

# Επισκευή και Ενίσχυση Σεισμόπληκτου Κτηρίου από Οπλισμένο Σκυρόδεμα στην Κεφαλονιά μετά τους Σεισμούς του 2014

## Repair and Retrofit of an Earthquake Stricken Reinforced Concrete Building in Cephalonia after the 2014 Earthquake Sequence

Κωνσταντίνος ΣΠΥΡΑΚΟΣ<sup>1</sup>, Δημήτριος ΚΟΚΚΙΝΑΚΟΣ<sup>2</sup>

*Λέξεις κλειδιά: Σεισμόπληκτο Κτήριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Επισκευή Σεισμικών Βλαβών, Επεμβάσεις Ενίσχυσης, Σεισμική Αναβάθμιση, Ανελαστική Στατική Ανάλυση, Σεισμική Διακινδύνευση, Μεθοδολογία Hazus.*

*Keywords: Earthquake Stricken Reinforced Concrete Building, Repair of Earthquake Damage, Retrofit Interventions, Seismic Upgrading, Nonlinear Static Analysis, Seismic Risk, Hazus Methodology.*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα σχετικά με την αποτίμηση της κατάστασης τριώροφου σεισμόπληκτου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Κεφαλονιά μετά τους σεισμούς του 2014. Επίσης, παρουσιάζονται οι απαιτούμενες επεμβάσεις αποκατάστασης των βλαβών, σεισμικής αναβάθμισής του, καθώς και η εκτίμηση της σεισμικής του διακινδύνευσης (μεθοδολογία Hazus). Πραγματοποιήθηκαν γραμμικές και μη γραμμικές (pushover) αναλύσεις βασισμένες σε δεδομένα που συλλέχθηκαν από επί τόπου μετρήσεις. Η ανάλυση ανέδειξε την ανάγκη για εκτεταμένες επεμβάσεις ώστε η κατασκευή να αναβαθμιστεί στα επίπεδα των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών.

**ABSTRACT:** This paper presents the results regarding the assessment of a three-story reinforced concrete building in Cephalonia, damaged after the 2014 earthquake sequence. Also, it presents the required interventions for repair, seismic upgrading, as well as seismic risk assessment (Hazus methodology). Both linear and nonlinear (pushover) analysis have been conducted based on data selected through in situ measurements. The analysis has revealed the need for extensive

---

<sup>1</sup> Καθηγητής, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Δ/ντης Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: csprakos@gmail.com

<sup>2</sup> Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc. Ε.Μ.Π.

strengthening measures to seismic upgrade the structure in order to fulfill current seismic provisions.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το σεισμόπληκτο κτήριο αποτελεί τριώροφη κατασκευή με εμβαδόν κάτοψης  $530\text{m}^2$ . Το σχήμα της κάτοψής του είναι μορφής Γ με φέροντα οργανισμό από τοιχώματα, υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το έδαφος θεμελίωσης είναι κατηγορίας Β.

### Ενόργανες Μετρήσεις

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών των φερόντων στοιχείων πραγματοποιήθηκαν άμεσες και έμμεσες ενόργανες μετρήσεις. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται ενδεικτικές φωτογραφίες για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με χρήση κρουσίμετρου και υπέρηχου, ενώ για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών του χαλύβδινου οπλισμού, καθώς και του πλήθους και των θέσεων των ράβδων του, πραγματοποιήθηκαν αποκαλύψεις και εφαρμόστηκε μαγνητική μέθοδος.



Σχήμα 1. Ενόργανες μετρήσεις.

Προέκυψε ότι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι  $12\text{MPa}$ . Από τους ελέγχους του χάλυβα οπλισμού προέκυψε ότι οι διαμήκεις οπλισμοί αποτελούνται από ράβδους με νευρώσεις με αντοχή διαρροής  $400\text{MPa}$ , ενώ οι εγκάρσιοι οπλισμοί από λείες ράβδους με αντοχή διαρροής  $220\text{MPa}$ .

