

Συσχέτιση της Δομικής Βλάβης Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Οικονομικές Απώλειες: Βαθμονόμηση βάσει δεδομένων από το σεισμό της Αθήνας (7-9-1999)

Α.Ι.Κάππος

Δρ Πολιτικός Μηχανικός. Καθηγητής Α.Π.Θ.

Β.Α.Λεκίδης

Δρ Πολιτικός Μηχανικός. Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

Θ.Ν.Σαλονικιός

Δρ Πολιτικός Μηχανικός. Δόκιμος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

Κ.Κ.Αντωνιάδης & Η.Α.Παρασκευόπουλος

Πολιτικοί Μηχανικοί. Υποψ. Διδάκτορες Α.Π.Θ.

Λέξεις κλειδιά: Δομική βλάβη, κτίρια Οπλισμένου Σκυροδέματος, οικονομικές απώλειες, σεισμός Αθήνας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη συλλογή στοιχείων βλαβών και επισκευών από τους φακέλους των κτιρίων στα οποία αναπτύχθηκαν βλάβες από το σεισμό της Αθήνας, στα πλαίσια Ομάδος Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν αφορούν την απώλεια φέρουσας ικανότητας στην κρίσιμη στάθμη του κτιρίου και την αντίστοιχη οικονομική απώλεια. Η εκτίμηση της απώλειας φέρουσας ικανότητας στην κρίσιμη στάθμη γίνεται βάσει της Υπουργικής Απόφασης της 18.10.99. Η οικονομική απώλεια λαμβάνεται από το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ή ανακατασκευής όπως υπολογίστηκε από τις τιμές που θεσπίστηκαν για κάθε περίπτωση. Τα στοιχεία συλλέγονται σε ειδικό έντυπο που συντάχθηκε στα πλαίσια της Ο.Ε. Με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων αυτών προκύπτουν τα δεδομένα συσχέτισης δομικής βλάβης και οικονομικής απώλειας και εξάγονται αντίστοιχα μαθηματικά μοντέλα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια σημαντική παράμετρος στις μελέτες σεισμικής τρωτότητας είναι η συσχέτιση της δομικής βλάβης και της οικονομικής απώλειας (δαπάνης επισκευής). Η γνώση της σχέσης αυτής επιτρέπει την εκτίμηση της αναμενόμενης απώλειας με βάση πραγματικά στοιχεία βλαβών και επισκευών από προηγούμενους ελληνικούς σεισμούς, και μπορεί να συμβάλει σημαντικά στον καλύτερο προγραμματισμό των αναγκαίων ενεργειών και στη λήψη μέτρων από την Πολιτεία, με στόχο πάντα τη μείωση των αναμενόμενων απωλειών, αλλά και την αποτελεσματικότερη και πιο τεκμηριωμένη παρέμβαση στο επίκαιρο πρόβλημα της σεισμικής ασφάλισης. Μέσω της συσχέτισης των παραπάνω δύο παραμέτρων είναι δυνατή η θέσπιση συνοπτικής διαδικασίας έτσι ώστε να είναι δυνατή μια ταχεία και τυποποιημένη, αναπόφευκτα προσεγγιστική, αλλά ορθολογιστική και με κοινά βασικά κριτήρια προεκτίμηση του κόστους αποκατάστασης σεισμοπλήκτων κτιρίων (κυρίως των ασφαλισμένων) ως ποσοστό του κόστους ανακατασκευής τους. Βασικός στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να προκύπτει από την προεκτίμηση ένα ποσό αποζημίωσης που να είναι ορθολογικό και αποδεκτό από τους ιδιοκτήτες του ασφαλισμένου κτιρίου, χωρίς βεβαίως να είναι υψηλότερο από το πραγματικό κόστος των απαιτούμενων επεμβάσεων. Εξάλλου, στο σχέδιο Ξενοκράτης και στο κεφάλαιο της ετοιμασίας των υλικών και εξοπλισμού, μπορεί να γίνει συσχέτιση των αναμενόμενων απωλειών και της ποσότητας και κατανομής του εξοπλισμού για επιτυχέστερη αντιμετώπιση των καταστροφών. Αλλά και στις

μετασεισμικές επεμβάσεις είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η σχέση μεταξύ δομικής και οικονομικής απώλειας προκειμένου να καταστεί δυνατή μια ρεαλιστική εκτίμηση της χρηματοδότησης για αποκατάσταση των βλαβέντων κτιρίων.

