

Επιτόπου Αποτίμηση Σεισμικής Επάρκειας Υφιστάμενων Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος

In-situ Seismic Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings

Στυλιανός Ι. Παρδαλόπουλος¹, Σταυρούλα Ι. Πανταζοπούλου²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο έλεγχος της σεισμικής επάρκειας έναντι σεισμικών διεγέρσεων μεσαίας και μεγάλης έντασης των υφιστάμενων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος (Ο.Σ.) αποτελεί βασική προϋπόθεση για την προστασία της ζωής του κοινωνικού συνόλου στην Ελλάδα και τη διασφάλιση της ακεραιότητας της περιουσίας του, καθώς τα κτίρια αυτού του τύπου αποτελούν την πλειοψηφία του κτιριακού κεφαλαίου της χώρας. Προκειμένου να διευκολυνθεί το έργο του γρήγορου εντοπισμού των δυνητικά επικίνδυνων περιπτώσεων κτιρίων Ο.Σ., που θα επιτρέψει τη σεισμική τους αναβάθμιση, η παρούσα εργασία εισάγει μια νέα διαδικασία επιτόπου αποτίμησης της σεισμικής επάρκειας υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. με τη χρήση φόρμας ελέγχου. Η παρουσιαζόμενη Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. αποτελεί την απλοποίηση δευτεροβάθμιας μεθοδολογίας αποτίμησης σεισμικής επάρκειας που αναπτύχθηκε προσφάτως από τους συγγραφείς και έχει τροποποιηθεί με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των παλαιού τύπου πολυώροφων κτιρίων της Ελλάδας προκειμένου να διευκολύνει τους Μηχανικούς της πράξης στον μαζικό έλεγχο της σεισμικής τους απόκρισης.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας των υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για την προστασία της ζωής του κοινωνικού συνόλου και τη διασφάλιση της ακεραιότητας της περιουσίας του έναντι ισχυρών σεισμών. Στο πλαίσιο της προσπάθειας για τη μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης στην Ελλάδα με και δεδομένο τον μεγάλο όγκο του κτιριακού αποθέματος της χώρας, το μεγαλύτερο ποσοστό του οποίου αποτελείται από κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος (Ο.Σ.), καθίσταται αναγκαία η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας αποτίμησης υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. που να είναι γρήγορα εφαρμόσιμη από τους Μηχανικούς της πράξης σε μεγάλο πλήθος κτιρίων και να παρέχει ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα σχετικά με την οριακή ικανότητα των εξεταζόμενων κτιρίων έναντι σεισμικής

¹ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, stylpard@civil.auth.gr

² Καθηγήτρια, Department of Civil Engineering, Lassonde Faculty of Engineering, York University, Toronto, Canada, pantazo@yorku.ca

διέγερσης. Παράλληλα, η μεθοδολογία αυτή πρέπει να είναι εφαρμόσιμη τόσο σε κτίρια που σχεδιάστηκαν και δομήθηκαν σύμφωνα με τις σύγχρονες αρχές και αντιλήψεις του αντισεισμικού σχεδιασμού, όσο και σε κτίρια που είτε σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με βάση κανονισμούς και πρακτικές που σήμερα θεωρούνται ανεπαρκείς είτε κατασκευάστηκαν χωρίς καμία μελέτη επάρκειας της φέρουσας ικανότητάς τους, τα οποία αποτελούν και την πλειοψηφία των υφιστάμενων κτιρίων στην Ελλάδα.

Η εργασία παρουσιάζει μια νέα διαδικασία επιτόπιας αποτίμησης σεισμικής επάρκειας υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ., αναπτυγμένη για μαζική εφαρμογή σε μεγάλο πλήθος υφιστάμενων κτιρίων, η οποία επιτρέπει τον γρήγορο εντοπισμό των περιπτώσεων που δεν ανταποκρίνονται στις σύγχρονες προδιαγραφές αντισεισμικότητας. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στη Μέθοδο Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. (Pardalopoulos et al. [1, 2], Pardalopoulos & Pantazopoulou [3]), η οποία έχει περεταίρω απλοποιηθεί υπό τη μορφή κωδικοποιημένων δελτίων ελέγχου κτιρίου. Η διαδικασία επιτρέπει τον επιτόπου εντοπισμό του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας των στοιχείων του φέροντα οργανισμού του εξεταζόμενου κτιρίου και τον υπολογισμό της σεισμικής του ικανότητας, κάνοντας χρήση μόνο βασικών γεωμετρικών στοιχείων του κτιρίου και τυπικών χαρακτηριστικών για τα υλικά κατασκευής του.

