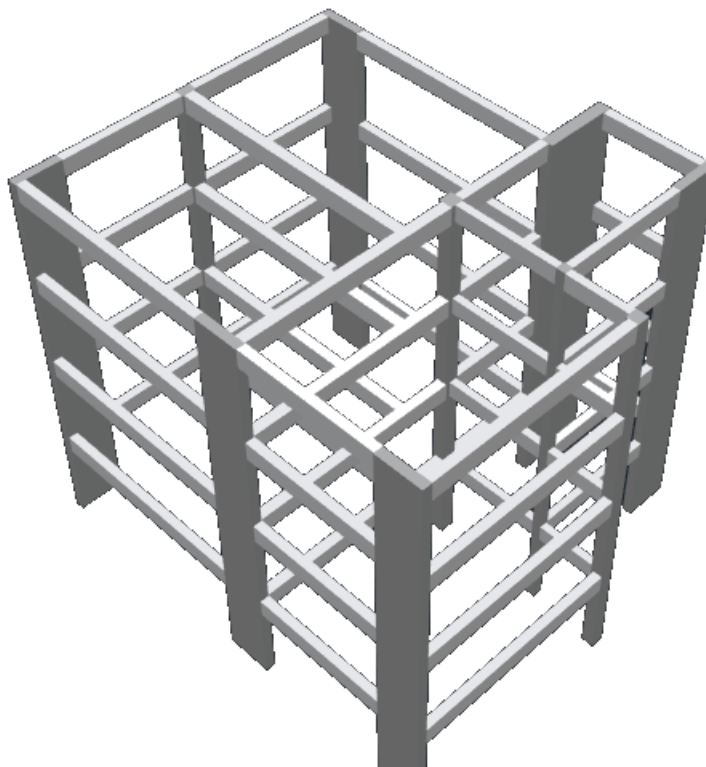
Σχήμα 4.2 Εμφάνιση πρώτων πλαστικών αρθρώσεων

5. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΥΟ ΟΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΕΑΚ 2003

Δεδομένου ότι το κτίριο βρέθηκε να επαρκεί για τη στάθμη επιτελεστικότητας B, έγινε διερεύνηση του ενδεχόμενου ανύψωσης δύο ορόφων και της εκ νέου διαστασιολόγησης του κτιρίου σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2003. Έγινε ανασχεδιασμός της κατασκευής με την προσθήκη τριών τοιχείων σε κάθε διεύθυνση έτσι ώστε να συνεισφέρουν στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων και στην αύξηση της δυσκαμψίας του φορέα.



Σχήμα 5.1 :Κάτοψη υφιστάμενου κτιρίου ύστερα από ανασχεδιασμό



Σχήμα 5.2: Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα

5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την προσθήκη ορόφων, εξήχθη ο παρακάτω πίνακας, στον οποίον παρουσιάζονται οι στοχευόμενες μετακινήσεις.

| | | | Τέμνουσα | Στοχευόμενη | Μέγιστη |
|--|--|--|----------|-------------|---------|
|--|--|--|----------|-------------|---------|

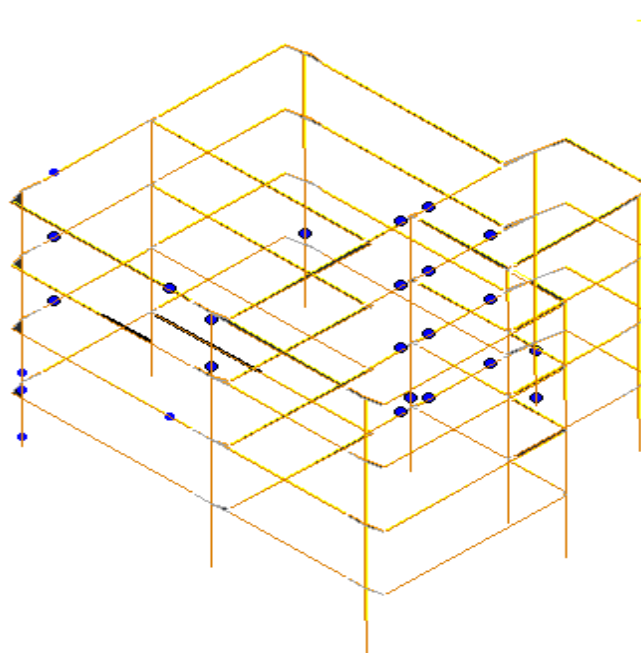
| Ανάλυση | Είδος | Κατανομή | Βάσης (kN) | Μετακίνηση (m) | Μετακίνηση (m) |
|---------|------------|-----------------------|------------|----------------|----------------|
| 1 | Τριγωνική | $F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1888.3 | 0,08 | 0,325 |
| 2 | Τριγωνική | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1888 | 0,1 | 0,325 |
| 3 | Τριγωνική | $F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1654 | 0,08 | 0,297 |
| 4 | Τριγωνική | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1383 | 0,06 | 0,204 |
| 5 | Ορθογωνική | $F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1846 | 0,07 | 0,319 |
| 6 | Ορθογωνική | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ | 1941 | 0,088 | 0,219 |
| 7 | Ορθογωνική | $F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1814 | 0,08 | 0,141 |
| 8 | Ορθογωνική | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ | 1561 | 0,06 | 0,202 |

