



Πρωτοβάθμιος και Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων - Συγκρίσεις

Κωνσταντίνος Βαδαλούκας¹, Αριστείδης Παπαχρηστίδης², Κανελλόπουλος Θεόδωρος³,
Ευτυχία Αποστολίδη⁴ & Στέφανος Δρίτσος⁵

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας του πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εξετάζεται η συσχέτιση της βαθμολογίας, όπως αυτή προέκυψε από τον πρωτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο, με τον δείκτη προτεραιότητας του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου, όπως υπολογίσθηκε μεταγενέστερα. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 9 πραγματικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα. Από τη σύγκριση προέκυψε ότι ο Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος, πέρα των βελτιώσεων που επιδέχεται, αποτελεί μια αρκετά ικανοποιητική μεθοδολογία για μια πρώτη δομική κατάταξη των κτιρίων.

Λέξεις κλειδιά : Πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος, Δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος, Δείκτης προτεραιότητας ελέγχου, Προσεισμικός Έλεγχος.

¹ Πολιτικός Μηχανικός, 3DR Engineering Software Ltd, Κηφισίας 340, 15233, Χαλάνδρι, kostasv@3dr.eu

² Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, 3DR Engineering Software Ltd, Κηφισίας 340, 15233, Χαλάνδρι, aristidi@3dr.eu

³ Πολιτικός Μηχανικός, 3DR Engineering Software Ltd, Κηφισίας 340, 15233, Χαλάνδρι, ixntheodoros@gmail.com

⁴ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Donges SteelTec GmbH, Mainzer Straße 55, 64293 Darmstadt, e_apostolidi@donges-steeltec.de

⁵ Ομότιμος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, dritsos@upatras.gr

1. ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ από την απογραφή του 2011, το 80% περίπου του ελληνικού δομικού ιστού [1] αποτελείται από κτίρια, που είτε δεν έχουν μελετηθεί με αντισεισμικό κανονισμό, είτε μελετήθηκαν με τους παλαιούς αντισεισμικούς κανονισμούς (κτίρια προ του 1995). Ο Προσεισμικός Έλεγχος υφιστάμενων κτιρίων συμβάλει στη χάραξη της αντισεισμικής πολιτικής της χώρας και στην ορθολογικότερη διαχείριση των οικονομικών πόρων. Με βάση τα σημερινά δεδομένα η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα γίνεται κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. [2] ή ΕΚ8-3 [3], μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία, αφού απαιτείται αναλυτική μελέτη.

Από το 2001, με εποπτεία του Ο.Α.Σ.Π., υλοποιείται το πρόγραμμα «Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός έλεγχος κτιρίων Δημόσιας και Κοινοφελούς χρήσης». Στόχος του προγράμματος είναι η καταγραφή των υφιστάμενων κτιρίων δημόσιας και κοινοφελούς χρήσης και μία πρώτη εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσής τους προκειμένου να καθοριστούν οι προτεραιότητες σε εθνικό επίπεδο για τον περαιτέρω έλεγχο, με βάση τα στοιχεία που συλλέγονται και καταγράφονται σε σχετικά δελτία.

Τον Φεβρουάριο του 2014, η μεθοδολογία του πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκε και στον νόμο για την αντιμετώπιση της αυθαίρετης δόμησης (Ν.4178/13) μέσω του Δελτίου Δομικής Τρωτότητας Αυθαιρέτου (Δ.Ε.ΔΟ.ΤΑ) [4].

Το 2022 παρουσιάστηκε η νέα διαδικτυακή βάση δεδομένων του Ο.Α.Σ.Π. για τον Προσεισμικό Έλεγχο Δημοσίων Κτηρίων [5]

Με τον ν.5037/2023 επικαιροποιήθηκε το Πρόγραμμα Προσεισμικού Ελέγχου Κτιρίων, όπου στεγάζονται κρίσιμες εν γένει υποδομές του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

Επιπλέον, τον Μάιο του 2018 δημοσιεύθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π. η μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου [6] σε κτίρια Δημόσιας και Κοινοφελούς χρήσης με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μέσω της μεθοδολογίας των 13 κριτηρίων του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου και με προσεγγιστικούς υπολογισμούς εκτιμάται η σεισμική ικανότητα των κτιρίων με στόχο την ιεραρχική βαθμονόμησή τους για περαιτέρω Τριτοβάθμιο έλεγχο.

Η πρώτη αναθεώρηση της μεθοδολογίας απέκτησε θεσμική ισχύ τον Ιούνιο του 2022 [7] και αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας .

Η βαθμονόμηση προκύπτει μέσω του προσεγγιστικού δείκτη προτεραιότητας ελέγχου λ , ο οποίος προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\lambda = 100 \cdot \frac{V_{req}}{\beta \cdot V_{R0}} \quad (1)$$

όπου V_{req} και V_{R0} η σεισμική απαίτηση και αντίσταση στη βάση του κτιρίου σε όρους τέμνουσας βάσης, αντίστοιχα, και β ο μειωτικός συντελεστής επιρροής των 13 κριτηρίων του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου στην τέμνουσα αντοχής του κτιρίου.

Ο δείκτης προτεραιότητας ελέγχου λ της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου, έδειξε πολύ καλή σύγκλιση με αντίστοιχα αποτελέσματα από πραγματικές κατασκευές

(μετά από συσχέτιση με τις απαιτήσεις ενισχύσεων που προέκυψαν μέσω Τριτοβάθμιου ελέγχου κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.) [8].

