

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΝΕΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΕΚΩΣ/ΕΑΚ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΤΟΠΙΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΟΡΟΦΟΥ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ

**ΝΤΑΒΕΛΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ  
ΠΕΠΙΟΝΗ ΝΕΦΕΛΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

### **Περίληψη**

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, διερευνάται η απόκριση ενός ιδεατού πολυώροφου κτιρίου, ορθογωνικής, μη συμμετρικής κάτοψης, ως προς τους δυνατούς συνδυασμούς σεισμικών ζωνών. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε τετραώροφο κτίριο, σχεδιασμένο βάσει των διατάξεων του ΕΚΩΣ2000/ΕΑΚ2000 και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε έλεγχος επάρκειας του κτιρίου κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ έπειτα από την προσθήκη μιας επιπλέον στάθμης ορόφου, δηλαδή την προσθήκη του 25% της τέμνουσας βάσης. Οι μέθοδοι ανάλυσης που ακολουθήθηκαν, ήταν η ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) και η ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς ( $q$ ), εφαρμοσμένες για τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ζώνες I-III).

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντική σεισμική δράση που εντοπίζεται στον Ελλαδικό χώρο καθώς επίσης και την ύπαρξη πολυώροφων κτιρίων αλλά και της προσθήκης περισσότερων ορόφων στα ήδη υπάρχοντα για την κάλυψη των αναγκών σε πληθυσμό, εξετάζεται κατά πόσο μπορεί η προσθήκη μιας επιπλέον στάθμης ορόφου ή ενός ποσοστού αυτής, σε συνδυασμό με την εναλλαγή των σεισμικών επιταχύνσεων να επιφέρουν μετάβαση του κτιρίου από μία στάθμη επιτελεστικότητας σε άλλη. Πρακτικά εξετάζεται ο βαθμός βλαβών του φέροντος οργανισμού του κτιρίου ύστερα από την προαναφερθείσα προσθήκη, κατά την καταπόνησή του από μεγαλύτερης έντασης σεισμική επιτάχυνση σε σχέση με αυτή για την οποία έχει μελετηθεί.

Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκε ένα τυχαίο σύνηθες τετραώροφο κτίριο, το οποίο στην πορεία τροποποιήθηκε καταλλήλως, έτσι ώστε να πληρεί τις προϋποθέσεις επάρκειας κατά ΕΚΩΣ2000/ΕΑΚ2000. Η αρχική μελέτη περιλάμβανε ωστόσο τη διαστασιολόγηση ενός μελλοντικού πενταώροφου κτιρίου που τοποθετείται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II ( $a=0.24$ ). Ακολούθησε λοιπόν, η προσθήκη ενός επιπλέον επιπέδου στο οποίο τοποθετήθηκε ο ίδιος οπλισμός με αυτόν της τελευταίας στάθμης ορόφου του τετραώροφου αρχικού κτιρίου και πραγματοποιήθηκε αποτίμηση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ του πενταώροφου πλέον κτιρίου, αρχικά για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II ( $a=0.24$ ) και τέλος για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III ( $a=0.36$ ). Κατόπιν των αποτελεσμάτων, κρίθηκε εύλογος ο επανέλεγχος ενός μόνο ποσοστού του προστιθέμενου ορόφου, για τις δυο προαναφερθείσες ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας.

Οι αναλύσεις, ο σχεδιασμός και η αποτίμηση των κτιρίων έγιναν με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Scada Pro 15 Eurocodes.

### **2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ**

#### **2.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ**

Αρχική πρόθεση της εργασίας ήταν η αποτίμηση ενός διώροφου κτιρίου διαστάσεων 8,5m x 12,5m. Κατόπιν όμως συνεργασίας με το διδάσκοντα του μαθήματος κ.Δρίτσο, επιλέχθηκε να εξεταστεί ένα τετραώροφο κτίριο ίδιων διαστάσεων, κατηγορίας εδάφους Α (βραχώδης ή ημιβραχώδης σχηματισμοί με μη έντονη αποσάθρωση) [1]. Το κτίριο που εξετάζεται

αποτελεί ένα μη συμμετρικό, ορθογωνικό δόμημα, ύψους ορόφου 3m, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό ήταν τα ακόλουθα:

- Σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής C20/25 ( $f_c = 20\text{MPa}$ ,  $E_{cm} = 29.5\text{ GPa}$ )
- Χάλυβας οπλισμών, (διαμήκης και εγκάρσιος) κατηγορίας S500 ( $E_s = 200\text{GPa}$ ,  $f_y = 500\text{MPa}$ )

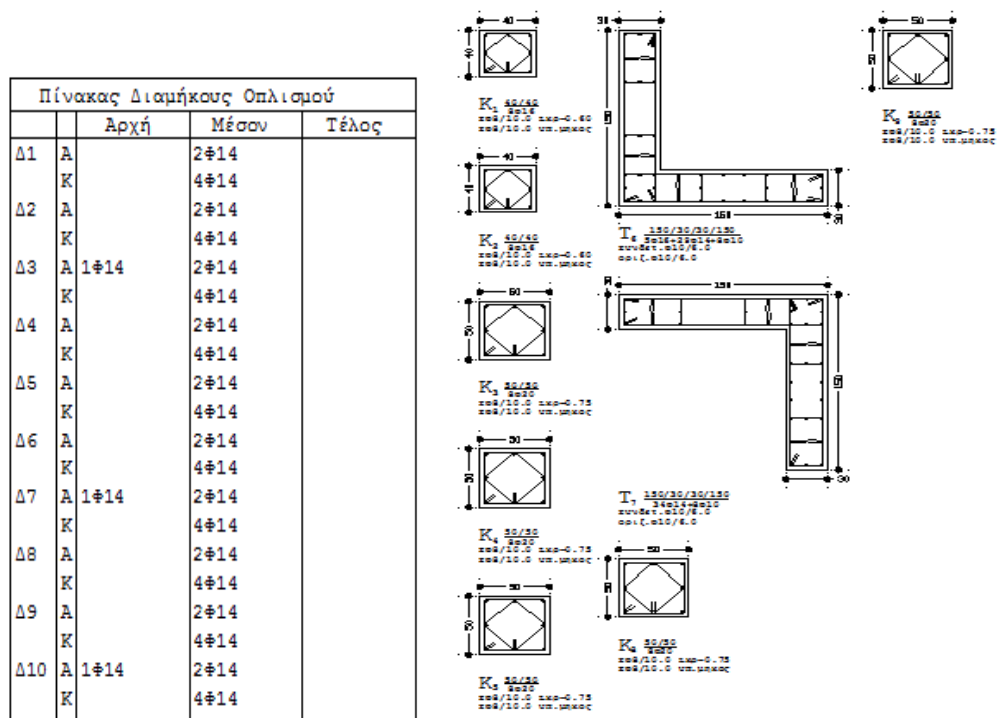
Για την κατασκευή ακόμη ισχύουν:

- Η επικάλυψη οπλισμού 20mm
- Κατηγορία σπουδαιότητας συνήθης ( $\Sigma 2$ )
- Κινητό φορτίο πλακών 2  $\text{kN/m}^2$
- Κινητό φορτίο προβόλων 5  $\text{kN/m}^2$
- Φορτίο μπατικής τοιχοποιίας 3.6  $\text{kN/m}^2$
- Φορτίο δρομικής τοιχοποιίας 2.1  $\text{kN/m}^2$

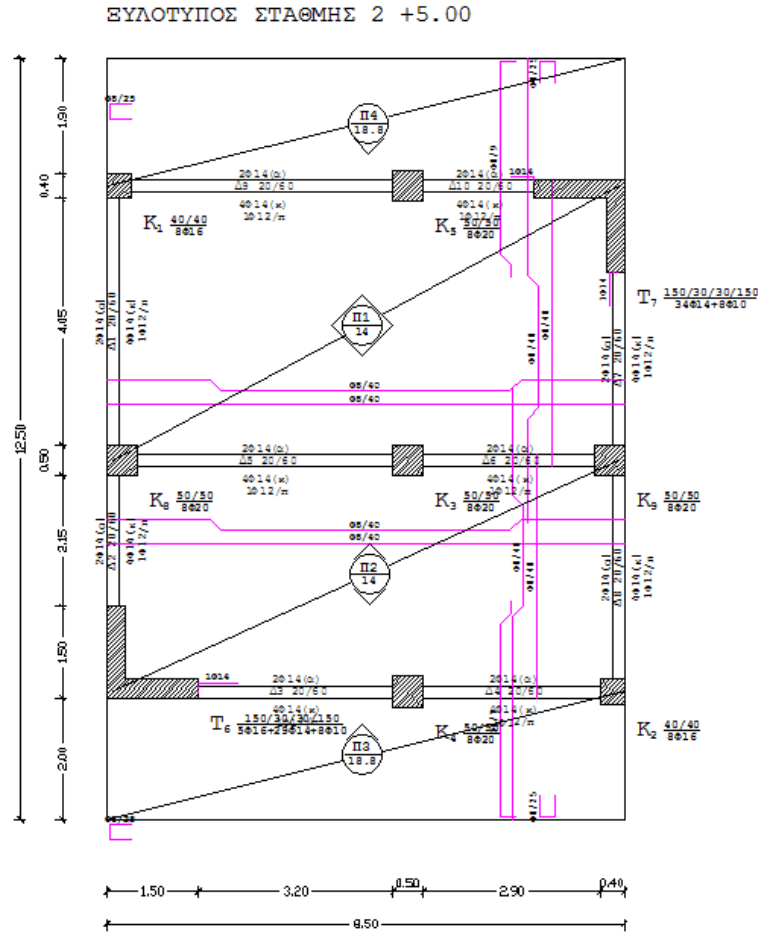
Περιμετρικά σε κάθε όροφο θεωρήθηκε ότι υπάρχει μπατική τοιχοποιία, ενώ εσωτερικά θεωρήθηκε ότι υπάρχει δρομική τοιχοποιία.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε θεωρώντας διαφραγματική λειτουργία στις στάθμες των πλακών και η διαστασιολόγηση έγινε βάσει του ικανοτικού ελέγχου των κόμβων, ούτως ώστε να προηγηθεί η διαρροή των δοκών της διαρροής των υποστυλωμάτων.

Τέλος, το κτίριο αρχικά είχε διαστασιολογηθεί για 7 τετραγωνικά υποστυλώματα διαστάσεων 40cm x 40cm και 2 γωνιακά τοιχώματα σχήματος Γ, διαστάσεων 150cm x 30cm. Καθώς η επίλυσή του όμως, παρουσίαζε υπέρβαση του δείκτη πλαστιμότητας  $\nu_d > 0.65$ , κρίθηκε απαραίτητη η αλλαγή των διαστάσεών τους σε 50cm x 50cm για τα 5 εσωτερικά υποστυλώματα και τη διατήρηση των διαστάσεων των τοιχωμάτων και των γωνιακών, ορθογωνικών υποστυλωμάτων. Ο ξυλότυπος ενός εκ των ορόφων, οι λεπτομέρειες οπλισμού υποστυλωμάτων, καθώς επίσης και ο πίνακας διαμήκους οπλισμού των δοκών, παρατίθενται στα Σχήμα 1 και Σχήμα 2.



Σχήμα 1: Πίνακας διαμήκους οπλισμού δοκών, λεπτομέρειες οπλισμού υποστυλωμάτων



Σχήμα 2: Ξυλότυπος τυπικού ορόφου κτιρίου

Η κατασκευή τελικά υποβλήθηκε σε έλεγχο κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ και στην ΙΙΙ ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ( $a = 0.36$ ) όπου και προέκυψε η επάρκειά του.

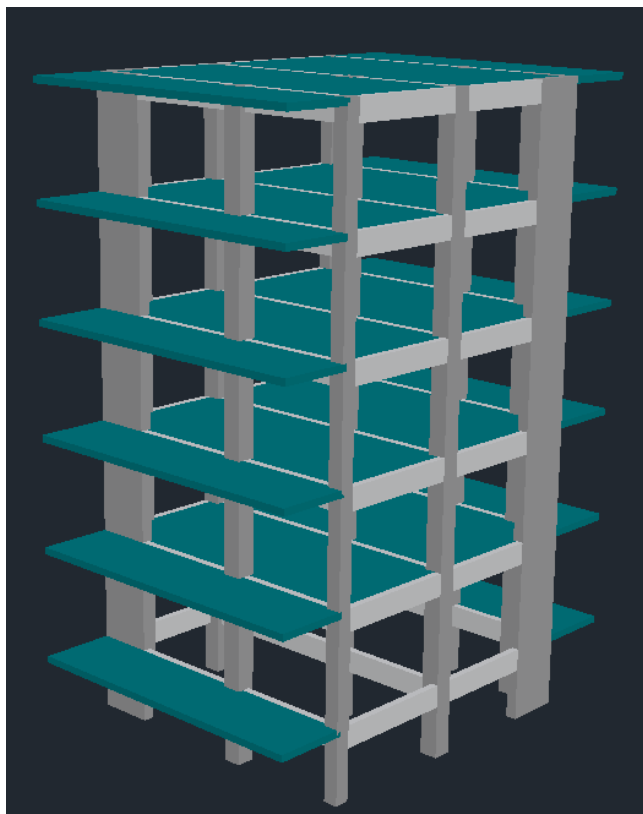
## 2.2 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΟΥ 25% ΤΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΒΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Έπειτα από τους ελέγχους που προηγήθηκαν, διερευνήθηκε η επάρκεια της κατασκευής ύστερα από προσθήκη του 25% της τέμνουσας βάσης, δηλαδή ενός ολόκληρου ορόφου ύψους 3m. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται σε τρισδιάστατη μορφή το πεντάωροφο κτίριο που προέκυψε μετά την προσθήκη ορόφου

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια δυναμική ελαστική ανάλυση στην οποία συνεκτιμήθηκαν οι ιδιομορφές οι οποίες συνεισφέρουν τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας. Κατόπιν, έγινε μια δεύτερη δυναμική ελαστική ανάλυση, με βάση μόνο την πρώτη ιδιομορφή σε κάθε διεύθυνση.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη νέα στάθμη επιπέδου ήταν σκυρόδεμα ποιότητας C20/25 και διαμήκης και εγκάρσιος σπλισμός χάλυβα S500.

