

# Παράμετροι τρωτότητας και κόστους αποκατάστασης σε κατασκευές με βλάβες από το σεισμό της Αθήνας της 7<sup>ης</sup> - 9 - 1999

Α.Ι. Καραμπίνης

*Δρ πολιτικός μηχανικός. Καθηγητής ΔΠΘ\*, karabin@civil.duth.gr.*

Α. Δ. Μπαλτζοπούλου

*Δρ πολιτικός μηχανικός. Επίκουρη καθηγήτρια ΔΠΘ\*, katebal@arch.duth.gr.*

Κ. Δ. Παντελή

*Πολιτικός Μηχανικός MSc. Υποψήφια Διδάκτωρ ΔΠΘ\*, kranteli@civil.duth.gr.*

*\*Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ), Ξάνθη 67100.*

*•Τομέας Δομικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ), Ξάνθη 67100.*

*Λέξεις κλειδιά:* Τρωτότητα, σεισμική διακινδύνευση

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Σε 140 κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, με βλάβες από το σεισμό της Αθήνας της 7<sup>ης</sup>-9-1999, παρουσιάζονται το είδος ο βαθμός βλάβης και τα κρίσιμα αίτια βλαβών καθώς και οι μέθοδοι επισκευής ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν. Συσχετίζεται η συνιστώσα της διακινδύνευσης όπως αυτή προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη το κόστος επεμβάσεων με το είδος και την έκταση των βλαβών (γενικού ή τοπικού χαρακτήρα).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως γνωστόν τα αποτελέσματα ενός ισχυρού σεισμού όπως ο σεισμός της Αθήνας της 7<sup>ης</sup> - 9 - 1999 είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για συλλογή σημαντικών στοιχείων σε ότι αφορά τόσο τη σεισμική συμπεριφορά των δομημάτων όσο και την αποτίμηση της συνιστώσας διακινδύνευσης που αφορά στο κόστος για την επισκευή-αποκατάσταση των κτιρίων με βλάβες (Καραμπίνης 2003, Καραμπίνης και Συνεργάτες 2003). Τα στοιχεία τα οποία συλλέγονται για αυτή την περίπτωση αφορούν κυρίως:

- Στην ανάλυση των βλαβών κατά δομικό στοιχείο (είδος και βαθμός βλάβης ανά δομικό στοιχείο).
- Στη συσχέτιση των στοιχείων διακινδύνευσης και του επιπέδου βλάβης σε βασικούς δομικούς τύπους.
- Στον επιμερισμό του συνολικού κόστους επεμβάσεων, στο κόστος φέροντα οργανισμού και στο κόστος λοιπών οικοδομικών εργασιών (τοιχοποιίες πλήρωσης κ.α.).

Οι πληροφορίες οι οποίες μπορούν να συνεισφέρουν στην έρευνα των παραπάνω, μπορούν συνήθως να συλλεγούν άμεσα από τη σχετική διαδικασία για την καταγραφή των βλαβών και την οικονομική στήριξη από την πολιτεία των πληγέντων, παρ' ότι τα οικονομικά στοιχεία συχνά αφορούν τεκμαρτά και όχι πραγματικά μεγέθη.

Το πλαίσιο χαρακτηρισμού των βλαβών σε μια οικοδομική κατασκευή, όπως εφαρμόσθηκε στο μετασεισμικό έλεγχο των κτιρίων στο σεισμό της Πάρνηθας, καθώς και οι προδιαγραφές για τη σύνταξη των μελετών επισκευής / ενίσχυσης, καθορίσθηκαν με σχετικές αποφάσεις (ΟΑΣΠ 1997, ΥΠΕΧΩΔΕ 1999, ΥΑΣ 2001). Οι εκτιμήτριες βλάβης αφορούσαν καταγραφή ποιοτικών στοιχείων ενώ παράλληλα προεβλέπετο η προαιρετική εκτίμηση του δείκτη απώλειας φέρουσας ικανότητας στάθμης ( $\alpha_x$ ) στα κατακόρυφα στοιχεία του φέροντα οργανισμού. Συγκεκριμένα οι βλάβες

διακρίνονται σε όσες δεν επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου (βλάβες τοπικού χαρακτήρα – απαίτηση επισκευής), ή σε αυτές που επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου (βλάβες γενικού χαρακτήρα), οπότε και απαιτείτο ενίσχυση με επανυπολογισμό της κατασκευής και διαστασιολόγηση των ενισχύσεων. Συγκεκριμένα η κατάταξη περιελάμβανε.

α. Κτίρια με βλάβες τοπικού χαρακτήρα.

- βλάβες ελαφρές ή σοβαρές σε δοκούς ή πλάκες.
- βλάβες στους τοίχους πλήρωσης (ελαφρές, σοβαρές ή βαριές).
- ελαφρές βλάβες στα κατακόρυφα στοιχεία μιας στάθμης, εφόσον τα στοιχεία με βλάβη, δεν υπερέβαιναν σε κάθε στάθμη το 30% του συνόλου των κατακόρυφων στοιχείων της στάθμης (ΥΠΕΧΩΔΕ 1999) ή όταν η απώλεια φέρουσας ικανότητας στάθμης ήταν μικρότερη από 10% ( $\alpha_x \leq 0.10$ ) σε κτίρια ηλικίας  $\leq 25$  ετών, ή  $\alpha_x \leq 0.15$  σε κτίρια ηλικίας  $\geq 30$  ετών (ΥΑΣ 2001).

β. Κτίρια με βλάβες γενικού χαρακτήρα.

- βλάβες στο φέροντα οργανισμό, των οποίων ο χαρακτήρας και η έκταση τους επηρέαζαν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου. Στα κτίρια ηλικίας  $\leq 25$  ετών με απώλεια φέρουσας ικανότητας στάθμης  $\alpha_x > 0.10$ , ή στα κτίρια ηλικίας  $\geq 30$  ετών με  $\alpha_x > 0.15$ , ο χαρακτήρας και η έκταση των βλαβών επηρέαζαν τη γενική ευστάθεια της κατασκευής.
- βλάβες στους τοίχους πλήρωσης, ελαφρές, σοβαρές ή και βαριές.

Το τεκμαρτό κόστος επεμβάσεων για την αποκατάσταση των βλαβών προέκυπτε με συμβατικές τιμές και υπόκειτο σε περιορισμούς. Συνεπώς η παράμετρος διακινδύνευσης (κόστος) η οποία αφορά σε επισκευές ενισχύσεις αποτελεί στην περίπτωση αυτή τη συνιστώσα του τεκμαρτού κόστους (επιχορήγηση πολιτείας) και όχι του πραγματικού κόστους (κόστος ιδιοκτήτη).