2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ Ο.Σ.

Η Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. [1 - 3] 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 [4, 5], ή έχουν κατασκευαστεί αυθαίρετα, χωρίς κάποια μελέτη. Η μέθοδος επιτρέπει τον προσδιορισμό του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας του φέροντα οργανισμού ενός υφιστάμενου κτιρίου Ο.Σ. στην περίπτωση ισχυρού σεισμού και της αποτίμησης της σεισμικής του ικανότητας σε όρους είτε της μέγιστης στροφής ως προς την κατακόρυφο που ο κρίσιμος όροφος του κτιρίου μπορεί να αναπτύξει, είτε της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους που το κτίριο μπορεί να δεχθεί, χωρίς την εκδήλωση και στις δύο περιπτώσεις αστοχιών στα φέροντα δομικά στοιχεία του κτιρίου.

Στην κανονική της μορφή η Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. είναι μια διαδικασία τριών βημάτων, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Στο πρώτο βήμα της μεθόδου προσδιορίζεται το σχήμα παραμόρφωσης, Ψ_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), θεωρώντας ότι το κτίριο συμπεριφέρεται ελαστικά (δεν αναπτύσσονται σε αυτό δομικές βλάβες). Για τον προσδιορισμό του σχήματος παραμόρφωσης Ψ_i παρέχονται 3 εναλλακτικές διαδικασίες ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια στα αποτελέσματα και το διαθέσιμο υπολογιστικό κόστος. Η απλούστερη διαδικασία αφορά στη χρήση προσεγγιστικών σχημάτων παραμόρφωσης ανάλογα με τον τύπο του εξεταζόμενου κτιρίου (κτίριο κατασκευασμένο με παλαιούς κανονισμούς, σύγχρονη κατασκευή, κτίριο τύπου Pilotis [6, 7]). Για συνήθεις εφαρμογές σε πολύροφα κτίρια Ο.Σ. το σχήμα παραμόρφωσης Ψ_i προσεγγίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια από κλειστές σχέσεις, βάσει της συνολικής μάζας, M_l και της μεταφορικής δυσκαμψίας $K_{l,i}$ του L-οστού ορόφου του κτιρίου ($l = 1$ έως L). Σε ιδιαίτερες

περιπτώσεις κτιρίων Ο.Σ. που παρουσιάζουν μη-κανονικότητα στο σχήμα τους και αποκλίνουν από την τυπική μορφή πολυώροφων κτιρίων Ο.Σ. το σχήμα παραμόρφωσης Ψ_i υπολογίζεται μέσω της προσομοίωσης του κτιρίου και της εφαρμογής Αδρανειακής Υπερωθητικής Στατικής Ανάλυσης (Inertial Pushover, [8]). Το πρώτο βήμα της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. ολοκληρώνεται με τον εντοπισμό του κρίσιμου ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου, στον οποίο σύμφωνα με το σχήμα παραμόρφωσης Ψ_i 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.

Βήμα 1^ο: Προσέγγιση του παραμορφωμένου σχήματος του εξεταζόμενου κτιρίου τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης και εντοπισμός του κρίσιμου ορόφου.



Βήμα 2^ο: 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^ο: 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.