Στο πεντάωροφο πλέον κτίριο διαστασιολογήθηκε μονάχα ο πέμπτος όροφος κατά ΕΑΚ/ΕΚΩΣ για όλες τις δυνατές περιπτώσεις συνδυασμού σεισμικών συντελεστών.



Σχήμα 3: Τρισδιάστατη απεικόνιση πεντάωροφου κτιρίου

### 3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ

#### 3.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PUSHOVER

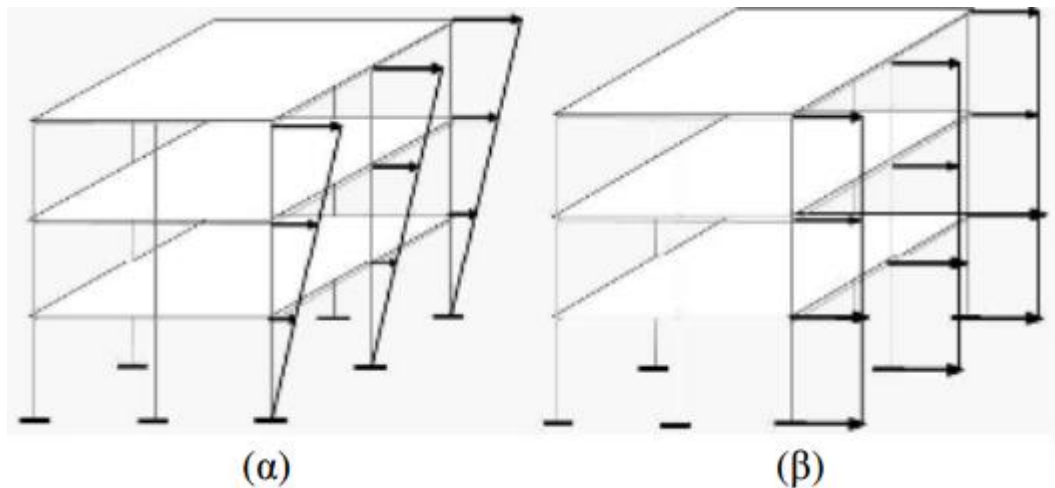
Οι μεθοδολογίες ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση ή τον ανασχεδιασμό υφισταμένων κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα για σεισμικά φορτία είναι οι ελαστικές αναλύσεις, στατικές ή δυναμικές, καθώς και οι ανελαστικές αναλύσεις (δηλαδή μη γραμμικές λόγω υλικού), επίσης στατικές ή δυναμικές. Όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί όπως ο Ευρωκώδικας 8 και ο Ελληνικός κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) προτείνουν ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα μίας κατασκευής θα πρέπει να προσδιορίζεται μέσω μίας στατικής ανελαστικής ανάλυσης PUSHOVER. Οι ανελαστικές μεθοδολογίες ανάλυσης βοηθούν στην καλύτερη εποπτεία και κατανόηση της πραγματικής απόκρισης των κατασκευών, καταδεικνύοντας τόσο τους μηχανισμούς αστοχίας όσο και το ενδεχόμενο προοδευτικής κατάρρευσης. Δίδεται επομένως η δυνατότητα ελέγχου των παραμορφώσεων των άκρων των μελών, των αποθεμάτων υπεραντοχής, όπως επίσης και του τρόπου ενεργοποίησης της πλαστικής συμπεριφοράς του φορέα. Έτσι, οι ανελαστικές αναλύσεις οδηγούν σε έναν πιο ορθολογικό και ασφαλή σχεδιασμό.

Η ανελαστική ανάλυση, όπως προαναφέρθηκε, διακρίνεται σε στατική και δυναμική. Η ανελαστική δυναμική ανάλυση (δηλαδή, ανάλυση χρονοϊστορίας με άμεση αριθμητική ολοκλήρωση των μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων κίνησης) αποτελεί την πιο πλήρη και ρεαλιστική μεθοδολογία ανάλυσης των κατασκευών. Ωστόσο, η ανάλυση αυτή προσκρούει σε προβλήματα προσομοίωσης της μετελαστικής ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς των μελών της κατασκευής, η οποία βρίσκεται σε στάδιο επιστημονικής έρευνας και πειραματικής επαλήθευσης. Επιπλέον, τίθεται και θέμα κατάλληλης επιλογής σεισμικών επιταχύνσεων, όπου η παραπάνω μέθοδος ανάλυσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη. Έτσι, σε συνδυασμό με την αυξημένη υπολογιστική πολυπλοκότητά της, καθώς και το

γεγονός ότι ο απαιτούμενος χρόνος ανάλυσης ακόμη και με σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι ιδιαίτερα αυξημένος κυρίως σε χωρικές αναλύσεις πολυωρόφων η ανελαστική δυναμική ανάλυση δεν κρίνεται πρακτική για γενική χρήση.

Αντίθετα, η στατική ανελαστική ανάλυση δίνει αποτελέσματα που βρίσκονται ανάμεσα στις ελαστικές μεθόδους και την ανελαστική δυναμική μέθοδο. Στην περίπτωση που η εξωτερικά επιβαλλόμενη φόρτιση είναι οριζόντια σεισμικά φορτία, η ανελαστική στατική ανάλυση είναι γνωστή και ως ανάλυση Pushover [4]. Έτσι, η ανάλυση Pushover παρότι δεν έχει την ακρίβεια της ανελαστικής δυναμικής, δεδομένου ότι τα σεισμικά φορτία (που είναι δυναμικά) τα λαμβάνει υπόψη προσεγγιστικά ως στατικά, οδηγεί ωστόσο σε σημαντικά ακριβέστερη εκτίμηση της απόκρισης της κατασκευής σε σχέση με τις ελαστικές μεθόδους, ενώ η εφαρμογή της είναι πολύ πιο απλή από την αντίστοιχη ανελαστική δυναμική.

