

Αξιολόγηση της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου

Άννα Ζώτου¹, Κωνσταντίνος Βαδαλούκας², Αριστείδης Παπαχρηστίδης³,
Στέφανος Δρίτσος⁴

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εξετάζεται η συσχέτιση του δείκτη προτεραιότητας δευτεροβάθμιου ελέγχου με το τελικό κόστος ενίσχυσης / (ανά) τετραγωνικό, όπως προέκυψε τελικώς στην πράξη, με βάση τις επεμβάσεις, που απαιτήθηκαν από τον τριτοβάθμιο έλεγχο (KAN.ΕΠΕ.). Δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν από 13 πραγματικά κτήρια. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση του κόστους ενίσχυσης, που εκτιμάται με βάση τον δείκτη ανεπάρκειας του δευτεροβάθμιου ελέγχου, με το πραγματικό κόστος επεμβάσεων. Τέλος, ελέγχεται η συσχέτιση του δείκτη ανεπάρκειας δευτεροβάθμιου ελέγχου, ως προς χαρακτηριστικά των κτηρίων όπως το έτος κατασκευής, τον αριθμό ορόφων κ.α., ενώ γίνεται και εκτίμηση του ρόλου των 13 κριτηρίων του δευτεροβάθμιου ελέγχου στην ορθότητα των αποτελεσμάτων του. Η κατάταξη των κτιρίων με βάση το κόστος ενισχύσεων ανά m² κάτοψης ταυτίζεται σε ποσοστό 93% με την κατάταξη, που προκύπτει από τον Δευτεροβάθμιο Προσεισμικό έλεγχο.

Λέξεις Κλειδιά: δείκτης ανεπάρκειας, δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος, KAN.ΕΠΕ., κόστος ενίσχυσης

1 ΓΕΝΙΚΑ

Το 80% του ελληνικού δομικού ιστού [1] αποτελείται από κτίρια, που είτε δεν έχουν μελετηθεί με αντισεισμικό κανονισμό είτε μελετήθηκαν με τους παλαιούς αντισεισμικούς κανονισμούς, ενώ η έκδοση νέων οικοδομικών αδειών λόγω της οικονομικής κρίσης έχει μειωθεί ραγδαία. Η συνολική οικονομική απώλεια από τους σεισμούς στην Ελλάδα είχε εκτιμηθεί [2] 538.000.000€ κατά μέσο όρο ετησίως. Στο ποσό αυτό πρέπει να προστεθεί η οικονομική ζημιά που προκύπτει από το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια των εντόνων σεισμικών εξάρσεων οι κάτοικοι των σεισμόπληκτων περιοχών δεν εργάζονται και τα μέσα παραγωγής παραμένουν αδρανή για σημαντικά χρονικά διαστήματα. Με βάση τα σημερινά δεδομένα η αποτίμηση της σεισμικής

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

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

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

⁴ Ομότιμος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, dritsos@upatras.gr

ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών γίνεται κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ή ΕΚ8-3, μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, αφού απαιτείται αναλυτική μελέτη.

Τον Μάιο του 2018 εκδόθηκε από τον ΟΑΣΠ η μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου 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 κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. Προσφάτως (Ιούνιος 2022), δημοσιεύτηκε η πρώτη αναθεώρηση της μεθοδολογίας, χωρίς όμως να περιλαμβάνει σημαντικές ανατροπές στα τελικά αποτελέσματα. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του 2018.

Η βαθμονόμηση προκύπτει μέσω του προσεγγιστικού δείκτη ανεπάρκειας λ , ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

