

## Αξιολόγηση Μεθόδων Δευτεροβάθμιου Ελέγχου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.

Στυλιανός Ι. Παρδαλόπουλος<sup>1</sup>, Βασίλειος Α. Λεκίδης<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προϋπόθεση για τη μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης της Ελλάδας αποτελεί ο έλεγχος της σεισμικής επάρκειας του συνόλου του κτιριακού αποθέματός της, ώστε να καταστεί δυνατή η επιλεκτική ενίσχυση των κτιρίων με υψηλή τρωτότητα. Στην εργασία παρουσιάζεται η αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία των εξαγόμενων αποτελεσμάτων και ως προς την ευκολία εφαρμογής δύο πρόσφατων μεθοδολογιών δευτεροβάθμιας αποτίμησης σεισμικής επάρκειας κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίες αναπτύχθηκαν με στόχο την ταχεία αξιολόγηση της σεισμικής ικανότητας των κτιριακών κατασκευών με βάση απλούς υπολογισμούς που θα χρησιμοποιούν ως δεδομένα βασικά γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτιρίου. Η αξιολόγηση των δύο μεθοδολογιών πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογή τους σε μη-κανονικό και ιδιαίτερα πολύπλοκο κτίριο εννέα ορόφων του συγκροτήματος του Πανεπιστημίου Μακεδονία, το οποίο κατασκευάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 σύμφωνα με κανονισμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην πλειοψηφία των υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. της χώρας και σήμερα κρίνονται ανεπαρκείς. Ο έλεγχος γίνεται στο πλαίσιο του προγράμματος HELLENIC OBSERVING SYSTEM (HELPOS).

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο έλεγχος της σεισμικής επάρκειας των υφιστάμενων κτιρίων έναντι σεισμικής καταπόνησης μεσαίας και μεγάλης έντασης αποτελεί επιτακτική κοινωνική ανάγκη σε όλες τις χώρες που υποφέρουν από υψηλή σεισμικότητα. Η Ελλάδα αντιμετωπίζει σημαντικό πρόβλημα στη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου του κτιριακού της αποθέματος, από το οποίο το 75% αποτελείται από παλιά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο.Σ.), που χτίστηκαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Αυτά τα κτίρια σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας κανονισμούς παλιότερης εποχής (Β.Δ. 1954 [1] και Β.Δ. 1959 [2]), που δεν προέβλεπαν τον ικανοτικό σχεδιασμό δομικών στοιχείων και υιοθετούσαν επίπεδα σεισμικού κινδύνου χαμηλότερα από τα σημερινά. Παρά το γεγονός ότι τα κτίρια Ο.Σ. που σχεδιάστηκαν με τους παλαιούς κανονισμούς διαθέτουν σημαντικά αποθέματα αντοχής, η ικανότητά τους να ανταπεξέλθουν σε ισχυρές σεισμικές δονήσεις είναι σαφώς υποδεέστερη αυτής των σύγχρονων κατασκευών, ενώ

<sup>1</sup> Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Μονάδα έρευνας ΙΤΣΑΚ του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας, stylpard@itsak.gr

<sup>2</sup> Διευθυντής Ερευνών, Μονάδα έρευνας ΙΤΣΑΚ του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας, lekidis@itsak.gr

σε πολλά από τα υφιστάμενα κτίρια η σεισμική ικανότητα υποβαθμίζεται ακόμη περισσότερο λόγω της έκθεσής τους σε περιβαλλοντικές επιδράσεις και διαβρωτικούς παράγοντες. Οι ισχυροί σεισμοί που σημειώθηκαν στο παρελθόν σε διαφορετικές περιοχές σε όλη την Ελλάδα (Καλαμάτα 1986, Κοζάνη & Γρεβενά 1995, Αίγιο 1995, Αθήνα 1999, Λευκάδα 2003 & 2015, Δυτική Πελοπόννησος 2008, Κεφαλονιά 2014, Ήπειρος 2016, Ζάκυνθος 2018) ανέδειξαν την αυξημένη σεισμική τρωτότητα πολλών υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ.

Η εργασία παρουσιάζει την πιλοτική εφαρμογή δύο μεθόδων δευτεροβάθμιας αποτίμησης σεισμικής επάρκειας κτιρίων Ο.Σ., της *Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.* [3 - 5] και της *Μεθόδου Προσδιορισμού του Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ.* [6]. Και οι δύο μεθοδολογίες αναπτύχθηκαν με στόχο τον ταχύ προσδιορισμό της σεισμικής ικανότητας υφιστάμενων κτιρίων και τον εντοπισμό των δυνητικά επικίνδυνων περιπτώσεων μέσω της εκτίμησης των μορφών αστοχίας που αναμένεται να εκδηλωθούν στην περίπτωση του σεισμού σχεδιασμού, τόσο σε επίπεδο μεμονωμένων δομικών στοιχείων, όσο και συνολικά σε ολόκληρη την κατασκευή. Η πιλοτική εφαρμογή αφορά την σύγκριση της ακρίβειας-αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων και της ευχρηστίας των δύο μεθόδων ως προς τον έλεγχο σεισμικής επάρκειας τμήματος του κτιριακού συγκροτήματος του Πανεπιστημίου Μακεδονία, η οποία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος Hellenic Observing System (HELPOS).

## 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ Ο.Σ.

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται συνοπτική παρουσίαση των δύο μεθόδων δευτεροβάθμιου ελέγχου σεισμικής επάρκειας, των οποίων η ακρίβεια των αποτελεσμάτων και η ευκολία στην χρήση τους εξετάζονται μέσω της πιλοτικής τους εφαρμογής στην αποτίμηση σεισμικής επάρκειας του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία. Αναλυτική περιγραφή των δύο μεθόδων μπορεί να αναζητηθεί στις δημοσιεύσεις [3 – 6].

### 2.1 Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.

Η *Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.* [3 - 5] αναπτύχθηκε με στόχο τη διευκόλυνση των Μηχανικών της πράξης στο έργο της γρήγορης αποτίμησης της σεισμικής επάρκειας υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. και ιδιαίτερα αυτών που έχουν κατασκευαστεί με παλαιούς κανονισμούς [1, 2], ή έχουν κατασκευαστεί αυθαίρετα, χωρίς κάποια μελέτη.