## Βλάβες λόγω Σεισμών Κεφαλονιάς 2014

Το κτήριο υπέστη σοβαρές βλάβες λόγω της σεισμικής ακολουθίας που έλαβε χώρα στην Κεφαλονιά το 2014, με αποτέλεσμα να προκύψει μεγάλη απώλεια της φέρουσας ικανότητάς του. Οι βλάβες εμφανίστηκαν κυρίως σε κατακόρυφα στοιχεία της στάθμης του ισόγειου λόγω αφενός μεν της απουσίας τοιχοπληρώσεων στο ισόγειο και της ύπαρξης τοιχοπληρώσεων στους ανώτερους ορόφους (μηχανισμός μαλακού ορόφου). Ο μηχανισμός μαλακού ορόφου εντοπίζεται κυρίως στην πρόσοψη της κατασκευής λόγω της πλήρους απουσίας τοιχοπληρώσεων σε αντίθεση με το οπίσθιο τμήμα όπου υπάρχουν τοιχοπληρώσεις. Στο Σχήμα 2(α) παρουσιάζεται ο μηχανισμός μαλακού ορόφου. Επίσης, εμφανίστηκαν βλάβες τόσο σε κάμψη όσο και σε διάτμηση σε μεγάλο αριθμό υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων του ισόγειου. Στο Σχήμα 2(β), (γ) παρουσιάζονται ενδεικτικές βλάβες.



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 2.** (α) Μηχανισμός μαλακού ορόφου στην πρόσοψη. (β), (γ) Βλάβες σε κατακόρυφα στοιχεία.

### Αποτελέσματα Αναλύσεων Υφιστάμενης Κατασκευής

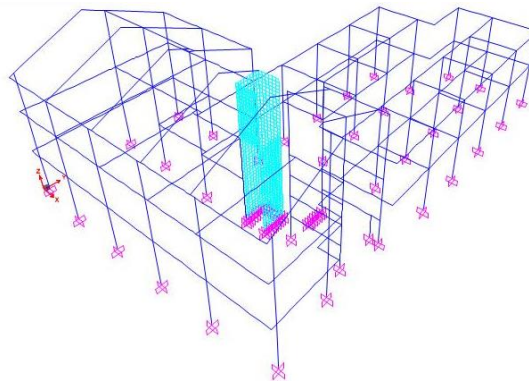
Για την αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής δημιουργήθηκε κατάλληλο τρισδιάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων (Σχήμα 3) (Spyrakos, 1995), (Spyrakos, 1997). Δεν πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες αναλύσεις λόγω του μεγάλου αριθμού των βλαβών που παρουσιάστηκαν από τη σεισμική ακολουθία με δεδομένο ότι κρίθηκε απαραίτητη η εκτεταμένη ενίσχυση της κατασκευής για τη σεισμική αναβάθμισή της. Πραγματοποιήθηκε ελαστική δυναμική ανάλυση με στόχο τον υπολογισμό των δεικτών ανεπάρκειας “λ” των κατακόρυφων στοιχείων της υφιστάμενης κατασκευής.

Η ανάλυση του υφιστάμενου κτηρίου πραγματοποιήθηκε για το φάσμα επιταχύνσεων για γραμμικές μεθόδους ανάλυσης, όπως προσδιορίζεται στο (Υ.Α.Σ., 2014), σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$0 \leq T \leq 1.2 \text{sec}: S_d(T) = a^* \quad (1)$$

$$T > 1.2 \text{sec}: S_d(T) = a^* \cdot \left(\frac{1.2}{T}\right)^k \quad (2)$$

όπου:  $k = 2/3$



Σχήμα 3. Τρισδιάστατο προσομοίωμα υφιστάμενης κατασκευής.

### ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Στόχος των προτεινόμενων επεμβάσεων δεν είναι αποκλειστικά η αποκατάσταση των βλαβών και η ικανοποίηση των κριτηρίων του (Υ.Α.Σ., 2014), αλλά και η

βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτηρίου συνολικά, καθώς και η σεισμική αναβάθμισή του στα επίπεδα του σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού (EN 1998, 2014). Οι προτεινόμενες επεμβάσεις είναι: (i) Αποκατάσταση ίσης διατομής σε όσα στοιχεία παρουσιάζουν σοβαρές ή βαριές βλάβες (Σχήμα 4(α), (β)). (ii) Δημιουργία αντισεισμικού αρμού μεταξύ του εμπρόσθιου τμήματος (Α) και του οπίσθιου τμήματος (Β). Τα δύο τμήματα (Α και Β), καθώς και η θέση του αρμού παρουσιάζονται στο Σχήμα 4(γ).