Σύμφωνα με σχετική απόφαση (ΥΑΣ 2000) η διάκριση του προϋπολογισμού εργασιών μελετών επισκευής / ενίσχυσης περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες (I, II, III).

- Κατηγορία I: Κτίρια με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα ή φέρουσα τοιχοποιία, όπου προβλέπονται εργασίες όπως, επισκευή στέγης, τοίχων, σοβάτισμα, ανακατασκευές δαπέδων, τοίχων, καπνοδόχων, μονώσεων, επισκευές – αποκαταστάσεις εγκαταστάσεων δικτύων κ.α.
- Κατηγορία II: Κτίρια με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα ή φέρουσα τοιχοποιία, όπου προβλέπονται εργασίες όπως ρητινενώσεις, τσιμεντενώσεις, ανακατασκευή στέγης, ενίσχυση διατομών με μεταλλικά ελάσματα ή σύνθετα υλικά κ.α. Η εκτίμηση των εντατικών μεγεθών με τα οποία διαστασιολογούνται οι νέες διατομές, γίνεται με χρήση προσεγγιστικών ή απλουστευμένων μεθόδων (εξαιρείται η περίπτωση μελέτης ανακατασκευής στέγης).
- Κατηγορία III: Κτίρια με βλάβες γενικού χαρακτήρα, με φέροντα οργανισμό από φέρουσα τοιχοποιία ή ωπλισμένο σκυρόδεμα, όπου η μελέτη επισκευής/ενίσχυσης προβλέπει εργασίες όπως μανδύες σε τοιχεία ή υποστυλώματα, κατασκευή νέων στοιχείων, ενίσχυση μη βλαβέντων στοιχείων, με απαίτηση αντισεισμικού υπολογισμού.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν στοιχεία (Νικολέτου & Στεφανίδου 2004) για την έκταση, το είδος και το βαθμό βλάβης καθώς και το συμβατικό κόστος αποκατάστασης 140 κατασκευών από την πλειόσειστη περιοχή των Άνω Λιοσίων (Άνω Λιόσια, Καματερό, Πετρούπολη, Ζεφύρι, Φυλή), περιοχές στις οποίες η σεισμική ένταση κατά τον υπόψη σεισμό εμφάνισε τιμές κατά MSK IX και VIII.

Στις περιοχές αυτές υπήρξαν συνολικά 4845 κτίρια με βλάβες και συγκεκριμένα με:

- βαριές βλάβες στο φέροντα οργανισμό (κόκκινο) 1536 κτίρια (31.5%).
- ελαφρές ή σοβαρές βλάβες στο φέροντα οργανισμό και βλάβες στους τοίχους πλήρωσης (κίτρινο) 2549 κτίρια (52.5%).

- διαφοροποίηση βλαβών κατά όροφο του κτιρίου ή κατ' έκταση σε περίπτωση αρμού στο φέροντα οργανισμό (κίτρινο – πράσινο) 224 κτίρια (5%).
- χωρίς βλάβες ή με ελαφρές βλάβες σε οριζόντια στοιχεία του φέροντα οργανισμού ή ελαφρές βλάβες στους τοίχους πλήρωσης (πράσινο) 536 κτίρια (11%).

Η επιλογή των 140 κατασκευών με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, που είχαν επισκευασθεί ή ενισχυθεί, έγινε με κριτήριο την πληρότητα των διατιθέμενων στοιχείων. Πρόκειται για κτίρια με χαρακτηρισμό βλάβης από τις επιτροπές δευτεροβάθμιου ελέγχου "κίτρινο" ή "κίτρινο-πράσινο" και αποτελούν ποσοστό 6.76% (140/2072) στο σύνολο των κτιρίων που εκδόθηκαν οικοδομικές άδειες επισκευής / ενίσχυσης, αφού οι κατασκευές με βαριές βλάβες κατεδαφίσθηκαν και ανακατασκευάσθηκαν με την αντίστοιχη στεγαστική συνδρομή.

Η κατανομή του δείγματος των 140 κατασκευών κατά περιοχή είναι: Άνω Λιόσια 70.7%, Καματερό 10.7%, Πετρούπολη 7.9%, Ζεφύρι 6.4%, Φυλή 4.3% .

Τα συλλεχθέντα στοιχεία αφορούσαν αριθμό ορόφων, έτος κατασκευής, ολική δομημένη επιφάνεια, χρήση, αριθμός χρηστών, σπουδαιότητα κατασκευής, δομικός τύπος φέροντα οργανισμού.

Επιπλέον συγκεντρώθηκαν για κάθε κτίριο:

- Οι δαπάνες επεμβάσεων από το έντυπο της οικοδομικής αδειας επισκευής/ενίσχυσης, οι οποίες υπολογίσθηκαν με συμβατικές τιμές μονάδας και προμέτρηση εργασιών.
- Ο χαρακτηρισμός των βλαβών, από άποψη καταλληλότητας για χρήση, από τις επιτροπές δευτεροβάθμιου ελέγχου και η κατάταξη των βλαβών στις μελέτες επισκευής / ενίσχυσης σε βλάβες γενικού ή τοπικού χαρακτήρα.
- Η περιγραφή (είδος) των βλαβών.
- Τα κρίσιμα αίτια βλαβών όπως αυτά αξιολογήθηκαν και αναφέρονται στις τεχνικές εκθέσεις των μελετών επισκευής/ενίσχυσης (για 94 κατασκευές).
- Οι μέθοδοι επισκευών / ενισχύσεων (για 65 κατασκευές).
- Το επί μέρους συμβατικό κόστος για τις κατηγορίες εργασιών I, II, III, όπως ορίζονται στις σχετικές διατάξεις (για 67 κατασκευές).
- Ο δείκτης απώλειας φέρουσας ικανότητας στάθμης των κατακόρυφων στοιχείων (ΥΑΣ 2001) για 18 κατασκευές (προαιρετική εκτίμηση του δείκτη βλάβης).

