

## ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

**ΚΟΥΡΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

### Περίληψη

*Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η σεισμική αποτίμηση υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, η οποία κατασκευάστηκε το 1975. Η αποτίμηση πραγματοποιήθηκε με βάση όσα επιβάλλουν ο ΚΑΝ.ΕΠΕ και ο Ευρωκώδικας 8, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover), με και χωρίς τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων. Σκοπός της εργασίας είναι να διερευνηθεί εάν το κτίριο ικανοποιεί τις σεισμικές απαιτήσεις που επιβάλλουν οι κανονισμοί και κατά πόσο η παρουσία των τοιχοπληρώσεων ευνοεί ή δυσχεραίνει τη κατάστασή του. Η εργασία εκπονήθηκε με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Fespa.*

### 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επάρκεια των κατασκευών, κατά τη διέγερσή τους υπό σεισμικά φορτία, δοκιμάζεται στο μέγιστο και μάλιστα σε μια σεισμογενή χώρα όπως η Ελλάδα το φαινόμενο αυτό παρατηρείται πολύ συχνά. Το πρόβλημα αυτό αποκτά πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις σε κτίρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί πριν το 1985 και οπότε κατά τη μελέτη τους δε συμπεριλήφθηκαν οι πρόσθετες διατάξεις του Αντισεισμικού Κανονισμού του '85. Δεδομένου του γεγονότος πως η πλειονότητα των κτιρίων στην Ελλάδα ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία, είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός μιας μεθόδου προσέγγισης του προβλήματος αυτού.

Αυτός ο συλλογισμός συνέβαλε στη δημιουργία του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), ο οποίος αποτελεί ένα κανονιστικό πλαίσιο με βάση το οποίο πραγματοποιείς την αποτίμηση μιας υφιστάμενης κατασκευής και ανάλογα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν κρίνεται αν είναι σκόπιμη η εφαρμογή κάποιου τύπου ενίσχυσης. Η συλλογιστική του κανονισμού έγκειται στην έννοια της ενίσχυσης καθώς η εξ ολοκλήρου ανακατασκευή ανεπαρκών υφιστάμενων κτιρίων επιφέρει τόσο οικονομικά όσο και κοινωνικά προβλήματα.

Το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας αφορά την αποτίμηση μιας υφιστάμενης κατασκευής και πως αυτή επηρεάζεται από την επίδραση των τοιχοπληρώσεων. Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική φέρουσα ικανότητα ενός κτιρίου είναι πολύ σημαντική, καθώς αυξάνει σημαντικά τη δυσκαμψία του, ενώ αυτό είναι ακόμα πιο έντονο σε παλαιότερα κτίρια, τα οποία είχαν σχετικά αδύναμους σκελετούς.

Για τις ανάγκες του σκοπού αυτού επιλέχθηκε υφιστάμενο κτίριο για το οποίο είναι γνωστός ο τρόπος όπλισής του και ερευνήθηκε αν και κατά πόσο ικανοποιεί τις σεισμικές απαιτήσεις που ορίζουν ο ΚΑΝ.ΕΠΕ και ο Ευρωκώδικας 8, με και χωρίς τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων. Η αποτίμηση της κατασκευής, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover), όπως ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

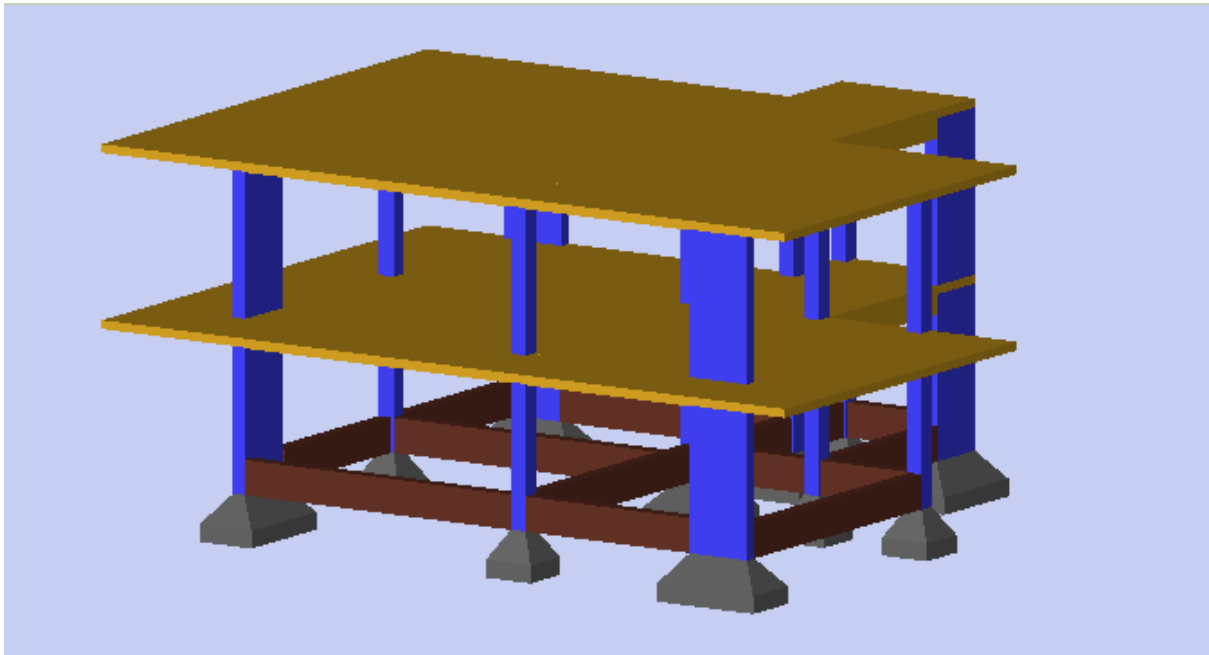
### 2.1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σύμφωνα με τα δεδομένα του κτιρίου:

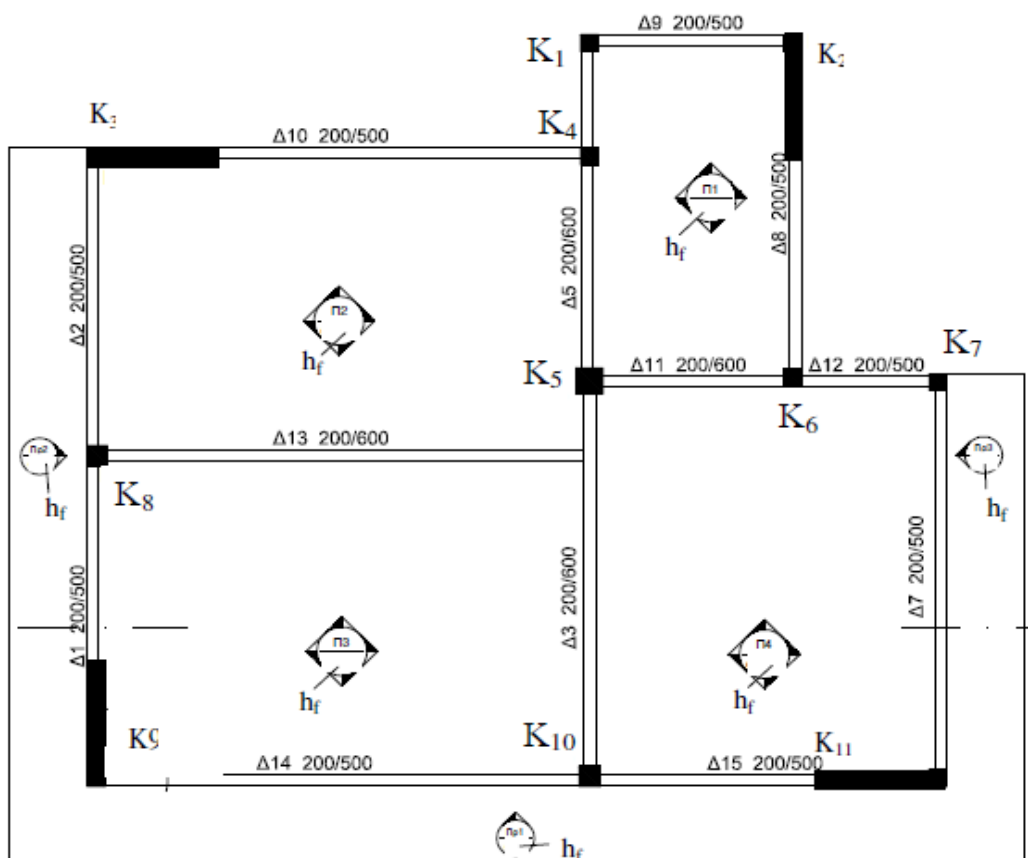
- Πρόκειται για διώροφη κατοικία που έχει κατασκευαστεί το 1975, χωρίς υπόγειο.
- Η ποιότητα σκυροδέματος εκτιμήθηκε με χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή 12MPa και μέση θλιπτική αντοχή 17MPa, ενώ ο χάλυβας είναι κατηγορίας S400.
- Οι διαστάσεις των τοιχωμάτων είναι 1,15x0,23, των περιμετρικών υποστυλωμάτων 0,3x0,3 και υπάρχει και ένα κεντρικό υποστύλωμα διαστάσεων 0,45x0,45. Οι περιμετρικές δοκοί έχουν διαστάσεις 200/500 και εσωτερικές 200/600.
- Τα τοιχώματα είναι οπλισμένα με 4Φ18 στις μικρές πλευρές και 4Φ10 στις μεγάλες. Τα περιμετρικά υποστυλώματα έχουν 4Φ20 στις γωνίες ενώ το κεντρικό 4Φ20 στις γωνίες και 4Φ18 στα μέσα των πλευρών. Οι περιμετρικές δοκοί οπλίζονται στο άνοιγμα με 4Φ18 και οι εσωτερικές με 5Φ16, από τα οποία τα μισά κάμπτονται άνω στις στηρίξεις. Στο άνω πέλαμα όλων των δοκών υπάρχει οπλισμός 2Φ12 ο οποίος συμμετέχει στην ανάληψη ροπής στις παρειές στήριξης, λόγω επαρκούς αγκύρωσής του. Οι συνδετήρες είναι ορθογωνικοί Φ8/180 σε όλα τα υποστυλώματα και τοιχώματα και Φ6/250 στις δοκούς με καλή αγκύρωση.
- Επί των πλακών θεωρήθηκε φορτίο επικάλυψης ίσο με  $1,1kN/m^2$  και τα ωφέλιμα φορτία θεωρήθηκαν μόνο επί της πλάκας οροφής ισογείου και ίσα προς  $2,0kN/m^2$ .
- Το κτίριο βρίσκεται σε περιοχή ζώνης σεισμικότητας II κατά Ε.Α.Κ. με κατηγορία εδάφους B και σπουδαιότητα Σ3.
- Η επικάλυψη των οπλισμών είναι ίση με 35mm.
- Το πάχος πλακών είναι ίσο με 0,15m
- Το ύψος ορόφου είναι ίσο με 3,38m
- Οι τοιχοπληρώσεις θεωρήθηκαν μπατικές στις περιμετρικές δοκούς και δρομικές στις εσωτερικές.