Οι επεμβάσεις του τμήματος Α περιλαμβάνουν: (i) Ενίσχυση της θεμελίωσης με κατασκευή περιμετρικής πεδιλοδοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχήμα 4(δ)). (ii) Κατασκευή επτά νέων τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα περιμετρικά της κατασκευής (Σχήμα 4(δ)). (iii) Ενίσχυση περιμετρικής δοκού οροφής ισογείου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. (iv) Ενίσχυση πλακών οροφής ισογείου με πρόσθετη στρώση οπλισμένου σκυροδέματος στην κάτω παρειά τους (Σχήμα 4(ε)). (v) Ενίσχυση όλων των υποστυλωμάτων του ισογείου, καθώς και ενός σημαντικού αριθμού υποστυλωμάτων του Α και του Β ορόφου με μανδύα σύνθετων υλικών.

Οι επεμβάσεις του τμήματος Β περιλαμβάνουν: (i) Κατασκευή νέων υποστυλωμάτων, με τις αντίστοιχες επεκτάσεις στα υφιστάμενα θεμέλια καθώς και τριών νέων δοκών στην περιοχή δημιουργίας του αντισεισμικού αρμού. (ii) Ενίσχυση υποστυλωμάτων του ισογείου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. (iii) Ενίσχυση υποστυλωμάτων του ισογείου και του Α ορόφου με μανδύα σύνθετων υλικών. (iv) Ενίσχυση δοκών της οροφής ισογείου με μανδύα σύνθετων υλικών. (v) Ανακατασκευή τοιχοπληρώσεων κατάλληλων ώστε να μπορούν να συμβάλουν στην ανάληψη σεισμικών φορτίων.



(α)



(β)



(γ)





(δ)

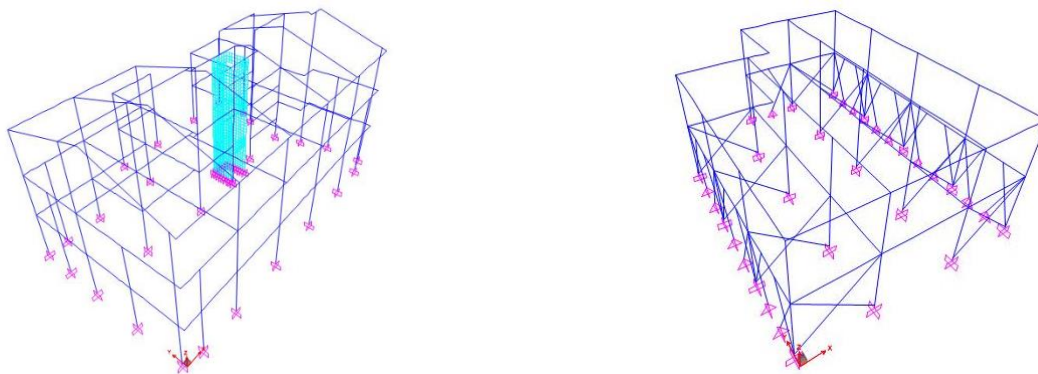


(ε)

**Σχήμα 4.** (α), (β) Αποκατάσταση ίσης διατομής. (γ) Αντισεισμικός αρμός – Τμήματα Α και Β. (δ) Κατασκευή περιμετρικής πεδιλοδοκού – Κατασκευή νέου τοιχώματος. (ε) Ενίσχυση πλακών οροφής ισογείου.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την ανάλυση των ενισχυμένων τμημάτων Α και Β της κατασκευής δημιουργήθηκε κατάλληλο τρισδιάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων (Σχήμα 5) (Spyrakos, 1995), (Spyrakos, 1997).