Πίνακας 5.1 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το υφιστάμενο κτίριο (Κανονισμός ΕΑΚ)

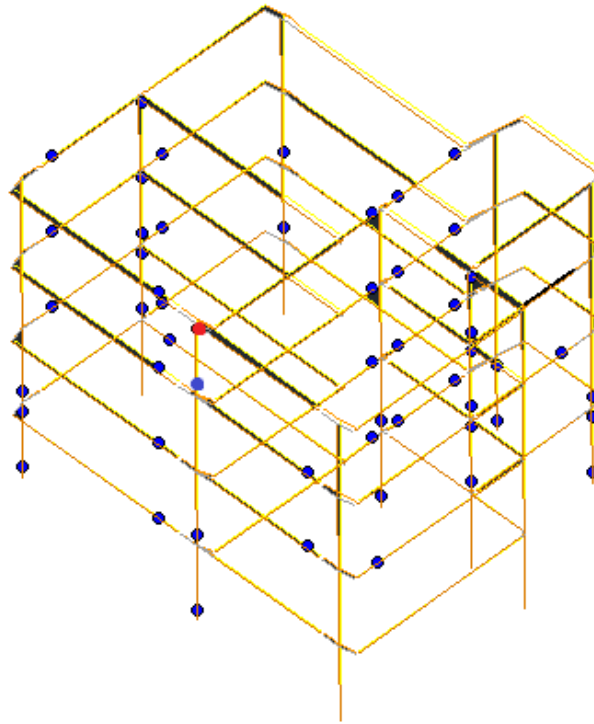
5.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟΥ

Μετά την εκπόνηση της μελέτης εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Προέκυψε επάρκεια της κατασκευής για την εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητας.
- Η διάταξη των τοιχωμάτων συνεισέφερε στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων και στην αύξηση της δυσκαμψίας της κατασκευής.
- Παρατηρήθηκε μεγάλη ικανότητα κατανάλωσης σεισμικής δράσης ακόμα και μετά τη διαρροή ορισμένων στοιχείων του φέροντος οργανισμού [3].
- Τα πρώτα μέλη που εμφάνισαν διαρροή ήταν οι δοκοί. Τη μεγαλύτερη σεισμική καταπόνηση δέχεται το εξωτερικό κεντρικό τοίχειο, το οποίο τελικά αστοχεί πρώτο.



Σχήμα 5.3 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις



Σχήμα 5.4: Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις και αστοχία τοιχώματος

6. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΤΟΠΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ “m”

6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η μέθοδος των επιμέρους τοπικών δεικτών συμπεριφοράς m είναι και αυτή αντίστοιχη με την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος, και συνιστάται να εφαρμόζεται σε φορείς που παρουσιάζουν έντονη ανισοκατανομή των απαιτούμενων πλαστικών παραμορφώσεων. Η διαθέσιμη τοπική πλαστιμότητα, εκτιμάται μέσω των δεικτών m .

Οι δείκτες m , προσδιορίζονται με βάση τις γωνίες στροφής χορδής ή μετακίνησης στην αστοχία του μέλους (θ_d ή d_d) και στη διαρροή (θ_v ή d_v) όπως προσδιορίζεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.(§4.7.1), δηλαδή $m=\theta_d/\theta_v$ [1]. Η γωνία στροφής χορδής στο άκρο ενός στοιχείου κατά την διαρροή να ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της κάθετης στην ακραία διατομή και της χορδής που ενώνει τα άκρα του μέλους. Επίσης, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι ενεργές δυσκαμψίες EI_{eff} των μελών (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.3) , δηλαδή $K=EI_{eff}=M_v \cdot L_s/3 \cdot \theta_v$ [1], όπου M_v και θ_v είναι η τιμή της ροπής και της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή της ακραίας διατομής του στοιχείου.