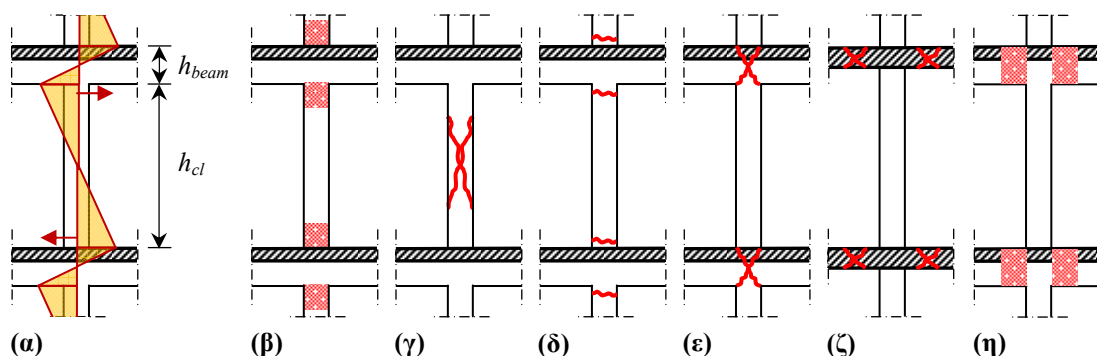
Το δεύτερο βήμα της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του ασθενέστερου μηχανισμού αντίστασης που μπορεί να αναπτυχθεί στα υποστυλώματα του κρίσιμου ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου Ο.Σ., προκειμένου να υπολογισθεί το μέγεθος της πλευρικής αντίστασης του ορόφου αυτού και να εκτιμηθεί ο τρόπος αστοχίας του. Κοινή βάση σύγκρισης των διαφόρων μηχανισμών αστοχίας των υποστυλωμάτων είναι η σεισμική τέμνουσα που αναπτύσσεται σε αυτά κατά την εκδήλωση κάθε μηχανισμού. Οι μηχανισμοί αστοχίας υποστυλωμάτων που εξετάζονται είναι (α) η διαρροή των κύριων οπλισμών του υποστυλώματος (V_{flex}), (β) η διατμητική αστοχία του κορμού του υποστυλώματος (V_v), (γ) η αστοχία των αγκυρώσεων του κύριου οπλισμού (V_a), (δ) η αστοχία των ματίσεων του κύριου οπλισμού (V_{lap}), (ε) η διατμητική αστοχία του κόμβου δοκών-υποστυλώματος (V_j), (ζ) η διάτρηση πλακών περιμετρικά του υποστυλώματος (V_{pn}), ενώ (η) εξετάζεται και το ενδεχόμενο κυρίαρχος μηχανισμός περιορισμού των εισαγόμενων διατμητικών δυνάμεων στο υποστυλώμα να είναι η διαμόρφωση πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς του οριζοντίου διαφράγματος (V_{by}) (Σχήμα 2). Ο έλεγχος του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας των υποστυλωμάτων του κρίσιμου ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου 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 πλάστιμες μορφές αστοχίας που αναπτύσσονται σε κτίρια Ο.Σ. σχεδιασμένα με σύγχρονους κανονισμούς [9 - 12]. Ο κυρίαρχος μηχανισμός αστοχίας για κάθε ένα από τα

επιμέρους υποστυλώματα του κρίσιμου ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου όταν αυτά καταπονούνται στην $i = (X, \text{ ή } Y)$ κύρια διεύθυνση της κάτοψης προσδιορίζεται με βάση τους δείκτες αντίστασης r των υποστυλωμάτων αυτών, οι οποίοι εκφράζουν την διατμητική αντοχή των επιμέρους μηχανισμών ανηγμένη προς την ικανοτική τέμνουσα, δηλ. $r_{v,i} = V_{v,i}/V_{flex,i}$, $r_{a,i} = V_{a,i}/V_{flex,i}$, $r_{lap,i} = V_{lap,i}/V_{flex,i}$, $r_{j,i} = V_{j,i}/V_{flex,i}$, $r_{pn,i} = V_{pn,i}/V_{flex,i}$ και $r_{by,i} = V_{by,i}/V_{flex,i}$. Τιμές των $r \geq 1$ υποδηλώνουν ανάπτυξη καμπτικής διαρροής στο υποστυλώμα. Με βάση την αρχή ότι ο πλέον αδύναμος μηχανισμός απόκρισης είναι αυτός που ελέγχει τελικά την διατμητική αντίσταση ενός υποστυλώματος, η μορφή αστοχίας κάθε επιμέρους υποστυλώματος του κρίσιμου ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου εκφράζεται από τον δείκτη οριακής αντίστασης, $r_{u,lim-i}$:

$$r_{u,lim-i} = \min\{r_{v,i}, r_{a,i}, r_{lap,i}, r_{j,i}, r_{pn,i}\} \leq r_{by,i} \quad (1)$$

