

Αποτίμηση της Σεισμικής Διακινδύνευσης και Κόστος Επεμβάσεων σε Αστικό Περιβάλλον

Αναστασία Κ. Ελευθεριάδου

Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια, Δ.Π.Θ., aelefthe@civil.duth.gr

Αικατερίνη Δ. Μπαλτζοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Δ.Π.Θ., katebal@arch.duth.gr

Αθανάσιος Ι. Καραμπίνης

Καθηγητής, Δ.Π.Θ., karabin@civil.duth.gr

Εκτενής περίληψη

Τα αποτελέσματα ενός ισχυρού σεισμού κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπως ο σεισμός της Πάρνηθας (Αθήνας) της 7ης-9-1999, αποτελούν σημαντικά δεδομένα για τον προσδιορισμό της σεισμικής διακινδύνευσης, τόσο σε επίπεδο δομικών απωλειών που προκαλούνται σε κάθε υφιστάμενο δομικό τύπο κατασκευής της πληγείσας περιοχής, όσο και των συνολικών απωλειών, άμεσων και έμμεσων, από τον υπόψη σεισμό. Τα γνωστικά πεδία της αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης κατασκευών με ομοιοιδή χαρακτηριστικά καθώς και της ανάπτυξης σεναρίων εκτίμησης των δομικών απωλειών σε ενδεχόμενο ισχυρό σεισμικό συμβάν συγκεντρώνουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και έχουν ως βασικό στόχο την ορθολογική διαχείριση και μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης.

Ο σεισμός της Πάρνηθας της 7^{ης}-9-1999 είχε μέγεθος 5.9 R, μικρό εστιακό βάθος (<20 Km), επικεντρική απόσταση 18 Km από το ιστορικό κέντρο της Αθήνας και εμφάνισε μέγιστη μακροσεισμική ένταση ΙΧ βάσει της δωδεκαβάθμιας τροποποιημένης κλίμακας Mercalli στις πλειόσειστες περιοχές. Στις καταστρεπτικές συνέπειες του σεισμού αυτού καταγράφηκαν 143 απώλειες ζωής, περίπου 1600 τραυματίες, 27 καταρρεύσεις κτιρίων κατά την διάρκεια του κύριου σεισμού και 180945 κτίρια με βλάβες, σε ένα μεγάλο αστικό κέντρο με σύνολο κτιριακού αποθέματος 750085 κατασκευών σύμφωνα με τα στοιχεία της εθνικής απογραφής του 2000.

Αποτιμάται η σεισμική διακινδύνευση για το σύνολο των κατασκευών (180427 κτίρια) που εμφάνισαν βλάβες από το σεισμό της Πάρνηθας (Αθήνας) της 7^{ης}-9-1999 με χρήση στοιχείων μέσου συμβατικού κόστους επεμβάσεων για ανακατασκευή ή επισκευή/ενίσχυση. Συγκρίνεται με την αντίστοιχη τιμή της διακινδύνευσης που προκύπτει από εκτίμηση των δομικών απωλειών του υπόψη σεισμού. Παράλληλα αξιολογούνται τα διαθέσιμα μέχρι σήμερα οικονομικά στοιχεία από δημόσιους φορείς που διαχειρίστηκαν τις δομητικές επεμβάσεις επισκευής/ενίσχυσης ή ανακατασκευής καθώς και άλλες κατηγορίες δαπανών για την αποκατάσταση των σεισμοπλήκτων (οργάνωση και λειτουργία οικισμών για την στέγαση των σεισμοπλήκτων, επιδότηση ενοικίου, κατεδαφίσεις επικινδύνων, υποστυλώσεις κ.α.) και οι οποίες διαμορφώνουν τον δείκτη της συνολικής διακινδύνευσης.