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

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

Στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου. Για το σκοπό αυτόν, εκλέχθηκαν τυχαία 13 κτήρια, με έτος κατασκευής από 1959 έως 2022, στα οποία έγινε μελέτη αποτίμησης ή/και ανασχεδιασμού κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. μεταξύ 2016 – 2022 με το λογισμικό 3DR.STRAD. Σε αυτή την ομάδα κτηρίων εφαρμόστηκε η μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου [4] και έγινε η ιεραρχική κατάταξή τους, με βάση τον δείκτη ανεπάρκειας λ , που προέκυψε. Η κατάταξη του Δευτεροβάθμιου, αξιολογήθηκε με βάση το κόστος επεμβάσεων, όπως προέκυψε από τις μελέτες κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Από την κατάταξη, που προέκυψε γίνεται διερεύνηση της σημασίας των 13 κριτηρίων στην ορθότητα των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου. Παράλληλα, με βάση τον δείκτη ανεπάρκειας λ , της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου, γίνεται εκτίμηση του κόστους των πιθανών επεμβάσεων / ενισχύσεων μέσα από τα αποτελέσματα του Δευτεροβάθμιου ελέγχου.

Πίνακας 1: Γενικά Χαρακτηριστικά Κτηρίων Ελέγχου

A/A	Περίοδος Κατασκευής	Σπουδαιότητα	Χρήση	Σεισμική Ζώνη	Αριθμός Υπέργειων Ορόφων	Παρατηρήσεις:
1	1959 - 1985	Σ2	Κατοικίες & Κατάστημα	I	3	Αρχική Χρήση: Σχολείο (Μεγάλα Ανοίγματα Πλακών), Αραιός Οπλισμός (πχ Συνδετήρες Φ5/40), Χαμηλή Ποιότητα Σκυροδέματος (≈ 8 MPa), Κακή Μόνωση (Οξειδώσεις κλπ.), Κατάστημα στο Ισόγειο
2	> 2000	Σ2	Κατοικίες	I	4	Σφάλμα στην Σκυροδέτηση: Ποιότητα Σκυροδέματος σε Οριζόντια Στοιχεία Χαμηλότερη από αυτήν που Προέβλεπε η Μελέτη, Πυλωτή Πατάρι που Καθαιρέθηκε, Μεγάλο Ύψος Στάθμης, Ύπαρξη Επισκευών / Ενισχύσεων μετά το Σεισμό του 99'
3	1995 - 2000	Σ2	Κ.Τ.Ε.Ο	I	1	Βλάβες από Πυρκαγιά, Πατάρι, Φυτευτά, Ύπαρξη τοιχείων.
4	1959 - 1985	Σ2	Ξενοδοχείο	I	10	Εκτεθειμένο σε Περιβαλλοντικούς Παράγοντες-Κινδύνους, Ύπαρξη Τοιχείων Ανελκυστήρα & Κλιμακοστασίου, αρκετές εσοχές
5	1985 - 1995	Σ2	Κατοικίες	II	6	Γεωμετρικά παρόμοιο με κτήριο A/A = 5, Εκτεθειμένο σε Περιβαλλοντικούς Παράγοντες-Κινδύνου (Οξειδώσεις Οπλισμών κα), Γενικές Κακοτεχνίες, Ιδιαίτερα Κακή Σκυροδέτηση.
6	1985 - 1995	Σ2	Κατοικίες	II	6	Εκτεθειμένο σε Περιβαλλοντικούς Παράγοντες-Κινδύνου, Φυτευτά, Ανισοσταθμίες Πλακών
7	1995 - 2000	Σ2	Κατοικίες & Γραφεία	I	3	Εκτεθειμένο σε Περιβαλλοντικούς Παράγοντες-Κινδύνου, Μεγάλο Ύψος Στάθμης
8	1995 - 2000	Σ2	Κατοικίες & Γραφεία	I	2	Αρχική Χρήση: Βιομηχανικός Χώρος, Ανεπαρκής Αρμός
9	1959 -1985	Σ3	Βρεφονηπιακός	I	2	Αρχική Χρήση: Βιομηχανικός Χώρος, Ανεπαρκής Αρμός
10	1959 -1985	Σ3	Αίθουσα Εκδηλώσεων	I	2	Αρχική Χρήση: Βιομηχανικός Χώρος, Ανεπαρκής Αρμός
11	1959 -1985	Σ3	Αίθουσα Εκδηλώσεων	I	2	Αρχική Χρήση: Βιομηχανικός Χώρος, Ανεπαρκής Αρμός
12	1959 -1985	Σ3	Παιδικός Σταθμός	II	1	Αρχική Χρήση: Βιομηχανικός Χώρος, Ύπαρξη Επισκευών / Ενισχύσεων: Κατασκευή νέων τοιχείων μετά το Σεισμό του 99'
13	> 2000	Σ2	Κατοικίες	II	2	Εκτεθειμένο σε Περιβαλλοντικούς Παράγοντες Μη τήρηση Ξυλοτύπων (Γεωμετρία & Οπλιση) Αλλαγή Σεισμικής Ζώνης (Δ. Αχαρνές)