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Από τη συσχέτιση των δομικών παραμέτρων και των στοιχείων τρωτότητας (Πίνακας 1) προέκυψαν τα εξής:

Η κατανομή των κτιρίων σύμφωνα με τον χρησιμοποιηθέντα αντισεισμικό κανονισμό σχεδιασμού (περίοδος κατασκευής) είναι:

- Χωρίς Αντισ. Κανονισμό 3.6% (5 κτίρια με πλαισιακό φέροντα οργανισμό).
- ΒΔ 1959 71.4% (100 κτίρια, τα 49 με πλαισιακό φέροντα οργανισμό).
- ΒΔ 1959 + ΠΔ1984 22.9 % (32 κτίρια, τα 16 με πλαισιακό δομικό σύστημα).
- ΝΕΑΚ 2.1% (3 κτίρια).

Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους 93% (130/140) οι κατασκευές ήταν μικρού ύψους (1-2 όροφοι) ή μέσου ύψους τριών ορόφων ενώ σε ότι αφορά το μέγεθος ήταν 11.4% μικρού μεγέθους, 48.6% μεσαίου μεγέθους και 40% μεγάλου μεγέθους (Πίνακας 1).

Στα καταγεγραμμένα στοιχεία υπερκαταπόνησης περιλαμβάνονται:

- Ανοικτά ισόγεια/κοντά υποστυλώματα, σε ποσοστό 45% (63 κατασκευές), οι 59 με βλάβες γενικού χαρακτήρα.
- Αλληλεπίδραση παρακειμένων κατασκευών (κρούση) σε ποσοστό 68% (95 κατασκευές), εκ των οποίων οι 84 είχαν βλάβες γενικού χαρακτήρα.
- Καταπόνηση λόγω στρέψης σε ποσοστό 52% (73 κατασκευές), εκ των οποίων οι 66 είχαν βλάβες γενικού χαρακτήρα.

- Μη κανονικότητα καθ' ύψος σε ποσοστό 46% (64 κατασκευές), εκ των οποίων οι 52 εμφάνισαν βλάβες γενικού χαρακτήρα.
- Οριζόντια μη κανονικότητα σε ποσοστό 9.3% (13 κατασκευές), όλες με βλάβες γενικού χαρακτήρα.

Στον Πίνακα 2 (Σχ. 1) παρουσιάζεται το είδος των δομικών στοιχείων με βλάβες. Προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών (96%) παρουσίασαν οι τοιχοποιίες πλήρωσης, τα υποστυλώματα παρουσίασαν βλάβες σε ποσοστό 87%, οι κόμβοι κατά 56%, οι κλίμακες 49%, οι δοκοί 29%, τα τοιχεία 20% και 14% των κατασκευών εμφάνισαν βλάβες στις πλάκες. Από αντίστοιχη διερεύνηση των (Καλευρά & Καραμπίνη 1987), για το σεισμό της Καλαμάτας της 13<sup>ης</sup>-9-1986 ( $M_s=6.2$ ), το 75% των κατασκευών παρουσίασαν βλάβη στα υποστυλώματα, το 46% στις δοκούς, το 52% στις κλίμακες και το 66% στις τοιχοποιίες πλήρωσης, ενώ οι βλάβες στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία προήλθαν κυρίως από μηχανισμό επικρατούσας διάτμησης και αξονικής δύναμης και σε μικρό ποσοστό από επικρατούσα κάμψη. Η σύγκριση των δομικών στοιχείων με τις βλάβες του σεισμού της Καλαμάτας δείχνει αυξημένο ποσοστό βλαβών στα υποστυλώματα και στις τοιχοποιίες πλήρωσης στο σεισμό της Αθήνας 96% και 87% έναντι 75% και 66% αντίστοιχα, μικρότερο ποσοστό βλαβών στις δοκούς 29% έναντι 46% και περίπου ίδιο ποσοστό βλαβών στις κλίμακες 49% έναντι 52%.

Σε δείγμα 92 κατασκευών (Σχ. 2) που παρουσίασαν βλάβες στα υποστυλώματα, το μεγαλύτερο ποσοστό 63% εμφάνισαν διαγώνιες-διατμητικές ρωγμές εκ των οποίων το 12% χιαστί ρωγμές από τέμνουσα δύναμη εναλλασσόμενης φοράς, ενώ οριζόντιες-καμπτικές ρωγμές το 34%. Σε ότι αφορά στο βαθμό βλάβης των υποστυλωμάτων, τριχοειδείς ρωγμές υπήρχαν σε 40 κατασκευές (43%), βλάβες στον οπλισμό (κυρίως λυγισμός ράβδων) σε 28 (30%), αποδιοργάνωση της μάζας του σκυροδέματος σε 27 (29%) και απόκλιση από την κατακόρυφο σε 6 (7%).

Από 124 κατασκευές (Σχ. 3) και από την ανάλυση ανά είδος και βαθμό βλάβης των τοιχοποιιών πλήρωσης, το μεγαλύτερο ποσοστό 72% (89/124) παρουσίασαν διαγώνιες-διατμητικές ρωγμές, εκ των οποίων το 35% (43/124) χιαστί ρωγμές από τέμνουσα δύναμη εναλλασσόμενης φοράς, ενώ καμπτικές ρωγμές το 11% (14/124). Αποκόλληση των τοίχων πλήρωσης από το φέροντα οργανισμό παρατηρήθηκε σε 46 κατασκευές (37%), τριχοειδείς ρωγμές σε 39 κατασκευές (31%), βαριές ρηγματώσεις σε 49 κατασκευές (40%), αποδιοργάνωση της μάζας των τοίχων σε 25 (20%), απόκλιση από την κατακόρυφο σε 11 (9%) και τμηματικές ή και ολικές καταρρεύσεις σε 39 (31%).

Από τα κρίσιμα αίτια βλαβών 94 κατασκευών (Πιν.3, Σχ.4), προκύπτει ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων με βλάβες 55% (52 κατασκευές) παρατηρείτο κακή ποιότητα υλικών, κακοτεχνίες ή κακή συντήρηση. Ως κρίσιμα αίτια βλαβών αναφέρονται σε ποσοστό 50% (47 κατασκευές) ανεπάρκεια οπλισμών δομικών στοιχείων ή ανεπάρκεια διατομών, 48% (45 κατασκευές) στην ένταση του σεισμικού φαινομένου για το οποίο δεν είχαν μελετηθεί οι κατασκευές, 43% (40 κατασκευές) σε προβλήματα μορφολογίας (υπερκαταπόνηση), 28% (26 κατασκευές) στο εύκαμπτο δομικό σύστημα της ανωδομής, 23% (22 κατασκευές) σε προβλήματα στατικής μελέτης (σφάλματα μελέτης) ή εφαρμογής της και 16% (15 κατασκευές) στο εύκαμπτο δομικό σύστημα της θεμελίωσης (έλλειψη συνδετήριων δοκών θεμελίωσης).