### 2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Η ανάλυση της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος Fespa V15, με βάση τα όσα ορίζουν ο ΚΑΝ.ΕΠΕ [1] και ο EC8 [2]. Ο φορέας θεωρήθηκε κανονικός καθ ύψος και σε κάτοψη και όλα τα μέλη του πρωτεύοντα. Στο υπολογιστικό μοντέλο περιλαμβάνεται η θεμελίωση, όπως προέκυψε αυτόματα από το πρόγραμμα. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με βάση τα πεπερασμένα στοιχεία δοκού που διαθέτει το πρόγραμμα. Παρακάτω παρουσιάζεται ο φέρων οργανισμός:



Σχήμα 1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα



Σχήμα 2: Κάτοψη ορόφων ανοδομής

### 3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER)

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η χρήση της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover) έχει υιοθετηθεί από τους κανονισμούς καθώς οδηγεί σε ακριβέστερη προσέγγιση της συμπεριφοράς των μελών, σε αντίθεση με τις κλασσικές ελαστικές αναλύσεις. Η μεθοδολογία της ανάλυσης pushover, βασίζεται στην επιβολή ενός οριζόντιου κατανεμημένου φορτίου, ανάλογα με τις αδρανειακές δυνάμεις της κατασκευής, το οποίο αυξάνεται σταδιακά μέχρι τη κατάρρευση του δομήματος. Ως κατάρρευση ορίζεται η αδυναμία του φορέα να αναλάβει τα κατακόρυφα φορτία βαρύτητας.

Στόχος της ανάλυσης είναι η δημιουργία της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης κορυφής. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων που θέτει η κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Ακόμα, η ανάλυση αποσκοπεί στην εύρεση της υπεραντοχής του κτιρίου (λόγος  $\alpha_u/\alpha_1$ ) καθώς και στην εποπτεία των μελών της κατασκευής όσον αφορά τη σειρά και τα σημεία εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων. Με αυτό τον τρόπο, πραγματοποιείται εποπτεία των βλαβών σε μια κατασκευή, γίνεται κατανοητός ο μηχανισμός απορρόφησης ενέργειας και ελέγχεται η ύπαρξη ικανοτικού σχεδιασμού.

Ο έλεγχος της κατασκευής γίνεται με βάση τις μετακινήσεις και συγκεκριμένα με το αν η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για κάποια στάθμη επιτελεστικότητας είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στοχευόμενη που ορίζεται από τη μέγιστη σεισμική απόκριση και τη κατασκευή. Τελικά, αφού βρεθεί η στοχευόμενη μετακίνηση της κατασκευής ο έλεγχος περνάει σε επίπεδο μέλους προσδιορίζοντας τη παραμόρφωση για καθένα από αυτά και συγκρίνοντας τη με το αντίστοιχο όριο που θέτει η στάθμη επιτελεστικότητας, γνωρίζοντας έτσι για οποιαδήποτε μετακίνηση της κατασκευής τη κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κάθε μέλος.

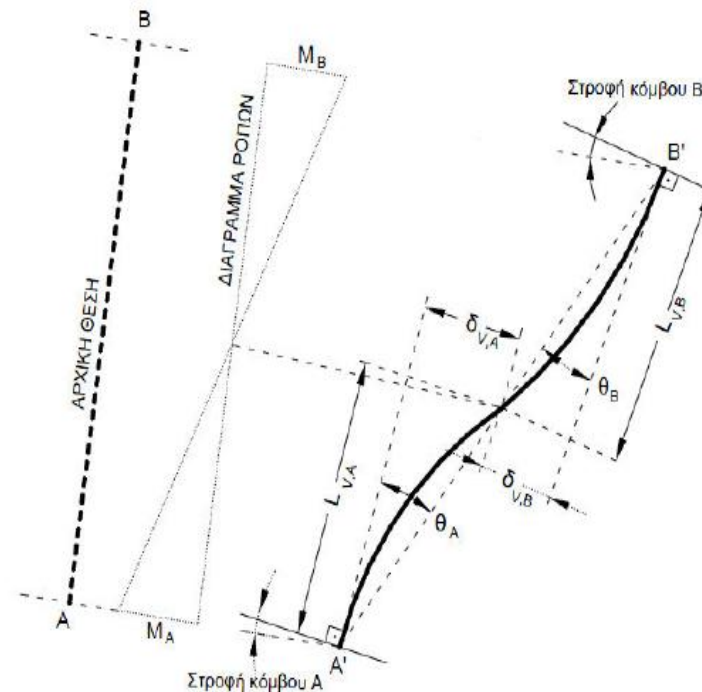
#### 3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΠΕΡΑΝΤΟΧΗΣ $\alpha_u/\alpha_1$

Ο ενιαίος συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  είναι ανάλογος του λόγου  $\alpha_u/\alpha_1$ . Το  $\alpha_1$  είναι η τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε κάποιο μέλος της κατασκευής να φτάσει στη καμπτική διαρροή, ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές και το  $\alpha_u$  είναι η τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να δημιουργηθεί επαρκής αριθμός πλαστικών αρθρώσεων που να συνεπάγεται κατάρρευση της κατασκευής. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η πλαστιμότητα του κτιρίου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή του λόγου υπεραντοχής.

#### 3.3 ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΧΟΡΔΗΣ

Μετά τη ρηγμάτωση, η καμπυλότητα χάνει το φυσικό της νόημα να περιγράφει τις καμπτικές παραμορφώσεις των μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη, εκτός των καμπτικών, παραμορφώσεων που οφείλονται στη διατμητική ρηγμάτωση λόγω λοξών εφελκυστικών τάσεων αλλά και σε φαινόμενα όπως η εξόλκευση των ράβδων οπλισμού.

Έτσι, τα μεγέθη με τα οποία γίνεται ο προσδιορισμός της αντοχής είναι η ροπή κάμψης  $M$  και η γωνία στροφής  $\theta$ . Ως γωνία στροφής χορδής ορίζεται η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον παραμορφωμένο άξονα του στοιχείου στο άκρο του και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του ανοίγματος διάτμησης, δηλαδή το σημείο μηδενισμού των ροπών.



