

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

**ΚΑΤΣΙΒΕΛΑΣ-ΔΗΜΑΚΗΣ ΣΕΡΓΙΟΣ-ΠΑΝΟΣ
ΤΡΟΧΟΥΤΣΟΥ ΝΙΚΗ**

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η σεισμική αποτίμηση υφιστάμενου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο κατασκευάστηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος του '54 και τον Αντισεισμικό Σχεδιασμό του '59 (παλιό κτίριο-προ '85) στην περιοχή των Γαργαλιάνων του Ν. Μεσσηνίας (Ζώνη II). Η αποτίμηση του κτιρίου έγινε με βάση τους σύγχρονους κανονισμούς του ΚΑΝ.ΕΠΕ και του Ευρωκώδικα 8, ακολουθώντας τα βήματα της μη γραμμικής στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover). Στη συνέχεια, εξετάστηκε η περίπτωση ανύψωσης ορόφου με σχεδιασμό και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους ισχύοντες τότε και σήμερα κανονισμούς καθώς και ο έλεγχος επάρκειας του τριώροφου πλέον κτιρίου. Σκοπός της εργασίας είναι να αποδοθεί σε ρεαλιστικό επίπεδο η ικανότητα προσθήκης ορόφου σε υφιστάμενο κτίριο, να ελεγχθεί η επάρκειά του έπειτα από σύγκριση κανονισμών και να προταθούν ενδεχόμενες επεμβάσεις ενίσχυσης. Η εργασία εκπονήθηκε με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Fespa 10R.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ικανότητα των κατασκευών, έναντι σεισμικών δράσεων, δοκιμάζεται συχνά σε μια χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα, όπως είναι η Ελλάδα. Τα αποτελέσματα των τελευταίων σεισμών καταδεικνύουν την απαίτηση για έλεγχο μεγάλου ποσοστού των υφιστάμενων κτιρίων που έχουν μελετηθεί και κατασκευαστεί πριν από την εφαρμογή των πρόσθετων άρθρων του Αντισεισμικού Κανονισμού του '85. Ο έλεγχος αυτός πιθανόν να οδηγήσει σε ανασχεδιασμό και σε επεμβάσεις επισκευής και ενίσχυσης των υφιστάμενων κατασκευών.

Η αποτίμηση και αντισεισμική αναβάθμιση των κατασκευών είναι προφανής, δεδομένου ότι, η λύση της αντικατάστασης του συνόλου των παλαιών κατασκευών με νέα κτίρια, σχεδιασμένα με βάση τις σύγχρονες αντισεισμικές αντιλήψεις, είναι ανέφικτη, λόγω των οικονομικών αλλά και κοινωνικών προβλημάτων που θα ανέκυπταν. Επομένως, ο Πολιτικός Μηχανικός καλείται να αποφασίσει αν υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης μιας υφιστάμενης κατασκευής, ώστε σε πιθανό σεισμό να μην τεθεί σε άμεσο κίνδυνο η ζωή και η περιουσία των χρηστών.

Αναγνωρίζοντας το πρόβλημα αυτό, η επιστημονική κοινότητα άρχισε τον Οκτώβριο του 2000 να εκπονεί ερευνητικό έργο υπό την αιγίδα της Πολιτείας, το οποίο μετουσιώθηκε τον Ιανουάριο του 2003 στο πρώτο σχέδιο (Σχέδιο 0) κειμένου του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Ο Κανονισμός αυτός έχει ως στόχο τη θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων δομημάτων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους (αναφέρεται κυρίως σε κτίρια με φέροντα οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα), καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.

Ο κανονισμός καθορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί η μελέτη και η κατασκευή του έργου της επέμβασης σε υφιστάμενες κατασκευές. Εν τούτοις, κάθε επέμβαση παρουσιάζει συνήθως ιδιαιτερότητες, που δεν μπορούν στο σύνολό τους να προβλεφθούν. Η πρακτική σημασία αυτής της εργασίας έγκειται ακριβώς στο γεγονός της αποτίμησης ενός υφιστάμενου κτιρίου με ανισόσταθμη θεμελίωση, είτε για προληπτικούς λόγους είτε για ενδεχόμενη μελλοντική προσθήκη ορόφου. Για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων με περισσότερο ενδιαφέρον, επιλέχθηκε ένα πραγματικό υφιστάμενο κτίριο μη συμμετρικής κατόψεως, με πρόβλεψη ορόφου, το οποίο είχε κατασκευαστεί με τους Κανονισμούς του '54 και του '59. Αποτιμήθηκε η φέρουσα ικανότητα και η σεισμική απόκρισή του με βάση τις

διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ και προτείνονται ενδεχόμενες ενισχύσεις. Μελετήθηκε επίσης η μεταγενέστερη προσθήκη ορόφου, με σχεδιασμό και διαστασιολόγηση με βάση τους μετέπειτα Κανονισμούς και τροποποιήσεις, ώστε να διαπιστωθεί εάν το τριώροφο, πλέον, κτίριο πληροί τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

2.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Σύμφωνα με την πλήρη μελέτη του υφιστάμενου κτιρίου:

α) Πρόκειται για διώροφη κατοικία, με υπόγειο σε τμήμα της κάτοψης και πρόβλεψη ορόφου.

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).