Στόχος της παρούσης εργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων Πρωτοβάθμιου και Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου σε μια ομάδα υπαρκτών κτιρίων με διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά. Για τον σκοπό αυτό, ελέγχθηκαν 9 κτίρια (Πίνακας 1), τα οποία ανήκουν στην ίδια σεισμική ζώνη, με έτος κατασκευής από 1959 έως 2009 και στα οποία, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία του Πρωτοβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου και έγινε η ιεραρχική κατάταξή τους, με βάση την τελική δομική βαθμολογία που προέκυψε. Σε αυτή την ομάδα κτιρίων εφαρμόστηκε και η μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου, με το λογισμικό 3DR.STRAD.

Η σειρά προτεραιότητας ελέγχου που προέκυψε με βάση τη βαθμολογία της πρωτοβάθμιας διαδικασίας συγκρίθηκε με τον αντίστοιχο δείκτη προτεραιότητας ελέγχου λ, της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου ελέγχου.

Πίνακας 1: Γενικά Χαρακτηριστικά Κτιρίων Ελέγχου

A/A	Περίοδος Κατασκευής	Δομικός Τύπος	Χρήση	Αριθμός Υπέργειων Ορόφων	Επιφάνεια Κάτοψης m ²	Ολική Δομημένη Επιφάνεια m ²	Παρατηρήσεις:
1	1985 - 1995	ΟΣβ	Διαγνωστικά Εργαστήρια Νοσοκομείου (4B)	2	360	495	Έτος Τελευταίας Προσθήκης 2000: Προσθήκη Α' Ορόφου από συν αρμολογούμενους μεταλλικούς προκατασκευασμένους οικίσκους τύπου Glassart
2	1959 - 1985	ΟΣα	Νοσοκομείο (Κτίριο Γ)	4	860	2825	Έτος Τελευταίας Προσθήκης 2004: Προσθήκη κατ' επέκταση στο ισόγειο & Υπόγειο Ενισχύσεις Με Κατασκευή Νέων Υποστυλωμάτων & Τοιχείων
3	1959 - 1985	ΟΣα	Νοσοκομείο (Κτίριο Α)	4	590	2360	
4	1959 - 1985	ΟΣα	Νοσοκομείο (Κτίριο Β)	4	580	2150	
5	1985 - 1995	ΟΣβ	Λεβητοστάσιο & Καυστήρες Νοσοκομείου	1	210	210	
6	1985 - 1995	ΟΣβ	Τεχνική Υπηρεσία Νοσοκομείου	2	380	900	+ Μεσοπάτωμα σε Τμήμα Κάτοψης Ισογείου
7	1985 - 1995	ΟΣβ	Χειρουργεία (2B) Νοσοκομείου	2	690	1380	
8	2003 < ...	ΟΣγ	Κλίνες Νοσοκομείου	1	710	710	
9	1985 - 1995	ΟΣβ	Διαγνωστικά Εργαστήρια Νοσοκομείου (4Γ)	1	130	130	

2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Η συμπλήρωση των στοιχείων τρωτότητας τόσο στον πρωτοβάθμιο όσο και στον δευτεροβάθμιο έλεγχο βασίστηκε στα υφιστάμενα σχέδια (αρχιτεκτονικά, στατικά κλπ.) καθώς και στην αυτοψία που πραγματοποιήθηκε στα 9 κτίρια.

Τα γεωμετρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στον πρωτοβάθμιο όσο και στον δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο, προήλθαν από σχέδια της αρχικής μελέτης ή/και από δεδομένα που έχουν διαπιστωθεί/ μετρηθεί/ αποτυπωθεί αξιόπιστα ή/και από δεδομένα που έχουν ευλόγως θεωρηθεί κατά την κρίση του Μηχανικού. Τα φορτία, μόνιμα (G) και κινητά (Q), που λήφθηκαν υπόψη είναι σύμφωνα με την τελική χρήση του κτιρίου και τον Ευρωκώδικα 1 [9]. Στην παρούσα εργασία συγκρίνεται η μεθοδολογία του πρωτοβάθμιου ελέγχου κατ' εφαρμογή της 5^{ης} Έκδοσης του Ο.Α.Σ.Π. (2020) [10] και όχι με βάση την πρόσφατη 6^η Έκδοση (2024) [11] στην οποία εξειδικεύθηκαν αναλυτικότερα οι οδηγίες και προστέθηκε ενδιάμεση βαθμονόμηση σε έντεκα στοιχεία τρωτότητας με διαβαθμίσεις 0%, 25%, 50%, 75%, 100%.

Ο δευτεροβάθμιος έλεγχος εφαρμόστηκε σύμφωνα με την ισχύουσα σήμερα μεθοδολογία της πρώτης Αναθεώρησης [7].

Το φάσμα σχεδιασμού, που χρησιμοποιήθηκε ήταν του ΕΚ8-1 [12] με μάζα του κτιρίου, όπως υπολογίστηκε από τον συνδυασμό $G+\psi_2Q$.

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας του σκυροδέματος, του χάλυβα και των τοίχων πλήρωσης, χρησιμοποιήθηκαν οι ερήμην τιμές του Δευτεροβάθμιου Ελέγχου (Πίνακες 1., 2. & 3, Παράρτημα Δ.).

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q προέκυψε σύμφωνα με τον Πίνακα του παραρτήματος Δ για την στάθμη επιτελεστικότητας Β «Σημαντικές Βλάβες».

Ο σπλισμός των στοιχείων δε λήφθηκε υπόψη.

Σε κάθε κύρια διεύθυνση, προσδιορίστηκε η σεισμική απαίτηση από τη σχέση:

$$V_{req} = M \cdot S_d(T) \quad (2)$$

όπου, M η μάζα του κτιρίου και $S_d(T)$ η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.

Η ιδιοπερίοδος του κτιρίου εκτιμήθηκε από την επίλυση του κτιρίου με την μέθοδο Rayleigh και όχι με την προσεγγιστική σχέση του ΕΚ8-1 [12].