Σχήμα 3: Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο μέλους [3]

### 3.4. ΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η διάκριση των μελών ενός φορέα σε κύρια και δευτερεύοντα εξαρτάται από τη συμβολή τους στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.4.3.4 και EC8-1 §4.2.2). Η βασική διαφορά ενός δευτερεύοντος από ένα κύριο στοιχείο είναι πως για το πρώτο ισχύουν διαφορετικά κριτήρια επιτελεστικότητας, επιτρέπονται δηλαδή μεγαλύτερες μετακινήσεις.

### 3.5. ΕΠΙΡΡΟΕΣ 2<sup>ης</sup> ΤΑΞΕΩΣ

Στην ανάλυση 2<sup>ης</sup> τάξης θεωρείται ότι ο απαραμόρφωτος φορέας δεν ταυτίζεται με τον παραμορφωμένο και η ισορροπία ροπών λαμβάνεται στη παραμορφωμένη κατάσταση. Στην ανάλυση pushover οι επιρροές 2<sup>ης</sup> τάξης λαμβάνονται υπόψη (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.4.7), καθώς στη κορυφή του κτιρίου η τιμή της μετακίνησης  $\delta$  μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές δημιουργώντας έτσι επιπρόσθετες ροπές λόγω εκκεντρότητας των αξονικών φορτίων.

### 3.6 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ως στάθμη επιτελεστικότητας, ορίζεται η ελάχιστη στάθμη αντοχής (δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο βλαβών) που θα πρέπει να έχει η κατασκευή με βάση την επιλογή του κύριου του έργου. Ο καθορισμός του στόχου σχεδιασμού εξαρτάται από τον επιθυμητό βαθμό ασφάλειας και κόστους αλλά και από τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Η κάθε στάθμη

επιτελεστικότητας ορίζεται με βάση την οριακή γωνία στροφής χορδής και σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων ισχύει (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.2.2):

- Περιορισμένες βλάβες (Damage Limitation-DL): Η οριακή κατάσταση περιορισμού των βλαβών (ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Α-Άμεση χρήση). Η συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας επιβάλλει, ο φορέας μετά το σεισμό να έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν περάσει τη διαρροή και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Η απαίτηση σε όρους γωνίας στροφής για κύρια και δευτερεύοντα μέλη είναι να μην ξεπερνάει τη γωνία διαρροής ( $\theta < \theta_y$ )
- Σημαντικές βλάβες (Severe Damage-SD): Στην οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών (ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Β-Προστασία ζωής) τα φέροντα στοιχεία επιτρέπεται να εμφανίσουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις με την προϋπόθεση ότι τα μέλη διαθέτουν αρκετό περιθώριο ασφάλειας πριν την εξάντληση της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας. Το όριο σε όρους γωνίας στροφής χορδής είναι

$$\theta < \frac{\theta_y + \theta_u}{2\gamma_{Rd}} \text{ για πρωτεύοντα μέλη}$$

$$\theta < \frac{\theta_y + \theta_u}{2} \text{ για δευτερεύοντα μέλη}$$

- Οιονεί κατάρρευση (Near collapse-NC): Στην οριακή κατάσταση οιονεί κατάρρευσης (ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Γ-Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης), εξασφαλίζεται πως τα φέροντα στοιχεία δε θα ξεπεράσουν την διαθέσιμη παραμόρφωση αστοχίας. Ο φορέας έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές βλάβες και δε διαθέτει ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Το κριτήριο ικανοποίησης της στάθμης αυτής είναι:

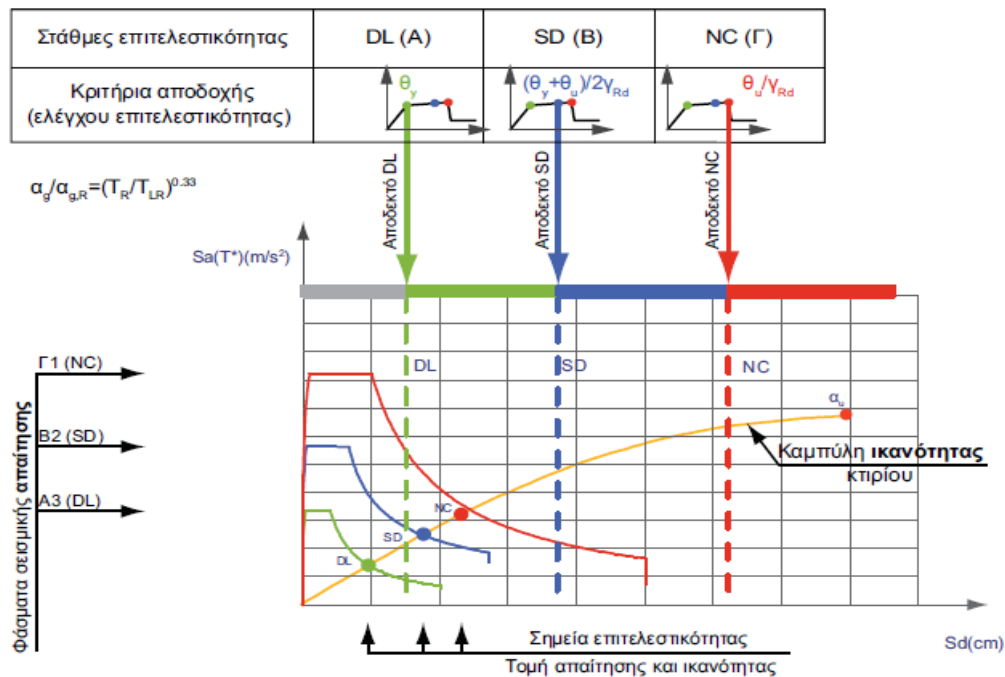
$$\theta < \frac{\theta_u}{\gamma_{Rd}} \text{ για πρωτεύοντα μέλη}$$

$$\theta < \theta_u \text{ για δευτερεύοντα μέλη}$$

Πιθανότητα Υπέρβασης Σεισμικής Δράσης εντός του Συμβατικού Χρόνου Ζωής των 50 ετών	ΣΤΑΘΜΗ Α	ΣΤΑΘΜΗ Β	ΣΤΑΘΜΗ Γ
10% (Σεισμικές Δράσεις Κανονισμού Νέων Κτιρίων)	A1	B1	Γ1
50% (Σεισμικές Δράσεις = 0,6 x του προηγούμενου)	A2	B2	Γ2