γ) Οι στατικοί φορείς είναι πλάκες εδραζόμενες σε κοινές δοκούς που μεταφέρουν τα φορτία τους σε στύλους και τοιχεία και τέλος αυτοί σε πέδιλα συνδεδεμένα περιμετρικά και εγκάρσια με συνδετήριες δοκούς. Η ανατολική, η βόρεια και η νότια πλευρά του υπογείου έγιναν με τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος.

δ) Τα φορτία που ελήφθησαν υπ' όψη ήταν:

- κινητά φορτία (κατοικία): 200 kg/m^2
- μόνιμα επιστρώσεως δαπέδων δια μαρμαρίνων πλακών 3cm και κισσηρόδεμα: 200 kg/m^2
- κινητά φορτία εξωστών: 500 kg/m^2
- ίδιο βάρος Beton: $2,4 \text{ tn/m}^3$
- έδαφος θεμελίωσης ημιβραχώδες ασβεστολίθου με $\sigma_{\text{επ}} = 20 \text{ tn/m}^2$
- Περιοχή σεισμικότητας II και επικινδυνότητας εδάφους B με $\varepsilon = 0,08$

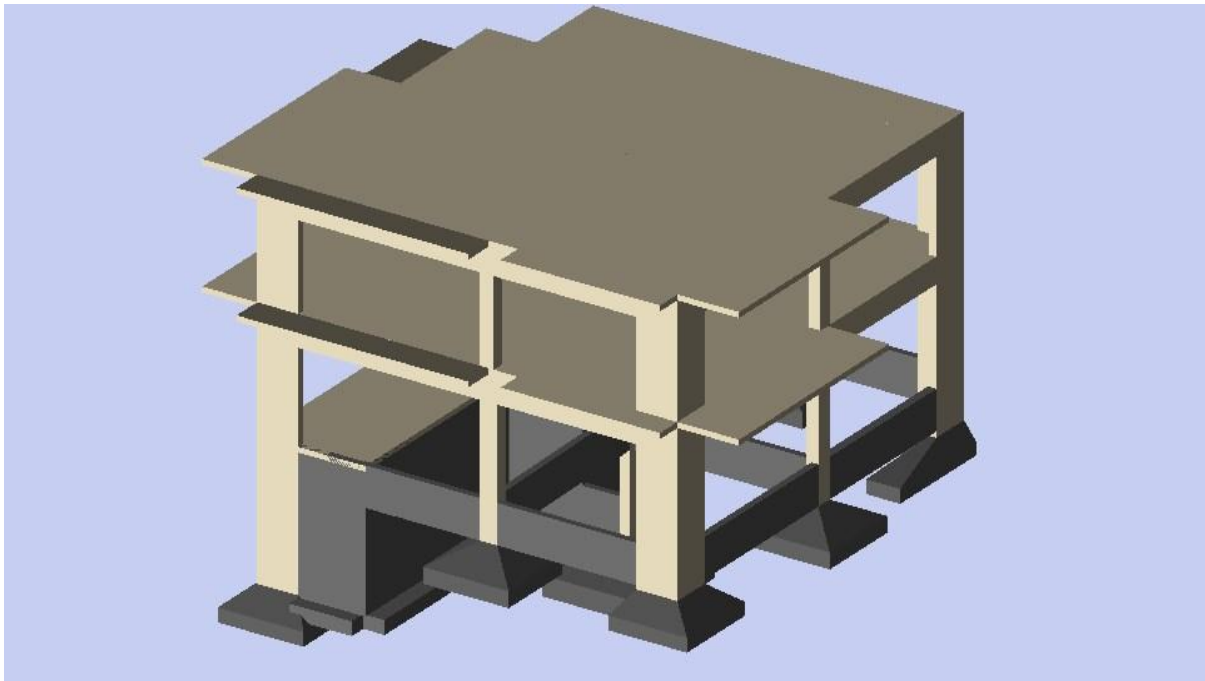
ε) Η επικάλυψη των μελών του κτιρίου είναι ίση με 20mm.

στ) Η θεμελίωση είναι ανισόσταθμη και διαμορφώνεται από συνδετήρια δοκάρια που συνδέουν τα πέδιλα της ανωδομής και από ανεστραμμένες πεδιλοδοκούς κάτω από τα τοιχώματα υπογείου.

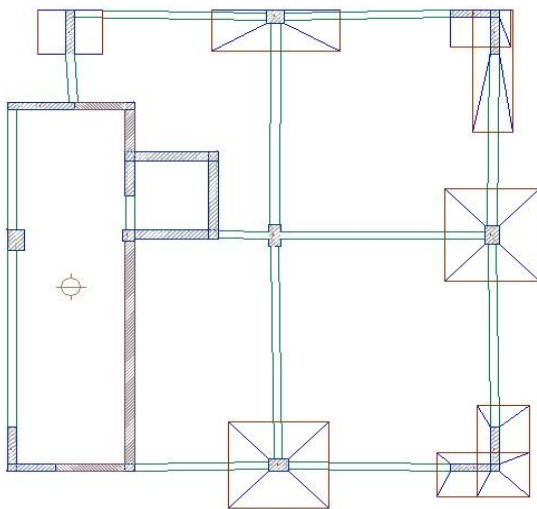
2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Η ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου έγινε με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος FESPA 10R (5.6.0.14) [1]. 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. Η προσομοίωση έγινε με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων δοκού που διαθέτει το πρόγραμμα. Ο άξονας τους ταυτίζεται με τον κεντροβαρικό άξονα δοκών και υποστυλωμάτων. Στο προσομοίωμα συμπεριλαμβάνονται τα δομικά στοιχεία της θεμελίωσης. Η θεμελίωση είναι ανισόσταθμη με τα πέδιλα του υπογείου να έχουν στάθμη στα -2,64m και τα πέδιλα της ανωδομής στα 0m.