Η μέθοδος είναι μια διαδικασία τριών βημάτων, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Στο πρώτο βήμα προσδιορίζεται το σχήμα παραμόρφωσης,  $\Psi_i$ , που το εξεταζόμενο κτίριο Ο.Σ. αποκτά τη στιγμή του σεισμού την οποία σημειώνεται η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση της κορυφής του σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψής του ( $i = X$  ή  $Y$ ) και στη συνέχεια βάσει του  $\Psi_i$  προσδιορίζεται ο κρίσιμος όροφος του εξεταζόμενου κτιρίου, στον οποίο εντοπίζεται η μεγαλύτερη σχετική στροφή ως προς την κατακόρυφο σε κάθε μια από τις κύριες διευθύνσεις της κάτοψης – ο κρίσιμος όροφος μπορεί να είναι διαφορετικός ανά διεύθυνση κάτοψης. Στο δεύτερο βήμα της μεθόδου προσδιορίζεται για τον κρίσιμο όροφο του εξεταζόμενου κτιρίου ο κυρίαρχος μηχανισμός αστοχίας των υποστυλωμάτων σε κάθε μια από

τις 2 κύριες διευθύνσεις της κάτοψης. Ο έλεγχος αυτός είναι κρίσιμος για κτίρια Ο.Σ. κατασκευασμένα με παλαιούς κανονισμούς, ή αυθαίρετα κτίρια (το 75% των υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. της Ελλάδας), όπου λόγω απουσίας ικανοτικού σχεδιασμού σε περίπτωση ισχυρού σεισμού είναι πολύ πιθανή η εκδήλωση μορφών αστοχίας διαφορετικών από τις πλαστικές μορφές αστοχίας που αναπτύσσονται σε κτίρια Ο.Σ. σχεδιασμένα με σύγχρονους κανονισμούς [7 - 10]. Το δεύτερο βήμα της μεθόδου ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη αντίστασης  $R_{fail,cr-i}$  σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου, ο οποίος εκφράζει τον λόγο της συνολικής διατμητικής αντίστασης των υποστυλωμάτων του κρίσιμου ορόφου προς την αντίσταση που αυτά θα ανέπτυσαν εάν εξαντλούσαν το όριο της ελαστικής τους συμπεριφοράς – τιμές συνολικού δείκτη αντίστασης  $R_{fail,cr-i}$  μικρότερες του 1.0 υποδηλώνουν την ύπαρξη ψαθυρών μηχανισμών αστοχίας στα υποστυλώματα του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου. Με βάση το σχήμα παραμόρφωσης  $\Psi_i$  και τον συνολικό δείκτη αντίστασης  $R_{fail,cr-i}$  στο τρίτο βήμα της Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. υπολογίζεται η σεισμική ικανότητα του κτιρίου σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψής του,  $i$ . Ο υπολογισμός γίνεται σε όρους είτε της μέγιστης στροφής ως προς την κατακόρυφο που ο κρίσιμος όροφος του κτιρίου μπορεί να αναπτύξει (Εξίσωση 1α), είτε της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους που το κτίριο μπορεί να δεχθεί (Εξίσωση 1β) και στις δύο περιπτώσεις χωρίς την εκδήλωση αστοχιών στον φέροντα οργανισμό του εξεταζόμενου κτιρίου.

$$\theta_{c,dem}^{crit} = \Lambda_{c,cr} \cdot \frac{\Delta\Psi_{cr}}{H_{cl,cr}} \cdot S_a(T_1) \cdot \frac{L^*}{K^*} \quad (1\alpha)$$

$$a_{g,lim} = \left( R_{fail,cr} \cdot \frac{\theta_{c,y}}{\Lambda_{c,cr}} \right) \cdot \frac{H_{cl,cr}}{\Delta\Psi_{cr}} \cdot \frac{K^*}{L^*} \quad (1\beta)$$

όπου,

$$L^* = \sum_{j=1}^N M_j \cdot \Psi_j \quad \text{και} \quad K^* = \sum_{j=1}^N K_j \cdot \Delta\Psi_j^2 \quad (2)$$

$\Lambda_{c,cr}$  είναι το ποσοστό στροφής κόμβου δοκών-υποστυλώματος που αναλαμβάνεται από το υποστυλώμα,  $\Delta\Psi_{cr}$  είναι η σχετική οριζόντια μετατόπιση του κρίσιμου ορόφου,  $H_{cl,cr}$  είναι το παραμορφώσιμο (καθαρό) ύψος των υποστυλωμάτων του,  $S_a(T_1)$  είναι η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού ελαστικού μονοβάθμιου ταλαντωτή με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο,  $T_1$ , ίση με αυτή του κτιρίου και  $\theta_{c,y}$  είναι η στροφή ως προς την κατακόρυφο υποστυλωμάτων κατά τη διαρροή του κύριου οπλισμού τους.

Η εφαρμογή της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. προϋποθέτει τη γνώση των γενικότερων γεωμετρικών στοιχείων του εξεταζόμενου κτιρίου (αριθμός ορόφων, ύψος και εμβαδόν ορόφου, θέση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων ως προς την κάτοψη του κτιρίου και διαστάσεις διατομής τους) την ποιότητα των υλικών και τις λεπτομέρειες όπλισης των δομικών του στοιχείων. Το γεγονός ότι τα γενικότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου προσδιορίζονται κατά τη διαδικασία αποτύπωσης και η ποιότητα υλικών και οι λεπτομέρειες

όπλισης προκύπτουν είτε από επιτόπιο έλεγχο με τη χρήση μη-καταστρεπτικών μεθόδων, είτε από την οικοδομική άδεια του κτιρίου στην περίπτωση που αυτή υφίσταται, σε συνδυασμό με τη διατύπωση των βημάτων της μεθόδου υπό τη μορφή νομογραφημάτων [11], επιτρέπουν την επιτόπου εφαρμογή της μεθόδου από τους Μηχανικούς της πράξης και του άμεσου εντοπισμού του κρίσιμου μηχανισμού αστοχίας του κτιρίου, καθιστώντας δυνατή την άμεση επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής ενίσχυσης σε περίπτωση που το κτίριο κριθεί σεισμικά ανεπαρκές.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Προσέγγιση του παραμορφωμένου σχήματος του εξεταζόμενου κτιρίου τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης και εντοπισμός του κρίσιμου ορόφου.



**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Προσδιορισμός του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας των κατακόρυφων δομικών στοιχείων του κτιρίου και υπολογισμός του δείκτη αντίστασης,  $R_{fail,crs}$  του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου.



**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Υπολογισμός της μέγιστης επιτάχυνσης ή/και της μέγιστης κατακόρυφης στροφής που ο κρίσιμος όροφος του κτιρίου μπορεί να δεχθεί τη στιγμή της έναρξης εκδήλωσης βλαβών.

Σχήμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας ελέγχου με βάση τη Μέθοδο Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.