Σχήμα 4: Αντιστοιχία στάθμεων επιτελεστικότητας με σεισμικές δράσεις [6]

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται η καμπύλη αντίστασης για μια κατασκευή και τα ελαστικά σεισμικά φάσματα για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας όπως παρουσιάζονται από το υπολογιστικό πρόγραμμα Fespa. Με τις χρωματιστές κουκίδες παρουσιάζεται η στοχευόμενη μετακίνηση, δηλαδή η απαίτηση της παραμόρφωσης για τις σεισμικές δράσεις της κάθε στάθμης επιτελεστικότητας. Με τις διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα σημεία των πρώτων αστοχιών για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Συνεπώς, εάν η στοχευόμενη μετακίνηση ξεπεράσει το όριο παραμόρφωσης της αντίστοιχης επιτελεστικότητας, δηλαδή οι κουκίδες να βρίσκονται δεξιά των διακεκομμένων γραμμών, συνεπάγεται πως η κατασκευή είναι ανεπαρκής για αυτή την στάθμη επιτελεστικότητας.



Σχήμα 5: Διάγραμμα απαίτησης-ικανότητας και στάθμες επιτελεστικότητας για συγκεκριμένη κατασκευή στο Fespa [3]

### 3.7. ΛΟΓΟΙ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ

Έπειτα από την εύρεση της στοχευόμενης μετακίνησης βρίσκονται για κάθε μέλος ξεχωριστά οι γωνίες στροφής χορδής που αντιστοιχούν στο βήμα επίλυσης όπου παρατηρείται η μετακίνηση αυτή. Ο λόγος ανεπάρκειας ορίζεται ως ο λόγος της απαίτησης προς την ικανότητα που ορίζει η αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας (απαίτηση/ικανότητα). Για τη περίπτωση της κάμψης υπολογίζεται ο λόγος ανεπάρκειας ( $\lambda = \theta/\theta_{lim}$ ) και για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας (Α,Β,Γ), ενώ όσον αφορά τη τέμνουσα υπολογίζεται ο λόγος ανεπάρκειας ( $\lambda = V/V_{Rd}$ ) μόνο για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ (οιονεί κατάρρευση). Σε περίπτωση που η κατασκευή δεν επαρκεί για τον καθολικό έλεγχο ασφάλειας σημαίνει πως κάποιος από τους λόγους ανεπάρκειας των μελών έχουν ξεπεράσει τη μονάδα.

## 4. ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

### 4.1. ΓΕΝΙΚΑ

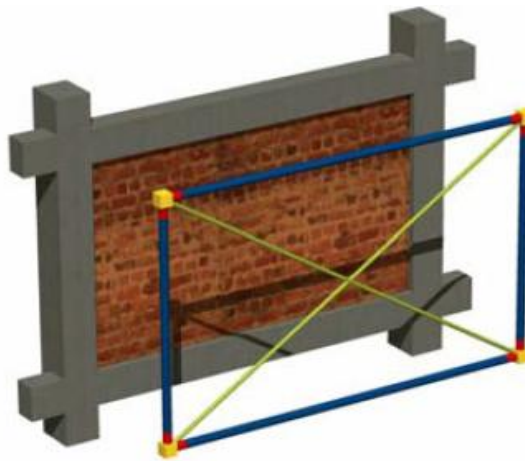
Οι τοιχοπληρώσεις αν και είναι μη δομικά μέλη έχουν σημαντική επιρροή στη γενική απόκριση της κατασκευής όταν υπόκεινται σε πλευρικά φορτία, συνεισφέροντας στην αύξηση της συνολικής δυσκαμψίας και αντοχής. Επιπρόσθετα, η επιρροή των τοιχοπληρώσεων είναι ακόμα μεγαλύτερη σε παλαιότερα κτίρια όπου χρήση αξιόλογων τοιχωμάτων ήταν περιορισμένη.

Η συμμετοχή των τοιχοπληρώσεων, είναι υποχρεωτική όταν αυτή συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό σε γενικό ή τοπικό επίπεδο (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.9.1). Κριτήρια για την μη δυσμενή επιρροή των τοιχοπληρώσεων είναι να μην επιφέρουν αύξηση της σεισμικής τέμνουσας ενός τουλάχιστον πρωτεύοντος κατακόρυφου στοιχείου ή της σεισμικής μετακίνησης ενός ορόφου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 15%, σε οποιαδήποτε στάθμη του κτιρίου (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.9.2).

Παρ όλα αυτά, η εξαρχής τοποθέτηση των τοιχοποιιών πλήρωσης στο μοντέλο, μας απαλλάσσει από την υποχρέωση ελέγχου των παραπάνω κριτηρίων, αλλά μας δίνει και μια ρεαλιστική εικόνα της πραγματικής επιρροής τους στο φέροντα οργανισμό.

#### 4.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

Οι τοιχοπλήρωσεις προσομοιώνονται με δύο διαγώνιους ράβδους δικτύματος, που δε συμμετέχουν στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων. Η προσομοίωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω της θλιβόμενης ράβδου είτε μέσω και της θλιβόμενης και της εφελκυστικής όμως με τη μισή δυστένεια η κάθε μία (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.9.2 και §7.4.1). Στην περίπτωση της θλιβόμενης ράβδου το πάχος της λαμβάνεται ίσο με το πάχος της τοιχοπλήρωσης ενώ το πλάτος εκτιμάται με βάση την ισορροπία και το συμβιβαστό παραμορφώσεων και δυνάμεων από όπου προκύπτει  $b = 0,15L$ , όπου  $L$  το μήκος του διαγώνιου θλιπτήρα (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.4.1.ζ2, Σ.15).