**Σχήμα 5.** Τρισδιάστατο προσομοίωμα ενισχυμένων τμημάτων Α και Β.

### Βελτίωση Σεισμικής Συμπεριφοράς

Η δημιουργία του αντισεισμικού αρμού μεταξύ των τμημάτων Α και Β έχει ως στόχο τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής. Η επίτευξη

αυτού του στόχου προκύπτει από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης της υφιστάμενης κατασκευής πριν και μετά τη δημιουργία του αρμού.

Πριν τη δημιουργία του αρμού η πρώτη ιδιομορφή, με ιδιοπερίοδο  $T_1=0.381\text{sec}$ , είναι καθαρά στροφική περί τον κατακόρυφο άξονα, ενώ η δεύτερη και τρίτη ιδιομορφή, με ιδιοπεριόδους  $T_2=0.328\text{sec}$  και  $T_3=0.312\text{sec}$  είναι μεταφορικές κατά X και Y αντίστοιχα σε συνδυασμό με στροφή περί τον κατακόρυφο άξονα.

Μετά τη δημιουργία του αρμού για το τμήμα A η πρώτη ιδιομορφή, με ιδιοπερίοδο  $T_1=0.380\text{sec}$ , είναι μεταφορική κατά X και Y, η δεύτερη, με ιδιοπερίοδο  $T_2=0.320\text{sec}$ , είναι μεταφορική κατά Y, η τρίτη, με ιδιοπερίοδο  $T_3=0.312\text{sec}$ , είναι στροφική περί τον κατακόρυφο άξονα και η τέταρτη, με ιδιοπερίοδο  $T_4=0.283\text{sec}$ , είναι μεταφορική κατά X. Για το τμήμα B η πρώτη ιδιομορφή, με ιδιοπερίοδο  $T_1=0.483\text{sec}$ , είναι μεταφορική κατά X, η δεύτερη με ιδιοπερίοδο  $T_2=0.323\text{sec}$ , είναι στροφική περί τον κατακόρυφο άξονα και η τρίτη, με ιδιοπερίοδο  $T_3=0.278\text{sec}$ , είναι μεταφορική κατά Y.

Η βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής μετά τη δημιουργία του αντισεισμικού αρμού είναι εμφανής, καθώς δεν επικρατεί πλέον η στροφική ιδιομορφή.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ελαστική δυναμική ανάλυση, καταγράφηκαν οι δείκτες ανεπάρκειας “λ” των κατακόρυφων στοιχείων των δύο τμημάτων (A και B) της υφιστάμενης κατασκευής και συγκρίθηκαν με αυτούς που είχαν προκύψει πριν τη δημιουργία του αρμού. Το αποτέλεσμα είναι ότι πριν τη δημιουργία του αρμού αστοχούσαν 6 υποστυλώματα σε κάμψη και 48 σε διάτμηση, ενώ μετά τη δημιουργία του αρμού δεν αστοχεί κανένα υποστύλωμα σε κάμψη και αστοχούν 24 σε διάτμηση. Συνεπώς, προκύπτει βελτίωση στην επάρκεια της κατασκευής για τα ίδια σεισμικά φορτία.

### **Σεισμική Αναβάθμιση Κατασκευής**

Μετά την ενίσχυση των δύο στατικά ανεξάρτητων τμημάτων της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τον έλεγχο της επάρκειάς τους με βάση τις απαιτήσεις του σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού (EN 1998, 2014). Πραγματοποιήθηκαν δύο αναλύσεις: (1) ελαστική δυναμική ανάλυση και (2) ανελαστική στατική ανάλυση.