## 2.2 Μέθοδος Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ.

Η Μέθοδος Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. [6] αναπτύχθηκε με στόχο τη βαθμονόμηση των υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. της Ελλάδας κατά τρόπο ακριβέστερο και ορθολογικότερο σε σχέση με τον Ταχύ Οπτικό ή Πρωτοβάθμιο Προσεισμικό Έλεγχο, προκειμένου να καταστεί δυνατή η ιεράρχηση όλων των κτιρίων Ο.Σ. σε μια ενιαία βάση δεδομένων, η οποία θα επιτρέπει την κατά προτεραιότητα επιλογή περιορισμένων αριθμών περιπτώσεων, ανάλογα με την οικονομική δυνατότητα του εκάστοτε Δημόσιου φορέα, για την διενέργεια τριτοβάθμιου ελέγχου σεισμικής επάρκειας (ΚΑΝ.ΕΠΕ [12], EN1998-3 [13]).

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Προσδιορισμός σεισμικής απαίτησης από το κτίριο,  $V_{req}$ .



**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Προσδιορισμός σεισμικής αντίστασης στη βάση του κτιρίου,  $V_R$ .



**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Προσδιορισμός του δείκτη προτεραιότητας ελέγχου του κτιρίου,  $\lambda$ .

Σχήμα 2: Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας ελέγχου με βάση τη Μέθοδο Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ.

Η Μέθοδος Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. είναι επίσης μια διαδικασία τριών βημάτων (Σχήμα 2). Το πρώτο βήμα της μεθόδου περιλαμβάνει τον υπολογισμό της απαίτησης του σεισμού σχεδιασμού από το εξεταζόμενο κτίριο σε κάθε μια από τις κύριες διευθύνσεις της κάτοψής του,  $V_{req,i}$ , η οποία λαμβάνεται ως το γινόμενο της συνολικής μάζας του κτιρίου,  $M_{tot}$ , επί τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού,  $S_{d,i}(T)$  που ισχύει στην περιοχή του κτιρίου. Καθώς όμως η θεώρηση ότι κατά τη σεισμική διέγερση του εξεταζόμενου κτιρίου ενεργοποιείται το σύνολο της μάζας του είναι ικανοποιητική προσέγγιση μόνο για κτίρια τύπου Pilotis, πρόταση των συγγραφέων προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της αποτίμησης είναι στο πρώτο βήμα της μεθόδου να λαμβάνεται υπόψη η δρώσα μάζα του κτιρίου που αντιστοιχεί στις θεμελιώδεις μεταφορικές του ιδιομορφές ως προς τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψης. Το δεύτερο βήμα της μεθόδου περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της σεισμικής αντίστασης στην βάση του εξεταζόμενου κτιρίου και σε κάθε μια από τις κύριες διευθύνσεις του,  $V_{R,i}$ , υπολογιζόμενης ως το άθροισμα των διατμητικών αντοχών όλων των κατακόρυφων στοιχείων Ο.Σ. του πρώτου ορόφου του κτιρίου,  $V_{R0,i}$ , πολλαπλασιασμένων επί τον μειωτικό συντελεστή στην αντίστοιχη διεύθυνση,  $B_i$ , που απομειώνει την  $V_{R,i}$  με βάση τη βαρύτητα 13 κριτηρίων σεισμικής επιβάρυνσης του κτιρίου. Το τελευταίο βήμα της Μεθόδου Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του δείκτη προτεραιότητας ελέγχου του κτιρίου,  $\lambda$ , ως τον μεγαλύτερο από τους δύο δείκτες προτεραιότητας ελέγχου,  $\lambda_X$  και  $\lambda_Y$ , που υπολογίζονται στις αντίστοιχες διευθύνσεις του κτιρίου, ως:

$$\lambda = 100 \cdot \max\{\lambda_X, \lambda_Y\}, \text{ όπου } \lambda_X = \frac{V_{req,X} + 0.30 \cdot V_{req,Y}}{V_{R,X} + 0.30 \cdot V_{R,Y}}, \lambda_Y = \frac{V_{req,Y} + 0.30 \cdot V_{req,X}}{V_{R,Y} + 0.30 \cdot V_{R,X}} \quad (3)$$

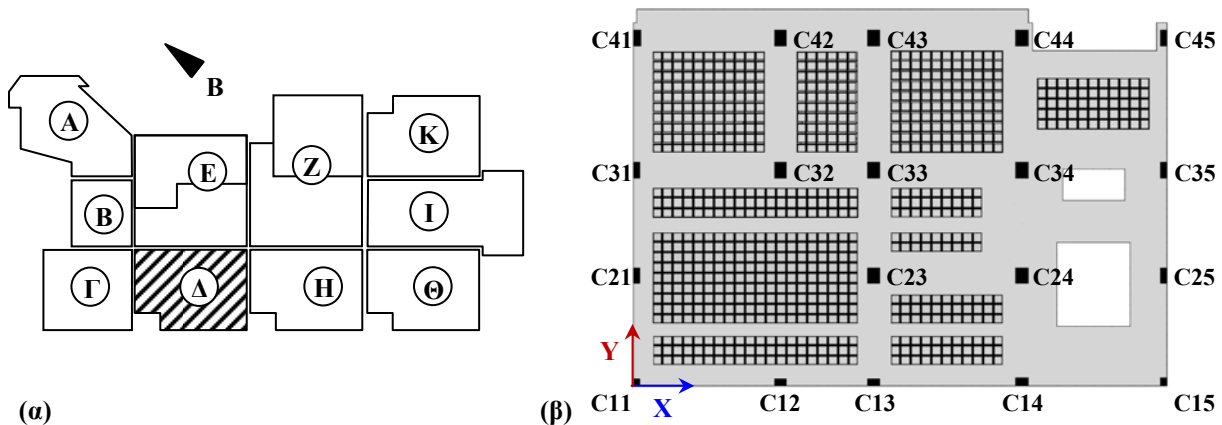
### 3 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ Δ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

Η αξιολόγηση της ακρίβειας και της ευχρηστίας της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. [3 - 5] και της Μεθόδου Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. [5, 6] πραγματοποιείται μέσω της χρήσης των δύο μεθόδων στην αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας του Κτιρίου Δ του κτιριακού συγκροτήματος του Πανεπιστημίου Μακεδονία, στο πλαίσιο της δράσης για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας μεθόδων τρωτότητας κτιρίων του προγράμματος HELPOS.