2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Τα γεωμετρικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν για τα 13 κτήρια, 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 κατά την επίλυση είναι σύμφωνα με την τελική χρήση του κτηρίου και τον Ευρωκώδικα 1. Το φάσμα σχεδιασμού, που χρησιμοποιήθηκε ήταν του ΕΚ8-1 με μάζα του κτηρίου, όπως υπολογίστηκε από τον συνδυασμό $G+\psi_2Q$. Σε όλα τα κτήρια, για τον προσδιορισμό της ποιότητας του σκυροδέματος και του χάλυβα πραγματοποιήθηκαν εργασίες μη καταστροφικού ελέγχου. Η ποιότητα του σκυροδέματος προέκυψε σύμφωνα με το κεφάλαιο 3.7.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., ενώ η κατάταξη του χάλυβα του χάλυβα έγινε με οπτική αναγνώριση σύμφωνα με το Κεφ. 3.7.2.1 (α) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι τοίχοι

πλήρωσης λήφθηκαν υπόψη στα κτήρια με A/A από 7 έως και 12. Στα υπόλοιπα κτήρια δεν λήφθηκαν υπόψη π.χ. λόγω ύπαρξης μεγάλων ανοιγμάτων κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ή/και εξαιτίας της απαίτησης να γίνει ο έλεγχος της υφιστάμενης «παρούσας» κατάστασης. Ως προς τις αντοχές των τοιχοπληρώσεων λήφθηκαν ερήμην τιμές. Ο στόχος αποτίμησης σε όλα τα κτήρια ήταν για στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 50% στα 50 χρόνια. Ο συντελεστής συμπεριφοράς q προέκυψε σύμφωνα με τους πίνακες 4.1 και Σ 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ειδικότερα, για τις μελέτες του Τριτοβάθμιου Ελέγχου στο φάσμα σχεδιασμού κατά ΕΚ8-1 ο συντελεστής εδάφους προέκυψε με βάση τον πίνακα 3.2 του ΕΚ8-1 και η ιδιοπερίοδος λήφθηκε κατόπιν μιας πρώτης ανάλυσης. Οι μέθοδοι επίλυσης για τα κτήρια με A/A από 5 έως και 8 ήταν δυναμική με τοπικούς δείκτες πλαστιμότητας m , ενώ στα υπόλοιπα δυναμική με ενιαίο δείκτη συμπεριφοράς q . Οι στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων για το σκυρόδεμα, το χάλυβα και τη γεωμετρία λήφθηκαν υψηλή, ικανοποιητική και ικανοποιητική αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Αντοχές Υλικών

A/A	Περίοδος Κατασκευής	Σκυρόδεμα (MPa)		Διαμήκης Χάλυβας (MPa)		Εγκάρσιος Χάλυβας (MPa)	
		[Μέση τιμή Κόβου Απόκλιση]	[Μέση τιμή Απόκλιση]	[Μέση τιμή Απόκλιση]	[Μέση τιμή Απόκλιση]		
1	1959 - 1985	12.40 2.70		240 20		240 20	
2	> 2000	37.40 7.20		520 20		520 20	
3	1995 - 2000	19.40 2.90		450 40		280 40	
4	1959 - 1985	24.60 3.00		450 40		280 40	
5	1985 - 1995	25.70 4.70		450 40		280 40	
6	1985 - 1995	25.10 7.00		450 40		280 40	
7	1995 - 2000	33.80 5.00		550 50		550 50	
8	1995 - 2000	33.80 5.00		550 50		550 50	
9	1959 - 1985	23.10 3.60		280 40		280 40	
10	1959 - 1985	17.80 6.50		280 40		280 40	
11	1959 - 1985	17.80 6.50		280 40		280 40	
12	1959 - 1985	20.10 3.90		280 40		280 40	
13	> 2000	31.70 4.10		520 20		520 20	