Επειδή η ανάλυση είναι ελαστική, η γενική ανίσωση ασφαλείας, ελέγχεται σε όρους εντατικών μεγεθών. Η ανίσωση ασφαλείας μπορεί να εφαρμόζεται σε όρους δυνάμεων, αρκεί η ένταση S να συγκρίνεται με την αντοχή $R_y \approx R_u$ του στοιχείου, αφού διαιρεθεί με κατάλληλο τοπικό δείκτη πλαστιμότητας m , ο οποίος συνδέεται με τη διαθέσιμη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας παραμορφώσεων m_s του υπόψη στοιχείου (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 9.3.2). Οι τιμές των τοπικών δεικτών m , πρέπει να εκλέγονται και να βαθμονομούνται έτσι ώστε ο αντίστοιχος ενιαίος δείκτης συμπεριφοράς για το σύνολο του δομήματος να μην έχει τιμή περισσότερο από 15% [4].

Παράλληλα πρέπει να γίνεται έλεγχος κανονικότητας του κτιρίου και αυτό ισχύει όταν (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.5.1.2):

- Κανένας επιμέρους φορέας ανάληψης σεισμικών δράσεων δε διακόπτεται καθ' ύψος ούτε συνεχίζει σε διαφορετικό φάτνωμα.
- Κανένας επιμέρους φορέας ανάληψης σεισμικών δράσεων δεν συνεχίζει στον γειτονικό όροφο σε εκτός επιπέδου εσοχή.
- Το κτίριο δεν περιλαμβάνει όροφο του οποίου ο μέσος δείκτης ανεπάρκειας υπερβαίνει του μέσου δείκτη ανεπάρκειας ενός γειτονικού (υποκείμενου ή υπερκείμενου) ορόφου.
- Το κτίριο δεν περιλαμβάνει όροφο του οποίου, για μια δεδομένη διεύθυνση της σεισμικής δράσης, το πηλίκο του λόγου λ στοιχείου που βρίσκεται στη μια πλευρά του ορόφου, προς τον αντίστοιχο λόγο στοιχείου που βρίσκεται σε οποιαδήποτε άλλη πλευρά (του ορόφου) υπερβαίνει το 1.5. Ο κανόνας αυτός αφορά ορόφους των οποίων το υπερκείμενο διάφραγμα δεν είναι ευπαράμορφο εντός του επιπέδου του.

6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αφού προγήθηκε ο προέλεγχος και το κτίριο μας είναι μορφολογικά κανονικό, βρέθηκε ο λόγος ένταση προς αντοχή σε όρους ροπών που ονομάζεται λ για να ελεγχθεί ποια μέλη επαρκούν και ποια όχι.

| Μέλος | Κόμβος | M_y / M_z | RM_y / RM_z | λ_y / λ_z | Επάρκεια μέλους |
|-------|--------|---------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 18 | 8 | 71 / -23 | -30 / -23 | 0,92 / 1,31 | OXI |
| | 28 | -71 / 23 | 30 / 23 | 1,31 / 1,31 | OXI |
| 28 | 28 | 65 / 54 | -28 / -23 | 1,21 / 1,21 | OXI |
| | 38 | -65 / -54 | 27 / 23 | 1,19 / 1,19 | OXI |

Πίνακας 6.1: Μέλη που παρουσιάζουν καμπτική ανεπάρκεια

| Μέλος | Κόμβος | M_z | RM_z | λ | Επάρκεια κόμβου | Επάρκεια μέλους |
|-------|--------|-------|--------|-----------|-----------------|-----------------|
| 43 | 9 | -205 | -131 | 1,56 | OXI | OXI |
| | 4 | 203 | 150 | 1,36 | OXI | |
| 45 | 1 | 161 | 161 | 1 | OXI | OXI |
| | 3 | -188 | 161 | 1,17 | OXI | |
| 54 | 7 | 251 | 165 | 1,52 | OXI | OXI |
| | 10 | 280 | 208 | 1,35 | OXI | |
| 71 | 39 | 216 | 120 | 1,80 | OXI | OXI |
| | 34 | 208 | 150 | 1,39 | OXI | |
| 82 | 37 | 231 | 144 | 1,60 | OXI | OXI |
| | 40 | 277 | 208 | 1,33 | OXI | |