Στη στατική ανελαστική ανάλυση, το προσομοίωμα του κτιρίου υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανομημένα κατά τρόπο ανάλογο προς 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. Συνήθως η κατανομή των παραπάνω φορτίων είναι τριγωνική καθ' ύψος, με τα φορτία να ασκούνται στις στάθμες της κορυφής των ορόφων. Άλλες περιπτώσεις κατανομής φορτίων είναι η τριγωνική και η ιδιομορφική, Σχήμα 4. Γενικά, απαιτείται κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ η τριγωνική και η ορθογωνική κατανομή.



Σχήμα 4: α) τριγωνική και β) ορθογωνική καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων

Με την ανάλυση Pushover μπορεί να προσδιοριστεί ο φορτικός συντελεστής με τον οποίο θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα επιβαλλόμενα σεισμικά φορτία, προκειμένου τα ραβδωτά στοιχεία του φορέα να φτάσουν διαδοχικά στην κατάσταση διαρροής. Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό του φορτικού συντελεστή  $\lambda$  ο οποίος υπολογίζεται σε κάθε βήμα της ανάλυσης για κάθε ένα στοιχείο. Η ελάχιστη τιμή από όλα τα δομικά στοιχεία, καθορίζει το στοιχείο εκείνο στο οποίο θα επέλθει πρώτα η πλαστική άρθρωση- επιθυμητή σειρά αστοχίας είναι: πρώτα οι δοκοί και έπειτα τα υποστυλώματα- .

Από την ανάλυση Pushover προκύπτει η καμπύλη αντίστασης [3] του κτιρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης- μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου), το οποίο λαμβάνεται στην κορυφή του. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεσματικότητας.

Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού αποτελούν συνδυασμό, αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης με δεδομένη ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου (σεισμός σχεδιασμού).

### 3.1.1 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ως στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται συγκεκριμένη σκοπούμενη- στοχευόμενη συμπεριφορά του δομήματος κατά ή μετά το σεισμό. Σημειώνεται ότι, για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικοοικονομικών αναγκών, θεσπίζονται από τους εκάστοτε αντισεισμικούς κανονισμούς διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας υπό δεδομένους αντίστοιχους σεισμούς (σχεδιασμού)[3].

Οι στάθμες επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής:

- «Περιορισμένες βλάβες» (Α): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- «Σημαντικές βλάβες» (Β): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες 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. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.
- «Οιονεί κατάρρευση» (Γ): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμα την ικανότητα, να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, τον σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμα και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

Στο Σχήμα 5 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά οι προαναφερθείσες στάθμες επιτελεστικότητας όπως αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ οι οποίες υπαγορεύουν το βασικό στόχο σχεδιασμού και αποτίμησης, δηλαδή την προστασία ζωής των ενοίκων σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επαναφοράς 10% στα 50 χρόνια.



| ΣΤΟΧΟΙ Αποτίμησης ή Ανασχεδιασμού |                                                                                                                  | ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ<br>(Στοχευόμενη Συμπεριφορά σε σχέση με το Επίπεδο Βλάβης) |                                                                                |                                                                                |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                   |                                                                                                                  | Περιορισμένες Βλάβες (Άμεση Χρήση)                                                  | Σημαντικές Βλάβες (Προστασία Ζωής)                                             | Οιονεί Κατάρρευση                                                              |
| ΣΤΑΘΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ  | <b>ΣΥΧΝΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ</b><br>(π.χ. για $dt = 50$ έτη:<br>$T_{\overline{w}} = 72$ έτη<br>$p_{\%} = 50\%$ )            | <b>Βασικός Σχεδιασμός</b><br>(A2)                                                   | <b>Μη Αποδεκτός Σχεδιασμός για Σπουδαιότητα:</b><br>III, IV [1]<br><b>(B2)</b> | <b>Μη Αποδεκτός Σχεδιασμός για Σπουδαιότητα:</b><br>III, IV [1]<br><b>(Γ2)</b> |
|                                   | <b>ΣΠΑΝΙΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ</b><br>(π.χ. για $dt = 50$ έτη:<br>$T_{\overline{w}} = 475$ έτη<br>$p_{\%} = 10\%$ )          | <b>Σχεδιασμός Κατασκευών Μεγάλης Σπουδαιότητας</b><br><b>(A1)</b>                   | <b>Βασικός Σχεδιασμός (Συνήθης Σχεδιασμός Νέων Κατασκευών [1])</b><br>(B1)     | <b>Μη Αποδεκτός Σχεδιασμός για Σπουδαιότητα:</b><br>III, IV [1]<br><b>(Γ1)</b> |
|                                   | <b>ΠΟΛΥ ΣΠΑΝΙΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ</b><br>(π.χ. για $dt = 50$ έτη:<br>$T_{\overline{w}} = 2475$ έτ<br>$\eta p_{\%} = 2\%$ ) | <b>Σχεδιασμός Κατασκευών Πολύ Μεγάλης Σπουδαιότητας</b>                             | <b>Σχεδιασμός Κατασκευών Μεγάλης Σπουδαιότητας</b>                             | <b>Βασικός Σχεδιασμός</b>                                                      |

Περίοδος Επανάληψης Σεισμού:

$$T_{\overline{w}} = -\frac{dt}{\ln(1-p)}$$

Πιθανότητα Υπέρβασης Σεισμού Σχεδιασμού:

$$p_{\%} = \left[ 1 - \left( 1 - 1/T_{\overline{w}} \right)^{dt} \right] 100$$

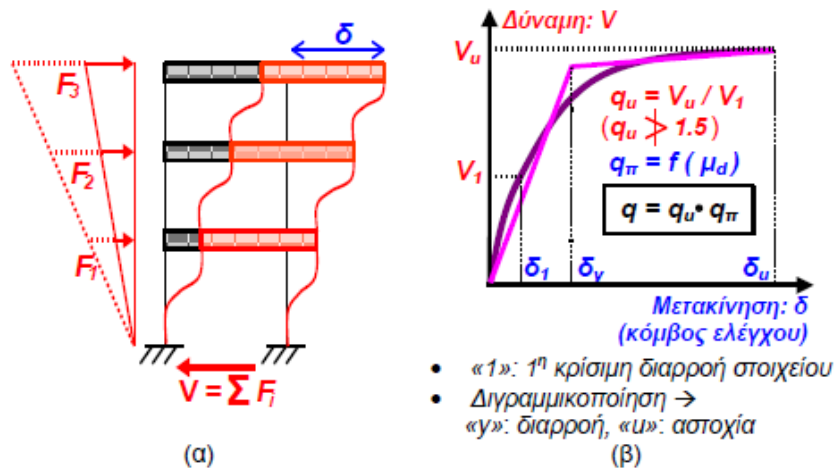
**(A1)** **(B1)** **(Γ1)** **(A2)** **(B2)** **(Γ2)** → Στάθμες Επιτελεστικότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. [6]  
(A2, B2, Γ2: σε ειδικές περιπτώσεις)

| Κατηγορία Σπουδαιότητας Κτιρίων [1] | Πιθανές Αποδεκτές Στάθμες Επιτελεστικότητας* |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| I                                   | A1, A2, B1, B2, Γ1, Γ2                       |
| II                                  | A1, A2, B1, B2, Γ1                           |
| III                                 | A1, A2, B1                                   |
| IV                                  | A1, A2, B1                                   |

Σχήμα 5: Σχεδιασμός κατασκευών με κριτήρια επιτελεστικότητας.