Για τις μελέτες του Δευτεροβάθμιου ελέγχου ο οπλισμός των στοιχείων δε λήφθηκε υπόψη, ενώ για το σκυρόδεμα και τη γεωμετρία λήφθηκαν τα ίδια δεδομένα με τις μελέτες κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

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 κτηρίου και $S_d(T)$ η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού

Η ιδιοπερίοδος του κτηρίου εκτιμήθηκε από την προσεγγιστική σχέση του ΕΚ8-1:

$$T = C_t \cdot H^{3/4} \quad (3)$$

Ο συντελεστής εδάφους λήφθηκε από τον σχετικό πίνακα της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ.

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 και κοντά, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου, και εφαρμόζοντας τους αντίστοιχους συντελεστές α_1, α_2 και α_3 , ανά κατεύθυνση. Το V_{Ri} στοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση 6.2β του ΕΚ2:

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

όπου:

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

$$\sigma = N_{Ed} / A$$

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

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

Η βαθμονόμηση των κριτηρίων 1,2,3,10,11,12 και 13 έγινε κατά την κρίση του μηχανικού και σύμφωνα τη μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου. Η βαθμονόμηση των κριτηρίων 4,6 και 8 έγινε από το λογισμικό 3DR.STRAD και σύμφωνα με τη μεθοδολογία του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου.

Για το κριτήριο 5 (Κατανομή δυσκαμψίας σε κάτοψη και στρέψη) ο υπολογισμός και η βαθμονόμηση έγιναν από το λογισμικό 3DR.STRAD, εφαρμόζοντας όμως διαφορετική μεθοδολογία από αυτή του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου. Συγκεκριμένα, σε κάθε στάθμη και για τις δύο κύριες διευθύνσεις (x, y) κάθε κτιρίου έγινε εφαρμογή της εξίσωσης 4.1.β του ΕΚ8-1 (αντίστοιχη με τις 3.4α, 3.4β του Ε.Α.Κ.), όπου:

$$\text{Αν } r_x < r_{px} \text{ και } r_y < r_{px} \text{ τότε } \beta_5 = 1$$

$$\text{Αν } r_x > r_{px} \text{ ή } r_y > r_{px} \text{ τότε } \beta_5 = 5$$

Διαφορετικά $r = \min(r_x, r_y)$ και με γραμμική παρεμβολή ανάλογα με το πόσο απέχει το r από το 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.

Για το κριτήριο 9 (Κοντά Υποστυλώματα) ο υπολογισμός και η βαθμονόμηση έγινε από το λογισμικό 3DR.STRAD για τα «φύσει» κοντά υποστυλώματα, καθώς και κατά την κρίση του μηχανικού για τα «θέσει» κοντά υποστυλώματα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου του ΟΑΣΠ.

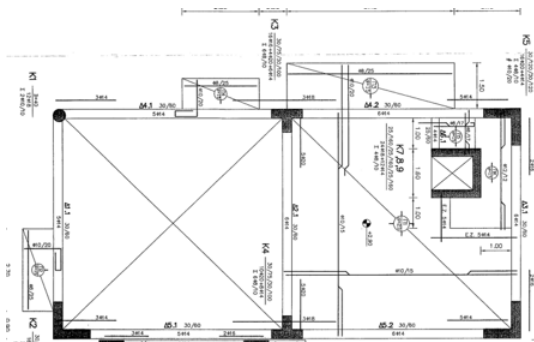


Κωδικός Δοκίμιων	Βάθος Ενανθράκωσης (cm)	PH (μετρήθηκε σε βάθος της επικάλυψη του οπλισμού)
Π1 (Κ7 Β' Όροφος)	3.0 - 0.5	8.5
Π2 (Κ13 Β' Όροφος)	9.0 - 9.5	7.5
Π3 (Κ20 Β' Όροφος)	4.5 - 5.0	7.5