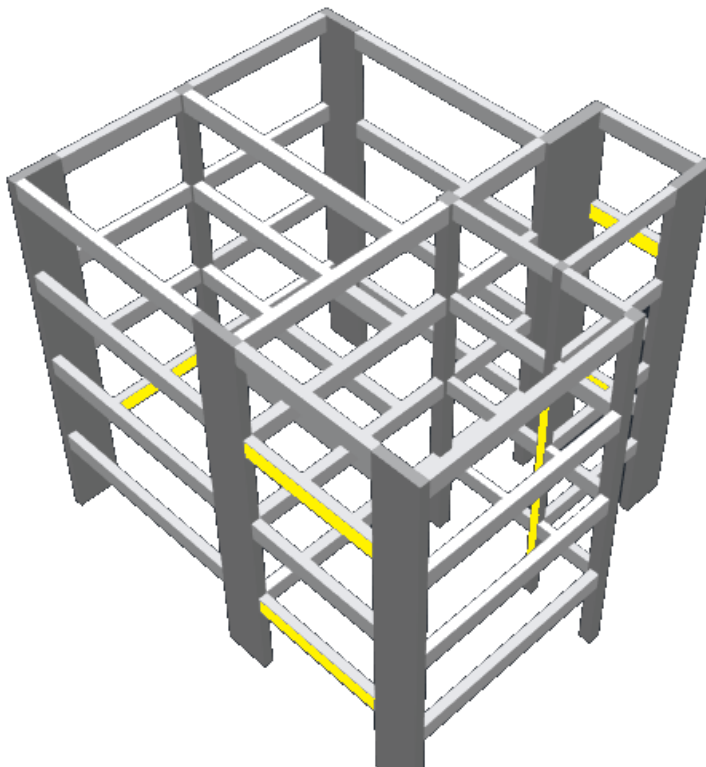
Πίνακας 6.2: Έλεγχος επάρκειας δοκών

| Μέλος | Κόμβος | $\mu_{1/r}$ | μ_d | α_s | Είδος Αστοχίας κόμβου | Είδος Αστοχίας μέλους |
|-------|--------|-------------|---------|------------|-----------------------|-----------------------|
| 42 | 51 | 11,3 | 4,9 | 1,33 | ΨΑΘΥΡΟ | ΨΑΘΥΡΟ |

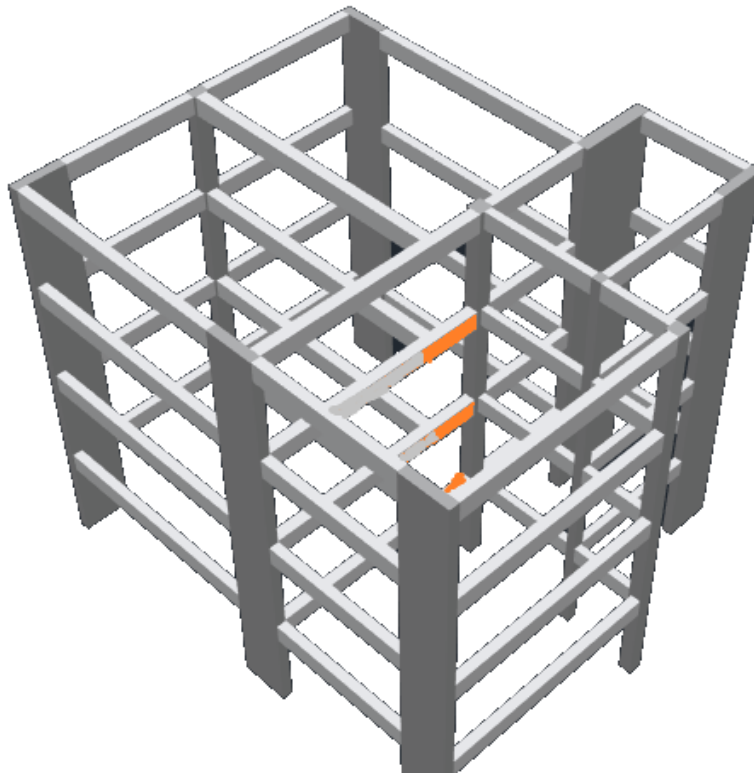
| | | | | | | |
|----|----|-------|------|------|--------|--------|
| | 5 | 13,76 | 5,90 | 1,33 | ΨΑΘΥΡΟ | |
| 56 | 2 | 11,30 | 4,92 | 1,33 | ΨΑΘΥΡΟ | ΨΑΘΥΡΟ |
| | | 12,93 | 5,57 | 1,33 | ΨΑΘΥΡΟ | |
| 70 | 57 | 11,30 | 4,92 | 1,33 | ΨΑΘΥΡΟ | ΨΑΘΥΡΟ |
| | 35 | 12,93 | 5,57 | 1,33 | ΨΑΘΥΡΟ | |

Πίνακας 6.3: Μέλη που αστοχούν ψαθυρά

Για τα στοιχεία που αστόχησαν ψαθυρά έγινε έλεγχος επάρκειας τέμνουσας έντασης V_{ed} με τις συγκεκριμένες διατμητικές δυνάμεις αντοχής στο κάθε μέλος V_{rd} και V_{rdmax} όπως ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ (§9.3.2). Βρέθηκε ότι τα στοιχεία αυτά δεν επαρκούν σε τέμνουσα.