Στην αποτίμηση του στατιστικού κόστους από το σεισμό της Πάρνηθας χρησιμοποιήθηκαν δημοσιευμένα στοιχεία τρωτότητας και σεισμικής διακινδύνευσης κατασκευών με βλάβες [Ελευθεριάδου, 2009, Eleftheriadou et al. 2011, 2013]. Τα στοιχεία τρωτότητας προέρχονται από βάση δεδομένων μετασεισμικών ελέγχων, που περιλάμβανε συνολικά 180427 κτίρια με χαρακτηρισμό βλάβης στην Αττική. Τα στοιχεία διακινδύνευσης προέρχονται από τον ΤΑΣ Αχαρνών (2556 κατασκευές), τον ΤΑΣ Α. Λιοσίων (983 κατασκευές) και το σύνολο των κατασκευών και αφορούν κατά επίπεδο βλάβης στο μέσο τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων και στη μέση δομημένη επιφάνεια ανά κτίριο (m²/κτίριο). Σύμφωνα με τα στοιχεία από τους ΤΑΣ για κατασκευές με ελαφρές βλάβες - πράσινα το μέσο κόστος επισκευής προέκυψε 33 ÷ 35 €/m², για κτίρια με μέτριες βλάβες - κίτρινα το

Πίνακας 1. Αποτίμηση του τεκμαρτού κόστους επεμβάσεων κατά επίπεδο δομικής βλάβης για το σύνολο των κατασκευών με βλάβες, 180427 κτίρια [1]-[4] {κόστος επεμβάσεων και δομημένη επιφάνεια από τις εργασίες [5], [6] και από το σύνολο των στοιχείων των εργασιών}.

Επίπεδο βλάβης / Χαρακτηρισμός	Αριθμός κατασκευών κατά επίπεδο βλάβης	Μέση δομημένη επιφάνεια ανά κτίριο (m ²)	Μέσο συμβατικό κόστος επεμβάσεων (€/m ²)	Τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων (Μ€)	Ισοδύναμη επιφάνεια ανακατασκευής (Κm ²)	Εκτιμώμενο πραγματικό κόστος επεμβάσεων (Μ€)
Ελαφριά / Πράσινα	114.755	247	33	935,368	3,149	1.664,955
Μέτρια / Κίτρινα	56.533	285	62	998,938	3,363	1.778,110
Σοβαρή / Κόκκινα	6.423	190	297	362,450	1,220	645,161
Καταρρεύσεις /	2.716	190	297	153,264	0,516	272,810
Σύνολα	180.427			2.450,020	8,249	4.361,035
Επίπεδο βλάβης / Χαρακτηρισμός	Αριθμός κατασκευών κατά επίπεδο βλάβης	Μέση δομημένη επιφάνεια ανά κτίριο (m ²)	Μέσο συμβατικό κόστος επεμβάσεων (€/m ²)	Τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων (Μ€)	Ισοδύναμη επιφάνεια ανακατασκευής (Κm ²)	Εκτιμώμενο πραγματικό κόστος επεμβάσεων (Μ€)
Ελαφριά / Πράσινα	114.755	148	35	594,431	1,647	867,869
Μέτρια / Κίτρινα	56.533	177	92	920,583	2,550	1.344,052
Σοβαρή / Κόκκινα	6.423	113	361	262,013	0,726	382,540
Καταρρεύσεις /	2.716	113	361	110,794	0,307	161,759
Σύνολα	180.427			1.887,821	5,229	2.756,219
Επίπεδο βλάβης / Χαρακτηρισμός	Αριθμός κατασκευών κατά επίπεδο βλάβης	Μέση δομημένη επιφάνεια ανά κτίριο (m ²)	Μέσο συμβατικό κόστος επεμβάσεων (€/m ²)	Τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων (Μ€)	Ισοδύναμη επιφάνεια ανακατασκευής (Κm ²)	Εκτιμώμενο πραγματικό κόστος επεμβάσεων (Μ€)
Ελαφριά / Πράσινα	114.755	159	35	638,612	2,094	1.104,798
Μέτρια / Κίτρινα	56.533	266	66	992,493	3,254	1.717,013
Σοβαρή / Κόκκινα	6.423	175	305	342,828	1,124	593,092
Καταρρεύσεις /	2.716	175	305	144,967	0,475	250,792
Σύνολα	180.427			2.118,899	6,947	3.665,695

μέσο κόστος επεμβάσεων υπολογίστηκε σε $62 \div 92 \text{ €/m}^2$ και για κατασκευές με ολικές ή βαριές βλάβες - κόκκινα το μέσο κόστος ανακατασκευής προέκυψε $297 \div 361 \text{ €/m}^2$ (Πίνακας 1).