### 3.1.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Από την ανελαστική στατική ανάλυση προκύπτει η καμπύλη αντίστασης κατασκευής, που ονομάζεται και καμπύλη ικανότητας ή καμπύλη Pushover. Σχήμα 6 Η καμπύλη αντίστασης μπορεί να έχει συνεχή ή “πριονωτή” μορφή, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία ανάλυσης. Τονίζεται ότι, για κτίρια με σοφίτες ή μικρούς οικίσκους στο δώμα, ο κόμβος ελέγχου λαμβάνεται στην οροφή του πλήρους υποκειμένου ορόφου. Επίσης σημειώνεται ότι, από την καμπύλη Pushover μπορεί να προσδιοριστεί ή να επαληθευτεί ο ενιαίος δείκτης συμπεριφοράς κατασκευής, που ορίζεται ως το γινόμενο των δεικτών υπεραντοχής και πλαστιμότητας. Η καμπύλη αντίστασης αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους και εκφράζει την ικανότητα που έχει η κατασκευή να αντιστέκεται στην απαίτηση σε μετακίνηση που επιβάλλει η σεισμική δράση (φάσμα σχεδιασμού), έτσι ώστε η συμπεριφορά της να είναι συμβατή με τους στόχους της επιλεγείσας στάθμης επιτελεστικότητας. Η απαίτηση σε μετακίνηση αποτελεί εκτίμηση της μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής απόκρισης της κατασκευής. Η μετακίνηση αυτή ονομάζεται στοχευόμενη μετακίνηση [4].



$q$ : ενιαίος (καθολικός) δείκτης συμπεριφοράς  
 $q_u$ : παράγοντας δείκτη συμπεριφοράς λόγω υπεραντοχής δομήματος  
 $q_\pi$ : παράγοντας δείκτη συμπεριφοράς λόγω πλαστιμότητας δομήματος  
 $\mu_d$ : δείκτης πλαστιμότητας συνολικής οριζόντιας μετάθεσης δομήματος

όπου [6]:

$$q_\pi = 1 + \frac{T_c}{T} (\mu_d - 1), \text{ για } T \leq T_c$$

$$q_\pi = \mu_d, \text{ για } T > T_c$$

και

$$\mu_d = \begin{cases} 1, & \text{για } \delta_t \leq \delta_y \\ \delta_t / \delta_y, & \text{για } \delta_y < \delta_t \leq \delta_u \\ \delta_u / \delta_y, & \text{για } \delta_u < \delta_t \text{ (} \rightarrow \text{ δεν ικανοποιείται ο έλεγχος του δομήματος σε καθολικό επίπεδο)} \end{cases}$$

- $T_c$ : τιμή χαρακτηριστικής περιόδου του τέλους της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης και έναρξης του καπνίου κλάδου του φάσματος επιταχύνσεων
- $T$ : θεμελιώδης ασύζευκτη ιδιοπερίοδος κτιρίου κατά την εξεταζόμενη κύρια διεύθυνσή του
- $\delta_t$ : στοχευόμενη μετακίνηση, π.χ.  $\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 (T_e^2 / 4\pi^2) S_{e(T)}$  [6]

Σχήμα 6: α)Καθ' ύψος κατανομή οριζόντιου σεισμικού φορτίου, β) καμπύλη αντίστασης κατασκευής (καμπύλη Pushover)



### **3.1.3 ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΧΟΡΔΗΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ**

Ως γωνία στροφής χορδής ορίζεται η γωνία που σχηματίζει η εφαπτόμενη στον άξονα του μέλους στο άκρο με τη χορδή που συνδέει τα δύο άκρα στην παραμορφωμένη του κατάσταση. Έτσι, η γωνία στροφής χορδής σε άκρο μέλους μπορεί να προσδιοριστεί ως η γωνιακή παραμόρφωση του μέλους (δηλαδή ο λόγος του σχετικού βέλους δια το μήκος του μέλους) συν ή πλην τη στροφή του κόμβου του άκρου, ανάλογα με το εάν η στροφή και η γωνιακή παραμόρφωση έχουν αντίθετη ή ίδια φορά, αντίστοιχα.

Ως γωνία στροφής πλαστικής άρθρωσης ορίζεται η διαφορά των καμπυλοτήτων της ακραίας διατομής στην αστοχία και στη διαρροή αντίστοιχα, πολλαπλασιασμένη με το μήκος της πλαστικής άρθρωσης (δηλαδή ολοκλήρωμα καμπυλοτήτων), για το οποίο διατίθενται στη συναφή διεθνή βιβλιογραφία πληθώρα σχέσεων προσδιορισμού. Σημειώνεται ότι το μήκος της πλαστικής άρθρωσης είναι πλασματικό και σκοπό έχει να συνδέσει τις καμπυλότητες που υπολογίζονται σε επίπεδο διατομής με τις ανελαστικές παραμορφώσεις οι οποίες αναπτύσσονται σε περιοχή του μέλους (στα άκρα) και όχι σημειακά.

### **3.1.4 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΝΤΑΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER**

Κατά το στάδιο της αποτίμησης διερευνήθηκε η επάρκεια του πενταώροφου πλέον κτιρίου, αρχικά για σεισμική επιτάχυνση  $a=0.24$  και στη συνέχεια για  $a=0.36$ . Για τη σεισμική ζώνη επικινδυνότητας II, τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν αστοχία τοιχώματος για δυο συνδυασμούς σεισμικής φόρτισης σε στάθμη επιτελεστικότητας B, ενώ σε στάθμη επιτελεστικότητας Γ δεν παρατηρήθηκε καμία βλάβη, Σχήμα 7. Κατά το δεύτερο έλεγχο, δηλαδή για σεισμική ζώνη επικινδυνότητας III, προέκυψαν από την ανάλυση βλάβες για τρεις συνδυασμούς σεισμικής φόρτισης σε στάθμη επιτελεστικότητας B τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα και συνδετήρες ενώ παρατηρήθηκαν και σε στάθμη επιτελεστικότητας Γ, βλάβες σε δοκούς και συνδετήρες μόνο, για δυο συνδυασμούς σεισμικών φορτίσεων, Σχήμα 8.