Εικόνα 1: Κτίριο 1-Κακή Συντήρηση, Μεγάλα βάθη ενανθράκωσης



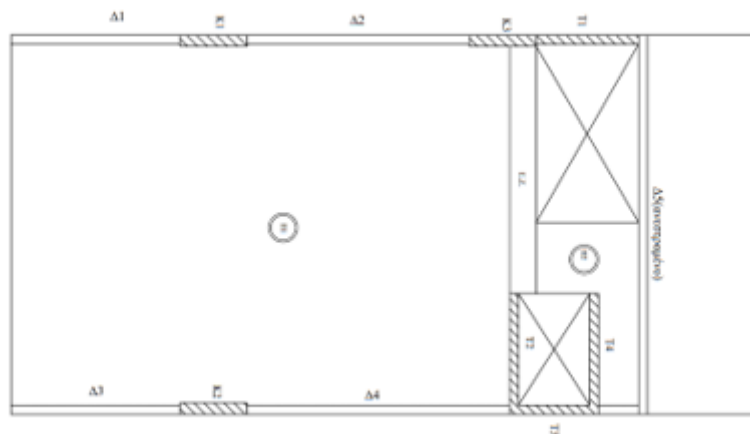
Εικόνα 2: Κτίριο 6- Κακοτεχνίες, Αποτίναξη επικαλύψεων



Εικόνα 3: Κτίριο 7-Μεγάλα κενά πλακών



Εικόνα 4: Κτίρια 10 & 11 - Ύπαρξη κοντών υποστυλωμάτων λόγω διακοπής τοιχοπληρώσεων



Εικόνα 5: Κτίριο 4-Ανεπαρκής σύνδεση πυρήνα με διάφραγμα, ανυπαρξία παισιακής λειτουργίας κατά την κατακόρυφη διεύθυνση της κάτοησης

Η βαθμονόμηση του κάθε κριτηρίου και ο τελικός συντελεστής επιρροής ανά διεύθυνση και κτήριο παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Βαθμονόμηση και συντελεστής επιρροής κριτηρίων

Κτήριο	Κριτήρια (x, y)													Συντελεστής Επιρροής Κριτηρίων	
	A/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	β _χ
1	4	3	2	4	5	5	2,2	4	4,4	4	4,4	5,4	1	0.71	0.70
2	5	5	5	4	5	5	1,1	4	4,5	5	5,5	5,5	2	0.80	0.83
3	4	5	5	5	5	5	5,5	5	5,3	5	4,4	4,5	4	0.95	0.90
4	3	4	3	2	5	3	3,3	4	5,4	2	2,2	3,5	3	0.70	0.69
5	5	4	4	2	5	5	3,3	5	4,4	4	4,4	5,5	4	0.82	0.82
6	4	3	3	2	5	5	3,3	5	4,4	1	4,4	5,5	1	0.71	0.71
7	5	3	5	1	4	4	4,5	1	3,2	1	4,4	4,4	3	0.68	0.68
8	5	3	5	4	5	5	3,3	4	2,2	5	4,4	4,4	3	0.75	0.75
9	4	3	4	3	3	5	5,5	5	5,5	5	4,4	3,3	3	0.82	0.82
10	4	3	4	5	4	5	4,4	5	3,5	5	5,5	3,5	3	0.78	0.86
11	4	2	4	5	4	5	4,4	5	3,5	5	5,5	3,5	3	0.76	0.84
12	4	4	5	5	4	5	5,5	5	4,4	5	4,4	5,5	3	0.88	0.88
13	5	5	5	4	5	5	5,5	5	3,3	3	5,5	5,5	5	0.91	0.91