Σχήμα 5: Προσομοίωμα τοιχοπλήρωσης [4]

### 5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

#### 5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ανελαστικής στατικής ανάλυσης Pushover. Ο κανονισμός θέτει σαν προϋπόθεση για την εφαρμογή της ανάλυσης Pushover, η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών του κτιρίου να μην είναι σημαντική. Για τον έλεγχο της προϋπόθεσης αυτής απαιτείται μια αρχική δυναμική ελαστική ανάλυση όπου θα συνεκτιμώνται οι ιδιομορφές οι οποίες συνεισφέρουν τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας. Κατόπιν θα γίνεται δεύτερη δυναμική ελαστική ανάλυση με βάση μόνο την πρώτη ιδιομορφή (σε κάθε διεύθυνση) και η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών μπορεί να θεωρείται ότι είναι σημαντική όταν η τέμνουσα που προκύπτει σε κάθε όροφο από την πρώτη ανάλυση υπερβαίνει το 130% της δεύτερης ανάλυσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.1.2.α). Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται αυτόματα από το πρόγραμμα και στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δεν γίνεται κάποια παραπάνω ανάλυση σε αυτό το κομμάτι.

Αρχικά, η κατασκευή χαρακτηριζόταν ως σπουδαιότητας III, επομένως σαν αρχικός στόχος σχεδιασμού τέθηκε η ικανοποίηση των κριτηρίων της Στάθμης Επιτελεστικότητας A



για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 50% εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών αλλά και ικανοποίηση της Στάθμης Επιτελεστικότητας Β με πιθανότητα υπέρβασης 10%. Ακολούθως, εφόσον το κτίριο δεν επαρκούσε για αυτές τις στάθμες μειώθηκαν οι απαιτήσεις υποβαθμίζοντας τις σεισμικές δράσεις, έως ότου βρεθεί η επιτελεστικότητα την οποία ικανοποιούσε το κτίριο.

Το κτίριο βρίσκεται σε περιοχή της ζώνης σεισμικότητας ΙΙ, που αντιστοιχεί σε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση  $a=0,24g$ . Τα οριζόντια φορτία, ακολουθούσαν καθ ύψος την οριζόντια και την ιδιομορφική κατανομή με συντελεστή συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης 0%, χωρίς τυχηματική εκκεντρότητα και με θεώρηση επιρροής των φαινομένων 2<sup>ης</sup> τάξης. Το επίπεδο γνώσης για τη κατασκευή θεωρήθηκε ικανοποιητικό.

Οι καμπύλες αντίστασης και τα διαγράμματα απαίτησης-ικανότητας που εμφανίζει το πρόγραμμα Fespa, δημιουργήθηκαν τόσο με τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων, όσο και χωρίς αυτή ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων.

## 5.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

### 5.2.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΤΑΘΜΕΣ Α2,Β1

Η ανάλυση αρχικά πραγματοποιήθηκε για τον έλεγχο επάρκειας της κατασκευής για τη στάθμη επιτελεστικότητας Α (DL) με πιθανότητα υπέρβασης 50% (Α2) και τη Β (SD) με πιθανότητα υπέρβασης 10% (Β1). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Με τους όρους  $d_{DL}$  και  $d_{SD}$  θα αναφέρεται η απαίτηση για κάθε επιτελεστικότητα και με τον όρο  $d$  η ικανότητα της κατασκευής για την αντίστοιχη στάθμη.

Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover								
Ανάλυση	Διεύθυνση φόρτισης	Κατανομή φόρτισης	Στάθμη Επιτελεστικότητας				Επάρκεια	
			DL		SD		DL	SD
			$d_{DL}(cm)$	$d(cm)$	$d_{SD}(cm)$	$d(cm)$		
1	0°	Ομοιόμορφη	4,73	2,22	9,23	7,78	OXI	OXI
2	90°		4,89	2,53	9,39	9,92	OXI	NAI
3	180°		4,81	2,64	9,31	9,85	OXI	NAI
4	270°		4,11	4,30	8,43	10,21	NAI	NAI
5	0°	Ιδιομορφική	4,23	1,83	8,56	6,46	OXI	OXI
6	90°		4,50	2,10	8,68	8,23	OXI	OXI
7	180°		4,44	2,18	8,62	8,30	OXI	OXI
8	270°		3,85	3,56	7,88	8,47	OXI	NAI

Πίνακας 1: Στοχευόμενη μετακίνηση, ικανότητα και έλεγχος επάρκειας για τις στάθμες Α2,Β1

### 5.2.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΤΑΘΜΕΣ B2,Γ1

Εφ' όσον η κατασκευή δεν επαρκούσε για τον αρχικό στόχο που τέθηκε, ακολούθως, υποβιβάστηκε η στάθμη επιτελεστικότητας, ώστε να βρεθεί ποια απαίτηση ικανοποιεί το κτίριο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης

Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover								
Ανάλυση	Διεύθυνση φόρτισης	Κατανομή φόρτισης	Στάθμη Επιτελεστικότητας				Επάρκεια	
			SD		NC		SD	NC
			$d_{SD}(cm)$	$d(cm)$	$d_{NC}(cm)$	$d(cm)$		
1	0°	Ομοιόμορφη	4,73	7,78	9,23	10,49	NAI	NAI
2	90°		4,89	9,92	9,39	13,39	NAI	NAI
3	180°		4,81	9,84	9,31	13,09	NAI	NAI
4	270°		4,11	10,19	8,43	13,29	NAI	NAI
5	0°	Ιδιομορφική	4,23	6,46	8,56	8,71	NAI	NAI
6	90°		4,50	8,22	8,68	11,10	NAI	NAI
7	180°		4,44	8,31	8,62	10,90	NAI	NAI
8	270°		3,85	8,46	7,88	10,99	NAI	NAI