Τα αποτελέσματα αυτά μας οδήγησαν στην εξέταση της προσθήκης ενός ποσοστού μόνο του 25% της τέμνουσας βάσης του κτιρίου, με σκοπό να επιτευχθεί επάρκεια του κτιρίου σε στάθμη επιτελεστικότητας B. Έτσι, διερευνήθηκε η επάρκεια του κτιρίου έπειτα από την προσθήκη του 75% του συνολικού εμβαδού του ορόφου, το οποίο δεν επέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Κατά συνέπεια, ελέγχθηκε η προσθήκη του 50% του συνολικού εμβαδού του ορόφου. Ύστερα από τις ίδιες ανελαστικές αναλύσεις που αναφέρθηκαν και παραπάνω, τα αποτελέσματα που προέκυψαν απέδειξαν την επάρκεια του νέου φέροντος οργανισμού, σε στάθμη επιτελεστικότητας B (σημαντικές βλάβες- προστασία ζωής), σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II και III, Σχήμα 9 και Σχήμα 10 αντίστοιχα.

Ελεγχος

|     | Είδος Ανάλυσης - Κατανομής         | DL |    |    | SD |   |   | NC |   |   | Εκτύπωση |
|-----|------------------------------------|----|----|----|----|---|---|----|---|---|----------|
|     |                                    | Δ  | Κ  | Σ  | Δ  | Κ | Σ | Δ  | Κ | Σ |          |
| 1   | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική   | 9  | 4  | 13 | 0  | 1 | 1 | 0  | 0 | 0 |          |
| 9   | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική  | 14 | 2  | 16 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 17  | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική   | 5  | 11 | 16 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 25  | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική  | 8  | 6  | 14 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 101 | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική  | 8  | 4  | 12 | 0  | 1 | 1 | 0  | 0 | 0 |          |
| 109 | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική | 12 | 3  | 15 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 117 | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική  | 5  | 11 | 16 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 125 | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική | 8  | 5  | 13 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Προεπισκόπηση Ελεγχων

Επιλογή Ανάλυσης για Ελεγχο Ενισχύσεων

Σχήμα 7: Έλεγχος Pushover με προσθήκη ορόφου για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας  $a=0.24$

Ελεγχος

|     | Είδος Ανάλυσης - Κατανομής         | DL |    |    | SD |   |   | NC |   |   | Εκτύπωση |
|-----|------------------------------------|----|----|----|----|---|---|----|---|---|----------|
|     |                                    | Δ  | Κ  | Σ  | Δ  | Κ | Σ | Δ  | Κ | Σ |          |
| 1   | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική   | 11 | 10 | 21 | 0  | 1 | 1 | 0  | 0 | 0 |          |
| 9   | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική  | 17 | 4  | 21 | 2  | 0 | 2 | 2  | 0 | 2 |          |
| 17  | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική   | 4  | 13 | 17 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 25  | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική  | 6  | 7  | 13 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 101 | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική  | 8  | 9  | 17 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 109 | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική | 15 | 4  | 19 | 2  | 0 | 2 | 1  | 0 | 1 |          |
| 117 | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική  | 4  | 14 | 18 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 125 | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική | 0  | 2  | 2  | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος

Προεπισκόπηση Ελεγχων

Επιλογή Ανάλυσης για Ελεγχο Ενισχύσεων

Σχήμα 8: Έλεγχος Pushover με προσθήκη ορόφου για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας  $a=0.36$

| Είδος Ανάλυσης - Κατανομής |                                    | DL |    |    | SD |   |   | NC |   |   | Εκτύπωση |
|----------------------------|------------------------------------|----|----|----|----|---|---|----|---|---|----------|
|                            |                                    | Δ  | Κ  | Σ  | Δ  | Κ | Σ | Δ  | Κ | Σ |          |
| 1                          | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική   | 9  | 4  | 13 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 9                          | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική  | 15 | 2  | 17 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 17                         | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική   | 5  | 13 | 18 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 25                         | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική  | 8  | 4  | 12 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 101                        | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική  | 8  | 4  | 12 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 109                        | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική | 14 | 4  | 18 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 117                        | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική  | 5  | 11 | 16 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 125                        | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική | 9  | 6  | 15 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
|                            |                                    |    |    |    |    |   |   |    |   |   | Ναι      |
|                            |                                    |    |    |    |    |   |   |    |   |   | Ναι      |
|                            |                                    |    |    |    |    |   |   |    |   |   | Ναι      |

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος  
 Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων

Προεπισκόπηση Ελεγχων

Σχήμα 9: Έλεγχος Pushover με προσθήκη 50% του ορόφου για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας  $a = 0.24$

| Είδος Ανάλυσης - Κατανομής |                                    | DL |    |    | SD |   |   | NC |   |   | Εκτύπωση |
|----------------------------|------------------------------------|----|----|----|----|---|---|----|---|---|----------|
|                            |                                    | Δ  | Κ  | Σ  | Δ  | Κ | Σ | Δ  | Κ | Σ |          |
| 1                          | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική   | 9  | 4  | 13 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 9                          | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική  | 15 | 2  | 17 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 17                         | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική   | 5  | 13 | 18 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 25                         | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική  | 8  | 4  | 12 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 101                        | $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική  | 8  | 4  | 12 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 109                        | $-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική | 14 | 4  | 18 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 117                        | $F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική  | 5  | 11 | 16 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
| 125                        | $-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική | 9  | 6  | 15 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 | 0 |          |
|                            |                                    |    |    |    |    |   |   |    |   |   |          |
|                            |                                    |    |    |    |    |   |   |    |   |   |          |
|                            |                                    |    |    |    |    |   |   |    |   |   |          |

Εκτύπωση συγκεντρωτικού πίνακα στο τεύχος  
 Επιλογή Ανάλυσης για Έλεγχο Ενισχύσεων

Προεπισκόπηση Ελεγχων

Σχήμα 10: Έλεγχος Pushover με προσθήκη 50% του ορόφου για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας  $a = 0.36$

### 3.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΕΝΙΑΙΟ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q

Ο ενιαίος δείκτης συμπεριφοράς q, θα εκτιμάται ως το γινόμενο του παράγοντα υπεραντοχής ( $q_v$ ) και του παράγοντα πλαστιμότητας ( $q_\pi$ ), δηλαδή:

$$q = q_v q_\pi$$

Η μεθοδολογία εκτιμήσεως του διαφέρει εάν το υφιστάμενο δόμημα παρουσιάζει βλάβες και φθορές ή όχι, καθώς και εάν έχει σχεδιαστεί με τους σύγχρονους Κανονισμούς.