Στις κακοτεχνίες αναφέρονται κακοί αρμοί εργασίας, κακότεχνη σκυροδέτηση, διέλευση αγωγών από στύλους, έλλειψη σενάζ στους τοίχους πλήρωσης, κατασκευαστικές εκκεντρότητες υποστυλωμάτων, ανεπαρκείς επικαλύψεις. Η ανεπάρκεια οπλισμών, αφορά κυρίως στους εγκάρσιους οπλισμούς και στα ανεπαρκή μήκη αγκύρωσης και επιμήκυνσης των οπλισμών. Στα προβλήματα μορφολογίας σε 40 κατασκευές αναφέρονται η υπερκαταπόνηση από στρέψη, απουσία τοιχοποιιών πλήρωσης στο ισόγειο, προβλήματα εδάφους, έμμεσες στηρίξεις δοκών, κοντά υποστυλώματα, κρούση λόγω αλληλεπίδρασης παρακείμενων κατασκευών και διάφορα άλλα αίτια όπως ανισόσταθμες θεμελιώσεις αλλά και πλάκες, ισχυρές δοκοί-ασθενή υποστυλώματα, υποστυλώματα με έμμεση στήριξη (φυτευτά).

Οι εφαρμοσθείσες μέθοδοι επισκευής / ενίσχυσης για 65 κατασκευές (Σχ. 5) αφορούσαν:

- μανδύες έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε ποσοστό 95% (62 κατασκευές).
- προσθήκη νέων στοιχείων (κυρίως τοιχείων, συνδετήριων δοκών θεμελίωσης, στύλων, τοίχων πλήρωσης σε ανοικτά ισόγεια) σε ποσοστό 42% (27 κατασκευές).
- χρήση σύνθετων υλικών (υφάσματα από ύαλο ή άνθρακα) σε ποσοστό 9% (6 κατασκευές).

- ελάσματα σε ποσοστό 8% (5 κατασκευές).
  - επισκευή μόνο με ρητινενέσεις σε ποσοστό 2% (1 κατασκευή).
- Από τη συσχέτιση του τεκμαρτού κόστους/m<sup>2</sup> με τις επί μέρους δομικές παραμέτρους (δομικός τύπος, ύψος κατασκευής, αντισεισμικός κανονισμός) και χρήση, ανά είδος βλαβών, στο δείγμα των 140 κατασκευών, προέκυψε ότι:
- Το μέσο κόστος σε σύνολο 117 κατασκευών, με βλάβες γενικού χαρακτήρα, είναι 113 ευρώ/m<sup>2</sup>, ενώ το αντίστοιχο κόστος 23 κατασκευών με βλάβες τοπικού χαρακτήρα είναι 55 ευρώ/m<sup>2</sup> (Πίν. 4, Σχ. 6). Επιπρόσθετα τα κτίρια με βλάβες γενικού χαρακτήρα και μεικτό φέροντα οργανισμό (υποστυλώματα και τοιχώματα), έχουν μικρότερο κόστος συγκρινόμενα με αυτά με αμιγώς πλαισιακό φορέα, είτε σχεδιάστηκαν με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 (102 ευρώ/m<sup>2</sup> στα μεικτά δομικά συστήματα έναντι 129 ευρώ/m<sup>2</sup> στα πλαισιακά) είτε με τις πρόσθετες διατάξεις του 1984 (94 ευρώ/m<sup>2</sup> στα μεικτά δομικά συστήματα έναντι 104 ευρώ/m<sup>2</sup> στα πλαισιακά). Οι βελτιώσεις του αντισεισμικού κανονισμού στα κτίρια της περιόδου 1986-1995, εμφανίζεται ότι μείωσαν το κόστος αποκατάστασης κατά 19% (87/107 ευρώ/m<sup>2</sup>). Τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1959 και μετά το 1995 δεν αξιολογούνται (πολύ μικρά δείγματα).
  - Σε κτίρια που εμφάνισαν βλάβες γενικού χαρακτήρα το μεγαλύτερο τεκμαρτό κόστος αποκατάστασης (123.25 ευρώ/m<sup>2</sup>) αφορούσε κτίρια χαμηλού ύψους (1-2 όροφοι) ως προς τα κτίρια μέσου ύψους με 3-5 ορόφους (88.43 ευρώ/m<sup>2</sup>). Αντίστοιχα σε κτίρια με βλάβες τοπικού χαρακτήρα το τεκμαρτό κόστος επισκευής ήταν 60.66 ευρώ/m<sup>2</sup> ενώ στα κτίρια χαμηλού ύψους 33.14 ευρώ/m<sup>2</sup> (Πίν. 5, Σχ. 7).
  - Το κόστος επισκευών / ενισχύσεων συναρτίζει της χρήσης και του είδους των βλαβών φαίνεται στο Σχήμα 8.
  - Οι συγκρίσεις του επί μέρους κόστους (Σχ. 9) σε δείγμα 63 κατασκευών με βλάβες γενικού χαρακτήρα, εμφανίζουν αύξηση του κόστους επισκευής/ενίσχυσης φέροντα οργανισμού (57.16 ευρώ/m<sup>2</sup>) σε σύγκριση με το κόστος τοίχων πλήρωσης και άλλων οικοδομικών εργασιών (32.11 ευρώ/m<sup>2</sup>) κατά 78%. Σε μικρό δείγμα 4 κατασκευών με βλάβες τοπικού χαρακτήρα το κόστος επισκευής του φέροντα οργανισμού (20.31 ευρώ/m<sup>2</sup>) είναι μικρότερο από το κόστος των τοίχων πλήρωσης (26.32 ευρώ/m<sup>2</sup>) σε ποσοστό 23%. Στο κόστος των τοίχων πλήρωσης και άλλων οικοδομικών εργασιών (εργασίες κατηγορίας Ι), η αύξηση της έκτασης και της επικινδυνότητας των βλαβών από τοπικού χαρακτήρα σε γενικού χαρακτήρα, αυξάνει το κόστος σε ποσοστό 22% (32.11/26.32), ενώ στο κόστος των εργασιών φέροντα οργανισμού (εργασίες κατηγορίας Ι+ΙΙ) η αντίστοιχη αύξηση είναι 181% (57.16/20.31).