Στην περίπτωση που ισχύει $r_{u,lim} > r_{by}$ αναμένεται η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών που συμβάλουν στο αντίστοιχο υποστυλώμα. Εάν ισχύει $r_{u,lim} < r_{by}$, τότε στην περίπτωση που $r_{u,lim} \geq 1.0$ αναμένεται η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα του αντίστοιχου υποστυλώματος, ενώ εάν $r_{u,lim} < 1.0$, μετά την υπέρβαση της μέγιστης τέμνουσας δύναμης που μπορεί να παραληφθεί, το υποστυλώμα αναμένεται να αστοχήσει ψαθυρά. Το δεύτερο βήμα της μεθόδου ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη $R_{fail,cr-i}$ σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου, ως τον μέσο όρο των επιμέρους δεικτών αντίστασης $r_{u,lim,i}$ των N υποστυλωμάτων του ορόφου στην ίδια διεύθυνση:

$$R_{fail,cr-i} = \sum_{j=1}^N r_{u,lim-i} / N \quad (2)$$



Σχήμα 2: (α) Κατανομή ροπής καθ' ύψος ενός υποστυλώματος Ο.Σ. λόγω σεισμικής καταπόνησης, (β)–(η) Πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας: (β) Διαρροή κύριων οπλισμών υποστυλώματος, (γ) Διατμητική αστοχία κορμού υποστυλώματος, (δ) Αστοχία ματίσεων/αγκυρώσεων των κύριων οπλισμών υποστυλώματος, (ε) Διατμητική αστοχία κόμβων, (ζ) Διάτρηση πλακών, (η) Διαρροή κύριων οπλισμών των δοκών [3].

Η Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. ολοκληρώνεται στο τρίτο της βήμα με τον υπολογισμό της σεισμικής ικανότητας του εξεταζόμενου 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 3α), είτε της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους που το κτίριο μπορεί να δεχθεί (Εξίσωση 3β) και στις δύο περιπτώσεις χωρίς την εκδήλωση αστοχιών στον φέροντα οργανισμό του εξεταζόμενου κτιρίου.

$$\theta_{c,dem}^{crit} = A_{c,cr} \cdot \frac{\Delta\Psi_{cr}}{H_{cl,cr}} \cdot S_a(T_1) \cdot \frac{L^*}{K^*} \quad (3\alpha)$$

$$a_{g,lim} = \left(R_{fail,cr} \cdot \frac{\theta_{c,y}}{A_{c,cr}} \right) \cdot \frac{H_{cl,cr}}{\Delta\Psi_{cr}} \cdot \frac{K^*}{L^*} \quad (3\beta)$$

Στις Εξισώσεις 3α & 3β $A_{c,cr}$ είναι το ποσοστό στροφής κόμβου δοκών-υποστυλώματος που αναλαμβάνεται από το υποστύλωμα, $\Delta\Psi_{cr}$ 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, $\theta_{c,y}$ είναι η στροφή ως προς την κατακόρυφο υποστυλωμάτων κατά τη διαρροή του κύριου οπλισμού τους, ενώ οι συντελεστές L^* και K^* υπολογίζονται σύμφωνα με την Εξίσωση 4 [6, 7]:

$$L^* = \sum_{j=1}^N M_j \cdot \Psi_j \quad ; \quad K^* = \sum_{j=1}^N K_j \cdot \Delta\Psi_j^2 \quad (4)$$

3 ΦΟΡΜΑ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ Ο.Σ.