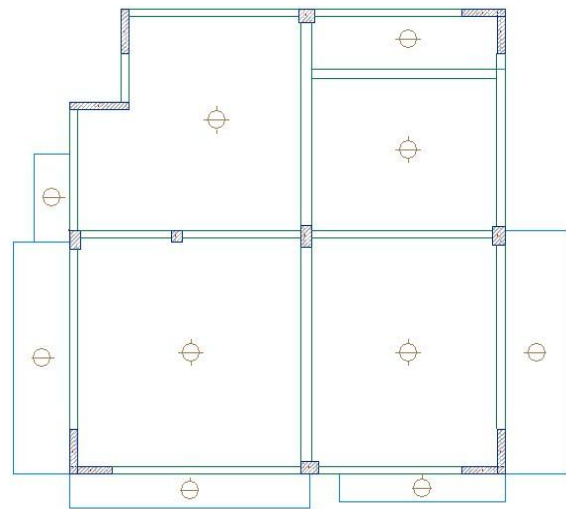
Οι πλάκες θεωρήθηκαν απολύτως απαραμόρφωτες στο επίπεδό τους, κάνοντας χρήση της ενσωματωμένης δυνατότητας του προγράμματος για την προσομοίωση της διαφραγματικής λειτουργίας στις στάθμες των ορόφων. Η μάζα και η μαζική ροπή αδράνειας θεωρήθηκαν συγκεντρωμένες στα κέντρα βάρους (γεωμετρικά κέντρα) των ορόφων (διαφράγματα), με τρεις ελευθερίες κίνησης (δύο μεταφορικές κατά x και y και μία στροφική γύρω από τον άξονα z) [3]. Στα Σχήματα 1, 2, 3 απεικονίζεται η προσομοίωση του υφιστάμενου φέροντος οργανισμού.



Σχήμα 1: Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενου κτιρίου



Σχήμα 2: Κάτοψη Ισογείου-Θεμελίωσης



Σχήμα 3: Κάτοψη ορόφων Ανωδομής

3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PUSHOVER

3.1 ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Με τον όρο "στατική υπερωθητική ανάλυση" αποδίδεται στα ελληνικά ο αγγλικός όρος «static pushover analysis» και σημαίνει τη διενέργεια της υλικώς, (αλλά ενδεχομένως και γεωμετρικώς), μη γραμμικής ανάλυσης για μονότονη και σταδιακά αυξανόμενη στατική φόρτιση (επαυξητική διαδικασία) μέχρι την έλευση της κατάρρευσης του κτιρίου που αναλύεται. Στην αρχική της μορφή, η υπερωθητική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ως μια μέθοδος προσδιορισμού του οριακού φορτίου, στα πλαίσια της οποίας, μετά από την διενέργεια της επαυξητικής διαδικασίας, λαμβανόταν μία καμπύλη εξωτερικών φορτίων-μετακινήσεων (υπερωθητική καμπύλη). Προκειμένου να γίνει κατανοητό το βασικό

υπόβαθρο επί του οποίου στηρίζεται ο υπολογισμός στα πλαίσια της υπερωθητικής ανάλυσης, θα πρέπει να γίνει μια αρχική αναφορά στις θεμελιώδεις έννοιές της. Οι έννοιες αυτές είναι, κυρίως, η απαίτηση και η ικανότητα, αλλά και επιπροσθέτως η συμπεριφορά. Η συμπεριφορά της κατασκευής εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο η ικανότητα μπορεί να ικανοποιεί ή όχι την απαίτηση. Θα πρέπει, δηλαδή, 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. Επιπλέον, η διερεύνηση του «μεγέθους» της απαίτησης σε σχέση με το «μέγεθος» της ικανότητας παρέχει πληροφορία για την αναμενόμενη συμπεριφορά της υπάρχουσας κατασκευής με δεδομένη σχεδίαση φέροντος οργανισμού γενικότερα και δομικών στοιχείων ειδικότερα.

Η υπερωθητική ανάλυση, ως μια απλοποιημένη ανελαστική μέθοδος που στηρίζεται στον έλεγχο των μετακινήσεων, απαιτεί τον προσδιορισμό τριών βασικών παραμέτρων, δηλαδή της ικανότητας, της απαίτησης σε μετακίνηση και της συμπεριφοράς.

(α) Ικανότητα: Η ικανότητα της κατασκευής προκύπτει από την ικανότητα των επιμέρους δομικών στοιχείων που την αποτελούν. Ο προσδιορισμός της ικανότητας της κατασκευής, σε συνθήκες στις οποίες διάφορες περιοχές των δομικών στοιχείων της έχουν εισέλθει στην ανελαστική περιοχή συμπεριφοράς, απαιτεί τη γνώση της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων πέρα από το όριο διαρροής. Επομένως, βασικό δεδομένο της υπερωθητικής ανάλυσης είναι η εισαγωγή στο υπολογιστικό προσομοίωμα των ανελαστικών χαρακτηριστικών των διατομών των δομικών στοιχείων (π.χ. διαγράμματα M-κ, διαγράμματα αλληλεπίδρασης ροπών-αξονικών δυνάμεων). Η περιγραφή της μεθόδου με την οποία επιτυγχάνεται προσδιορισμός της ικανότητας, στα πλαίσια της υπερωθητικής ανάλυσης, εκφράζεται μέσω της σχεδίασης της υπερωθητικής καμπύλης (ή καμπύλης ικανότητας). Η υπερωθητική καμπύλη είναι η γραφική παράσταση της σχέσης που συνδέει την τέμνουσα βάσης μιας κατασκευής με την μετακίνηση σε ένα προκαθορισμένο σημείο, κατά κανόνα στην κορυφή της. Αυτονόητο είναι ότι η επιλεγθείσα μετακίνηση θα πρέπει να έχει την ίδια διεύθυνση με την διεύθυνση εισαγωγής των σεισμικών φορτίων, όπως επίσης και ότι η τέμνουσα βάσης συντίθεται από τις δυνάμεις των κατακόρυφων στοιχείων της κατασκευής στη βάση της κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση εισαγωγής των σεισμικών φορτίων.