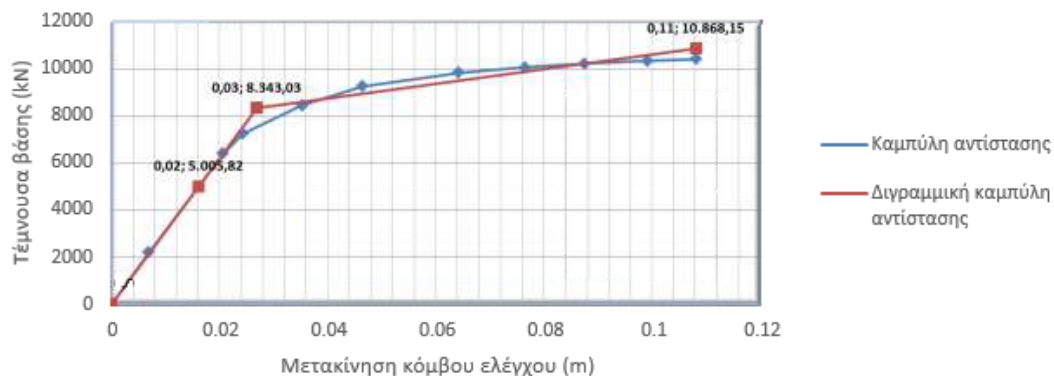
Αρχικά πραγματοποιήθηκε ελαστική δυναμική ανάλυση με το φάσμα σχεδιασμού όπως ορίζεται στον Ευρωκώδικα 8-1 (EN 1998, 2014) για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III και συντελεστή συμπεριφοράς  $q = 1.5$ . Μετά την εφαρμογή

των προτεινόμενων επεμβάσεων πραγματοποιήθηκε έλεγχος επάρκειας του ενισχυμένου φορέα από όπου προέκυψε ότι επαρκεί.

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση με το ελαστικό φάσμα όπως ορίζεται στον Ευρωκώδικα 8-1 (EN 1998, 2014) για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III.

Πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση για δύο διαφορετικές κατανομές φορτίων καθ' ύψος (Ο.Α.Σ.Π., 2017): (i) Ιδιομορφική κατανομή ανάλογη προς οριζόντια φορτία συμβατά προς την κατανομή οριζόντιων φορτίων στην υπό εξέταση διεύθυνση, όπως προκύπτει από ελαστική ανάλυση. (ii) Ομοιόμορφη κατανομή βασισμένη σε οριζόντια φορτία ανάλογα ως προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξάρτητα από τη στάθμη του (ομοιόμορφη επιτάχυνση απόκρισης). Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται ενδεικτική καμπύλη αντίστασης όπως προέκυψε για το ενισχυμένο τμήμα Β της κατασκευής.

Η στοχευόμενη μετακίνηση προκύπτει 4.2cm για τη διεύθυνση X, δηλαδή εντός των ορίων της στάθμης επιτελεστικότητας σημαντικών βλαβών (SD). Συνεπώς, το τμήμα Β επαρκεί για τις απαιτήσεις του σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού (EN 1998, 2014). Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και για τα δύο τμήματα της κατασκευής και για όλους τους συνδυασμούς δράσεων. Συνεπώς, η ενισχυμένη κατασκευή επαρκεί για τις απαιτήσεις του σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού (EN 1998, 2014).



Σχήμα 6. Καμπύλη αντίστασης τμήματος Β – Διεύθυνση X.



## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ HAZUS)

Η μεθοδολογία HAZUS (FEMA, 2003) αποτελεί μέθοδο εκτίμησης των βλαβών που αντιστοιχούν σε μια κατασκευή λόγω ενός σεισμικού γεγονότος. Η μεθοδολογία HAZUS βασίζεται σε δύο βασικές παραμέτρους, την καμπύλη ικανότητας (capacity curve), η οποία προκύπτει από ανελαστική στατική ανάλυση και περιγράφει τη μη γραμμική συμπεριφορά του κτηρίου και τις καμπύλες τρωτότητας (fragility curves), οι οποίες περιγράφουν την πιθανότητα να προκύψει ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλαβών στο κτήριο. Η μεθοδολογία υποθέτει πως οι βλάβες σε ένα κτήριο κλιμακώνονται σε τέσσερα επίπεδα: (i) Μικρές βλάβες (Slight structural damage). (ii) Μέτριες βλάβες (Moderate structural damage). (iii) Εκτεταμένες βλάβες (Extensive structural damage). (iv) Πλήρης κατάρρευση (Complete structural damage). Οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζουν τα όρια μεταξύ των επιπέδων βλάβης. Συγκεκριμένα, οι καμπύλες τρωτότητας περιγράφουν την πιθανότητα να συμβεί ή να ξεπεραστεί κάθε επίπεδο βλαβών. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα καμπυλών τρωτότητας. Οι περιοχές με σκιαγράμμιση μεταξύ των καμπυλών αντιστοιχούν στην πιθανότητα να συμβεί αντίστοιχο επίπεδο βλαβών.