Πίνακας 2: Στοχευόμενη μετακίνηση, ικανότητα και έλεγχος επάρκειας για τις στάθμες B2,Γ1

### 5.2.3 ΛΟΓΟΙ ΥΠΕΡΑΝΤΟΧΗΣ

Ο λόγος υπεραντοχής της κατασκευής δεν εξαρτάται από τις στάθμες επιτελεστικότητας αλλά μόνο από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής και τη φόρτιση, επομένως είναι ένας για κάθε φόρτιση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του λόγου υπεραντοχής όπως προέκυψαν από την ανάλυση

Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover					
Ανάλυση	Διεύθυνση φόρτισης	Κατανομή φόρτισης	Φορτίο στη διαρροή- $\alpha_1$ (kN)	Φορτίο στην αστοχία- $\alpha_u$ (kN)	Λόγος υπεραντοχής ( $\alpha_u/\alpha_1$ )
1	0°	Ομοιόμορφη	234,6	894	3,81
2	90°		230,7	999	4,33
3	180°		253,2	942	3,72
4	270°		498,5	982	1,97
5	0°	Ιδιομορφική	210,7	800,5	3,80
6	90°		206,1	894,5	4,34
7	180°		226,9	844	3,72
8	270°		445,5	882	1,98

Πίνακας 3: Λόγοι υπεραντοχής για κάθε κατανομή φόρτισης

#### 5.2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα για τον πρώτο έλεγχο (A2,B1):

- Η κατασκευή δεν επαρκεί για καμία από τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας, καθώς τα όρια που θέτει η κάθε μία ξεπερνιούνται σε μικρότερη μετακίνηση από τη στοχευόμενη, για τις περισσότερες περιπτώσεις φόρτισης.
- Οι λόγοι ανεπάρκειας των υποστυλωμάτων, προέκυψαν και για τις δύο επιτελεστικότητες μικρότεροι της μονάδας, με μέγιστες τιμές τις 0,98 και 0,9 για τις A και B αντίστοιχα, που σημαίνει ότι για τις αντίστοιχες στοχευόμενες μετακινήσεις κανένα από τα υποστυλώματα δε ξεπερνάει τα επιτρεπτά όρια που θέτει κάθε μία στάθμη.
- Κατά την επιβολή των σεισμικών δράσεων, οι πρώτες αστοχίες παρατηρούνται στις δοκούς, με τους λόγους ανεπάρκειας αυτών να είναι μεγαλύτεροι της μονάδας και για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας, με μέγιστες τιμές τις 3,80 και 1,32 για τις στάθμες A και B αντίστοιχα, το οποίο συνεπάγεται την υπέρβαση του ορίου παραμόρφωσης πριν τη στοχευόμενη μετακίνηση.
- Αν και πρόκειται για κτίριο το οποίο έχει αναλυθεί με παλαιότερους κανονισμούς, παρατηρούμε την εμφάνιση επιθυμητού τρόπου αστοχίας, με την αστοχία των υποστυλωμάτων να έπεται αυτής των δοκών.
- Γενικά, με τις ιδιομορφικές αναλύσεις προέκυψαν δυσμενέστερα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με την ανάλυση για τον δεύτερο έλεγχο (B2,Γ1), προέκυψαν τα εξής:

- Η κατασκευή επαρκεί και για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας καθώς οι λόγοι ανεπάρκειας όλων των στοιχείων προέκυψαν μικρότεροι της μονάδας.
- Για τη στάθμη επιτελεστικότητας B2 η κατασκευή επαρκεί με σχετικά μεγάλο περιθώριο ασφάλειας με το μέγιστο λόγο ανεπάρκειας να είναι για τα υποστυλώματα 0,43 και για τις δοκούς 0,63. Από την άλλη η επάρκεια για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ1 είναι οριακή με το μέγιστο λόγο ανεπάρκειας να φτάνει για τα υποστυλώματα το 0,77 και για τις δοκούς το 0,98.
- Όπως είναι λογικό, ο τρόπος αστοχίας είναι παραπλήσιος με αυτόν του πρώτου ελέγχου, μιας και οι φορτίσεις είναι ίδιες, με τις δοκούς να αστοχούν πρώτα και να έπονται τα υποστυλώματα.

### 5.3 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

#### 5.3.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ A2,B1

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover με Συμβολή των Τοιχοπληρώσεων								
Ανάλυση	Διεύθυνση φόρτισης	Κατανομή φόρτισης	Στάθμη Επιτελεστικότητας				Επάρκεια	
			DL		SD		DL	SD
			$d_{DL}(cm)$	$d(cm)$	$d_{SD}(cm)$	$d(cm)$		
1	0°	Ομοιόμορφη	2,21	2,02	4,91	9,04	OXI	NAI
2	90°		2,73	2,36	5,29	7,58	OXI	NAI
3	180°		2,47	2,99	5,35	11,11	NAI	NAI
4	270°		1,95	3,38	5,01	10,59	NAI	NAI
5	0°	Ιδιομορφική	1,86	1,85	5,64	7,44	OXI	NAI
6	90°		2,44	1,98	5,46	7,57	OXI	NAI
7	180°		2,22	2,51	4,04	9,03	NAI	NAI
8	270°		1,78	3,58	2,84	8,86	NAI	NAI

Πίνακας 4: Στοχευόμενη μετακίνηση, ικανότητα και έλεγχος επάρκειας για τις στάθμες A2,B1 με συμμετοχή τοιχοπληρώσεων