#### 3.1 Περιγραφή του εξεταζόμενου κτιρίου

Το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία είναι ένα κτίριο εννέα ορόφων, τύπου pilotis, χωροθετημένο στη νότια πλευρά του κτιριακού συγκροτήματος του πανεπιστημίου (Σχήμα 3). Το κτίριο που σχεδιάστηκε με παλαιούς κανονισμούς και κατασκευάστηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1980 είναι στατικώς ανεξάρτητο καθώς χωρίζεται από τα γειτονικά ως προς αυτό κτίρια του συγκροτήματος (Κτίρια Γ, Ε και Η) με σεισμικούς αρμούς. Ο 1<sup>ος</sup> όροφος του Κτιρίου Δ αποτελεί χώρο στάθμευσης (όροφος Pilotis), ο 2<sup>ος</sup> όροφος εκτείνεται στο 49% της συνολικής κάτοψης του Κτιρίου Δ και στεγάζει βοηθητικούς χώρους, ο 3<sup>ος</sup> όροφος με, έκταση

71% της συνολικής κάτοψης περιλαμβάνει αμφιθέατρο και γραφεία, ο 4<sup>ος</sup> όροφος έχει έκταση 100% ως προς τη συνολική κάτοψη και στεγάζει τμήμα της βιβλιοθήκης του πανεπιστημίου, ο 5<sup>ος</sup> όροφος εκτείνεται στο 93% της συνολικής κάτοψης του κτιρίου και στεγάζει 2 μικρά αμφιθέατρα και αίθουσες διδασκαλίας, ενώ ο 6<sup>ος</sup>, ο 7<sup>ος</sup>, ο 8<sup>ος</sup> και ο 9<sup>ος</sup> όροφος του κτιρίου έχουν την ίδια έκταση με τον 5<sup>ο</sup> όροφο και στεγάζουν αίθουσες εργαστηρίων και γραφεία μελών διδακτικού και ερευνητικού προσωπικού.



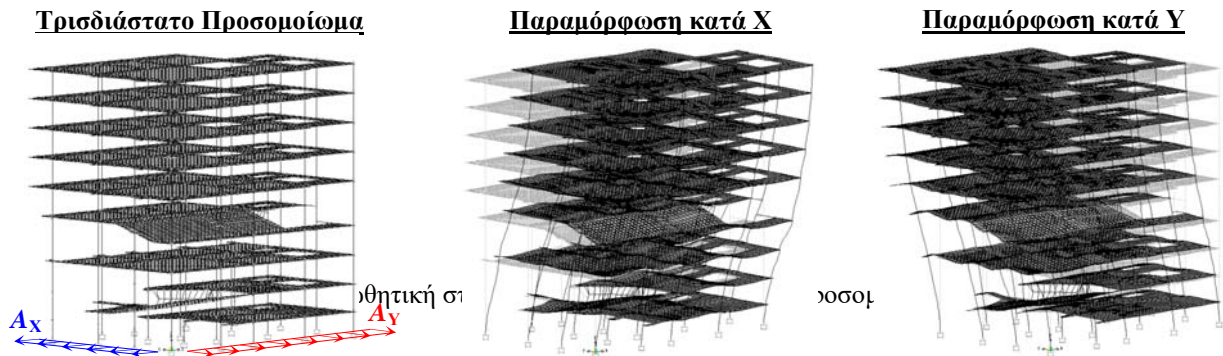
Σχήμα 3: (α) Σχηματική απεικόνιση του κτιριακού συγκροτήματος του Πανεπιστημίου Μακεδονία, (β) Οροφή 4ου ορόφου του Κτιρίου Δ.

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου αποτελείται από 20 υποστυλώματα, που δεν εκτείνονται όλα σε όλο το ύψος του κτιρίου και από πλάκες τύπου Zoellner στις στάθμες των ορόφων. Η ποιότητα του σκυροδέματος για όλα τα στοιχεία Ο.Σ. είναι B300 και η ποιότητα του χάλυβα των οπλισμών είναι StIII.

### 3.2 Αποτίμηση με βάση τη Μέθοδο Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.

Η αποτίμηση σεισμικής επάρκειας με βάση τη Μέθοδο Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. αρχικά περιλαμβάνει την προσέγγιση του παραμορφωμένου σχήματος που το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία αποκτά τη στιγμή της μέγιστης μετακίνησης της κορυφής του κατά τη διάρκεια της σεισμικής του διέγερσης,  $\Psi$ , και συνακόλουθα τον εντοπισμό βάσει του σχήματος αυτού του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου, δηλαδή του ορόφου στον οποίο αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες στροφές των υποστυλωμάτων ως προς την κατακόρυφο. Λόγω της πολυπλοκότητας της τυπολογίας του Κτιρίου Δ, τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος, ο προσδιορισμός του σχήματος  $\Psi$  είναι πρακτικά αδύνατος με τη χρήση των απλουστευτικών διαδικασιών που περιγράφονται στη μέθοδο και απευθύνονται σε περιπτώσεις κοινών οικοδομών Ο.Σ. Για τον λόγο αυτό το σχήμα παραμόρφωσης  $\Psi$  του Κτιρίου Δ προσδιορίστηκε βάσει διακριτοποίησης του κτιρίου ως ελαστικό τρισδιάστατο προσομοίωμα γραμμικών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων και υποβολής του σε Αδρανειακή Υπερωθητική Ανάλυση (Inertial Pushover Analysis [14]) (Σχήμα 4). Τα σχήματα παραμόρφωσης  $\Psi_X$  και  $\Psi_Y$  του κεντρικού υποστυλώματος C23, το οποίο θεωρείται άξονας αναφοράς για το Κτίριο Δ, μετά την εφαρμογή της Αδρανειακής Υπερωθητικής Ανάλυσης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και οι σχετικές στροφές ως προς την κατακόρυφο  $\Delta\Psi_X/H_{St}$

και  $\Delta\Psi_Y/H_{st}$  κατά τις διευθύνσεις X και Y που αναπτύσσονται καθ' ύψος του υποστυλώματος C23, όπου  $H_{st}$  είναι το συνολικό ύψος κάθε ορόφου. Όπως προκύπτει από την εξέταση των σχετικών στροφών  $\Delta\Psi_X/H_{st}$  και  $\Delta\Psi_Y/H_{st}$  όλων των ορόφων, κρίσιμος όροφος για το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία, τόσο για σεισμό στη διεύθυνση X όσο και για σεισμό στη διεύθυνση Y είναι ο 4ος όροφος του κτιρίου.



Πίνακας 1: Σχήμα παραμόρφωσης και στροφής ως προς την κατακόρυφο των ορόφων του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης ως προς τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψής του.