3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΥ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Με βάση τον συντελεστή ανεπάρκειας λ , που προέκυψε από την μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου ανά διεύθυνση (λ_x, λ_y), υπολογίστηκε ο συντελεστής απώλειας φέρουσας ικανότητας φ από την εξίσωση:

$$\varphi = 1 - \frac{1}{\max(\lambda_x, \lambda_y)} \quad (5)$$

Το εκτιμώμενο κόστος επεμβάσεων (€/m²) προσδιορίζεται με βάση τον λόγο του κόστους επισκευής προς το κόστος ανακατασκευής (κ), ο οποίος προσδιορίζεται από την εξίσωση (6) [7] και στη συνέχεια γίνεται σύγκριση με το πραγματικό κόστος:

$$\kappa = 0.9335 \cdot \varphi + 0.0312 \quad (6)$$

Το κόστος ανακατασκευής εκτιμήθηκε 500€/m², με βάση τρέχοντα στοιχεία της πραγματικότητας. Το πραγματικό κόστος προέκυψε από το κόστος υλοποίησης των επεμβάσεων ή βάσει οικονομικής προσφοράς του αναδόχου.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Δεικτών Ανεπάρκειας & Εκτιμώμενου Κόστους Επεμβάσεων

Κτήριο	Σεισμική Απαίτηση V_{req} [kN]		Τέμνουσα Αντοχής στη Βάση V_{R0} [kN]		Σεισμική Αντίσταση V_R [kN]		Δείκτης Ανεπάρκειας Δευτεροβάθμιου Ελέγχου λ		Εκτιμώμενο Κόστος Επεμβάσεων (€/m ²)
	A/A	X	Y	X	Y	X	Y	X	
1	2397	2397	1982	1934	1407	1354	1.71	1.76	217
2	1738	1738	3108	2975	2487	2469	0.71	0.70	0
3	485	485	1072	876	1018	788	0.50	0.59	0
4	2510	2510	2565	2708	1796	1868	1.38	1.36	144
5	9203	9203	5638	5573	4623	4570	2.00	2.00	250
6	8740	8740	5260	5195	3734	3688	2.35	2.36	285
7	586	586	864	886	587	602	0.99	0.98	11
8	702	702	1137	1082	853	811	0.83	0.86	0
9	4058	4058	3747	3704	3073	3038	1.32	1.33	132
10	2012	2012	1940	1840	1513	1583	1.31	1.35	136
11	1824	1824	1713	1600	1302	1344	1.42	1.34	154
12	2444	2444	2537	2413	2233	2124	1.11	1.14	72
13	603	603	780	803	710	731	0.84	0.83	0

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η κατάταξη των κτηρίων κατά φθίνουσα σειρά, με βάση τον δείκτη ανεπάρκειας λ , που προέκυψε βάσει του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου. Η συσχέτιση δείκτη ανεπάρκειας λ και πραγματικού κόστους επεμβάσεων δεν ικανοποιείται στο Κτήριο 1, το οποίο βάσει πραγματικού κόστους κατατάσσεται στην δεύτερη θέση έναντι της τρίτης βάσει Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού. Όπως ήταν αναμενόμενο προτεραιότητα για περαιτέρω Τριτοβάθμιο έλεγχο προκύπτει στα κτίρια, που μελετήθηκαν με τους παλαιότερους αντισεισμικούς κανονισμούς. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται οι δείκτες ανεπάρκειας έναντι κάμψης του Τριτοβάθμιου ελέγχου.

Πίνακας 5: Κατάταξη κτηρίων βάσει δείκτη ανεπάρκειας Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου

A/A Κτήριο	Δείκτης Ανεπάρκειας λ Δευτεροβάθμιου Ελέγχου	Κόστος Ενίσχυσης / m ²		Απόκλιση Κόστους / m ²	Περίοδος Κατασκευής	Αριθμός Υπέργειων Ορόφων	Δείκτης Ανεπάρκειας Υποστρωμάτων Ισογείου M_{Ed}/M_{Rd} Τριτοβάθμιου Ελέγχου (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	
		Πραγματικό	Εκτιμώμενο				Διάμεσος	M.O
6	2.36	270 €	285 €	15 € (6%)	1985 - 1995	6	1.12	1.10
5	2.00	200 €	250 €	50 € (25%)	1985 - 1995	6	1.20	1.20
1	1.76	220 €	217 €	3 € (1%)	1959 - 1985	3	2.64	3.24
11	1.42	181 €	154 €	27 € (15%)	1959 - 1985	2	1.14	1.19
4	1.38	130 €	144 €	14 € (11%)	1959 - 1985	10	0.83	0.90
10	1.35	128 €	136 €	8 € (6%)	1959 - 1985	2	1.72	1.79
9	1.33	124 €	132 €	8 € (6%)	1959 - 1985	2	0.95	1.31
12	1.14	90 €	72 €	18 € (20%)	1959 - 1985	1	0.70	0.75
7	0.99	18 €	11 €	7 € (39%)	1995 - 2000	3	0.80	0.64
8	0.86	0 €	0 €	0 € (0%)	1995 - 2000	2	0.21	0.20
13	0.84	0 €	0 €	0 € (0%)	> 2000	2	0.54	0.54
2	0.71	0 €	0 €	0 € (0%)	> 2000	4	0.49	0.40
3	0.59	0 €	0 €	0 € (0%)	1995 - 2000	1	0.33	0.36

Με βάση τη μεθοδολογία του Εντύπου Ταχείας Αποτίμησης και Οπτικού Ελέγχου Φέροντος οργανισμού Κτιρίων [6] του ΕΤΕΚ, ο μειωτικός συντελεστής β στην τέμνουσα αντοχής του κτιρίου είναι σταθερός και ίσος με 0.80. Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται η κατάταξη των κτηρίων για σταθερό συντελεστή επιρροής $\beta=0.80$. Μεγαλύτερη απόκλιση είτε στη σειρά κατάταξης, που προέκυψε βάσει της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου του ΟΑΣΠ, είτε στο εκτιμώμενο κόστος προκύπτει στα κτήρια 1,4,6 και 7 των οποίων ο συντελεστής επιρροής β βάσει ΟΑΣΠ υπολογίστηκε περίπου 0.70 (Πίνακας 3). Στο κτήριο 1 χαμηλή ήταν η βαθμονόμηση του Κριτηρίου 7, λόγω ύπαρξης μαλακού ορόφου στο ισόγειο και του Κριτηρίου 13 λόγω κακής συντήρησης. Στο κτήριο 4 χαμηλή ήταν η βαθμονόμηση του Κριτηρίου 4 λόγω κενών στην κάτοψη των ορόφων (πατάρι), του Κριτηρίου 10 λόγω ύπαρξης φυτευτών υποστυλωμάτων, του Κριτηρίου 11 λόγω ανεπαρκούς σύνδεσης του πυρήνα με το διάφραγμα και εξασφάλιση πλαισιακής λειτουργίας μόνο κατά τη μία διεύθυνση της κάτοψης. Στο κτήριο 6 χαμηλή ήταν η βαθμονόμηση του Κριτηρίου 4 λόγω πολύπλοκου σχήματος κάτοψης- ύπαρξη εσοχών, του Κριτηρίου 10 λόγω ύπαρξης εκκεντρότητας καθ' ύψος του άξονα των υποστυλωμάτων και του Κριτηρίου 13 λόγω μη συντήρησης, έκθεσης του φέροντος οργανισμού σε περιβαλλοντικούς παράγοντες και ύπαρξης κατασκευαστικών κακοτεχνιών. Στο κτήριο 7 χαμηλή ήταν η βαθμονόμηση του Κριτηρίου 4 λόγω κενών στις πλάκες, του Κριτηρίου 8 λόγω έντονης ανομοιομορφίας στην κατανομή της μάζας καθ' ύψος του κτιρίου και του Κριτηρίου 10 λόγω ύπαρξης φυτευτών υποστυλωμάτων.