(β) Απαίτηση: Είναι γνωστό ότι, κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης, η κίνηση του εδάφους προκαλεί σύνθετες μετακινήσεις στην ανωδομή των κατασκευών, οι οποίες είναι μεταβαλλόμενες με το χρόνο. Για την παρακολούθηση της μεταβολής των μετακινήσεων αυτών απαιτείται προσομοίωση των δράσεων που επιβάλλει η σεισμική διέγερση. Στα πλαίσια της υπερωθητικής ανάλυσης, για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα σύνολο πλευρικών μετακινήσεων. Έτσι, για μια δεδομένη κατασκευή, αλλά και για μια δεδομένη σεισμική διέγερση, η απαίτηση σε μετακίνηση αποτελεί εκτίμηση της μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής απόκρισης της κατασκευής. Αυτή η εκτιμώμενη απαίτηση σε μετακίνηση εκφράζεται μέσω του υπολογισμού της μετακίνησης-στόχου του σημείου που έχει επιλεγεί για τον σχεδιασμό της καμπύλης ικανότητας.

(γ) Συμπεριφορά: Έχοντας ήδη καθορίσει την ικανότητα (με βάση τη σχεδίαση της υπερωθητικής καμπύλης) και την απαίτηση (μέσω του υπολογισμού της μετακίνησης-στόχου), το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος της συμπεριφοράς της κατασκευής. Με τον έλεγχο αυτόν επιχειρείται η εξασφάλιση, ότι τα φέροντα, αλλά και τα μη φέροντα στοιχεία, δεν έχουν υποστεί βλάβες, πέρα από τα επιτρεπτά όρια για το δεδομένο επίπεδο συμπεριφοράς (στάθμη επιτελεστικότητας), για το οποίο έγινε η αποτίμηση της κατασκευής, θεωρώντας πάντα ότι η κατασκευή υποβάλλεται σε μετακινήσεις που αντιστοιχούν στην απαίτηση που τέθηκε για τη μετακίνηση.

3.2 ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ-ΧΟΡΔΗΣ

Όσον αφορά στις καμπτικές παραμορφώσεις μελών οπλισμένου σκυροδέματος, η καμπυλότητα χάνει το φυσικό της νόημα μετά τη ρηγματώση. Αυτό οφείλεται στη διακριτή φύση της ρηγματώσης, αλλά και στο γεγονός πως ο λυγισμός των ράβδων και η θλιπτική αστοχία του απερίσφιγχτου ή του περισφιγμένου σκυροδέματος συμβαίνουν σε ένα μικρό μήκος του μέλους. Επιπλέον, είναι σκόπιμο, στις τιμές της παραμόρφωσης που χρησιμοποιούνται, να λαμβάνεται υπόψη η συνύπαρξη καμπτικών και διατμητικών παραμορφώσεων, αλλά και φαινόμενα όπως η εξόλκευση ράβδων οπλισμού [4].

Για τους προαναφερθέντες λόγους, τα μεγέθη τα οποία συνήθως επιλέγονται για τον προσδιορισμό της αντοχής είναι η ροπή κάμψης M και η γωνία στροφής χορδής θ . Ως γωνία στροφής 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. Η γωνία στροφής χορδής είναι η στροφή στο άκρο του μέλους όταν εξαλειφθούν οι κινήσεις στερεού σώματος. Η γραφική επεξήγηση της γωνίας στροφής χορδής διακρίνεται απλοποιητικά στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο μέλους

3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ α_u/α_1

Ένας από τους στόχους της ανάλυσης Pushover είναι η τεκμηρίωση της ύπαρξης επαρκούς πλαστιμότητας στο κτίριο (λόγος α_u/α_1).

Ως α_1 ορίζεται η τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να φτάσει κάποιο μέλος της κατασκευής στην καμπτική του αντοχή ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές (εμφάνιση της πρώτης πλαστικής άρθρωσης στον φέροντα οργανισμό)

Ως α_u ορίζεται η τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να δημιουργηθεί επαρκής αριθμός πλαστικών αρθρώσεων στο κτίριο για την αστάθεια του τελευταίου, ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές. Η τιμή α_u προσδιορίζεται μέσω της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης.