Ο συντελεστής εδάφους λήφθηκε από τον σχετικό πίνακα της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου σύμφωνα με τον Ο.Α.Σ.Π., ενώ η κατηγοριοποίηση του εδάφους βασίστηκε σε υφιστάμενες γεωτεχνικές έρευνες ή στις παραδοχές των υφιστάμενων μελετών (ανάλογα με τις επιτρεπόμενες τάσεις εδάφους).

Η σεισμική αντίσταση V_{R0} της κατασκευής εκτιμήθηκε σε όρους τέμνουσας βάσης για κάθε μία εκ των διευθύνσεων x, y ως το άθροισμα των επιμέρους αντοχών V_{Ri} των κατακόρυφων στοιχείων. Ο υπολογισμός γίνεται ξεχωριστά για υποστυλώματα, τοιχώματα, κοντά υποστυλώματα και τοιχοπληρώσεις, με βάση την εξίσωση (3) εφαρμόζοντας τους αντίστοιχους συντελεστές α_1, α_2 και α_3 , ανά κατεύθυνση, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου

$$V_{Ro} = \alpha_1 \sum V_{Ri}^{υποστ.} + \alpha_2 \sum V_{Ri}^{τοιχ.} + \alpha_3 \sum V_{Ri}^{κοντ.υποστ.} + \sum V_{Ri}^{τοιχοπλ.} \quad (3)$$

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται χωρίς να έχει εκτιμηθεί και ληφθεί υπόψη ο σπλισμός των κατακόρυφων στοιχείων.

Το V_{Ri} κάθε κατακόρυφου στοιχείου προσδιορίζεται από τη σχέση 6.2β του ΕΚ2 [13], η οποία επιλέγεται ως απλούστερη από την αντίστοιχη του ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

$$V_{Ri} Rl = (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma) \cdot b_w \cdot d \quad (4)$$

όπου:

b_w, d : το πλάτος και το στατικό ύψος της διατομής του κατακόρυφου στοιχείου

$\sigma = N_{Ed}/A$: η αξονική θλιπτική τάση

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

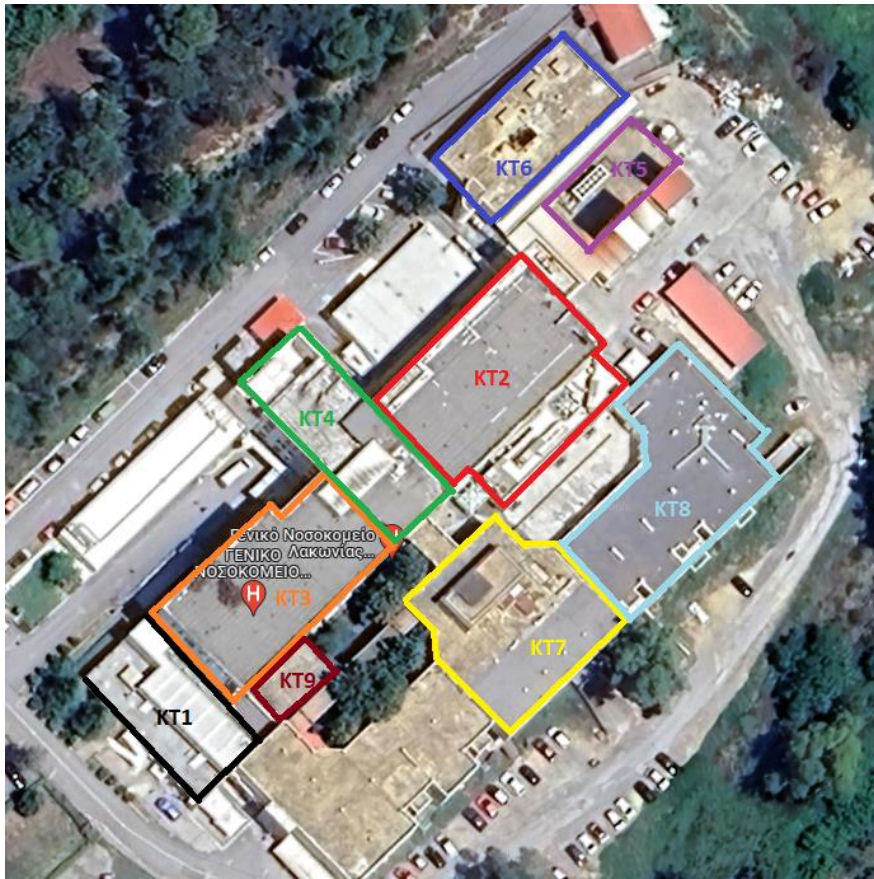
$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

Η βαθμονόμηση των κριτηρίων 1 - Βλάβες Στατικής Ανεπάρκειας, 3 - Μέγεθος Ανηγμένου Αξονικού Φορτίου, 4 - Κανονικότητα σε Κάτοψη, 6 - Κανονικότητα σε Τομή / Όψη, 7 - Κατανομή Δυσκαμψίας καθ' Ύψος / Μαλακός Όροφος, 8 - Κατανομή Μάζας καθ' Ύψος & 9 - Κοντά Υποστυλώματα, του δευτεροβάθμιου ελέγχου, έγινε με χρήση του λογισμικού 3DR.STRAD, σε συμφωνία με την προτεινόμενη διαδικασία της μεθοδολογίας. Για το κριτήριο 5 (Κατανομή δυσκαμψίας σε κάτοψη και στρέψη), ο υπολογισμός και η βαθμονόμηση έγιναν με χρήση του λογισμικού 3DR.STRAD ως εξής: Σε κάθε στάθμη και για τις δύο κύριες διευθύνσεις (x,y) κάθε κτιρίου έγινε εφαρμογή της εξίσωσης 4.1.β του ΕΚ8-1 [12] (αντίστοιχη με τις 3.4α,3.4β του Ε.Α.Κ. [14]) όπου:

- Αν $r_x < r_{px}$ και $r_y < r_{py}$ τότε $\beta_5 = 1$
- Αν $r_x > r_{px}$ ή $r_y > r_{py}$ τότε $\beta_5 = 5$

Διαφορετικά $r = \min(r_x, r_y)$ και με γραμμική παρεμβολή, ανάλογα πόσο απέχει το r από r_{px} προκύπτει $2 \leq \beta_5 \leq 4$, όπου r_x, r_y οι ακτίνες δυστρεψίας και r_{px} η ακτίνα αδρανείας του διαφράγματος. Η βαθμονόμηση των κριτηρίων 2 - Οξειδωση Οπλισμών, 10 - Κατακόρυφες Ασυνέχειες, 11 - Διαδρομή και Μεταφορά Δυνάμεων, 12 - Γειτονικά Κτίρια & 13 - Κακοτεχνίες / Τραυματισμοί, έγινε κατά κρίση μηχανικού και σύμφωνα με τις οδηγίες της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου.

Οι δείκτες προτεραιότητας που προέκυψαν από τον δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο, πολλαπλασιάστηκαν με συντελεστή 1.3, εξαιτίας της σπουδαιότητας του κτιρίου (Σ4), σύμφωνα με την μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Ελέγχου.



Εικ. 1: Κάτοψη κτιρίων ελέγχου



Εικ. 2: Κτίριο 1



Εικ. 3: Κτίριο 2



Εικ. 4: Κτίριο 3



Εικ. 5: Κτίριο 4



Εικ. 6: Κτίριο 5



Εικ. 7 : Κτίριο 6



Εικ. 8 : Κτίριο 7



Εικ. 9 : Κτίριο 8



Εικ. 10: Κτίριο 9

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα του Πρωτοβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, με ένδειξη όπου παρατηρείται το σχετικό στοιχείο τρωτότητας σύμφωνα με τις οδηγίες της σχετικής διαδικασίας. Οι εργασίες (αυτοψία και συμπλήρωση δελτίων) για τα 9 κτίρια διήρκησαν περίπου μια εβδομάδα.

Πίνακας 2: Στοιχεία Τρωτότητας Πρωτοβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου

Στοιχεία Τρωτότητας	Κτίριο								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό									
Έχει αυξηθεί η Σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της Χρήσης									
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις									
Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων		x	x	x		x			x
Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια	x	x	x	x			x		x
Μαλακός Όροφος		x	x	x		x			
Μη κανονική διάταξη τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη									
Μεγάλο ύψος									
Μη κανονικότητα καθ' ύψος	x	x				x			
Οριζόντια μη κανονικότητα									x
Ενδεχόμενο στρέψης		x	x	x	x	x	x		
Κοντά υποστυλώματα	x					x	x		x

Τα αποτελέσματα του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, με τη βαθμολογία που προέκυψε στις δυο διευθύνσεις x και y για κάθε σχετικό στοιχείο τρωτότητας σύμφωνα με τις οδηγίες της σχετικής διαδικασίας και ότι επεξηγηματικά αναφέρθηκε προηγουμένως. Οι εργασίες (αυτοψία, υπολογισμοί και συμπλήρωση δελτίων) για τα 9 κτίρια διήρκησαν περίπου τρεις εβδομάδες.

Πίνακας 3: Στοιχεία Τρωτότητας Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου

Στοιχεία Τρωτότητας Συντελεστής β	Κτίριο																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Βλάβες Στατικής Ανεπάρκειας	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Οξείδωση Οπλισμών	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	5	5	5	5	3	3
Μέγεθος Ανηγμένου Αξονικού Φορτίου	5	5	3	3	2	2	2	2	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
Κανονικότητα σε Κάτοψη	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	1	1	5	5	4	4	5	5
Κατανομή Δυσκαμψίας σε Κάτοψη / Στρέψη	4	4	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	3	3	5	5
Κανονικότητα σε Τομή / Όψη	1	1	3	3	5	5	5	5	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5
Κατανομή Δυσκαμψίας καθ' Ύψος Μαλακός Όροφος	5	5	1	1	1	1	1	1	5	5	3	3	4	4	5	5	5	5
Κατανομή Μάζας καθ' Ύψος	1	1	3	3	3	3	2	2	5	5	1	1	4	4	5	5	5	5
Κοντά Υποστυλώματα	2	2	4	4	4	5	4	4	5	4	5	2	4	3	4	4	3	3
Κατακόρυφες Ασυνέχειες	5	5	4	4	3	3	2	2	5	5	3	3	3	3	5	5	5	5
Διαδρομή και Μεταφορά Δυνάμεων	5	5	4	3	4	3	4	4	5	4	5	3	5	5	5	5	5	4
Γειτονικά Κτίρια	3	5	4	5	4	3	4	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3
Κακοτεχνίες, Τραυματισμοί	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	2	2	5	5	5	5	3	3

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται συγκριτικά τα δεδομένα 8 στοιχείων τρωτότητας που είναι κοινά στον Πρωτοβάθμιο και Δευτεροβάθμιο έλεγχο και εξετάζεται ο βαθμός σύγκλισης των αντίστοιχων αξιολογήσεων. Ως σύγκλιση εύλογα θεωρείται ότι:

(α) για βαθμό τρωτότητας Δευτεροβάθμιου ελέγχου $\min \beta (x,y) = 0$ ή 1 ή 2, θα πρέπει στο αντίστοιχο πεδίο του Πρωτοβαθμίου ελέγχου να έχει επιλεγεί ΝΑΙ.