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκαν στοιχεία από τη συσχέτιση μεταξύ της τρωτότητας και του κόστους αποκατάστασης σε 140 κατασκευές της πλειόσειστης περιοχής από ωπλισμένο σκυρόδεμα με βλάβες από το σεισμό των Αθηνών της 7<sup>ης</sup> -9-1999. Από τη διερεύνηση των βλαβών προκύπτει ότι:

- Οι υπόψη κατασκευές εμφάνισαν βλάβες γενικού χαρακτήρα σε ποσοστό 83.6% (117 κατασκευές) και τοπικού χαρακτήρα σε ποσοστό 16.4% (23 κατασκευές).
- Η διάκριση των βλαβών στα δομικά στοιχεία έδειξε ποσοστά εμφάνισης στα υποστυλώματα 87%, σε κόμβους 56%, σε κλίμακες 49%, σε δοκούς 29%, σε τοιχεία 20% και σε πλάκες 14%.
- Στα κρίσιμα αίτια βλαβών περιλαμβάνονται κυρίως η κακή ποιότητα υλικών, οι κακοτεχνίες, η κακή συντήρηση σε ποσοστό 50%, η ανεπάρκεια οπλισμών ή και διατομών (50%), η ένταση του σεισμικού φαινομένου (48%), τα προβλήματα υπερκαταπόνησης (43%), το εύκαμπτο δομικό σύστημα ανωδομής (28%), τα προβλήματα μελέτης ή εφαρμογής της (23%) και το εύκαμπτο δομικό σύστημα θεμελίωσης (16%).
- Οι μέθοδοι επισκευής / ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μανδύες έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος (σε ποσοστό 95%), προσθήκη νέων στοιχείων (τοιχείων, συνδετήριων δοκών θεμελίωσης, στύλων, τοίχων πλήρωσης σε ανοικτά ισόγεια) σε ποσοστό 42%, χρήση σύνθετων υλικών / ινοπλισμένων πολυμερών (9%), μεταλλικά ελάσματα (8%), επισκευή με ρητινενέσεις (2%) ή συνδυασμός των παραπάνω.

- Το μέσο κόστος επεμβάσεων, στα 140 κτίρια ωπλισμένου σκυροδέματος με μέτριες βλάβες, κυμάνθηκε στα 103 ευρώ/m<sup>2</sup>. Το κόστος επισκευής / ενίσχυσης στα κτίρια που εμφάνισαν βλάβες γενικού χαρακτήρα παρουσιάστηκε αυξημένο κατά 105% σε σύγκριση με τα κτίρια με βλάβες τοπικού χαρακτήρα (113/55).
- Τα κτίρια με βλάβες γενικού χαρακτήρα και μεικτό φέροντα οργανισμό (υποστυλώματα και τοιχώματα), είχαν μικρότερο κόστος επισκευών/ενισχύσεων από τα αμιγώς πλαισιακά, είτε σχεδιάστηκαν με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 (102 ευρώ/m<sup>2</sup> στα μεικτά δομικά συστήματα έναντι 129 ευρώ/m<sup>2</sup> στα πλαισιακά) είτε με τις πρόσθετες διατάξεις του 1984 (94 ευρώ/m<sup>2</sup> στα μεικτά δομικά συστήματα έναντι 104 ευρώ/m<sup>2</sup> στα πλαισιακά).
- Οι συγκρίσεις των επί μέρους δαπανών επισκευής / ενίσχυσης φέροντα οργανισμού (57 ευρώ/m<sup>2</sup>) και τοίχων πλήρωσης ή άλλων οικοδομικών εργασιών (32 ευρώ/m<sup>2</sup>) σε 63 κατασκευές με βλάβες γενικού χαρακτήρα εμφάνισαν αυξημένο κόστος κατά 78%.

*Ευχαριστίες οφείλονται στον ΤΑΣ Άνω Λιοσίων για τη διάθεση των απαραίτητων στοιχείων στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΔΠΘ, στα πλαίσια σχετικής διπλωματικής εργασίας (Νικολέτου & Στεφανίδου 2004).*

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Καλευράς, Β. Καραμπίνης, Α. 1987. Συστηματική Διερεύνηση τύπων, βαθμών και εκτάσεως βλάβης κατασκευών ωπλισμένου σκυροδέματος Καλαμάτας. Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ –Έκθεση ΟΑΣΠ.
- Καραμπίνης, Α. Ι. 2003. Αποτίμηση Σεισμικής Συμπεριφοράς Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα -Τρωτότητα και Διακινδύνευση. 14<sup>ο</sup> Συνέδριο Σκυροδέματος, Βιβλίο Εισηγήσεων, τόμος Α, 141-161, Κως 15-17 Οκτωβρίου 2003.
- Καραμπίνης, Α. Πλέσιας, Α. Φωτοπούλου, Μ. Αβραμόπουλος, Ι. 2003. Συμπεράσματα για την σεισμική τρωτότητα των κτιρίων από τον σεισμό της Αθήνας της 7ης Σεπτεμβρίου 1999. 14<sup>ο</sup> Συνέδριο Σκυροδέματος, Βιβλίο Εισηγήσεων, Τόμος Α', 520-531, Κως 15-17 Οκτωβρίου 2003.
- Νικολέτου, Γ. Στεφανίδου, Δ. Διερεύνηση της συσχέτισης του είδους των βλαβών, της δομικής βαθμολογίας και της σεισμικής διακινδύνευσης. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ, Ξάνθη 2004.
- ΟΑΣΠ, 1997. Οδηγίες και Έντυπα για τη Διενέργεια Άμεσου Πρωτοβάθμιου Μετασεισμικού ελέγχου Καταλληλότητας των Κτιρίων για Χρήση.
- ΥΑΣ 2000. Απόφαση ΥΑΣ 11237/220-11-2000, Διευκρινίσεις και παραδείγματα για τον καθορισμό αμοιβής μηχανικών για εκπόνηση μελέτης και επίβλεψη αποκατάστασης κτιρίων που υπέστησαν βλάβες από τους σεισμούς.
- ΥΑΣ 2001. Απόφαση ΥΑΣ 330/ΑΖ5β/16-1-2001, Τροποποίηση και συμπλήρωση της Υπουργικής Απόφασης 5172/ΑΖ5β/18-10-99.
- ΥΠΕΧΩΔΕ 1999. Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18-10-99 Υφυπουργού ΠΕΧΩΔΕ, Καθορισμός ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων για τη σύνταξη των μελετών αποκατάστασης των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες από το σεισμό της 7/9/99 και έκδοση των σχετικών οικοδομικών αδειών επισκευής /ενίσχυσης.