Οι τεκμαρτές απώλειες για το σύνολο των κατασκευών με χαρακτηρισμό βλάβης (180427 κτίρια) προκύπτουν 2450,0 Μ€, 1887,8 Μ€, και 2118,9 Μ€ με βάση τις αντίστοιχες μέσες τιμές κατά επίπεδο βλάβης από τα στοιχεία διακινδύνευσης. Από την χρήση του προσομοιώματος (σεναρίου) αναμενόμενης βλάβης η διακινδύνευση για το σύνολο των κατασκευών στην Αττική (750085 κτίρια) αποτιμάται σε 8,8477 Km² ισοδύναμης επιφάνειας για ανακατασκευή. Οι δομικές απώλειες με βάση τις τιμές ανακατασκευής από τους ΤΑΣ εκτιμώνται σε 2627,77 Μ€ 3194,02 Μ€ και 2698,55 Μ€, αντίστοιχα, αυξημένες κατά 7,2% 69,2% και 27,4% σε σύγκριση με τις τιμές απωλειών για το σύνολο των κατασκευών με βλάβες (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Σύγκριση των τιμών της σεισμικής διακινδύνευσης (Μ€) από το σεισμό της Πάρνηθας της 7^{ης}-09 1999 με βάση στοιχεία κόστους επεμβάσεων και αναμενόμενης βλάβης (κόστος και δομημένη επιφάνεια κατά επίπεδο βλάβης από τις εργασίες [5]⁽¹⁾ - [6]⁽²⁾ και από τα συνολικά στοιχεία των εργασιών ^{(1),(2)}).

Μεθοδολογία αποτίμησης της διακινδύνευσης	Τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων Rc ⁽¹⁾ σε Μ€	Τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων Rc ⁽²⁾ σε Μ€	Τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων Rc ^{(1),(2)} σε Μ€
Διακινδύνευση για το σύνολο των κατασκευών με βλάβες στην Αττική (180427 κατασκευές) με βάση στοιχεία δομημένης επιφάνειας και τεκμαρτού κόστους επεμβάσεων κατά επίπεδο βλάβης	2450,020	1887,821	2118,899
Διακινδύνευση με βάση σενάριο δομικών απωλειών σε όρους ισοδύναμης επιφάνειας για ανακατασκευή (R=8847,77 KM2) για το σύνολο των κατασκευών στην Αττική (750085 κατασκευές). Συγκεντρωτικά δεδομένα ΕΣΥΕ/ΕΛΣΤΑΤ 2000 ανά ΟΤΑ.	2627,770	3194,020	2698,550

Βιβλιογραφία

- [1] Ελευθεριάδου, Α.Κ. (2009), "Συμβολή στην Αποτίμηση της Σεισμικής Τρωτότητας Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα", *Διδακτορική Διατριβή*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ, Ξάνθη.
- [2] Eleftheriadou A.K., Karabinis A.I. (2011), "Development of Damage Probability Matrices Based on Greek Earthquake Damage Data", *Journal of Earthquake Engineering & Engineering Vibration, SpringerLink*, Vol.10, Issue 1, pp.129÷141, DOI: 10.1007/s11803-011-0052-6.

- [3] Eleftheriadou A.K., Karabinis A.I. (2013), "Evaluation of damage probability matrices from observational seismic damage data", *International Journal of Earthquakes and Structures, Techno Press*, Vol. 4, No. 3, pp. 299÷324.
- [4] Eleftheriadou A.K., Baltzopoulou, A.D., & Karabinis A.I. (2016). "Urban Risk Assessment: Statistical Repair Cost Data and Probable Structural Losses based on Damage Scenario – Correlation Analysis", *International Journal of Advanced Structural Engineering, Springer*, DOI: 10.1007/s40091-016-0118-9.
- [5] Καραμπίνης Α.Ι, Μπαλτζοπούλου Α.Δ. (2006), "Συσχέτιση βαθμού βλάβης και κόστους αποκατάστασης των κατασκευών από το σεισμό της Αθήνας της 7ης – 9 - 1999", *15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη 25-27 Οκτωβρίου 2006*, Βιβλίο εισηγήσεων, τόμος Β', σελ. 294÷304.
- [6] Kappos, A.J., Lekidis, V., Panagopoulos, G., Sous, I., Theodulidis, N., Karakostas, Ch., Anastasiadis, T., Salonikios, T., and Margaris, B. (2007), "Analytical estimation of economic loss for buildings in the area struck by the 1999 Athens earthquake and comparison with statistical repair costs", *Earthquake Spectra*, Vol.23, No.2, pp. 333÷355.