(β) για βαθμό δευτεροβάθμιου ελέγχου $\min \beta (x,y) = 3$, θα πρέπει στο αντίστοιχο πεδίο του Πρωτοβαθμίου ελέγχου να έχει επιλεγεί ΝΑΙ, δεδομένου ότι η γενική αρχή στον Πρωτοβάθμιο είναι ότι σε περίπτωση αμφιβολίας ή ενδιάμεσης αξιολόγησης, συνιστάται να σημειώνεται το δυσμενέστερο ενδεχόμενο.

Πίνακας 4: Σύγκριση Δεδομένων Στοιχείων Τρωτότητας Πρωτοβάθμιου και Δευτεροβάθμιου Ελέγχου

Στοιχείο Τρωτότητας		Κτίριο								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις Βλάβες Στατικής Ανεπάρκειας $\min \beta (x,y)$	5	5	5	5	5	5	5	5
2	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων Κακοτεχνίες, Τραυματισμοί ή/και Οξείδωση Οπλισμών $\min \beta (x,y)$	4	3	3	3	4	2	5	5
3	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια Γειτονικά Κτίρια $\min \beta (x,y)$	x	x	x	x		x		x
4	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Μαλακός Όροφος Κατανομή Δυσκαμψίας καθ' ύψος Μαλακός Όροφος $\min \beta (x,y)$	5	1	1	1	5	3	4	5
5	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Μη κανονικότητα καθ' ύψος Κανονικότητα σε Τομή / Όψη $\min \beta (x,y)$	x	x			x			
6	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Οριζόντια μη κανονικότητα Κανονικότητα σε Κάτοψη $\min \beta (x,y)$	5	5	5	3	5	1	5	4
7	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Ενδεχόμενο στρέψης Κατανομή Δυσκαμψίας σε Κάτοψη / Στρέψη $\min \beta (x,y)$	4	1	1	1	2	1	1	3
8	Πρωτοβάθμιος Δευτεροβάθμιος	Κοντά υποστυλώματα Κοντά Υποστυλώματα $\min \beta (x,y)$	x				x	x		x

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 4, η σύγκλιση των αξιολογήσεων Πρωτοβαθμίου και Δευτεροβαθμίου ελέγχου είναι, σε γενικές γραμμές, αρκετά ικανοποιητική, με εξαίρεση λίγες περιπτώσεις που θα σχολιαστούν στη συνέχεια. Η διαφοροποίηση σε αυτές τις περιπτώσεις οφείλεται, στο γεγονός ότι στην 5^η έκδοση του Πρωτοβάθμιου ελέγχου, ο μελετητής μηχανικός καλείται να αξιολογήσει την επιρροή κάθε κριτηρίου με «Ναι» ή «Όχι», χωρίς ενδιάμεσες επιλογές και με λιγότερες περιοριστικές και ποσοτικές οδηγίες απ' ό,τι στην 6^η έκδοση, με αποτέλεσμα άλλοτε να «υπερεκτιμάται» και άλλοτε να «υποτιμάται» η επιρροή κάποιου κριτηρίου.

Σχολιάζοντας τις σχετικές εξαιρέσεις σημειώνονται τα εξής:

Στην αξιολόγηση του κινδύνου κρούσης με γειτονικά κτίρια, στο κτίριο 2, έχει επιλεγεί ΝΑΙ στο αντίστοιχο πεδίο τρωτότητας του Πρωτοβάθμιου, ενώ ο βαθμός του Δευτεροβάθμιου είναι $\min \beta (x,y) = 4$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κτίριο δεν διαθέτει επαρκή αρμό (μικρότερο από 8 cm

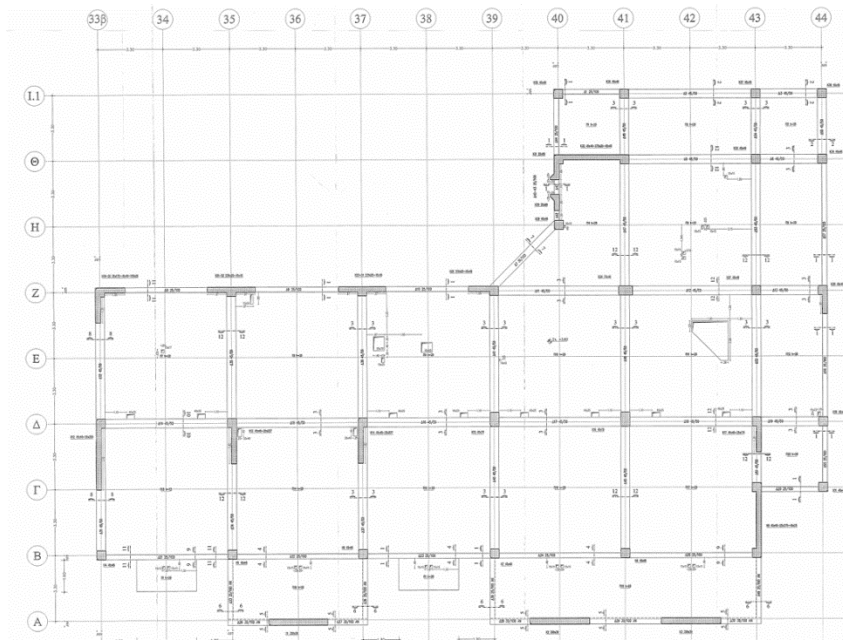
που θα έπρεπε) και επομένως σύμφωνα με την 5^η Έκδοση του Πρωτοβάθμιου ελέγχου πρέπει να επιλεγεί ΝΑΙ στο αντίστοιχο πεδίο τρωτότητας. Στον Δευτεροβάθμιο, η περίπτωση αξιολογείται με βαθμό 4, δεδομένου ότι ναι μεν δεν υπάρχει επαρκής αρμός, αλλά δεν υπάρχει ανισοσταθμία πλακών, ούτε μεγάλη διαφορά ύψους γειτονικών κτιρίων και το κτίριο δεν είναι γωνιακό.