Σχήμα 7. Παράδειγμα καμπυλών τρωτότητας για τα τέσσερα επίπεδα βλαβών.

Για να εφαρμοστεί η μεθοδολογία HAZUS απαιτείται πρώτα η πραγματοποίηση ανελαστικής στατικής ανάλυσης μέχρι το επίπεδο όπου τουλάχιστον το 50% των πλαστικών αρθρώσεων της κατασκευής έχουν αναπτύξει παραμόρφωση αστοχίας. Σε αυτό το σημείο θεωρείται ότι η κατασκευή αναπτύσσει το επίπεδο

επιτελεστικότητας “Πλήρης κατάρρευση”. Στη συνέχεια προσδιορίζονται και οι ενδιάμεσες στάθμες βλαβών. Η στάθμη “Μικρών βλαβών” καθορίζεται όταν τουλάχιστον μία πλαστική άρθρωση φτάσει στην αστοχία, η στάθμη “Μέτριων βλαβών” όταν το 5% των στοιχείων φτάσουν στην αστοχία και η στάθμη “Εκτεταμένων βλαβών” όταν το 25% των στοιχείων φτάσουν στην αστοχία. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα κριτήρια της μεθοδολογίας HAZUS για τον ορισμό των σταθμών επιτελεστικότητας.

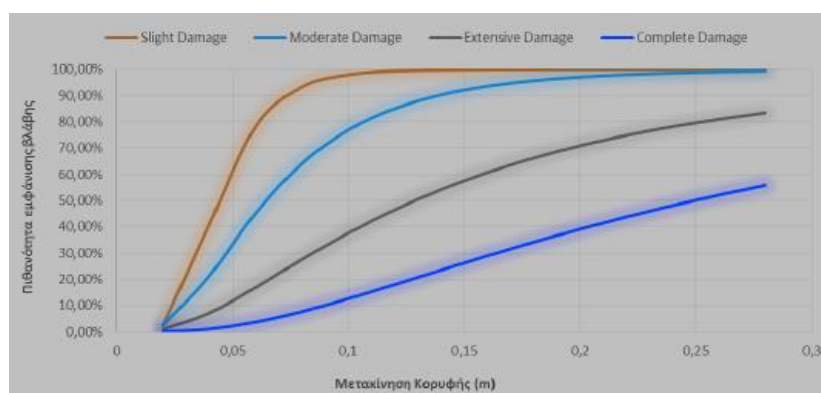
**Πίνακας 1.** Κριτήρια μεθοδολογίας HAZUS για τον ορισμό των επιπέδων βλαβών.

Επίπεδο Βλαβών	Κριτήριο Αστοχίας (No. 1)			Κριτήριο Αστοχίας (No. 2)		
	Ποσοστό	Όριο	Συντελεστής	Ποσοστό	Όριο	Συντελεστής
Μικρές	> 0%	C	1.0	≥ 50%	B	1.0
Μέτριες	≥ 5%	C	1.0	≥ 50%	B	1.5
Εκτεταμένες	≥ 25%	C	1.0	≥ 50%	B	4.5
Πλήρης Κατάρρευση	≥ 50%	E	1.0 - 1.5	≥ 50%	B	12

### Εκτίμηση Σεισμικής Διακινδύνευσης Ενισχυμένων Κτηρίων

Ακολούθως προσδιορίζονται οι καμπύλες τρωτότητας του ενισχυμένου κτηρίου και πραγματοποιείται εκτίμηση των αναμενόμενων βλαβών με βάση της απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8-1 (EN 1998, 2014).