3.4 ΕΠΙΡΡΟΕΣ 2ης ΤΑΞΕΩΣ

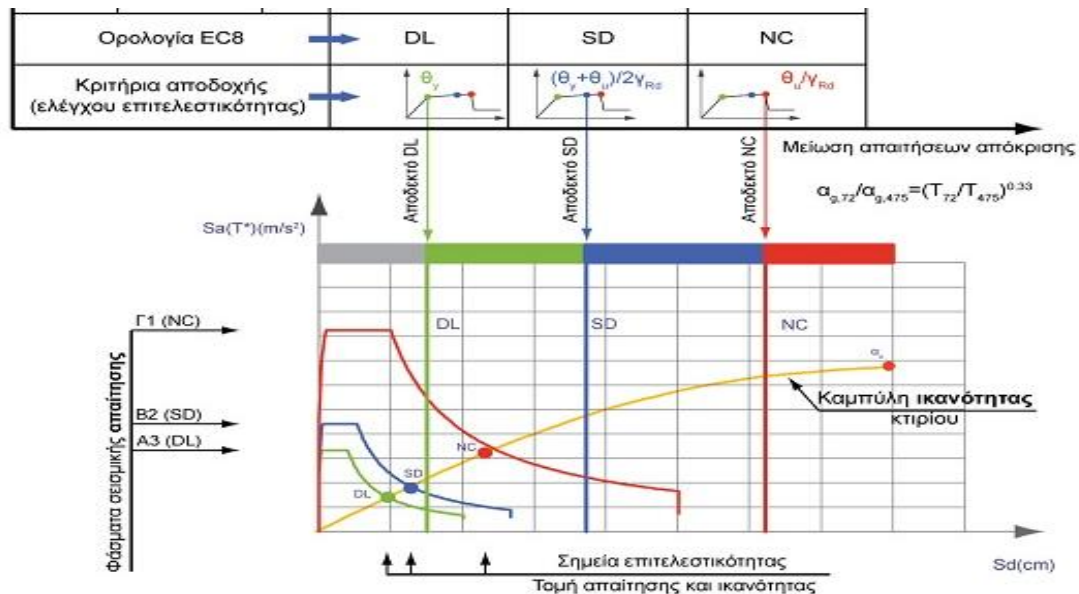
Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (§5.4.7), στην στατική ανελαστική ανάλυση πρέπει να συνεκτιμώνται οι στατικές επιρροές 2ης τάξεως, διότι στην οροφή του δομήματος η μετακίνηση δ μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές, συνεπώς οι επιρροές αυτές να οδηγήσουν στην επιβολή επιπρόσθετων ροπών, επιταχύνοντας την εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων στο φορέα. Συνεκτιμώνται στην ανάλυση ενσωματώνοντας στο προσομοίωμα την μη γραμμική σχέση έντασης-παραμόρφωσης όλων των στοιχείων που φέρουν αξονικά φορτία.

3.5 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΑΙΤΗΣΗΣ-ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Ως στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται η ελάχιστη στάθμη αντοχής (δηλαδή το αποδεκτό όριο βλαβών) που θα πρέπει να έχει η κατασκευή με βάση την επιλογή του Κυρίου του Έργου. Ο καθορισμός του στόχου σχεδιασμού εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφάλειας και κόστους, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Η κάθε

στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται με βάση την οριακή γωνία στροφής χορδής όπως αυτή ερμηνεύτηκε παραπάνω (KAN.ΕΠΕ § 2.2.2):

- **Περιορισμού Βλαβών (Damage Limitation - DL):** Η οριακή κατάσταση περιορισμού των βλαβών (ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Α-άμεση χρήση μετά τον σεισμό). Σε αυτή τη στάθμη, ο φέρων οργανισμός 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. Η γωνία στροφής χορδής κάθε μέλους δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή διαρροής.
- **Σημαντικών Βλαβών (Severe Damage - SD):** Σε αυτή τη στάθμη (ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Β-Προστασία Ζωής) επιτρέπεται η εμφάνιση εκτεταμένων βλαβών στην κατασκευή αλλά χωρίς να διατρέχει κίνδυνο η σωματική ακεραιότητα των ατόμων. Ο φέρων οργανισμός έχει υποστεί σημαντικές κι εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν την εναπομείνουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν οριζόντια φορτία. Η γωνία στροφής χορδής δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το $0,75\theta_u$ (το 0,75 δηλαδή της γωνίας αστοχίας).
- **Οιονεί κατάρρευση (Near Collapse - NC):** Σε αυτή τη στάθμη (ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Γ-Αποφυγή Οιονεί Κατάρρευσης) ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες οι οποίες μπορεί να θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή. Ο φέρων οργανισμός πλέον δεν διαθέτει ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι μερικής ή ολικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης. Η γωνία στροφής χορδής δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή αστοχίας.



Σχήμα 5: Διάγραμμα απαίτησης ικανότητας και στάθμες επιτελεστικότητας για δεδομένη κατασκευή στο Fespa.

Στο Σχήμα 5, παρουσιάζεται η καμπύλη αντίστασης για μία συγκεκριμένη κατασκευή καθώς και τα ελαστικά σεισμικά φάσματα απαίτησης για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Με τις χρωματιστές κουκκίδες πάνω στην καμπύλη σημειώνονται οι στοχευόμενες μετακινήσεις και με κατακόρυφες χρωματιστές γραμμές, οι αντίστοιχες ικανότητες μετακίνησης κατασκευής για κάθε στάθμη. Για να χαρακτηριστεί μια κατασκευή ότι επαρκεί στις απαιτήσεις αποτίμησης, θα πρέπει οι τρεις έγχρωμες γραμμές να βρίσκονται δεξιά των αντίστοιχων στοχευόμενων μετακινήσεων.