Πίνακας 1. Βασικά δομικά χαρακτηριστικά, σε κατασκευές ωπλισμένου σκυροδέματος, με μέτριες βλάβες (περιοχή Λιοσίων).

Επίπεδο βλάβης	Πλήθος	Αριθμός Ορόφων					Έτος κατασκευής			
		Ισόγειο	Ισογ.+1	Ισογ.+2	Ισογ.+3	Ισογ.+ <1959	60-85	86-95	>1995	
Βλάβες γενικού χαρ.	117	5	76	28	7	1	5	82	27	3
Βλάβες τοπικού χαρ.	23	1	17	3	1	1	0	18	5	0
<b>Σύνολο</b>	<b>140</b>	<b>6</b>	<b>93</b>	<b>31</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>100</b>	<b>32</b>	<b>3</b>

Πίνακας 1 (συνέχεια)

Σύνολο κτιρίων	Εσωτερική μη κανονικότητα, Κοντά υποστ./πυλωτή	Πιθανή αλληλεπίδραση Κρούση με γειτονικά	Στρέψη	Χρήση		Μέγεθος*			Γεωμετρική μη κανονικότητα	
				Κατοικία	Άλλη χρήση	μ	Μμ	M	Οριζόντια	Καθ' ύψος
140	63	95	73	87	53	16	68	56	13	64

Πίνακας 1 (συνέχεια)

Δομικός τύπος	ΩΣ1**	ΩΣ2, ΩΣ3	ΩΣ4	ΩΣ5	ΩΣ6, ΩΣ7	ΩΣ
Πλήθος κατασκευών	54	51	16	16	3	140

\*Μέγεθος: Κτίρια ενός ή δύο ορόφων και έως 150 m<sup>2</sup> συνολικά θεωρήθηκαν μικρού μεγέθους (μ).

Κτίρια έως τριών ορόφων ή /και έως 300 m<sup>2</sup> συνολικά θεωρήθηκαν μεσαίου μεγέθους (Μμ).

Κτίρια με περισσότερους των τριών ορόφων ή /και μεγαλύτερα των 300 m<sup>2</sup> συνολικά θεωρήθηκαν μεγάλου μεγέθους (M).

ΩΣ1: Κτίριο με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έτος κατασκευής 1960 - 1985.

\*\* Στο δομικό τύπο ΩΣ1 έχουν ενταχθεί 5 κατασκευές με έτος κατασκευής έως το 1959.

ΩΣ2: Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έτος κατασκευής 1960 - 1985.

ΩΣ3: Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό και επαρκή τοιχώματα από ωπλισμένο σκυρόδεμα - έτος κατασκευής 1960 - 1985.

ΩΣ4: Κτίριο με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έτος κατασκευής 1986 - 1995.

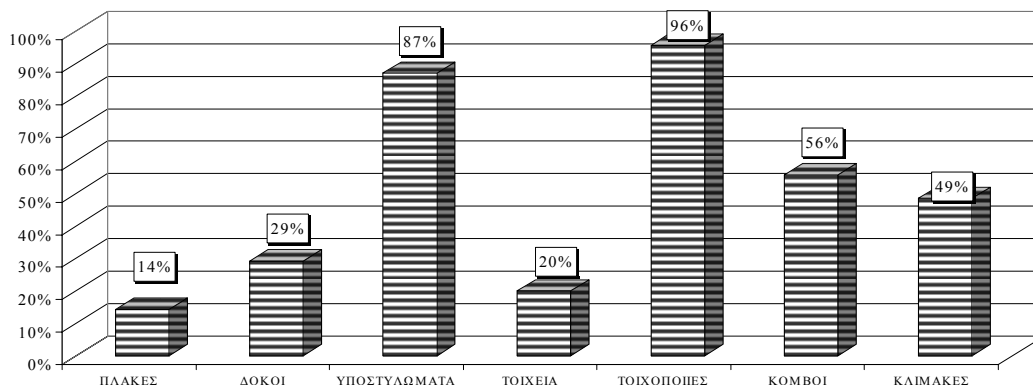
ΩΣ5: Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έτος κατασκευής 1986 - 1995.

ΩΣ6: Κτίριο με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έτος κατασκευής μετά το 1995.

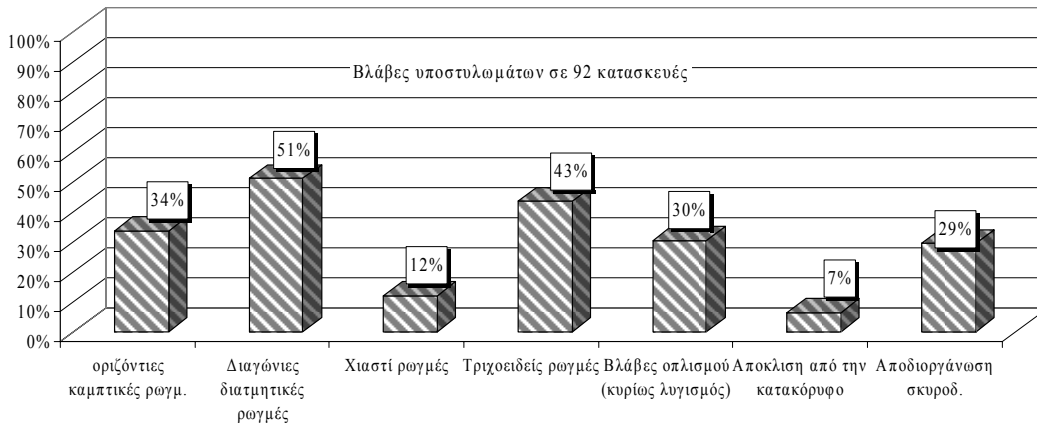
ΩΣ7: Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έτος κατασκευής μετά το 1995.

Πίνακας 2. Δομικά στοιχεία με βλάβες.