Στην αξιολόγηση του κριτηρίου της οριζόντιας μη κανονικότητας, στο κτίριο 4 καθώς και στο κτίριο 6, έχει επιλεγεί ΟΧΙ στο αντίστοιχο πεδίο τρωτότητας στον Πρωτοβάθμιο, ενώ ο βαθμός του Δευτεροβάθμιου είναι $\min \beta (x,y) = 3$ και 1, αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η 5^η Έκδοση του Πρωτοβάθμιου ελέγχου δεν συνεκτιμούσε την παρουσία εσωτερικών κενών (που υπήρχαν) και αξιολογούσε μόνο το σχήμα της περιμέτρου της κάτοψης. Ενώ στον Δευτεροβάθμιο, αξιολογείται η παραπάνω παράμετρος.

Στο κτίριο 8 έχει επιλεγεί ΝΑΙ το αντίστοιχο πεδίο τρωτότητας του Πρωτοβαθμίου, ενώ ο βαθμός του Δευτεροβάθμιου είναι $\min \beta (x,y) = 4$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην 5^η Έκδοση του Πρωτοβάθμιου τα κτίρια με κατόψεις σχήματος «Γ», θεωρούνται μη κανονικά σε κάτοψη, χωρίς όμως να προσδιορίζονται σχετικοί ποσοτικοί προσδιορισμοί. Η κάτοψη του κτιρίου 8 (βλ. Εικόνα 11) είναι σχήματος «Γ» και κατά κρίση μηχανικού επιλέγει ΝΑΙ στο σχετικό πεδίο του Πρωτοβαθμίου, ενώ κατά τον Δευτεροβάθμιο έλεγχο οι προβλεπόμενοι υπολογισμοί του εμβαδού των εσοχών οδηγούν στην σχετικά καλή βαθμολογία 4.

Στην αξιολόγηση του κριτηρίου για το ενδεχόμενο στρέψης, στο κτίριο 8, έχει επιλεγεί ΟΧΙ στο αντίστοιχο πεδίο τρωτότητας του Πρωτοβαθμίου, ενώ ο βαθμός του Δευτεροβάθμιου είναι $\min \beta (x,y) = 3$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην 5^η Έκδοση του Πρωτοβάθμιου ελέγχου το ενδεχόμενο στρέψης κρίνεται οπτικά χωρίς υπολογισμούς και επομένως είναι πολύ πιθανό η κρίση αυτή, ειδικότερα σε “ενδιάμεσες καταστάσεις”, να μην συμπίπτει με το αποτέλεσμα του Δευτεροβαθμίου ελέγχου, το οποίο προκύπτει μετά από αναλυτικότερους υπολογισμούς.

Είναι ενδιαφέρον να επισημανθεί, ότι όλες οι παραπάνω αποκλίσεις μειώνονται αν γίνει η εφαρμογή της μεθοδολογίας του Πρωτοβάθμιου ελέγχου με βάση την τελευταία (6^η) αναθεώρησή του. Στο κτίριο 2, η αξιολόγηση του κριτηρίου κρούσης με γειτονικά κτίρια θα λάβει βαθμό εκπλήρωσης 25%, αντί του ΝΑΙ (=100%) και στα κτίρια 4 και 6, στο κριτήριο της οριζόντιας μη κανονικότητας θα ληφθούν υπόψη τα εσωτερικά κενά και, ως εκ τούτου, δεν θα ισχύει ΟΧΙ (=0%). Επίσης, στο κτίριο 8, οι προβλεπόμενοι στην αναθεωρημένη (6^η) έκδοση ποσοτικοί προσδιορισμοί στο κριτήριο της οριζόντιας μη κανονικότητας, θα οδηγήσουν σε βαθμό εκπλήρωσης 25%, αντί του ΝΑΙ (=100%) και η οπτική αξιολόγηση του κριτηρίου της στρέψης θα επιτρέψει τη χρήση ποσοστού εκπλήρωσης 50%, αντί του ΝΑΙ (=100%).



Εικ. 11: Ξυλότυπος Ισογείου Κτιρίου 8

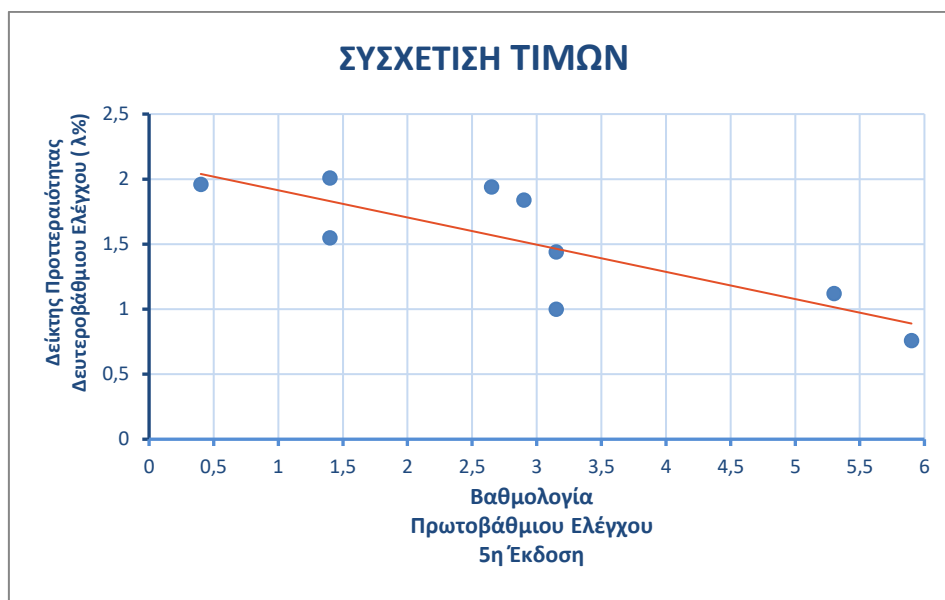
Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η κατάταξη των κτιρίων κατά φθίνουσα σειρά βαθμολογίας του Πρωτοβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου και συγκριτικά παρατίθεται ο δείκτης προτεραιότητας λ και η σεισμική κατηγορία κάθε κτιρίου σύμφωνα με το Δευτεροβάθμιο έλεγχο.