Όροφος	Ύψος ορόφου - $H_{st}$ (m)	Σεισμός στη διεύθυνση X		Σεισμός στη διεύθυνση Y	
		$\Psi_X$ (norm.)	$\Delta\Psi_X/H_{st}$ (%)	$\Psi_Y$ (norm.)	$\Delta\Psi_Y/H_{st}$ (%)
9	3.600	1.000	0.84	1.000	0.94
8	3.600	0.970	1.48	0.966	1.56
7	3.600	0.917	2.17	0.910	2.23
6	3.600	0.838	2.89	0.830	2.93
5	4.467	0.735	3.82	0.724	3.47
4	4.533	0.564	5.52	0.569	5.34
3	3.600	0.314	4.64	0.327	4.68
2	3.420	0.147	3.05	0.159	3.22
1	2.455	0.042	1.73	0.049	1.98

Το επόμενο βήμα κατά την εφαρμογή της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. αφορά τον προσδιορισμό του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας των κατακόρυφων δομικών στοιχείων του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου και τον υπολογισμό του δείκτη αντίστασης,  $R_{u,lim}$ , του ίδιου ορόφου. Σύμφωνα με τη διαμόρφωση του φέροντα οργανισμού του ορόφου (υποστυλώματα Ο.Σ. και πλάκες Zoellner) ο έλεγχος του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας γίνεται μεταξύ των μηχανισμών M1, M2, M3, M4 και M6. Όπως προκύπτει από τον έλεγχο διαθέσιμης αντίστασης των υποστυλωμάτων του κρίσιμου ορόφου υπό τα κατακόρυφα φορτία  $G+0.5\cdot Q$  του σεισμικού συνδυασμού του ΕΑΚ 2003 [8], τόσο κατά τη διεύθυνση X όσο και κατά τη διεύθυνση Y όλα τα υποστυλώματα του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου αναμένεται να αστοχήσουν πριν την διαρροή του κύριου οπλισμού τους, έναντι είτε της διατμητικής αστοχίας του κορμού τους, είτε της αστοχίας των ματίσεων των κύριων οπλισμών τους. Με βάση τις επιμέρους τιμές των δεικτών  $r$ , οι δείκτες αντίστασης,  $R_{u,lim}$ , του 4<sup>ου</sup> ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου προκύπτουν ίσοι με  $R_{u,lim-X} = 0.79$  και  $R_{u,lim-Y} = 0.63$  στις διευθύνσεις X και Y αντίστοιχα.

Ο έλεγχος σεισμικής επάρκειας με βάση τη Μέθοδο Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό της σεισμικής ικανότητας σε κάθε κύρια διεύθυνση του Κτιρίου Δ και τη σύγκρισή της με την σεισμική απαίτηση για την περιοχή στην οποία αυτό βρίσκεται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η σεισμική ικανότητα ελέγχεται με βάση τη μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους που το κτίριο μπορεί να δεχθεί χωρίς να αναπτυχθούν αστοχίες (διατμητικές αστοχίες κορμών και αστοχίες ματίσεων κύριων οπλισμών) στα υποστυλώματα του 4<sup>ου</sup> ορόφου (Εξίσωση 1β). Με βάση τη μάζα κάθε ορόφου όπως αυτή προκύπτει για την περίπτωση φόρτισης υπό την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμικού συνδυασμού,  $G+0.5\cdot Q$ , και το σχήμα παραμόρφωσης του κτιρίου τη στιγμή της μέγιστης οριζόντιας μετακίνησης της κορυφής του (Πίνακας 1), ο συντελεστής  $L^*$  λαμβάνει τις τιμές 4366 και 3581 στις διευθύνσεις X και Y αντίστοιχα, ενώ η γενικευμένες δυσκαμψίες του κτιρίου στις δύο αυτές διευθύνσεις είναι  $K^*_X = 131929 \text{ kN/m}$  και  $K^*_Y = 169526 \text{ kN/m}$ . Θεωρώντας συμβατικά ότι η στροφή ως προς την κατακόρυφο που τα υποστυλώματα Ο.Σ. μπορούν να αναπτύξουν έως τη διαρροή των κύριων οπλισμών τους σε κάθε μια από τις κύριες διευθύνσεις είναι  $\theta_{cy,X} = \theta_{cy,Y} = 0.5\%$  και κάνοντας τη συντηρητική παραδοχή ότι όλη η στροφή ως προς την κατακόρυφο που αναπτύσσεται στην περιοχή σύνδεσης υποστυλώματος-πλάκας αναλαμβάνεται αποκλειστικά από τα υποστυλώματα ( $A_{c,cr-X} = A_{c,cr-Y} = 1.0$ ) με βάση τις υπολογισμένες τιμές των δεικτών αντίστασης,  $R_{u,lim}$ , το παραμορφώσιμο ύψος των υποστυλωμάτων του 4<sup>ου</sup> ορόφου  $H_{cl,cr}$  ( $=\{3.15 \text{ m για τα C11, C12, C13, C14, C15, C24, C25; 4.08 m για τα C21, C23; 4.95 m σε όλες τις άλλες περιπτώσεις}\}$ ) και τη σχετική μετακίνηση του κρίσιμου ορόφου στις 2 διευθύνσεις της κάτοψης ( $\Delta\Phi_{cr-X} = 0.250$  και  $\Delta\Phi_{cr-Y} = 0.242$ , Πίνακας 1) με αντικατάσταση στην Εξίσωση 1β προκύπτει ότι η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση που το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία μπορεί να δεχθεί χωρίς την ανάπτυξη βλαβών στα υποστυλώματα του 4<sup>ου</sup> ορόφου είναι  $a_{g,lim-X} = 0.20 \text{ g}$  στη διεύθυνση X και  $a_{g,lim-Y} = 0.26 \text{ g}$  στη διεύθυνση Y. Δεδομένου ότι για την περιοχή του Πανεπιστημίου Μακεδονία ο ΕΑΚ2003 [8] προβλέπει μέγιστη σεισμική επιτάχυνση εδάφους ίση με  $0.16 \text{ g}$ , σύμφωνα με τη Μέθοδο Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. προκύπτει ότι το Κτίριο Δ επαρκεί για το σενάριο του σεισμού σχεδιασμού, ενώ για σεισμική διέγερση με μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA) μεγαλύτερη από  $0.20 \text{ g}$  στη διεύθυνση X αναμένεται ότι στον 4<sup>ο</sup> όροφο θα αναπτυχθούν διατμητικές αστοχίες κορμού στους στύλους C12, C21, C23, C25, C31, C32, C41, C42 και αστοχίες ματίσεων κύριων οπλισμών σε όλους τους υπόλοιπους και για σεισμική διέγερση με PGA μεγαλύτερο από  $0.25 \text{ g}$  στη διεύθυνση Y, στον ίδιο όροφο, οι στύλοι C11, C12, C13, C14, C15, C23, C24 αναμένεται να αστοχήσουν έναν διάτμησης κορμού και οι υπόλοιποι έναντι αστοχίας ματίσεων κύριου οπλισμού.