Για την αποτίμηση ή τον ανασχεδιασμό του φέροντος οργανισμού του κτιρίου λαμβάνονται υπ' όψη, ανάλογα με τη στάθμη επιτελεστικότητας, οι διαφοροποιημένες τιμές  $q^*$  που δίνονται στον παρακάτω πίνακα, με τιμή αναφοράς  $q'$  την τιμή που ισχύει για στάθμη επιτελεστικότητας B, σύμφωνα με τις προβλέψεις και διατάξεις του ΕΑΚ 2000 για νέα κτίρια.

| Στάθμη επιτελεστικότητας             |                    |                         |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Άμεση χρήση μετά το σεισμό (Α)       | Προστασία ζωής (Β) | Αποφυγή κατάρρευσης (Γ) |
| 0,6<br>πάντως δε<br>1,0 < $q' < 1,5$ | 1,0                | 1,4                     |

Πίνακας 1. Τιμές του λόγου  $q^*/q'$  ανάλογως του στόχου επανελέγχου (για το φέροντα οργανισμό)

Πάντως, για τη στάθμη επιτελεστικότητας A, ο τελικός δείκτης συμπεριφοράς έχει τιμές λίγο μεγαλύτερες του 1,0 και οπωσδήποτε μικρότερες του 1,5. Συγχρόνως, οι τιμές του παραπάνω πίνακα, ισχύουν ανεξαρτήτως της πιθανότητας υπερβάσεως για τον σεισμό σχεδιασμού. Όμως, η πιθανότητα υπερβάσεως επηρεάζει άμεσα και το μέγεθος της σεισμικής δράσεως, βλέπε και Παράρτημα 4Γ. Οι τιμές  $q_A/q_B$  και  $q_\Gamma/q_B$  εξαρτώνται και από τη συμπεριφορά του κτιρίου. Έτσι, για ψαθυρά συστήματα ο λόγος  $q^*/q'$  έχει τιμές της τάξεως του 0,8 ή 1,2, για τη στάθμη επιτελεστικότητας A ή Γ, αντιστοίχως, ενώ για πιο πλάστιμα συστήματα ο λόγος  $q^*/q'$  έχει τιμές της τάξεως του 0,4 ή 1,6, για τη στάθμη επιτελεστικότητας A ή Γ, αντιστοίχως.

Κατά την αποτίμηση του κτιρίου, οι τιμές του δείκτη συμπεριφοράς  $q'$  για τη στάθμη επιτελεστικότητας B αναγράφονται στο παρακάτω πίνακα, αναλόγως των βλαβών και των τοιχοπληρώσεων στο σύνολο του κτιρίου [7].

| Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής) | Ευμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων |     | Δυσμενής παρουσία τοιχοπληρώσεων        |     |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----|-----------------------------------------|-----|
|                                                   | Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία   |     | Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία |     |
|                                                   | Όχι                                       | Ναι | Όχι                                     | Ναι |
| 1995 < ...                                        | 3,0                                       | 2,3 | 2,3                                     | 1,7 |
| 1985 < ... < 1995                                 | 2,3                                       | 1,7 | 1,7                                     | 1,3 |
| ... < 1985                                        | 1,7                                       | 1,3 | 1,3                                     | 1,1 |

Πίνακας 2. Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς  $q'$  για στάθμη επιτελεστικότητας B

Οι τιμές του παραπάνω πίνακα πολλαπλασιάζονται επί 2/3 αλλά είναι πάντα μεγαλύτερες του 1,0, όταν πρόκειται για δομήματα στρεπτικώς ευαίσθητα, ή για τα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους (ανεστραμμένα εκκρεμή).

### 3.2.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΝΤΑΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΚΑΘΟΛΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q

Κάνοντας τις απαιτούμενες αναλύσεις τις μεθόδου καθολικού δείκτη συμπεριφοράς (q) για τις δύο ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας II και III, τόσο για το 100% όσο για το 75% και 50% της προσθήκης ορόφου, επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι η παραπάνω μέθοδος ανάλυσης (ελαστική στατική) αποτελεί μια συντηρητική μέθοδο σε σύγκριση με την ανελαστική στατική μέθοδο Pushover, καθώς προέκυψαν αστοχίες τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα, σε στάθμη επιτελεστικότητας Β και Γ και για σεισμική επιτάχυνση  $a=0.24$  και  $a=0.36$ . Χαρακτηριστικό δείγμα των αποτελεσμάτων απεικονίζεται στον πίνακα που ακολουθεί :

| ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ Α ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΟΚΟΥΣ                                      |       |                |                 |      |          | Σελίδα : 1 |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|-----------------|------|----------|------------|
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ (q) |       |                |                 |      |          |            |
| Επίπεδη Επιτελεστικότητα : Γ - NC                                              |       |                |                 |      |          |            |
| Επίπεδη Αξιοπιστίας Δεδομένων : Ικανοποιητική γ <sub>δ</sub> -1.35             |       |                |                 |      |          |            |
| Εκτίμηση Βλαβών : Χωρίς Βλάβες & Χωρίς Επηρεάσεις γ <sub>δ</sub> -1.15         |       |                |                 |      |          |            |
| Μέλος                                                                          | Κόμβ. | M <sub>x</sub> | RM <sub>x</sub> | λ    | ΕΠΑΡΚΕΙΑ |            |
| 55                                                                             | 10    | 25.46          | 72.40           | 0.35 | Ναι      |            |
|                                                                                | 17    | 25.46          | 137.60          | 0.19 | Ναι      |            |
| 56                                                                             | 15    | 7.18           | 137.60          | 0.05 | Ναι      |            |
|                                                                                | 17    | 7.18           | 72.40           | 0.10 | Ναι      |            |
| 57                                                                             | 15    | 35.55          | 72.40           | 0.49 | Ναι      |            |
|                                                                                | 13    | 35.55          | 137.60          | 0.26 | Ναι      |            |
| 58                                                                             | 13    | 31.71          | 137.60          | 0.23 | Ναι      |            |
|                                                                                | 11    | 31.71          | 72.40           | 0.44 | Ναι      |            |
| 59                                                                             | 17    | 16.37          | 72.40           | 0.23 | Ναι      |            |
|                                                                                | 12    | 16.37          | 137.60          | 0.12 | Ναι      |            |
| 60                                                                             | 12    | 8.20           | 137.60          | 0.06 | Ναι      |            |
|                                                                                | 18    | 8.20           | 72.40           | 0.11 | Ναι      |            |
| 61                                                                             | 16    | 11.64          | 72.40           | 0.16 | Ναι      |            |
|                                                                                | 18    | 11.64          | 137.60          | 0.08 | Ναι      |            |
| 62                                                                             | 18    | 15.15          | 137.60          | 0.11 | Ναι      |            |
|                                                                                | 11    | 15.15          | 72.40           | 0.21 | Ναι      |            |
| 63                                                                             | 14    | 70.43          | 137.60          | 0.51 | Ναι      |            |
|                                                                                | 10    | 70.43          | 72.40           | 0.97 | Ναι      |            |
| 64                                                                             | 16    | 12.29          | 72.40           | 0.17 | Ναι      |            |
|                                                                                | 14    | 12.29          | 137.60          | 0.09 | Ναι      |            |
| 65                                                                             | 19    | 62.79          | 72.40           | 0.87 | Ναι      |            |
|                                                                                | 26    | 70.19          | 137.60          | 0.51 | Ναι      |            |
| 66                                                                             | 24    | 166.47         | 137.60          | 1.21 | Οχι      |            |
|                                                                                | 26    | 131.32         | 72.40           | 1.81 | Οχι      |            |
| 67                                                                             | 24    | 133.07         | 106.00          | 1.26 | Οχι      |            |
|                                                                                | 22    | 115.49         | 137.60          | 0.84 | Ναι      |            |
| 68                                                                             | 22    | 84.37          | 137.60          | 0.61 | Ναι      |            |
|                                                                                | 20    | 70.47          | 72.40           | 0.97 | Ναι      |            |
| 69                                                                             | 26    | 96.99          | 72.40           | 1.34 | Οχι      |            |
|                                                                                | 21    | 99.47          | 137.60          | 0.72 | Ναι      |            |
| 70                                                                             | 21    | 96.91          | 137.60          | 0.70 | Ναι      |            |
|                                                                                | 27    | 90.62          | 72.40           | 1.25 | Οχι      |            |
| 71                                                                             | 25    | 142.83         | 106.00          | 1.35 | Οχι      |            |
|                                                                                | 27    | 114.05         | 137.60          | 0.83 | Ναι      |            |
| 72                                                                             | 27    | 70.30          | 137.60          | 0.51 | Ναι      |            |
|                                                                                | 20    | 62.53          | 72.40           | 0.86 | Ναι      |            |
| 73                                                                             | 23    | 112.09         | 137.60          | 0.81 | Ναι      |            |
|                                                                                | 19    | 81.60          | 72.40           | 1.13 | Οχι      |            |
| 74                                                                             | 25    | 167.64         | 106.00          | 1.58 | Οχι      |            |
|                                                                                | 23    | 142.91         | 137.60          | 1.04 | Οχι      |            |
| 75                                                                             | 28    | 76.69          | 72.40           | 1.06 | Οχι      |            |
|                                                                                | 35    | 83.99          | 137.60          | 0.61 | Ναι      |            |
| 76                                                                             | 33    | 206.35         | 137.60          | 1.50 | Οχι      |            |
|                                                                                | 35    | 151.45         | 106.00          | 1.43 | Οχι      |            |
| 77                                                                             | 33    | 156.68         | 106.00          | 1.48 | Οχι      |            |
|                                                                                | 31    | 132.00         | 137.60          | 0.96 | Ναι      |            |
| 78                                                                             | 31    | 96.06          | 137.60          | 0.70 | Ναι      |            |
|                                                                                | 29    | 86.85          | 72.40           | 1.20 | Οχι      |            |
| 79                                                                             | 35    | 111.28         | 106.00          | 1.05 | Οχι      |            |
|                                                                                | 30    | 109.49         | 137.60          | 0.80 | Ναι      |            |
| 80                                                                             | 30    | 106.45         | 137.60          | 0.77 | Ναι      |            |

Πίνακας 3. Αποτελέσματα επάρκειας με βάση τον καθολικό δείκτη συμπεριφοράς (q)



#### 4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η καταλληλότερη ανάλυση για την αποτίμηση ενός υφιστάμενου κτιρίου το οποίο δεν έχει σχεδιασθεί με αντισεισμικό κανονισμό είναι η στατική ανελαστική ανάλυση (Pushover).
- Η μέθοδος ανάλυσης καθολικού δείκτη συμπεριφοράς ( $q$ ) αποτελεί μια συντηρητική μέθοδο ανάλυσης η οποία υιοθετεί την κλασσική γραμμική σχέση έντασης-παραμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής.
- Η προσθήκη ενός ορόφου ή και ποσοστό αυτού, δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα των λόγων επάρκειας όταν αυτό παραμένει στην ίδια σεισμική ζώνη.
- Οι λόγοι επάρκειας όπως αυτοί προκύπτουν από την ανάλυση Pushover, παρουσιάζουν αυξανόμενες τιμές καθώς το κτίριο ελέγχεται σε ζώνες υψηλότερης σεισμικής επιτάχυνσης.
- Στο εξεταζόμενο τετραώροφο κτίριο αποδείχτηκε ότι η προσθήκη ενός ολόκληρου ορόφου δεν προσφέρει επάρκεια σε στάθμη επιτελεστικότητας Β, παρά μόνο σε Γ, για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ, ενώ για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙΙ, παρατηρήθηκε ανεπάρκεια τόσο στη Β όσο και στη Γ στάθμη, σε υποστυλώματα και δοκούς.
- Το εξεταζόμενο κτίριο επαρκεί κατά την προσθήκη του 50% του ορόφου, σε στάθμη επιτελεστικότητας Β για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ και ΙΙΙ.

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]«Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός» ΕΑΚ (2000) Ο.Α.Σ.Π., §2.3

[2]«Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος» ΕΚΩΣ (2000) Ο.Α.Σ.Π., §6.2, §6.4

[3]«Κανονισμός Επεμβάσεων» ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 §2.2.2, §5.7.1

[4]«Ανάλυση Pushover, βοηθητικά κείμενα Scada Pro»

[5]EC8-1, §4.3.3

[6]Αθανασοπούλου Ε.Μ., Μαραμπέας Ι. «Σχεδιασμός Κτιρίου με τον Κανονισμό Σκυροδέματος του 1954, προσθήκη ορόφου κατά ΕΑΚ/ΕΚΩΣ και αποτίμηση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ», 20<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2014''

Πάτρα, Φεβρουάριος 2014

[7] «Καθολικός δείκτης συμπεριφοράς ( $q$ )»

[https://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/251/pol\\_00624.pdf?sequence=1](https://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/251/pol_00624.pdf?sequence=1)

[8] «Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας»,

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/ARTICLES/033/%D7%C1%D1%D4%C7%D3%20%D3%C5%C9%D3%CC%C9%CA%C7%D3%20%C5%D0%C9%CA%C9%CD%C4%D5%CD%CF%D4%C7%D4%C1%D3.htm](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/ARTICLES/033/%D7%C1%D1%D4%C7%D3%20%D3%C5%C9%D3%CC%C9%CA%C7%D3%20%C5%D0%C9%CA%C9%CD%C4%D5%CD%CF%D4%C7%D4%C1%D3.htm)

[9]«Scada Pro Eurocodes»