Σχήμα 6.1: Καμπτική ανεπάρκεια μελών



Σχήμα 6.2: Ψαθυρή αστοχία δοκών

7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕ ΤΟΠΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ “m” ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η ανελαστική ανάλυση δίνει μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της κατανομής της έντασης σε μια κατασκευή, αφού έχει τη δυνατότητα υπολογισμού των δυνάμεων στα δομικά στοιχεία που αναπτύσσονται στην ανελαστική περιοχή, γεγονός που αποτελεί αδυναμία των ελαστικών μεθόδων ανάλυσης.
- Η ανελαστική ανάλυση βοηθά στον εντοπισμό των κρίσιμων/ευαίσθητων περιοχών των κατασκευών, όπου αναμένεται αυξημένη απαίτηση για την ανάπτυξη πλαστικών παραμορφώσεων.
- Ακόμη, εκτιμά τις απαιτούμενες παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων που μέσω της ανελαστικής τους συμπεριφοράς απορροφούν σεισμική ενέργεια.
- Κατά την ανελαστική ανάλυση διαχωρίζεται αμέσως η ικανότητα από την απαίτηση, κάτι που είναι εμφανές από την αρχή στην ελαστική ανάλυση.
- Η ελαστική μέθοδος είναι πιο ρεαλιστική, διότι λαμβάνει κάθε στοιχείο του φορέα ως αυτόνομο ξεχωριστό μέλος.
- Οι μικρές δοκοί (<1.5m) υποφέρουν συχνά σε διάτμηση, πιο εύκολα από τις μεγαλύτερες σε μήκος δοκούς.
- Παρόλο που ορισμένα μέλη εμφανίζουν ανεπάρκεια κατά την ελαστική δυναμική ανάλυση με τους τοπικούς δείκτες πλαστιμότητας, μπορεί να μην είναι κρίσιμα για την ολική συμπεριφορά του κτιρίου.
- Η σειρά εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της φόρτισης.
- Η συμμετοχή των τοιχοπληρώσεων στην ανάληψη σεισμικών δράσεων σταμάτησε στα αρχικά στάδια της αποτίμησης με την ανελαστική ανάλυση μιας και αυτές

αστόχησαν ψαθυρά. Αναμενόμενο εξαιτίας του ότι ήταν άοπλες και είχαν μια απλή περιμετρική επαφή. Επομένως, το κτίριο συνεχίζει και παραμορφώνεται σαν γυμνός σκελετός για αυτό και οι μετακινήσεις είναι περίπου ίδιες.

- Το υποστύλωμα που δέχεται τη μεγαλύτερη καταπόνηση κάθε φορά είναι το κεντρικό για το διώροφο κτίριο και στη συνέχεια ακολουθούν τα εξωτερικά καθώς και οι έμμεσες εσωτερικοί δοκοί.
- Για το τετραώροφο κτίριο μεγαλύτερη καταπόνηση δέχεται κάθε φορά το εξωτερικό κεντρικό τοίχωμα.
- Τα δοκάρια μεγάλου μήκους καταπονούνται περισσότερο σε κάμψη και ιδιαίτερα αυτά που βρίσκονται στο ισόγειο.
- Οι μικρές δοκοί που στηρίζονται έμμεσα με τις άλλες επηρεάζονται περισσότερο από τις άλλες από τη σεισμική δράση, και είναι αυτές που αστοχούν ψαθυρά, όπως διαπιστώθηκε.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013

[2] EC8

[3] Κατσίβελας Δημάκης Σέργιος-Πάνος, Τροχούτσου Νίκη, "Αποτίμηση διώροφου Κτιρίου ΟΣ κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ., προσθήκη ορόφου σύμφωνα με νεότερους κανονισμούς και έλεγχος της επάρκειας του", 21ο Φοιτητικό Συνέδριο Επισκευές κι Ενισχύσεις Κατασκευών, Πάτρα, Φεβρουάριος 2015.

[4] «Ενισχύσεις – Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος», Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, <https://eclass.upatras.gr/modules/document/document.php?course=ARCH148>

[5] Φ.Ε.Κ. Αντισεισμικός Κανονισμός 1959, Αναθεώρηση Α.Κ. 1959_1984/85, Κανονισμός Σκυροδέματος 1954