### 3.3 Αποτίμηση με βάση τη Μέθοδο Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ.

Η αποτίμηση σεισμικής επάρκειας με βάση τη Μέθοδο Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. [6] αρχικά προϋποθέτει τον προσδιορισμό της σεισμικής απαίτησης από το κτίριο,  $V_{req}$ , που πραγματοποιείται σε όρους τέμνουσας δύναμης που αναπτύσσεται στη βάση του κτιρίου. Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία,  $T_1$ , η οποία απαιτείται για τον προσδιορισμό της  $V_{req}$  υπολογίζεται βάσει του συνολικού ύψους του κτιρίου,  $H_{tot} = 31.10 \text{ m}$ , με χρήση της προσεγγιστικής σχέσης



του EN1998-1 [10] ως  $T_{1,X} = T_{1,Y} = 0.075 \cdot 33.1^{0.75} = 1.04$  s και για τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψης. Συνεπώς, για την περίπτωση κτιρίου σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I (Θεσσαλονίκη), θεμελιωμένο σε εδάφους κατηγορίας B και το οποίο έχει συντελεστή ανελαστικής συμπεριφοράς  $q = 1.5$ , η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ2003 [8] και για τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψης είναι  $S_{d,X}(T_{1,X}) = S_{d,Y}(T_{1,Y}) = 1.813$  m/s<sup>2</sup>. Δεδομένου ότι η συνολική μάζα του κτιρίου για την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμικού σχεδιασμού G+0.5·Q είναι 7000 t, η σεισμική απαίτηση από το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία και στις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψής του είναι  $V_{req,X} = V_{req,Y} = 12691$  kN.

Το δεύτερο βήμα στην εφαρμογή της Μεθόδου Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. είναι ο υπολογισμός της σεισμικής αντίστασης στη βάση και σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις του Κτιρίου Δ,  $V_{R,X}$  και  $V_{R,Y}$ . Αρχικά υπολογίζεται η τέμνουσα αντοχής στη βάση του Κτιρίου Δ,  $V_{R0,i}$ , ως το άθροισμα των επιμέρους διατμητικών αντοχών των υποστυλωμάτων του κτιρίου στην αντίστοιχη στάθμη και διεύθυνση,  $V_{R,col-i}$ , χωρίς καμία απομείωση λόγω των παραμέτρων σεισμικής επιβάρυνσης. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τις τιμές των  $V_{R,col-i}$ , υπολογισμένων τόσο με τις σχέσεις του Παραρτήματος 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017 [12],  $V_{R,col-i\_KANEPPE}$ , όσο και σύμφωνα με τη σχέση υπολογισμού της  $V_{Rd,c}$  του EN1992-1-1 [9],  $V_{R,col-i\_EK2}$ , καθώς και οι δύο διαδικασίες είναι επιτρεπτοί τρόποι υπολογισμού σύμφωνα με τη Μέθοδο Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω πολυπλοκότητας στην τυπολογία του Κτιρίου Δ, για τον υπολογισμό του κατακόρυφου αξονικού φορτίου κάθε υποστυλώματος του πρώτου ορόφου του κτιρίου για την περίπτωση της φόρτισης με την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμικού συνδυασμού, G+0.5Q, το οποίο απαιτείται στον υπολογισμό των  $V_{R,col-i}$ , αναπόφευκτα πραγματοποιήθηκε και κατά την εφαρμογή της Μεθόδου Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. στατική ανάλυση του προσομοιώματος πεπερασμένων του κτιρίου (Σχήμα 4). Πρέπει επίσης να σημειωθεί η μεγάλη διαφορά στις τιμές των  $V_{R,col-i}$  που προκύπτει από τους υπολογισμούς σύμφωνα με τις 2 διαδικασίες που προβλέπονται από τη Μέθοδο Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. Οι διατμητικές αντιστάσεις των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου του Κτιρίου Δ όταν υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις του Παραρτήματος 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ. [12] αγνοώντας την συμβολή κύριων οπλισμών και συνδετήρων και θεωρώντας  $\mu_{\theta}^{pl} = 1$  προκύπτουν μεγαλύτερες έως και 4.3 φορές σε σχέση με τις αντίστοιχες αντιστάσεις υπολογιζόμενες σύμφωνα με τον EN1992-1-1 [9] για υποστυλώματα Ο.Σ. χωρίς οπλισμό διάτμησης. Οι μεγάλες διαφορές στις τιμές των επιμέρους διατμητικών αντοχών των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου που προκύπτουν κατά τους υπολογισμούς με τις δύο εναλλακτικές διαδικασίες που προβλέπονται από την μέθοδο οδηγούν σε αντίστοιχες αποκλίσεις στην προσδιοριζόμενη σεισμική αντίσταση στη βάση του Κτιρίου Δ. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τις  $V_{R,col\_KANEPPE}$  η αρχική τέμνουσα αντοχής στη βάση του Κτιρίου Δ είναι ίση με  $V_{R0,X\_KANEPPE} = 0.8 \cdot \sum V_{R,X\_KANEPPE} = 12716$  kN και  $V_{R0,Y\_KANEPPE} = 0.8 \cdot \sum V_{R,Y\_KANEPPE} = 16035$  kN, στη διεύθυνση X και Y αντίστοιχα, ενώ από τους υπολογισμούς βάσει του EN1992-1-1 προκύπτει  $V_{R0,X\_EK2} = 0.8 \cdot \sum V_{R,X\_EK2} = 5377$  kN και  $V_{R0,Y\_EK2} = 0.8 \cdot \sum V_{R,Y\_EK2} = 5444$  kN.