3.6 ΛΟΓΟΙ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ λ

Οι λόγοι επάρκειας λ (απαίτηση/ικανότητα) υποδεικνύουν εάν και κατά πόσο ένα μέλος του φέροντος οργανισμού έχει ξεπεράσει την οριακή τιμή γωνίας στροφής χορδής θ ($\lambda = \theta / \theta_{lim}$) ή τέμνουσας δύναμης ($\lambda = V / V_R$) που αντιστοιχούν σε κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Για τις στάθμες DL, SD και NC και για μετατόπιση ίση με την αντίστοιχη στοχευόμενη, υπολογίζονται οι λόγοι λ_θ , ενώ μόνο για τη στάθμη NC υπολογίζεται και ο λόγος λ_v . Για $\lambda \leq 1$, το κριτήριο επάρκειας θεωρείται ότι ικανοποιείται, ενώ αντίθετα το κτίριο δεν επαρκεί για την αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας. [5].

4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ 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. Σε αυτή την, ακαδημαϊκού χαρακτήρα, εργασία δεν κρίθηκε σκόπιμος ο έλεγχος των προϋποθέσεων εφαρμογής της μεθόδου, και συγκεκριμένα του κριτηρίου επιρροής των ανωτέρων ιδιομορφών.

Ως στόχος σχεδιασμού υιοθετήθηκε ο στόχος που αντιστοιχεί στη στάθμη επιτελεστικότητας "Σημαντικές βλάβες" για σεισμική δράση $\alpha = 0,24g$ (Σεισμική Ζώνη Γαργαλιάνων II) με πιθανότητα υπέρβασης στο συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών 50% με μέση περίοδο επαναφοράς 475 έτη.

Το επίπεδο γνώσης για την εξεταζόμενη κατασκευή αντιστοιχεί στο 1ο επίπεδο "Υψηλή" καθώς ήταν διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα δεδομένα (πλήρης γνώση γεωμετρίας της ανωδομής και της θεμελίωσης, των παχών και βαρών των επιστρώσεων, τοιχοπληρώσεων, επενδύσεων κτλ και της διάταξης των λεπτομερειών όπλισης) από το σχέδιο της αρχικής μελέτης, η οποία έχει αποδεδειγμένα εφαρμοστεί χωρίς τροποποιήσεις. (ΚΑΝ.ΕΠΕ § 3.6, Πίνακας 3.2)

Το προσομοίωμα του κτιρίου φορτίστηκε με οριζόντια φορτία, τα οποία ακολουθούν την ομοιόμορφη και την ιδιομορφική κατανομή. Για την ανελαστική ανάλυση ελήφθησαν υπόψη οι επιρροές 2ας τάξεως. Ως στάθμη αναφοράς ρυθμίστηκε η στάθμη της οροφής υπογείου στο +0,49m.

Ως μέθοδο επίλυσης για την αποτίμηση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των μετατοπίσεων.

Διαμορφώθηκαν οι καμπύλες αντίστασης του κτιρίου για κάθε κατανομή και για κάθε διεύθυνση και φορά φόρτισης (με συντελεστή συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης 0% και χωρίς τυχηματική εκκεντρότητα), μετατράπηκαν σε καμπύλες του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και έπειτα από διγραμμικοποίηση των φασμάτων αντίστασης υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του Ευρωκώδικα 8 η στοχευόμενη μετακίνηση.

4.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Τα αριθμητικά αποτελέσματα της αποτίμησης με βάση τη μη γραμμική στατική ανελαστική ανάλυση συνοψίζονται στους Πίνακες 4.2.1 και 4.2.2.

Παρατηρήθηκαν γενικά τα ακόλουθα:

- Η κατασκευή επαρκεί πλήρως στην εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητας SD, καθώς η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής είναι σε όλες τις φορτίσεις μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στοχευόμενη.
- Γενικά η ιδιομορφική φόρτιση δίνει συντηρητικότερα αποτελέσματα έναντι της ομοιόμορφης.

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover					
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Κατανομής Φόρτισης της Ανάλυσης	Στάθμη Ελέγχου SD		Επάρκεια
			d ₁ (cm)*	d (cm)**	
1	0°	ομοιόμορφη	4,09	8,59	NAI
2	90°	ομοιόμορφη	4,20	7,62	NAI
3	180°	ομοιόμορφη	4,20	10,13	NAI
4	270°	ομοιόμορφη	4,26	5,52	NAI
5	0°	ιδιομορφική	3,84	7,73	NAI
6	90°	ιδιομορφική	3,83	6,86	NAI
7	180°	ιδιομορφική	3,93	9,16	NAI
8	270°	ιδιομορφική	3,89	4,65	NAI

Πίνακας 4.2.1 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το υφιστάμενο κτίριο

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover				
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Φορτίο στο Σημείο α ₁ (kN)	Φορτίο στο Σημείο α _u (kN)	Λόγος Υπεραντοχής
1	0°	492,20	1719,03	3,49
2	90°	450,22	1561,94	3,47
3	180°	698,24	1882,59	2,70
4	270°	545,51	1928,38	3,54
5	0°	403,75	1581,69	3,92
6	90°	411,85	1474,66	3,58
7	180°	588,21	1762,39	3,00
8	270°	498,97	1832,55	3,67

Πίνακας 4.2.2 Φορτίο διαρροής και αστοχίας και λόγος υπεραντοχής (α_u/α₁)