Αν και η σειρά κατάταξης που προκύπτει με βάση τη βαθμολογία του Πρωτοβαθμίου ελέγχου των εννέα κτιρίων που εξετάστηκαν δεν συμπίπτει (βλ. Πίνακας 5) με την προτεραιότητα ελέγχου που προσδιορίζεται από το σχετικό δείκτη λ του Δευτεροβαθμίου, μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια γενικότερη σύγκλιση κατά την οποία οι μικρές βαθμολογίες του Πρωτοβαθμίου ελέγχου αντιστοιχούν, κατά μέσον όρο, σε υψηλό δείκτη προτεραιότητας (και επομένως στις χαμηλότερες σεισμικές κατηγορίες) του Δευτεροβαθμίου, ενώ οι υψηλές βαθμολογίες του Πρωτοβαθμίου αντιστοιχούν, κατά μέσον όρο, σε χαμηλό δείκτη προτεραιότητας λ (και επομένως στις υψηλότερες σεισμικές κατηγορίες) του Δευτεροβαθμίου. Ενδεικτικά, μπορεί να παρατηρηθεί ότι όσα κτίρια κατατάχθηκαν σε βαθμολογία > 5 , είχαν Μ.Ο. δείκτη λ δευτεροβάθμιου ελέγχου < 100 , όσα κατατάχθηκαν σε βαθμολογία $2.5 \div 5$ είχαν Μ.Ο. δείκτη $\lambda = 155$, ενώ όσα κατατάχθηκαν σε βαθμολογία < 2.5 , είχαν Μ.Ο. δείκτη λ δευτεροβάθμιου ελέγχου > 180 .

Πίνακας 5: Βαθμολογία κτιρίων σύμφωνα με τον Πρωτοβάθμιο και Δευτεροβάθμιο Προσεισμικό έλεγχο

A/A Κτιρίου	Αριθμός Υπέργειων Ορόφων	Βαθμολογία Πρωτοβάθμιου Ελέγχου 5 ^η Έκδοση	Δείκτης Προτεραιότητας Δευτεροβάθμιου Ελέγχου (λ)	Συντελεστής δ (Δευτεροβαθμίου ελέγχου)	Σεισμική Κατηγορία Κτιρίων (Δευτεροβάθμιος Έλεγχος)
8	1	5.90	76	1.32	K1+
5	1	5.30	112	0.89	K2+
9	1	3.15	100	1.00	K1
1	2	3.15	144	0.69	K2
7	2	2.90	184	0.54	K3+
6	2 + Μεσοπάτωμα	2.65	194	0.52	K3+
4	4	1.40	155	0.65	K3+
3	4	1.40	201	0.50	K3+
2	4	0.40	196	0.51	K3+

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται γραφικά η βαθμολογία των κτιρίων σύμφωνα με τις δύο μεθόδους, όπου παρατηρείται μια ενδιαφέρουσα, αξιολογική συσχέτιση.



Σχ. 1 : Συσχέτιση τιμών μεταξύ Α' βαθμίου και Β' βαθμίου ελέγχου
(Μπλε κουκκίδες: ζεύγη τιμών, Πορτοκαλί γραμμή: best fit line)

Εξάλλου, είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί (Σχήμα 1) ότι η τιμή του κατά τον Δευτεροβάθμιο έλεγχο δείκτη $\lambda=100$ (και επομένως του οινωεί δείκτη σεισμικής ικανότητας συντελεστή $\delta=1$) αντιστοιχεί σε βαθμολογία Πρωτοβαθμίου περίπου ίση με 5.3. Δικαιολογείται ως εκ τούτου η υιοθέτηση (στον Πρωτοβάθμιο έλεγχο) του βαθμού 5.5 ως ορίου πέραν του οποίου ένα κτίριο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως χαμηλής προτεραιότητας ελέγχου (κατηγορία Γ).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν 9 κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τον Πρωτοβάθμιο (5^η έκδοση της μεθόδου) και Δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο. Συγκρίνονται και σχολιάζονται οι αξιολογήσεις που έγιναν στα επιμέρους στοιχεία τρωτότητας, καθώς και οι τελικές βαθμολογίες που έλαβαν τα κτίρια κατά την εφαρμογή των δυο μεθόδων. Συνοπτικά παρατηρήθηκε:

- Αρκετά ικανοποιητική (εν γένει) σύγκλιση στην αξιολόγηση (βαθμολογία) των κριτηρίων τρωτότητας, τα οποία ήταν κοινά στον Πρωτοβάθμιο και Δευτεροβάθμιο έλεγχο, με εξαίρεση λίγες περιπτώσεις που απέκλιναν και σχολιάστηκαν. Οι παραπάνω αποκλίσεις οφείλονται, στο γεγονός ότι στην 5η έκδοση του Πρωτοβάθμιου ελέγχου, ο μελετητής μηχανικός καλείται να αξιολογήσει την επιρροή κάθε κριτηρίου με «Ναι» ή «Όχι», χωρίς ενδιάμεσες επιλογές και με λιγότερες περιοριστικές και ποσοτικές οδηγίες απ' ότι στην 6η έκδοση, με αποτέλεσμα άλλοτε να «υπερεκτιμάται» και άλλοτε να «υποτιμάται» η επιρροή κάποιου κριτηρίου. Είναι ενδιαφέρον να επισημανθεί, ότι όλες οι παραπάνω αποκλίσεις μειώνονται αν γίνει η εφαρμογή της μεθοδολογίας του Πρωτοβάθμιου ελέγχου με βάση την τελευταία (6η) αναθεώρησή του.
- Ότι, αν και η σειρά κατάταξης των 9 κτιρίων με βάση τη βαθμολογία του Πρωτοβαθμίου ελέγχου δεν συμπίπτει με την προτεραιότητα ελέγχου που προσδιορίζεται από το σχετικό δείκτη λ του Δευτεροβαθμίου, μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια γενικότερη σύγκλιση κατά την οποία οι μικρές βαθμολογίες του Πρωτοβαθμίου ελέγχου αντιστοιχούν, κατά μέσον όρο, σε υψηλό δείκτη προτεραιότητας (και επομένως στις χαμηλότερες σεισμικές κατηγορίες) του Δευτεροβαθμίου, και αντιστρόφως.
- Μια ενδιαφέρουσα, αξιόλογη συσχέτιση της βαθμολογίας που έλαβαν τα κτίρια σύμφωνα με τις δύο μεθόδους. Είναι ενδιαφέρον ότι η τιμή του κατά τον Δευτεροβάθμιο έλεγχο δείκτη $\lambda=100$ (και επομένως του οινωεί δείκτη σεισμικής ικανότητας συντελεστή $\delta=1$) αντιστοιχεί σε βαθμολογία Πρωτοβαθμίου περίπου ίση με 5.3. Θα δικαιολογείτο ως εκ τούτου η υιοθέτηση (στον Πρωτοβάθμιο έλεγχο) του βαθμού 5.5 ως ορίου πέραν του οποίου ένα κτίριο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως χαμηλής προτεραιότητας ελέγχου (κατηγορία Γ).
- Ο Δευτεροβάθμιος έλεγχος είναι απαραίτητος λόγω της απόκλισης από την κατάταξη των κτιρίων που προκύπτει κατά τον Πρωτοβάθμιο, όσο και από το ευρύ φάσμα των κτιρίων που έλαβαν την ίδια βαθμολογία Πρωτοβαθμίου, ενώ διαφοροποιήθηκαν κατά το Δευτεροβάθμιο.
- Τόσο ο πρωτοβάθμιος, όσο και ο δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος, ίσως θα πρέπει να αξιολογήσουν περισσότερο την σημασία των ενισχύσεων, μιας και αυτές δεν αποτυπώθηκαν στην βαθμολογία του κτιρίου 2 (Βαθμολογία Πρωτοβάθμιου = 0.40 & $\lambda = 196$).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ελληνική Στατιστική Αρχή, Απογραφή Κτιρίων 2011, www.statistics.gr/census-buildings-2011
- [2] Κανονισμός Επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. 3η Αναθεώρηση (Φ.Ε.Κ. 3197/Β/22-06-2022).
- [3] Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας κτιρίων και επεμβάσεις, EN 1998-3 (2005).
- [4] Οδηγίες για την εφαρμογή της παρ. 8 του άρθρου 11 του ν. 4178/2013 «Αντιμετώπιση της Αυθαίρετης Δόμησης – Περιβαλλοντικό Ισοζύγιο και άλλες διατάξεις.» (Φ.Ε.Κ. 405/Β/20-02-2014).
- [5] Σέξτος Α, Πέλλη Ε, Παναγιωτοπούλου Δ, Ταρναβά Κ, Ζάγορα Γ, Λαλεχός Σ, Παπαχρηστίδης Α & Μαρούλης Γ, «Νέα διαδικτυακή βάση δεδομένων του Ο.Α.Σ.Π. για τον Προσεισμικό Έλεγχο Δημοσίων Κτηρίων», 5^ο ΠΣΑΜΤΣ, Αθήνα 2022.
- [6] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Ο.Α.Σ.Π., Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα, Μάιος 2018.
- [7] Έγκριση μεθοδολογίας Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου σε κτίρια Δημόσιας και Κοινοφελούς χρήσης με φέροντα οργανισμό από Οπλισμένο Σκυρόδεμα [1η Αναθεώρηση] (Φ.Ε.Κ. 3134/Β/21-06-2022).
- [8] Άννα Ζώτου, Κωνσταντίνος Βαδαλούκας, Αριστείδης Παπαχρηστίδης & Στέφανος Δρίτσος, «Αξιολόγηση της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου» », 5^ο ΠΣΑΜΤΣ, Αθήνα 2022.
- [9] Ευρωκώδικας 1, Δράσεις σε δομήματα - Μέρος 1 - 1: Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδια βάρη και επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια, EN 1991-1-1 (2002).
- [10] Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας, Ο.Α.Σ.Π., Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων Δημόσιας και Κοινοφελούς Χρήσης Έλεγχος Δομικής Τρωτότητας 5^η Έκδοση 2020.
- [11] Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας, Ο.Α.Σ.Π., Τ.Ε.Ε., Σ.Π.Μ.Ε, Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων 6^η Έκδοση, Αθήνα 2024.
- [12] Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, EN 1998-1-1 (2004).
- [13] Ευρωκώδικας 2, Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, EN 1992-1-1 (2004).
- [14] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (ΦΕΚ 2184_Β_ 20-12-1999, ΦΕΚ 1154_Β_ 12-08-2003).
- [15] 3DR.STRAD Γενικό Εγχειρίδιο Χρήσης, 3DR Engineering Software Ltd, Αθήνα 2015.