Το δεύτερο βήμα της μεθόδου ολοκληρώνεται με την απομείωση των αρχικά υπολογισμένων τιμών τέμνουσας αντοχής στη βάση του Κτιρίου Δ,  $V_{R0,i}$ , λαμβάνοντας υπόψη τον μειωτικό συντελεστή επιρροής των κριτηρίων σεισμικής επιβάρυνσης,  $B_i$ . Οι επιμέρους τιμές των 13 κριτηρίων σεισμικής επιβάρυνσης του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία,  $\beta_i$  ( $i = X$  ή  $Y$ ), όπως αυτά υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη Μέθοδο Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ., παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Οι τιμές των συντελεστών  $\beta_i$  υπολογίστηκαν ως κεντροβαρικοί μέσοι όροι για κάθε όροφο του κτιρίου. Σύμφωνα με τις τιμές αυτές προκύπτει ότι για τη διεύθυνση  $X$  του εξεταζόμενου κτιρίου ο μειωτικός συντελεστής επιρροής των κριτηρίων σεισμικής επιβάρυνσης είναι  $B_X = 0.67$ , ενώ στην διεύθυνση  $Y$  είναι  $B_Y = 0.62$ . Συνεπώς, η σεισμική αντίσταση,  $V_R$ , κατά τις διευθύνσεις  $X$  και  $Y$  του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία είναι ίση με  $V_{R,X\_KANEPPE} = B_X \cdot V_{R0,X\_KANEPPE} = 8520$  kN και  $V_{R,Y\_KANEPPE} = B_Y \cdot V_{R0,Y\_KANEPPE} = 9942$  kN, όταν οι τέμνουσες αντοχής των υποστυλωμάτων υπολογίζονται σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017 [12], ενώ όταν οι υπολογισμοί των τεμνουσών αντοχής των υποστυλωμάτων γίνονται σύμφωνα με τον EN1992-1-1 [9] οι αντίστοιχες τιμές σεισμικής αντίστασης του Κτιρίου Δ είναι  $V_{R,X\_EK2} = B_X \cdot V_{R0,X\_EK2} = 3602$  kN και  $V_{R,Y\_EK2} = B_Y \cdot V_{R0,Y\_EK2} = 3375$  kN.

Πίνακας 2: Τέμνουσες αντοχής των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία, υπολογισμένες βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017 και του EN1992-1-1.

Στόλος	$b_x$ (m)	$b_y$ (m)	$H_{cl}$ (m)	$N_{G+0.5Q}$ (kN)	Έλεγχος στη διεύθυνση X		Έλεγχος στη διεύθυνση Y	
					$V_{R,col\_KANEPPE}$ (kN)	$V_{R,col\_EK2}$ (kN)	$V_{R,col\_KANEPPE}$ (kN)	$V_{R,col\_EK2}$ (kN)
C11	0.40	0.50	2.23	1712.6	307.2	124.3	384.0	126.9
C12	0.80	0.50	2.23	3448.5	921.0	261.0	773.3	253.9
C13	0.80	0.50	2.23	2907.0	872.8	261.0	651.9	253.9
C14	0.80	0.50	2.23	3331.1	910.6	261.0	747.0	253.9
C15	0.40	0.50	2.23	1361.5	244.2	124.3	305.3	126.9
C21	0.40	1.00	2.23	3542.9	635.6	248.6	1121.0	263.0
C22	0.80	1.00	2.23	143.5	51.7	163.5	64.6	161.9
C23	0.80	1.00	2.23	6132.0	1774.0	522.0	2140.7	526.0
C24	0.80	1.00	2.23	6570.6	1813.0	522.0	2187.3	526.0
C25	0.40	1.00	2.23	2573.1	461.6	248.6	1017.9	263.0
C31	0.40	1.00	2.23	3220.8	577.8	248.6	1086.8	263.0
C32	0.80	1.00	2.23	6214.2	1781.3	522.0	2149.4	526.0
C33	0.80	1.00	2.23	5032.7	1676.1	522.0	2023.8	526.0
C34	0.80	1.00	2.23	5831.2	1747.2	522.0	2108.7	526.0
C35	0.40	1.00	2.23	2300.4	412.7	248.6	988.9	263.0
C41	0.40	1.00	9.25	2706.2	117.1	248.6	292.6	263.0
C42	0.80	1.00	3.55	4275.3	963.6	522.0	1204.5	526.0
C43	0.80	1.00	9.25	3839.7	332.1	522.0	415.2	526.0
C44	0.80	1.00	9.25	3295.4	285.1	522.0	356.3	526.0
C45	0.40	1.00	9.25	232.3	10.1	107.5	25.1	105.0

Η Μέθοδος Προσδιορισμού Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. ολοκληρώνεται στο τρίτο της βήμα με τον προσδιορισμό του δείκτη προτεραιότητας ελέγχου του κτιρίου,  $\lambda$ , ως την μέγιστη τιμή μεταξύ των δύο λόγων  $\lambda_X = V_{req,X}/V_{R,X}$  και  $\lambda_Y = V_{req,Y}/V_{R,Y}$ . Όταν ο υπολογισμός των τεμνουσών αντοχής των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου του Κτιρίου Δ γίνεται με τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017 [12],  $\lambda_{X\_KANEPPE} = 12691/8520 = 1.43$  και  $\lambda_{Y\_KANEPPE} = 12691/9942$

= 1.32, άρα  $\lambda_{\text{ΚΑΝΕΠΕ}} = 100 \cdot \max\{\lambda_{\text{X\_ΚΑΝΕΠΕ}}, \lambda_{\text{Y\_ΚΑΝΕΠΕ}}\} = 143\%$ , ενώ όταν ο υπολογισμός των τεμνουσών αντοχής των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου γίνεται με τις σχέσεις του EN1992-1-1 [9] τότε  $\lambda_{\text{X\_EK2}} = 12691/3602 = 3.57$ ,  $\lambda_{\text{Y\_EK2}} = 12691/3375 = 3.70$  και επομένως  $\lambda_{\text{EK2}} = 100 \cdot \max\{\lambda_{\text{X\_EK2}}, \lambda_{\text{Y\_EK2}}\} = 370\%$ . Πρέπει να σημειωθεί ότι εάν οι τιμές τις  $V_{\text{req},i}$  με βάση τη δρώσα μάζα που προκύπτει από τη θεμελιώδη μεταφορική ιδιομορφή (45% της συνολικής μάζας για απόκριση στη διεύθυνση X και 50% της συνολικής μάζας για απόκριση στη διεύθυνση Y) οι αντίστοιχες τιμές των δεικτών  $\lambda$  γίνονται  $\lambda_{\text{X\_ΚΑΝΕΠΕ}} = 0.66$ ,  $\lambda_{\text{Y\_ΚΑΝΕΠΕ}} = 0.64$ ,  $\lambda_{\text{X\_EK2}} = 1.65$ ,  $\lambda_{\text{Y\_EK2}} = 1.81$  και επομένως  $\lambda_{\text{ΚΑΝΕΠΕ}} = 64\%$  και  $\lambda_{\text{EK2}} = 181\%$ .

Πίνακας 3: Τιμές κριτηρίων σεισμικής επιβάρυνσης,  $\beta$ , του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία.