Οι καμπύλες τρωτότητας του τμήματος Α κατά τη διεύθυνση Χ και οι πιθανότητες εμφάνισης κάθε επιπέδου βλαβών των τμημάτων Α και Β κατά τη διεύθυνση Χ, με δεδομένη τη στοχευόμενη μετακίνηση παρουσιάζονται στο Σχήμα 8 και τον Πίνακα 2, αντίστοιχα.



**Σχήμα 8.** Καμπύλες τρωτότητας ενισχυμένου τμήματος Α – Διεύθυνση Χ.

**Πίνακας 2.** Πιθανότητες εμφάνισης για κάθε επίπεδο βλαβών ενισχυμένου τμήματος Α.

Ενισχυμένο Κτήριο – Διεύθυνση Χ	Τμήμα Α	Τμήμα Β
Μικρές βλάβες	69.4%	70.0%
Πιθανότητα Μέτριες βλάβες	38.1%	15.4%
Εμφάνισης Εκτεταμένες βλάβες	13.7%	1.39%
Πλήρης κατάρρευση	2.74%	0.95%

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σεισμική ακολουθία της Κεφαλονιάς του 2014 προκάλεσε σημαντικές βλάβες κυρίως σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα που είχαν κατασκευαστεί πριν το 1985 καθώς και σε κατασκευές από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία.

Παρουσιάστηκε ένα παράδειγμα ενός κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο υπέστη πολλές σοβαρές και βαριές βλάβες από τους σεισμούς. Στο κτήριο αυτό, αρχικά, πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση των βλαβών. Στη συνέχεια, για τη βελτίωση της σεισμικής του συμπεριφοράς, δημιουργήθηκε αντισεισμικός αρμός ο οποίος διαχώρισε την ενιαία κατασκευή σε δύο στατικά ανεξάρτητες με σημαντικά καλύτερη σεισμική συμπεριφορά για κάθε στατικά ανεξάρτητο τμήμα. Ακολούθως, εφαρμόστηκαν επεμβάσεις για τη σεισμική αναβάθμισή του στα επίπεδα του σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού (EN 1998, 2014).

Για την επαλήθευση της επάρκειας αυτών των επεμβάσεων πραγματοποιήθηκαν ελαστικές και ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης, μέσω των οποίων διερευνήθηκε η σεισμική συμπεριφορά και η επάρκεια των δύο ενισχυμένων κτηρίων.

Εφαρμόστηκε η μεθοδολογία HAZUS (FEMA, 2003) για την εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των ενισχυμένων κατασκευών σε ενδεχόμενους σεισμούς, με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8-1 (EN 1998, 2014).

Τέλος, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι για τις κατασκευές που έχουν μελετηθεί με παλαιότερους αντισεισμικούς κανονισμούς, ή/και δεν έχουν μελετηθεί με αντισεισμικό κανονισμό, πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος επάρκειας και να εφαρμοστούν οι ενδεχομένως απαιτούμενες επεμβάσεις για τη σεισμική αναβάθμισή τους στα ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα, σύμφωνα με τον (Ο.Α.Σ.Π., 2017).

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### *Βιβλία*

Spyrakos C.C., “Finite Element Modelling in Engineering Practice”, Pittsburgh, PA, USA, Algor Publishing Division, (1995).

Spyrakos C.C., Raftoyiannis J., “Linear and Nonlinear Finite Element Analysis”, Pittsburgh, PA, USA, Algor Publishing Division, (1997).

Σπυράκος Κωνσταντίνος, “Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία”, Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα, (2004).

Federal Emergency Management Agency. *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model, Hazus - MH MRI, advanced engineering building module*. Mitigation Division, Washington, D.C.: Department of Homeland Security Preparedness and Response Directorate FEMA, (2003).

### *Πρότυπα (Standards)*

Υ.Α.Σ. “Καθορισμός ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων για τη σύνταξη μελετών αποκατάστασης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό και την έκδοση των σχετικών αδειών επισκευής.”, ΦΕΚ 455B (25.02.2014).

ΕΛΟΤ EN 1998, ΦΕΚ 1457B (05/07/2014).

Ο.Α.Σ.Π., “Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)”, ΦΕΚ 2984B (30/08/2017).