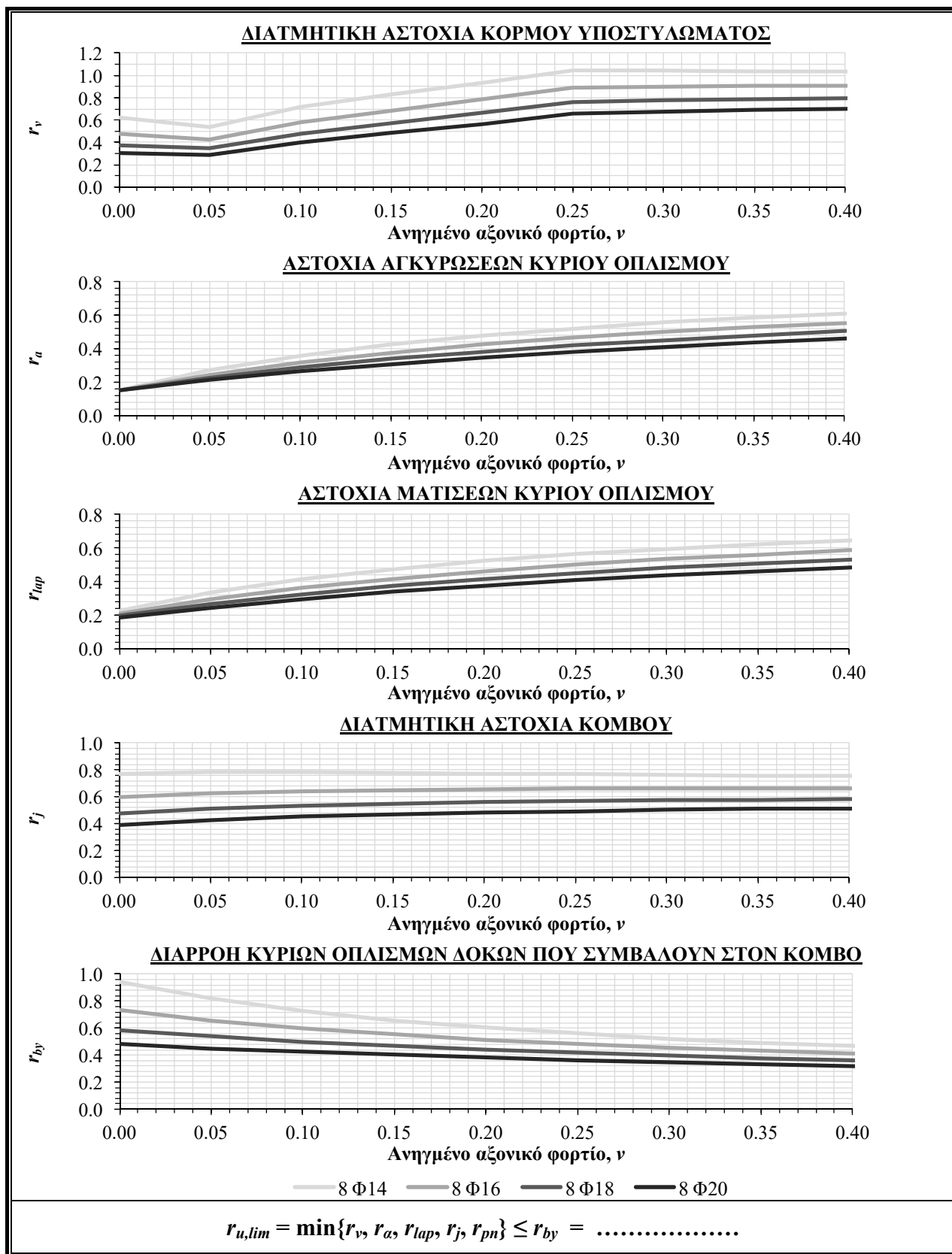
Προκειμένου να διευκολυνθούν ακόμη περισσότερο οι Μηχανικοί της πράξης στο έργο της γρήγορης αποτίμησης της σεισμικής επάρκειας υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. η Μέθοδος Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. μετατρέπεται σε φόρμα επιτόπου ελέγχου, η συμπλήρωση της οποίας επιτρέπει την άμεση εκτίμηση της σεισμικής ικανότητας του εξεταζόμενου κτιρίου.

Η Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. διαρθρώνεται σε 2 ενότητες. Στην Ενότητα Α (Σχήμα 3) παρέχεται υπό τη μορφή νομογραφημάτων η δυνατότητα γραφικού προσδιορισμού των δεικτών οριακής αντίστασης, $r_{u,lim}$ των επιμέρους υποστυλωμάτων του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου. Τα νομογραφήματα αναφέρονται σε διατομές υποστυλωμάτων Ο.Σ. με διαστάσεις, ποιότητες υλικών και διάταξη οπλισμών αντιπροσωπευτικές για τις περισσότερες περιπτώσεις υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. της Ελλάδας και παρέχουν τη δυνατότητα άμεσου προσδιορισμού των επιμέρους δεικτών αντίστασης, r , συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου του υποστυλώματος που οφείλεται στη φόρτιση του εξεταζόμενου κτιρίου υπό την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμικού συνδυασμού $G+\psi_E \cdot Q$ [12], καθώς και του άμεσου προσδιορισμού του δείκτη οριακής αντίστασης του ίδιου υποστυλώματος, $r_{u,lim}$. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα νομογραφήματα υπολογισμού των δεικτών αντίστασης, r , υποστυλώματος τετραγωνικής διατομής 350 mm × 350 mm από