#### 5.3.2 ΛΟΓΟΙ ΥΠΕΡΑΝΤΟΧΗΣ

Οι λόγοι υπεραντοχής όπως προέκυψαν από τη φόρτιση της κατασκευής συμπεριλαμβανομένων των τοιχοπληρώσεων, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover με Συμβολή των Τοιχοπληρώσεων					
Ανάλυση	Διεύθυνση φόρτισης	Κατανομή φόρτισης	Φορτίο στη διαρροή- $\alpha_1$ (kN)	Φορτίο στην αστοχία- $\alpha_u$ (kN)	Λόγος υπεραντοχής ( $\alpha_u/\alpha_1$ )
1	0°	Ομοιόμορφη	528,7	920	1,74
2	90°		793,5	1230	1,55
3	180°		530,5	939	1,77
4	270°		590,4	950,5	1,61
5	0°	Ιδιομορφική	511,8	844,5	1,65
6	90°		711,4	1060	1,49
7	180°		475,6	856	1,80
8	270°		451,8	863	1,91

Πίνακας 5: Λόγοι υπεραντοχής για κάθε κατανομή φόρτισης, με συμμετοχή τοιχοπληρώσεων

#### 5.3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση για τον πρώτο έλεγχο (A2,B1) οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

- Η κατασκευή δεν επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας A2, παρ'όλα αυτά επαρκεί για τη στάθμη επιτελεστικότητας B1. Παρατηρούμε, πως για μικρότερο σεισμό τα μέλη ξεπερνούν το όριο που θέτει η στάθμη επιτελεστικότητας A (άμεση χρήση), ενώ για μεγαλύτερο σεισμό τα μέλη δεν ξεπερνούν το όριο της στάθμης B (προστασία ζωής).
- Οι λόγοι ανεπάρκειας των υποστυλωμάτων προέκυψαν και για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας μικρότεροι της μονάδας με μέγιστες τιμές 0,83 και 0,66 για τις

στάθμες Α και Β αντίστοιχα ενώ μόνο για δύο δοκούς και τη στάθμη Α οι λόγοι ανεπάρκειας προέκυψαν μεγαλύτεροι της μονάδας με μέγιστη τιμή 1,58.

- Προηγείται η αστοχία πλήθους τοιχοπληρώσεων πριν την πρώτη αστοχία δοκού η οποία προηγείται αυτής των υποστυλωμάτων.
- Γενικά, οι ιδιομορφικές αναλύσεις οδήγησαν σε δυσμενέστερα αποτελέσματα.
- Δε χρειάζεται να ακολουθήσουμε τη λογική της υποβάθμισης της στάθμης επιτελεστικότητας ή της σεισμικής φόρτισης εφ' όσον επαρκεί για τη στάθμη Β1, γιατί είναι προφανές ότι επαρκεί για τη Β2, ενώ για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ οι τοιχοπληρώσεις δεν επιτρέπεται να συμπεριληφθούν στη παραλαβή σεισμικών δράσεων. Έτσι, για τη στάθμη Γ τα αποτελέσματα είναι αυτά που προέκυψαν από την αποτίμηση χωρίς τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

Από την αποτίμηση της κατασκευής, τόσο με τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων όσο και χωρίς αυτή, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων είναι ιδιαίτερα ευεργετική για την σεισμική απόκριση της κατασκευής. Αυτό έγκειται στο γεγονός, πως οι λόγοι ανεπάρκειας των μελών μειώθηκαν σημαντικά, σε σημείο μάλιστα που η κατασκευή έφτασε να επαρκεί σε στάθμη επιτελεστικότητας για την οποία δεν επαρκούσε αγνοώντας τις τοιχοπληρώσεις.
- Η συμβολή των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση της κατασκευής, μείωσε τον λόγο υπεραντοχής της κατασκευής, το οποίο είναι λογικό αφού η πρώτη αστοχία στη κατασκευή (σημείο  $a_1$ ) θα καθυστερήσει, σε σχέση με την κατασκευή χωρίς τοίχους πλήρωσης. Βέβαια, το γεγονός αυτό πρακτικά δεν έχει καμία σημασία εφ' όσον ο κανονισμός δεν επιτρέπει τη λήψη λόγου υπεραντοχής μεγαλύτερου του 1,5, ακόμα και αν με τη μέθοδο Pushover έχουν προκύψει μεγαλύτερες τιμές.
- Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων είναι ουσιαστική για σχετικά μικρές παραμορφώσεις, δηλαδή στο τμήμα γύρω από την ελαστική περιοχή, καθώς στη συνέχεια επέρχεται ψαθυρή αστοχία τους και πλέον η κατασκευή λειτουργεί σαν να μην υπάρχουν, με τελική αντοχή όμοια με αυτή της κατασκευής χωρίς τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων
- Γενικά, η συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων δεν είναι πάντα ευνοϊκή αλλά συνήθως απρόβλεπτη. Για αυτό το λόγο συνιστάται η ανάλυση τόσο με όσο και χωρίς τοιχοπληρώσεις ώστε να διερευνάται η επιρροή τους στην σεισμική απόκριση της κατασκευής, κάτι το οποίο μας απαλλάσσει και από τον έλεγχο που επιβάλλει ο κανονισμός για τον προσδιορισμό της ευμενούς ή δυσμενούς λειτουργίας των τοιχοπληρώσεων, ενώ έχουμε και μία ρεαλιστικότερη εικόνα της πραγματικής απόκρισης της κατασκευής.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013, 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση Ιούλιος 2013

[2] EC8

[3] Lh Λογισμική, 'Pushover Θεωρητικά Στοιχεία', Αθήνα, Οκτώβριος 2013

[4] Lh Λογισμική, 'Αποτίμηση στατικής επάρκειας υφιστάμενης κατασκευής σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 λαμβάνοντας υπ όψιν την επιρροή τν τοιχοπληρώσεων', Αθήνα, Οκτώβριος 2013

[5] Κατσίβελας-Δημάκης Σέργιος-Πάνος, Τροχούτσου Νίκη, 'Αποτίμηση Διώροφου Κτιρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ, Προσθήκη Ορόφου Σύμφωνα με Νεότερους Κανονισμούς και Έλεγχος τη Επάρκειάς του', 21<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2015, Πάτρα, Φεβρουάριος 2015

[6] [www.episkeves2.civil.upatras.gr](http://www.episkeves2.civil.upatras.gr)