- Η πρώτη πλαστική άρθρωση της κατασκευής (σημείο α₁) 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 του πρώτου ορόφου και στη συνέχεια τα τοιχεία. Παρότι ο Αντισεισμικός Κανονισμός του '59 δεν προέβλεπε Ικανοτικό Σχεδιασμό [6], στην παρούσα υφιστάμενη κατασκευή εμφανίζεται ο επιθυμητός τρόπος αστοχίας.
- Η δυσμενέστερη κατεύθυνση φόρτισης ήταν οι 270°, που πιθανώς οφείλεται στη μη συμμετρική κάτοψη της κατασκευής και στην κάτοψη του υπογείου, το οποίο καταλαμβάνει το μισό περίπου τμήμα της κάτοψης ορόφου.
- Οι λόγοι στατικής επάρκειας των μελών κρίθηκε σκόπιμο να μην παρουσιαστούν καθώς προέκυψαν μικρότεροι της μονάδας.
- Παρατηρήθηκε ότι ακόμη και μετά τη διαρροή ορισμένων στοιχείων του φέροντος οργανισμού, η κατασκευή παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας καθώς το κτίριο εξακολουθεί να απέχει αρκετά από το σημείο κατάρρευσης.

5. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΩ ΟΡΟΦΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΤΕΠΕΙΤΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Δεδομένου ότι το υφιστάμενο κτίριο βρέθηκε να επαρκεί όσον αφορά τη στάθμη επιτελεστικότητας SD, καθώς είχε διαστασιολογηθεί με πρόβλεψη ορόφου, επιδιώχθηκε να ερευνηθεί η ανύψωση του ορόφου και αυτή να πραγματοποιηθεί και να διαστασιολογηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα τρία σενάρια:

- Σενάριο I: Σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1985
- Σενάριο II: κατά ΕΚΩΣ/ΕΑΚ2000
- Σενάριο III: Κατά EC2/EC8

με σκοπό να διερευνηθεί αν ένα υφιστάμενο διώροφο κτίριο μπορεί να αντέξει έναν επιπλέον όροφο με βάση τους Κανονισμούς της κάθε περιόδου και σε περίπτωση ανεπάρκειας να δειχθούν τα δομικά μέλη ανεπάρκειας και πιθανοί τρόποι ενίσχυσής τους.

Τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης του επιπλέον ορόφου βασίστηκαν αποκλειστικά στην παραγωγή οπλισμών που έδωσε το υπολογιστικό πρόγραμμα FESPA 10R, εισάγοντας κάθε φορά τους απαραίτητους συντελεστές που ίσχυαν κάθε φορά για τον εκάστοτε ισχύοντα Κανονισμό. Δεδομένου ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι αξιόπιστα, πραγματοποιήθηκε αποτίμηση με pushover με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω και ελέγχθηκε η σεισμική τους απόκριση και η φέρουσα ικανότητα..

5.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για κάθε σενάριο προσθήκης ορόφου, εξήχθησαν οι Πίνακες 5.1 έως 5.6, στους οποίους παρουσιάζονται οι στοχευόμενες μετακινήσεις ανάλογα με τους Κανονισμούς διαστασιολόγησης.

➤ Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος του '54 και Αντισεισμικός Κανονισμός του '85 [7]

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover Σεναρίου I					
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Κατανομής Φόρτισης της Ανάλυσης	Στάθμη Ελέγχου SD		Επάρκεια
			d ₁ (cm)*	d (cm)**	
1	0°	ομοιόμορφη	5,58	10,98	ΝΑΙ
2	90°	ομοιόμορφη	5,50	8,47	ΝΑΙ
3	180°	ομοιόμορφη	5,49	13,32	ΝΑΙ
4	270°	ομοιόμορφη	5,57	7,19	ΝΑΙ
5	0°	ιδιομορφική	4,84	9,13	ΝΑΙ
6	90°	ιδιομορφική	4,92	7,03	ΝΑΙ
7	180°	ιδιομορφική	4,98	11,11	ΝΑΙ
8	270°	ιδιομορφική	4,98	5,82	ΝΑΙ

Πίνακας 5.1 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το σενάριο I.

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover Σεναρίου I				
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Φορτίο Στο Σημείο α_1 (kN)	Φορτίο Στο Σημείο α_u (kN)	Λόγος Υπεραντοχής
1	0°	460,91	1835,40	3,98
2	90°	330,23	1554,48	4,26
3	180°	279,03	2022,63	4,74
4	270°	572,09	1900,70	5,06
5	0°	396,80	1688,66	7,25
6	90°	292,49	1480,59	7,76
7	180°	240,39	1866,32	3,32
8	270°	506,82	1769,70	3,49

Πίνακας 5.2 Φορτίο διαρροής και λόγος υπεραντοχής (α_u/α_1) για το σενάριο I.

► Κανονισμοί ΕΑΚ/ΕΚΩΣ [9]

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover Σεναρίου II					
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Κατανομής Φόρτισης της Ανάλυσης	Στάθμη Ελέγχου SD		Επάρκεια
			d_1 (cm)*	d (cm)**	
1	0°	ομοιόμορφη	5,58	11,25	ΝΑΙ
2	90°	ομοιόμορφη	5,50	7,93	ΝΑΙ
3	180°	ομοιόμορφη	5,49	13,32	ΝΑΙ
4	270°	ομοιόμορφη	5,57	7,50	ΝΑΙ
5	0°	ιδιομορφική	4,84	9,34	ΝΑΙ
6	90°	ιδιομορφική	4,89	6,56	ΝΑΙ
7	180°	ιδιομορφική	4,97	11,10	ΝΑΙ
8	270°	ιδιομορφική	4,94	5,99	ΝΑΙ

Πίνακας 5.3 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το σενάριο II.