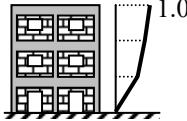
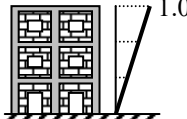
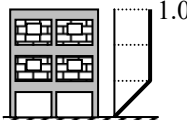
σκυρόδεμα ποιότητας B160, οπλισμένου με 8 ράβδους κύριου οπλισμού, ποιότητας StII, ομοιόμορφα διατεταγμένων στις πλευρές του, το οποίο έχει συνδετήρες $\varnothing 8/200$ mm, ποιότητας StI. Σε κάθε νομογράφημα παρουσιάζονται με 4 αποχρώσεις γκρι χρώματος οι αντίστοιχοι δείκτες r υπολογισμένοι για 4 παραλλαγές διαμέτρου των ράβδων κύριου οπλισμού της διατομής, 14 mm, 16 mm, 18 mm και 20 mm, αντίστοιχα. Το υποστώμα έχει παραμορφώσιμο (καθαρό) ύψος $h_{cl} = 2.50$ m και συνδέεται στην κορυφή του, στη μια διεύθυνση κάτοψης, του με δοκούς διαστάσεων κορμού $250 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$, οπλισμένων με 3 διαμήκειες ράβδους $\varnothing 12$ mm σε κάθε παρειά. Ο τύπος υποστυλώματος Ο.Σ. που εξετάζεται στο Σχήμα 3 αποτελεί τη συνηθέστερη περίπτωση διατομής υποστυλώματος που συναντάται σε πολυώροφα κτίρια Ο.Σ. στην Ελλάδα που είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα σύμφωνα με τα Β.Δ. του 1954 [4] και 1959 [5], ενώ αντίστοιχα νομογραφήματα παρέχονται και για άλλους τύπους διατομών υποστυλωμάτων Ο.Σ.

Στη δεύτερη ενότητα της Φόρμας Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. υπολογίζεται η σεισμική ικανότητα του εξεταζόμενου κτιρίου και γίνεται ο έλεγχος της σεισμικής του επάρκειας. Παρέχονται δύο δυνατότητες υπολογισμού, ανάλογα αν η σεισμική επάρκεια εκφράζεται σε όρους μέγιστης στροφής ως προς την κατακόρυφο που μπορεί να αναπτυχθεί στα υποστυλώματα του κρίσιμου ορόφου χωρίς να εκδηλωθούν σε αυτά αστοχίες (Ενότητα B1, Σχήμα 4), ή εάν εκφράζεται σε όρους μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους που το κτίριο μπορεί να δεχθεί χωρίς την εκδήλωση βλαβών στον κρίσιμο ορόφο του (Ενότητα B2, Σχήμα 5). Και στις δύο παραλλαγές της Ενότητας B οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις του εξεταζόμενου κτιρίου ξεχωριστά και προϋποθέτουν τη γνώση του συνολικού δείκτη $R_{fail,cr}$ των υποστυλωμάτων του κρίσιμου ορόφου, ο οποίος ισούται με τον μέσο όρο των επιμέρους δεικτών $r_{u,lim}$ (Εξίσωση 2), που υπολογίζονται στην Ενότητα A της φόρμας. Για τους ελέγχους σεισμικής επάρκειας απαιτείται επίσης η γνώση του παραμορφώσιμου ύψους των υποστυλωμάτων του κρίσιμου ορόφου του κτιρίου, $H_{cl,cr}$, η μάζα, M_{cr} και η μεταφορική δυσκαμψία, K_{cr} , του ίδιου ορόφου, στοιχεία τα οποία προκύπτουν από την αποτύπωση του κτιρίου και προσεγγιστικούς επιτόπου υπολογισμούς. Τέλος και στις δύο Ενότητες, B1 και B2, είναι απαραίτητη η εκτίμηση του ποσοστού της συνολικής στροφής του κρίσιμου ορόφου ως προς την κατακόρυφο που αναλαμβάνεται από τα υποστυλώματα, $A_{c,cr}$ - μια συντηρητική παραδοχή είναι ότι όλη η στροφή του ορόφου αναλαμβάνεται από τα υποστυλώματα, $A_{c,cr} = 1.0$, ενώ στις συνήθεις περιπτώσεις κτιρίων Ο.Σ. ισχύει $A_{c,cr} = 0.7$. Επιπρόσθετα, στην Ενότητα B1 απαιτείται η εκτίμηση της θεμελιώδους μεταφορικής ιδιοπεριόδου του κτιρίου σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις του, T_1 , βάσει της οποίας προσδιορίζεται η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού που προβλέπεται για την περιοχή του εξεταζόμενου κτιρίου από τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό, $S_d(T_1)$. Η T_1 μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με τον EN1998-1 [12] ως συνάρτηση του συνολικού ύψους του κτιρίου, H_{tot} , ως:

$$T_1 = 0.075 \cdot H_{tot}^{3/4} \quad (5)$$



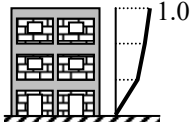
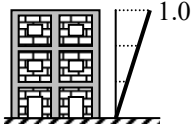
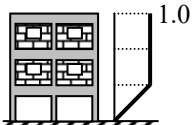
Σχήμα 3: Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. - Ενότητα Α: Προσδιορισμός δείκτη $r_{u,lim}$

	Κύρια Διεύθυνση Κάτοψης				
	Διεύθυνση X	Διεύθυνση Y			
$R_{fail,cr}$					
$\Lambda_{c,cr}$					
$H_{cl,cr}$ (m)					
K_{cr} (kN/m)					
M_{cr} (t)					
T_1 (s)					
$S_a(T_1)$ (m/s ²)					
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ Θ					
Σχήμα Παραμόρφωσης Κτιρίου	Αριθμός Ορόφων				
	2	3	4	5	6
	2.061	2.943	3.788	4.618	5.441
	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
$\theta_{c,dem}^{crit} = S_a(T_1) \cdot \frac{H_{cl}}{\Lambda_{c,cr}} \cdot \frac{M_{cr}}{K_{cr}} \cdot \Theta$ (rad)					
$\theta_{c,cap}^{crit} = 0.005 \cdot \Lambda_{c,cr}$ (rad)					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ					
ΑΣΦΑΛΕΣ εάν $\theta_{c,cap} > \theta_{c,dem}$					
ΜΗ ΑΣΦΑΛΕΣ εάν $\theta_{c,cap} \leq \theta_{c,dem}$					

Σχήμα 4: Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. - Ενότητα Β1: Έλεγχος σεισμικής επάρκειας σε όρους στροφής θ στους στύλους του κρίσιμου ορόφου.

Η αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας του εξεταζόμενου κτιρίου Ο.Σ. τόσο στην Ενότητα Β1, όσο και στην Ενότητα Β2 της Φόρμας Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. πραγματοποιείται ως συνάρτηση του σχήματος παραμόρφωσης που το κτίριο λαμβάνει τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης, Ψ , μέσω των συντελεστών Θ και Λ αντιστοίχως. Για τους συντελεστές Θ και Λ στις Ενότητες Β1 και Β2 περιλαμβάνονται πίνακες με τιμές που αντιστοιχούν σε πολυώροφα κτίρια Ο.Σ., δώροφα έως εξαώροφα, για τρία χαρακτηριστικά σχήματα παραμόρφωσης, Ψ , δηλαδή, (α) το σχήμα παραμόρφωσης διατμητικού τύπου, που χαρακτηρίζει τη σεισμική απόκριση παλαιού τύπου κτιρίων Ο.Σ., όπου οι οριζόντιες παραμορφώσεις συγκεντρώνονται κυρίως στους χαμηλότερους ορόφους, (β) το σχήμα παραμόρφωσης τοιχωματικών ή σύγχρονων τοιχοπληρωμένων κατασκευών, όπου οι οριζόντιες

παραμορφώσεις αναπτύσσονται εξίσου σε όλους τους ορόφους του κτιρίου και (γ) το σχήμα παραμόρφωσης σε κτίρια τύπου Pilotis, όπου θεωρείται ότι το σύνολο των οριζόντιων παραμορφώσεων αναπτύσσεται στον μαλακό όροφο του κτιρίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι για το πρώτο και το τρίτο σχήμα παραμόρφωσης, κρίσιμος είναι ο πρώτος όροφος. Για το σχήμα παραμόρφωσης τοιχωματικών ή σύγχρονων τοιχοπληρωμένων κατασκευών, παρότι όλοι οι όροφοι παρουσιάζουν την ίδια οριζόντια σχετική παραμόρφωση κρίσιμος είναι και πάλι ο πρώτος όροφος, καθώς τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία του ορόφου αυτού δέχονται το μεγαλύτερο αξονικό φορτίο σε σχέση με τα αντίστοιχα δομικά στοιχεία των ανώτερων ορόφων.