Πίνακας 6: Κατάταξη Κτηρίων για σταθερό συντελεστή επιρροής $\beta=0.80$

Α/Α	Δείκτης Προτεραιότητας Δευτεροβάθμιου Ελέγχου λ Για Σταθερό $\beta = 0.80$	Κόστος Ενίσχυσης / m ²		Απόκλιση Κόστους / m ²
		Πραγματικό	Εκτιμώμενο	
5	2.10	200 €	256 €	56 € (28%)
6	2.09	270 €	259 €	11 € (4%)
1	1.54	220 €	179 €	41 € (19%)
11	1.40	181 €	150 €	31 € (17%)
9	1.37	124 €	141 €	17 € (14%)
10	1.35	128 €	136 €	8 € (6%)
12	1.25	90 €	109 €	19 € (21%)
4	1.21	130 €	96 €	34 € (26%)
13	0.96	0 €	0 €	0 € (0%)
7	0.84	18 €	0 €	18 € (100%)
8	0.80	0 €	0 €	0 € (0%)
2	0.72	0 €	0 €	0 € (0%)
3	0.66	0 €	0 €	0 € (0%)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της κατάταξης του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου σε 13 κτήρια, στα οποία έχει πραγματοποιηθεί ο Τριτοβάθμιος έλεγχος κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. Από την κατάταξη που προέκυψε και έχοντας γνωστό το πραγματικό κόστος των επεμβάσεων, όπως υπολογίσθηκε από τον Τριτοβάθμιο έλεγχο προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Ο δείκτης ανεπάρκειας της μεθοδολογίας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου, ανταποκρίνεται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό στην πραγματικότητα (αποτελέσματα Τριτοβάθμιου ελέγχου) ως προς το τελικό κόστος ενίσχυσης, αφού η κατάταξη των κτιρίων με βάση το κόστος ενισχύσεων ανά m^2 κάτοψης ταυτίζεται σε ποσοστό 93% με την κατάταξη, που προκύπτει από τον Δευτεροβάθμιο Προσεισμικό έλεγχο.
- Από τον Δευτεροβάθμιο Προσεισμικό έλεγχο, μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του κόστους των πιθανών επεμβάσεων. Η απόκλιση πραγματικού και εκτιμώμενου κόστους προέκυψε κατά μέσο όρο της τάξεως του 10%.
- Ο δείκτης ανεπάρκειας του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου, με χρήση σταθερού συντελεστή επιρροής κριτηρίων β , όπως π.χ. ορίζει ο ΕΤΕΚ, ανταποκρίνεται σε μέτριο βαθμό στην πραγματικότητα (αποτελέσματα τριτοβάθμιου ελέγχου) ως προς το τελικό κόστος ενίσχυσης, αφού η κατάταξη των κτιρίων με βάση το κόστος ενισχύσεων ανά m^2 κάτοψης, ταυτίζεται σε ποσοστό 70% με την κατάταξη, που προκύπτει από την μεθοδολογία του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού ελέγχου.
- Η χρήση σταθερού συντελεστή επιρροής κριτηρίων β , όπως π.χ. ορίζει ο ΕΤΕΚ, προσεγγίζει σε σχετικά ικανοποιητικό βαθμό την εκτίμηση του κόστους, με απόκλιση πραγματικού και εκτιμώμενου κόστους να προκύπτει κατά μέσο όρο της τάξεως του 18%.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνική Στατιστική Αρχή, Απογραφή Κτιρίων 2011, www.statistics.gr/census-buildings-2011
2. Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., «Οι Σεισμοί της Ελλάδας», Γ' Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, 2003
3. Κανονισμός Επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2η Αναθεώρηση (ΦΕΚ 2984_Β_30-08-2017)
4. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Ο.Α.Σ.Π., Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα, Μάιος 2018
5. Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, EN 1998-1-1 (2004)
6. Ευρωκώδικας 2, Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, EN 1992-1-1 (2004)
7. ΟΕ ΤΕΕ /ΤΚΜ, Συσχέτιση της δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες με βάση στοιχεία από Ελληνικούς σεισμούς, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2005
8. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (ΦΕΚ 2184_Β_20-12-1999, ΦΕΚ 1154_Β_12-08-2003)
9. Έντυπο Ταχείας Αποτίμησης και Οπτικού Ελέγχου Φέροντος οργανισμού Κτιρίων, ΕΤΕΚ, Απρίλιος 2021
10. 3DR.STRAD Γενικό Εγχειρίδιο Χρήσης, 3DR Engineering Software Ltd, Αθήνα 2015