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover Σεναρίου II				
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Φορτίο Στο Σημείο α_1 (kN)	Φορτίο Στο Σημείο α_u (kN)	Λόγος Υπεραντοχής
1	0°	457,52	1822,60	3,98
2	90°	326,60	1568,78	4,80
3	180°	277,10	2032,90	7,34
4	270°	564,87	1896,84	3,36
5	0°	354,40	1687,43	4,74
6	90°	286,73	1479,61	5,16
7	180°	238,48	1870,79	7,84
8	270°	537,37	1774,85	3,30

Πίνακας 5.4 Φορτίο διαρροής και λόγος υπεραντοχής (α_u/α_1) για το σενάριο II.

➤ Κανονισμοί EC2/EC8

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover Σεναρίου III					
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Κατανομής Φόρτισης της Ανάλυσης	Στάθμη Ελέγχου SD		Επάρκεια
			d ₁ (cm)*	d (cm)**	
1	0°	ομοιόμορφη	5,58	11,25	NAI
2	90°	ομοιόμορφη	5,50	9,23	NAI
3	180°	ομοιόμορφη	5,49	13,59	NAI
4	270°	ομοιόμορφη	5,57	7,46	NAI
5	0°	ιδιομορφική	5,02	9,50	NAI
6	90°	ιδιομορφική	5,09	7,81	NAI
7	180°	ιδιομορφική	5,15	11,26	NAI
8	270°	ιδιομορφική	5,15	6,19	NAI

Πίνακας 5.5 Στοχευόμενη Μετακίνηση και Έλεγχος Επάρκειας για το σενάριο III.

Δεδομένα Αναλύσεων Pushover Σεναρίου III				
Ανάλυση	Διεύθυνση Φόρτισης	Φορτίο Στο Σημείο α ₁ (kN)	Φορτίο Στο Σημείο α _u (kN)	Λόγος Υπεραντοχής
1	0°	402,64	1800,28	4,47
2	90°	318,23	1568,01	4,93
3	180°	225,23	2006,50	8,91
4	270°	551,97	1894,20	3,43
5	0°	342,74	1663,68	4,85
6	90°	278,89	1471,46	5,28
7	180°	192,47	1837,64	9,55
8	270°	524,08	1778,52	3,4

Πίνακας 5.6 Φορτίο διαρροής και λόγος υπεραντοχής (α_u/α₁) για το σενάριο III.

5.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΡΙΩΡΟΦΟΥ

Με την εκπόνηση της παρούσας μελέτης, μπορούν να εξαχθούν με ασφάλεια τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Και στα δύο σενάρια που εξετάστηκαν προέκυψε επάρκεια της κατασκευής στην εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητας.
- Ακόμη κι όταν παρατηρήθηκε αστοχία μελών του υφιστάμενου κτιρίου, ο τρίτος όροφος δεν είχε εμφανίσει πρώτη πλαστική άρθρωση.
- Ενώ το υφιστάμενο κτίριο είχε διαστασιολογηθεί με πρόβλεψη άνω ορόφου με τους ισχύοντες τότε Κανονισμούς, ενδεχόμενη ανύψωση ορόφου μεταγενέστερα και διαστασιολόγησή του με οποιονδήποτε Κανονισμό δεν θα προκαλούσε πρόβλημα στην επάρκεια του συνόλου της κατασκευής.
- Η ύπαρξη καλής διάταξης (συμμετρικής) των τοιχείων με επαρκή οπλισμό συνεισέφερε στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων και στην αύξηση δυσκαμψίας της τριώροφης κατασκευής.
- Για εφαρμογή διατάξεων νεότερων Κανονισμών, παρατηρήθηκε μείωση του φορτίου στην εμφάνιση πρώτης πλαστικής άρθρωσης και αύξηση του φορτίου στη στάθμη αστοχίας

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] LH logismiki, manual.
- [2] EC8-1
- [3] Λιβιεράτος Σ., Χαραμιδόπουλος Δ., "Ο Υπολογισμός των Χωρικών Κατασκευών και τα Μυστικά ενός Προγράμματος", Αθήνα 2010
- [4] Lh logismiki, "Pushover Θεωρητικά Στοιχεία", Αθήνα 2010
- [5] Αθανασοπούλου Ε., Μαραμπέας Γ., "Σχεδιασμός Κτιρίου με τον Κανονισμό Σκυροδέματος του 1954, προσθήκη ορόφου κατά ΕΑΚ/ΕΚΩΣ και αποτίμηση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ", 20ο Φοιτητικό Συνέδριο Επισκευές κι Ενισχύσεις Κατασκευών, Πάτρα, Φεβρουάριος 2014.
- [6] Φ.Ε.Κ. 28/02/1959, Τεύχος Α, Φύλλο 36, "Περί αντισεισμικού Κανονισμού οικοδομικών έργων"
- [7] Φ.Ε.Κ. 26/07/1954, Τεύχος Α, Φύλλο 160, "Περί Κανονισμών διά την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ ωπλισμένου σκυροδέματος"
- [8] www.oasp.gr/userfiles/file/Mokos.pdf
- [9] "Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός" ΕΑΚ (2000) Ο.Α.Σ.Π.