	Κύρια Διεύθυνση Κάτοψης				
	Διεύθυνση X	Διεύθυνση Y			
$R_{fail,cr}$					
$A_{c,cr}$					
$H_{cl,cr}$ (m)					
K_{cr} (kN/m)					
M_{cr} (t)					
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ A					
Σχήμα Παραμόρφωσης Κτιρίου	Αριθμός Ορόφων				
	2	3	4	5	6
	242.64	169.87	132.01	108.28	91.90
	333.33	250.00	200.00	166.67	142.86
	250.00	166.67	125.00	100.00	83.33
$a_{g,lim} = H_{cl,cr} \cdot \frac{R_{fail,cr}}{A_{c,cr}} \cdot \frac{K_{cr}}{M_{cr}} \cdot (A \cdot 10^{-5})$ (m/s ²)					
$a_{g,d} = \begin{cases} 1.57 & \text{για Ζώνη I} \\ 2.35 & \text{για Ζώνη II} \\ 3.53 & \text{για Ζώνη III} \end{cases}$ (m/s ²)					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ					
ΑΣΦΑΛΕΣ εάν $a_{g,lim} > a_{g,d}$					
ΜΗ ΑΣΦΑΛΕΣ εάν $a_{g,lim} \leq a_{g,d}$					

Σχήμα 5: Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. - Ενότητα Β1: Έλεγχος σεισμικής επάρκειας σε όρους επιτάχυνσης εδάφους, a_g .

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία παρουσιάζει τη διατύπωση της Μεθόδου Ταχείας Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. [1 - 3] υπό την μορφή φόρμας επιτόπου ελέγχου προσαρμοσμένης στα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων κτιρίων Ο.Σ. που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα με βάση τους παλαιότερους κανονισμούς που περιγράφονται στα Β.Δ. του 1954 [4] και 1959 [5]. Η Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. επιτρέπει τον άμεσο προσδιορισμό της σεισμικής ικανότητας πολυώροφων κτιρίων Ο.Σ. μετά από την πραγματοποίηση απλών υπολογισμών, εκτελέσιμων επιτόπου, οι οποίοι χρησιμοποιούν δεδομένα που προέρχονται μόνο από την αποτύπωση του κτιρίου και στην περίπτωση που δεν υφίσταται εγκεκριμένη οικοδομική άδεια από την εφαρμογή μη-καταστρεπτικών μεθόδων για την εξακρίβωση της ποιότητας των υλικών των δομικών στοιχείων και των λεπτομερειών όπλισής τους. Η Φόρμα Επιτόπου Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων Ο.Σ. είναι ιδανική για την μαζική αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας τυπικών υφιστάμενων πολυώροφων κτιρίων Ο.Σ., που αποτελούν και την πλειοψηφία του κτιριακού κεφαλαίου της Ελλάδας, στο πλαίσιο ενός δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου, με στόχο τον γρήγορο εντοπισμό των δυνητικά επικίνδυνων περιπτώσεων έναντι του σεισμού σχεδιασμού και τη διευκόλυνση του Ελληνικού Δημοσίου στο να κατευθύνει τη διάθεση των απαραίτητων οικονομικών πόρων για την αναβάθμιση αυτών των σεισμικά ευάλωτων περιπτώσεων.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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
2. Pardalopoulos SI, Pantazopoulou SJ, Lekidis VA. (2018). Simplified method for rapid seismic assessment of older R.C. buildings. *Eng. Struct.* 2018; 154: 10–22. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.10.052
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. 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.
5. Β.Δ. 1959. Περί αντισεισμικού κανονισμού οικοδομικών έργων. *Εθνικό Τυπογραφείο*; ΦΕΚ 36/Α/26-02-1959: 281–288.
6. Clough RW, Penzien J. *Dynamics of Structures* (2nd edn). McGraw-Hill Inc.: New York; 1993.
7. Chopra AK. *Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering* (3rd edn). Pearson Education, Inc.: Upper Saddle River, New Jersey; 2007.
8. 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>
9. ΕΚΩΣ 2000. Ελληνικός κανονισμός ωπλισμένου σκυροδέματος 2000. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα; 2001.
10. ΕΑΚ 2003. Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός 2003. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα; 2003.
11. 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.
12. 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.