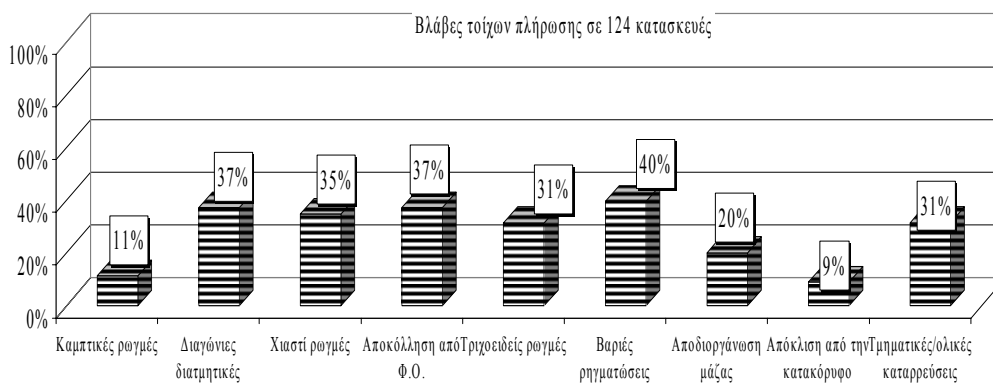
Δομικά στοιχεία		Πλάκες	Δοκοί	Στύλοι	Τοιχεία	Τοίχοι πλήρωσης	Κόμβοι	Κλίμακες
Πλήθος		20	41	122	28	134	78	68
Βλάβες ΓΧ	Βλάβες ΤΧ							
117	23	16	4	38	3	109	13	27
		1	111	23	72	6	59	9



Σχήμα 1. Δομικά στοιχεία με βλάβες.



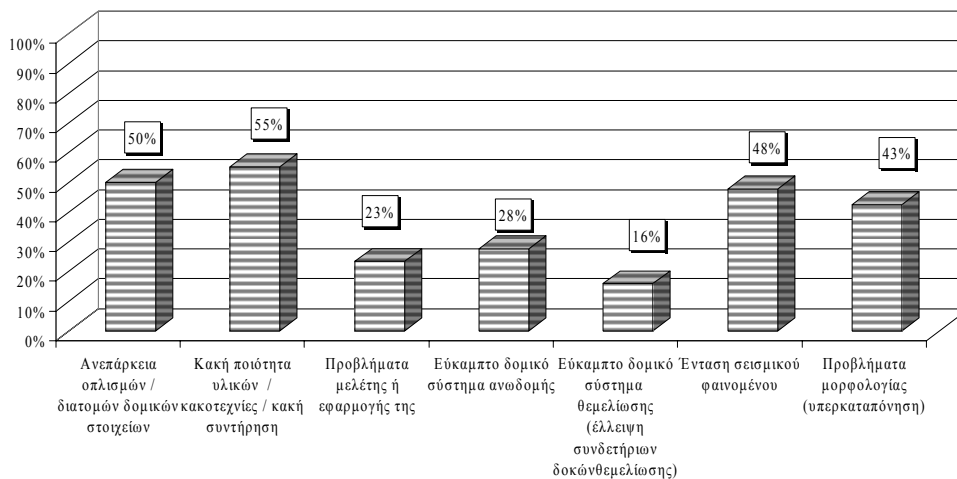
Σχήμα 2. Είδος και βαθμός βλάβης σε υποστρώματα.



Σχήμα 3. Είδος και βαθμός βλάβης σε τοίχους πλήρωσης.

Πίνακας 3. Κρίσιμα αίτια βλαβών σε 94 κατασκευές (οι 84 με βλάβες γενικού χαρακτήρα)

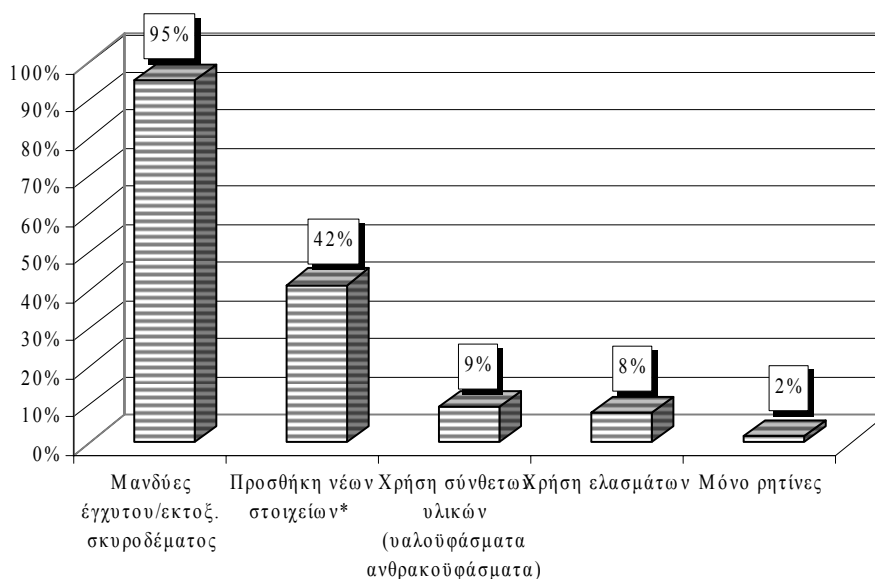
Ανεπάρκεια οπλισμών / διατομών / δομικών στοιχείων	Κακή ποιότητα υλικών / κακοτεχνίες / κακή συντήρηση	Προβλήματα μελέτης ή εφαρμογής της ανωδομής	Εύκαμπτο δομικό σύστημα	Εύκαμπτο δομικό σύστημα θεμελίωσης	Ένταση σεισμικού φαινομένου	Προβλήματα μορφολογίας
47	52	22	26	15	45	40



Σχήμα 4. Κρίσιμα αίτια βλαβών σε 94 κατασκευές.



Σύνολο κατασκευών: 65 (Βλάβες Γ.Χ. 56, Βλάβες Τ.Χ. 9)



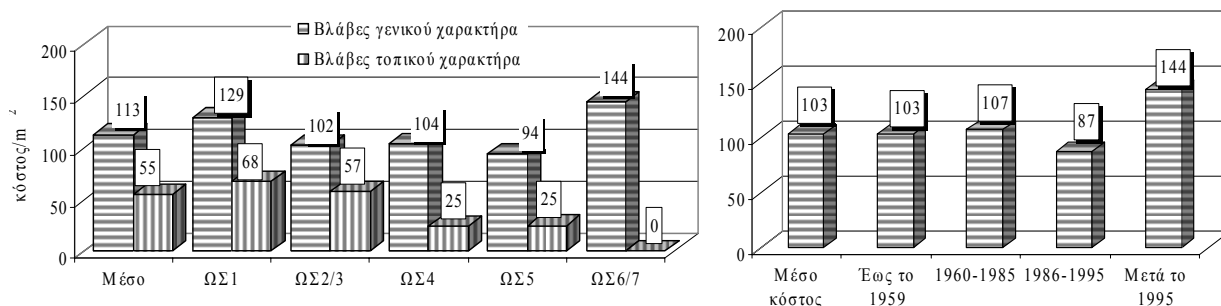
\*: Τοιχείων, συνδετήριων δοκών θεμελίωσης, υποστυλωμάτων, τοίχων πλήρωσης σε ανοικτά ισόγεια.