Κριτήριο Σεισμικής Επιβάρυνσης	Διεύθυνση X		Διεύθυνση Y	
	$\beta_{\text{X}}$	$\sigma \cdot \beta_{\text{X}}$	$\beta_{\text{Y}}$	$\sigma \cdot \beta_{\text{Y}}$
1. Βλάβες στατικής ανεπάρκειας	5	0.50	5	0.50
2. Οξειδωση οπλισμών	4	0.40	4	0.40
3. Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου	2	0.10	2	0.10
4. Κανονικότητα κάτοψης	4	0.20	4	0.20
5. Κατανομή δυσκαμψίας σε κάτοψη – Στρέψη	5	0.50	4	0.40
6. Κανονικότητα σε τομή / όψη	1	0.05	1	0.05
7. Κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος – Μαλακός όροφος	1	0.15	1	0.15
8. Κατανομή μάζας καθ' ύψος	2	0.10	2	0.10
9. Κοντά υποστυλώματα	4	0.60	3	0.45
10. Κατακόρυφες ασυνέχειες	4	0.20	4	0.20
11. Διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων	3	0.15	3	0.15
12. Γειτονικά κτίρια	4	0.20	4	0.20
13. Κακοτεχνίες, τραυματισμοί	4	0.20	4	0.20

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται αξιολόγηση της ακρίβειας και της ευκολίας ως προς την εφαρμογή δύο μεθόδων δευτεροβάθμιας αποτίμησης σεισμικής επάρκειας κτιρίων Ο.Σ., που εξετάζονται από τον ΟΑΣΠ ως πιθανές μέθοδοι Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου για τα υφιστάμενα κτίρια Ο.Σ. της Ελλάδας, της *Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ.* [3 - 5] και της *Μεθόδου Προσδιορισμού του Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ.* [6]. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής των δύο μεθόδων στην αποτίμηση σεισμικής επάρκειας του Κτιρίου Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος HELPOS.

Ως προς την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων, η εφαρμογή της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία είναι επαρκές για το σενάριο σεισμικού κινδύνου που ο ΕΑΚ2003 προβλέπει για την περιοχή του κτιρίου ( $\text{PGA} = 0.16\text{g}$ ), καθώς σύμφωνα με τη μέθοδο η μέγιστη επιτάχυνση που το Κτίριο Δ του Πανεπιστημίου Μακεδονία μπορεί να δεχθεί χωρίς την έναρξη εκδήλωσης βλαβών στα υποστυλώματα του κρίσιμου ορόφου του (4ος όροφος) είναι  $0.20\text{g}$  και  $0.25\text{g}$  στις κύριες διευθύνσεις X και Y της κάτοψής του, ενώ για  $\text{PGA}$  μεγαλύτερο των τιμών αυτών αναμένεται να αναπτυχθούν διατμητικές αστοχίες στον κορμό των περισσότερων υποστυλωμάτων του ίδιου ορόφου. Αντιθέτως, η εφαρμογή της Μεθόδου Προσδιορισμού του Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ., η οποία πρέπει να σημειωθεί ότι αγνοεί τον τρόπο όπλισης των φερόντων δομικών στοιχείων και τη γενικότερη δυναμική συμπεριφορά του

εξεταζόμενου κτιρίου Ο.Σ., οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σύμφωνα με το σενάριο σεισμικού κινδύνου που κατά τον ΕΑΚ2003 ισχύει στην περιοχή του Κτιρίου Δ το τελευταίο είναι ανεπαρκές, καθώς υπερβαίνει τη σεισμική του ικανότητα, είτε κατά 143%, είτε κατά 370%, ανάλογα με τη διαδικασία υπολογισμού της τέμνουσας αντοχής των υποστυλωμάτων του πρώτου ορόφου.

Ως προς την αξιολόγηση της ευκολίας στη εφαρμογή των δύο μεθόδων, η Μέθοδος Προσδιορισμού του Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου Κτιρίων Ο.Σ. κρίνεται ως πιο εύκολα εφαρμόσιμη από αναλυτική διαδικασία εφαρμογής της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. λόγω της παράλειψης του εντοπισμού του κρίσιμου ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου και του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας των κατακόρυφων δομικών στοιχείων στον όροφο αυτό. Όμως, στην πρόσφατη εκδοχή της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. υπό τη μορφή της Φόρμας Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ., η αποτίμηση γίνεται ταχύτατα, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μεθόδου.

## 5 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συμμετοχή της εργασίας στο 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας χρηματοδοτήθηκε από το Υποέργο (6) «Εκτέλεση με Ίδια μέσα» - Συμμετοχή της Μονάδας Έρευνας ΙΤΣΑΚ του ΟΑΣΠ στην υποδομή Hellenic Observing System (HELPOS)» της Πράξης «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ» με κωδικό ΟΠΣ (MIS) 5002697.

## 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Β.Δ. 1954. Περί κανονισμών δια την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ ωπλισμένου σκυροδέματος. *Εθνικό Τυπογραφείο*; ΦΕΚ 160/Α/26-07-1954: 1285–1320.
2. Β.Δ. 1959. Περί αντισεισμικού κανονισμού οικοδομικών έργων. *Εθνικό Τυπογραφείο*; ΦΕΚ 36/Α/26-02-1959: 281–288.
3. Pardalopoulos SI, Pantazopoulou SJ. Rapid seismic assessment of two four-storey R.C. test buildings. *Bull Earthquake Eng* 2019; 17(3): 1379–1406. DOI: 10.1007/s10518-018-0500-z
4. Pardalopoulos S, Thermou GE, Pantazopoulou SJ. Screening criteria to identify brittle R.C. structural failures in earthquakes. *Bull Earthquake Eng* 2013; 11: 607–636. DOI: 10.1007/s10518-012-9390-7
5. Pardalopoulos SI, Lekidis VA. Calibration of the Hellenic Second-Level Seismic Capacity Procedure. 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering – COMPDYN 2019, Crete Island, Greece, 2019.
6. Δρίτσος Σ, Κλεάνθη Μ, Λεκίδης Β, Μπάρος Δ, Μώκος Β, Παναγιωτοπούλου Δ, Πέλλη Ε, Σηλιόπουλος Α, Ταρναβά Κ. Δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα; 2018.
7. ΕΚΩΣ 2000. Έλληνικός κανονισμός ωπλισμένου σκυροδέματος 2000. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα; 2001.
8. ΕΑΚ 2003. Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός 2003. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα; 2003.
9. EN 1992-1-1. Eurocode 2 – Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels; 2004.
10. EN 1998-1. Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels; 2004.

11. Παρδαλόπουλος ΣΙ, Πανταζοπούλου ΣΙ. Επιτόπου αποτίμηση σεισμικής επάρκειας υφιστάμενων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, 2019.
12. ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017. Κανονισμός επεμβάσεων – 2<sup>η</sup> Αναθεώρηση 2017. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα; 2016.
13. EN 1998-3. Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of structures. European Committee for Standardization (CEN), Brussels; 2005.
14. Pardalopoulos SI, Pantazopoulou SJ. Methodology for practical seismic assessment of unreinforced masonry buildings with historical value. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 2017; 46: 2793-2810. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.2931>