Σχήμα 5. Μέθοδοι επισκευής – ενίσχυσης.

Πίνακας 4. Μέσο κόστος/μ<sup>2</sup> και διακύμανση κόστους συναρτήσει του δομικού τύπου και του είδους των βλαβών.

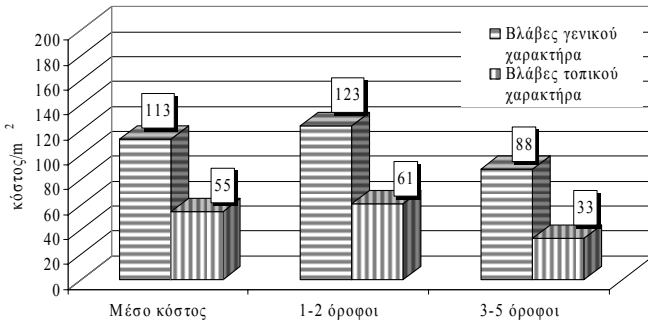
Είδος δομικού τύπου	Βλάβες γενικού χαρακτήρα		Βλάβες τοπικού χαρακτήρα		Βλάβες γενικού χαρακτήρα Διακύμανση κόστους		
	Κόστος ευρώ/μ <sup>2</sup>	Πλήθος κατ.	Κόστος ευρώ/μ <sup>2</sup>	Πλήθος κατ.	Μεγαλύτερη τιμή	Μικρότερη τιμή	Τυπική απόκλιση
Μέσο κόστος	112.54	117	54.68	23			
ΩΣ1	128.89	44	67.55	10	421.45	35.34	69.12
ΩΣ2 / ΩΣ3	102.36	43	57.41	8	210.26	13.84	48.00
ΩΣ4	103.63	13	24.52	3*	174.50	61.31	32.92
ΩΣ5	93.86	14	24.66	2*	186.34	22.22	51.60
ΩΣ6 / ΩΣ7	144.16	3*	-	0	250.15	35.78	107.20

\* : Το δείγμα είναι πολύ μικρό.



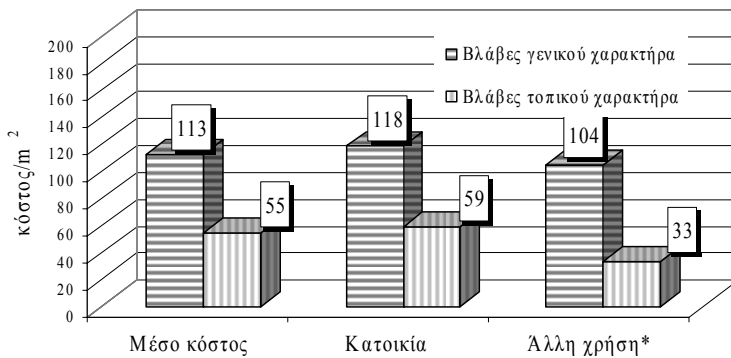
Σχήμα 6. Κόστος επισκευών - ενισχύσεων/μ<sup>2</sup>, συναρτήσει του δομικού τύπου και του είδους των βλαβών ή της περιόδου κατασκευής.

Πίνακας 5. Κόστος/μ<sup>2</sup> συναρτήσει του αριθμού των ορόφων και του είδους των βλαβών.



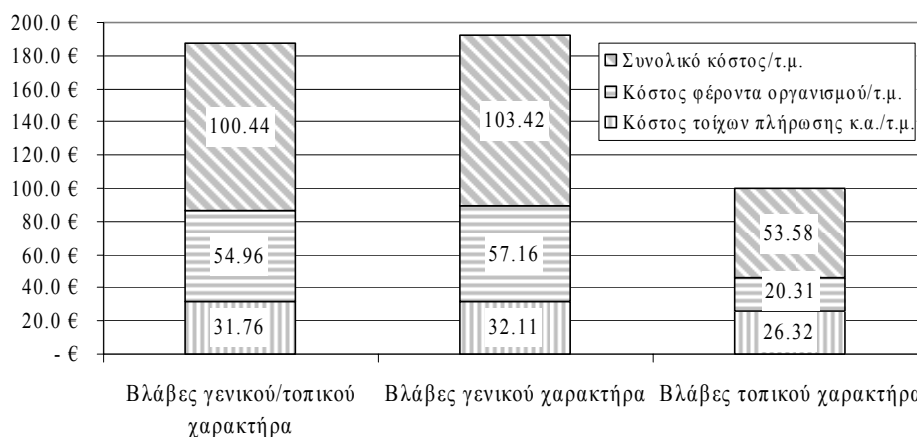
	Βλάβες γενικού χαρακτήρα		Βλάβες τοπικού χαρακτήρα	
	Κόστος ευρώ/μ <sup>2</sup>	Πλήθος κατ.	Κόστος ευρώ/μ <sup>2</sup>	Πλήθος κατ.
1-2 όροφοι	123.25	81	60.66	18
3-5 όροφοι	88.43	36	33.14	5

Σχήμα 7. Κόστος επισκευών – ενισχύσεων/μ<sup>2</sup>, συναρτήσει του αριθμού των ορόφων και του είδους των βλαβών.



\* Άλλη χρήση: Κατοικία και καταστήματα ή βιοτεχνία ή νηπιαγωγείο ή φροντιστήριο.

Σχήμα 8. Κόστος επισκευών – ενισχύσεων/μ<sup>2</sup> συναρτήσει της χρήσης και του είδους των βλαβών.



Σχήμα 9. Συγκριτική συνολικού κόστους/μ<sup>2</sup>, κόστους φέροντα οργανισμού (εργασίες κατηγορίας Π+ΙΙΙ)/μ<sup>2</sup>, κόστους τοίχων πλήρωσης και άλλων οικοδομικών εργασιών (εργασίες κατηγ. Ι)/μ<sup>2</sup> συναρτήσει του είδους των βλαβών, σε 67 κατασκευές.