Για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ δομικής βλάβης και οικονομικής απώλειας συστάθηκε ομάδα εργασίας (ΟΕ) από το ΤΕΕ Τμ. Κεν. Μακεδονίας με μέλη τους γράφοντες (Κάππος και συνεργάτες 2003). Κύριο αντικείμενο της ΟΕ αυτής ήταν η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τη συλλογή στοιχείων βλαβών και επισκευών για κτίρια που έπαθαν βλάβες από το σεισμό της 7-9-1999 στην Αθήνα, με έμφαση στη συσχέτιση του βαθμού βλάβης (στα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία των κτιρίων) με το αντίστοιχο κόστος επισκευής. Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν από τα ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών (Μενιδίου). Για τον υπολογισμό της δομικής βλάβης τα μέλη της ΟΕ βασίστηκαν στη μεθοδολογία υπολογισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας στοιχείου και στάθμης όπως προτείνεται στην από 21/12/2000 τροποποίηση της Υπουργικής Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99. Οι οικονομικές απώλειες για κάθε κτίριο προέκυψαν από τον συνολικό προϋπολογισμό των επισκευών και ενισχύσεων ή ανακατασκευής που υπολογίστηκαν από τον υπεύθυνο μηχανικό, με βάση τις τιμές που καθορίστηκαν για αυτόν το σκοπό, και συνοδεύει τον αντίστοιχο φάκελο κάθε κτιρίου που είχε βλάβες.

2 ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Ο υπολογισμός της απομένουσας φέρουσας ικανότητας κτιρίου γίνεται, όπως προανφέρθηκε, με βάση την Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99 όπως τροποποιήθηκε την 21/12/2000. Σύμφωνα με αυτή, καθορίζονται οι διαδικασίες αναλύσεων και υπολογισμών των κτιρίων με βλάβες προκειμένου να προκύψουν οι απαιτούμενες επεμβάσεις για την αποκατάστασή τους. Ειδικότερα καθορίζονται κριτήρια κατάταξης των κτιρίων με βάση την επιρροή των βλαβών στη γενική ευστάθεια του κτιρίου. Στην περίπτωση που οι βλάβες περιορίζονται στις πλάκες και τις δοκούς (ελαφρές ή σοβαρές βλάβες), στο 30% των κατακόρυφων στοιχείων (ελαφρές βλάβες) και στους τοίχους πλήρωσης (ελαφρές ή βαριές) θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται η γενική ευστάθεια του κτιρίου. Σε οποιαδήποτε άλλη δυσμενέστερη περίπτωση βλαβών θεωρείται ότι επηρεάζεται η γενική ευστάθεια του κτιρίου. Πρέπει να ερευνηθεί κατά πόσο οι βλάβες υποδηλώνουν:

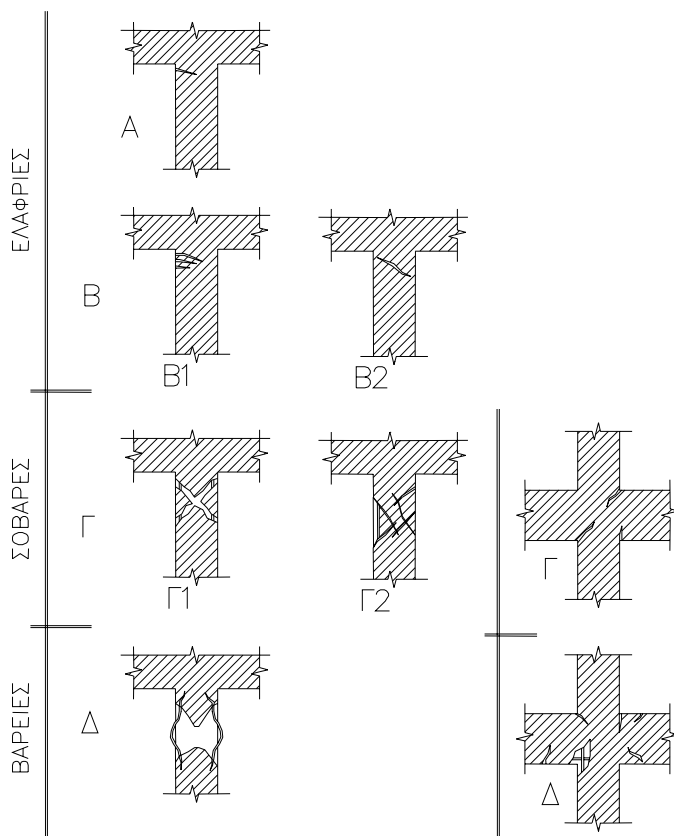
- ότι υπάρχει πρόβλημα στη σύνθεση και το σχεδιασμό του φορέα.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα του εδάφους θεμελίωσης.
- ότι υπάρχει κάποιο σφάλμα στον υπολογισμό του φορέα (αρχική μελέτη).
- ότι υπάρχει κάποιο σοβαρό πρόβλημα λόγω μη τήρησης της αρχικής μελέτης.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την αντοχή του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση που η κατάταξη του κτιρίου δεν είναι δυνατή από την παρατήρηση των βλαβών, εκτιμάται η απομένουσα φέρουσα ικανότητα και η αντίστοιχη απώλεια στην κρίσιμη στάθμη. Θεωρείται ότι έχει επηρεασθεί η γενική ευστάθεια του κτιρίου όταν η απώλεια φέρουσας ικανότητας του κτιρίου, στην κρίσιμη στάθμη, είναι μεγαλύτερη ή ίση του 10% για κτίρια μικρής ηλικίας και του 15% για κτίρια μεγάλης ηλικίας. Μικρής ηλικίας είναι τα κτίρια της τελευταίας 25ετίας και μεγάλης ηλικίας τα κτίρια παλαιότερα της 30ετίας (για ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή).

Ειδικότερα για τις βλάβες που αναπτύσσονται στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία αυτές λαμβάνουν τον χαρακτηρισμό από «Α» έως «Δ» ανάλογα με τον τύπο τους και το μέγεθός τους, σύμφωνα με το σχήμα 1. Έτσι στην περίπτωση που εμφανίζεται καμπτική ρηγματώση στο υποστύλωμα, η οποία εκδηλώνεται με ένα ρήγμα, θεωρείται ότι έχει αναπτυχθεί ελαφριά βλάβη και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Α». Στην περίπτωση που αναπτύσσονται περισσότερα από ένα καμπτικά ρήγματα στο υποστύλωμα ή διατμητικό ρήγμα σε μία διεύθυνση, θεωρείται ότι οι βλάβες είναι ελαφριές και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Β» (B1 ή B2 σύμφωνα με το σχήμα). Στην περίπτωση που αναπτύσσονται διαγώνια ρήγματα στο υποστύλωμα και στις δύο διευθύνσεις, οι βλάβες θεωρείται ότι είναι σοβαρές και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Γ» (Γ1 ή Γ2 σύμφωνα με το σχήμα). Στην περίπτωση που υπάρχουν διαγώνια ρήγματα, το ρηγματωμένο σκυρόδεμα έχει συντριβεί και έχουν λυγίσει οι διαμήκεις ράβδοι του οπλισμού οι βλάβες θεωρείται ότι είναι βαριές

και λαμβάνουν τον χαρακτηρισμό «Δ». Ανάλογα με τον χαρακτηρισμό των βλαβών από «Α» έως «Δ», την ηλικία και την ποιότητα κατασκευής του δομικού στοιχείου προκύπτει από τον πίνακα Ι η απομένουσα φέρουσα ικανότητά του. Από την απομένουσα φέρουσα ικανότητα του στοιχείου προκύπτει η απομένουσα φέρουσα ικανότητα της κρίσιμης στάθμης.

ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ



Εικόνα 1. Τυπικοί βαθμοί βλάβης (Υ.Α. 18.10.99/Τροπ. 21.12.2000)

Για τις επεμβάσεις καθορίζονται οι βασικές αρχές, σύμφωνα με τις οποίες το κτίριο αντιμετωπίζεται ως τρισδιάστατος φορέας, δεν αλλοιώνονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά του, αποφεύγεται η απότομη μεταβολή της αντοχής και ακαμψίας μεταξύ των ορόφων, προσδιορίζονται και “θεραπεύονται” τα ενδογενή αίτια βλάβης, χρησιμοποιούνται μέθοδοι και υλικά επισκευής με ευκολία εφαρμογής τα οποία εύκολα ελέγχονται ποιοτικά. Τα ενισχυόμενα καθώς και τα πρόσθετα δομικά στοιχεία διαστασιολογούνται με τους σύγχρονους κανονισμούς υλικών (ΕΚΟΣ, κλπ.). Στην περίπτωση που οι βλάβες δεν επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου δεν απαιτούνται αναλύσεις του φορέα του κτιρίου, αλλά γίνονται τοπικοί υπολογισμοί με απλουστευμένες μεθόδους. Στην περίπτωση που οι βλάβες επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου απαιτούνται οι παρακάτω τρεις αναλύσεις:

- Επίλυση του υφιστάμενου φορέα χωρίς τις βλάβες
- Επίλυση του φορέα με τις ελάχιστες επεμβάσεις στα βλαβέντα δομικά στοιχεία (ακολουθεί επιλογή απαιτούμενων επεμβάσεων και προσθήκη νέων στοιχείων)
- Επίλυση του φορέα με τις ενισχύσεις και τα νέα στοιχεία που προτείνονται

Ο τελικός έλεγχος αντοχής γίνεται για τα μη επισκευασμένα / μη ενισχυόμενα δομικά στοιχεία με τη μέθοδο των μερικών συντελεστών ασφάλειας για την οριακή κατάσταση αστοχίας (κεφ. 10, 11,

12 του ΕΚΟΣ) χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ελάχιστες απαιτήσεις διαστάσεων και οπλισμών, που προβλέπονται από τον ΕΚΟΣ. Η διαστασιολόγηση των επισκευασμένων / ενισχυόμενων και των νέων στοιχείων, γίνεται με τον ισχύοντα σήμερα κανονισμό οπλισμένου σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000), σε συνδυασμό με τις σχετικές οδηγίες επισκευών. Για κτίρια που μελετήθηκαν με Αντισεισμικό Κανονισμό προγενέστερο του ισχύοντος τα σεισμικά φορτία συνιστάται να λαμβάνονται από τη σχέση: $E=1.75 \varepsilon (G+\psi_2Q)$. Η κατανομή των σεισμικών φορτίων αυτών καθ' ύψος είναι 'ομοιόμορφη' στην περίπτωση που η αρχική μελέτη έγινε με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 (ή νωρίτερα) ή 'τριγωνική', εφόσον το κτίριο είχε μελετηθεί μετά την ισχύ των πρόσθετων διατάξεων του 1984. Για τους μη σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων λαμβάνονται κατακόρυφα φορτία όπως προκύπτουν από τη σχέση: $1.35G+1.50Q$ ενώ για τους σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων τα κατακόρυφα φορτία προκύπτουν από τη σχέση $G+\psi_2Q$.

Πίνακας 1. Απομένουσα Φέρουσα Ικανότητα (Φ.Ι.) Στοιχείου (φ_i) ως ποσοστό της αρχικής Φ.Ι.

ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΤΥΠΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ			
	«Α»	«Β»	«Γ»	«Δ»
ΜΙΚΡΗ ΗΛΙΚΙΑ*	0.95	0.75	0.45	0.15
ΜΕΓΑΛΗ ΗΛΙΚΙΑ*	0.80	0.60	0.30	0

*Μικρή ηλικία ≤ 25 ετών, μεγάλη ηλικία ≥ 30 ετών (για ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή)

Κακή κατάσταση ή κακή κατασκευή στοιχείου: μείωση φ_i κατά 5%

Κακή κατάσταση και κακή κατασκευή στοιχείου: μείωση φ_i κατά 15%

3 ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

3.1 Στατιστικό δείγμα

Για την πραγματοποίηση της έρευνας και τη συλλογή των στοιχείων που αφορούσαν την απώλεια φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης και την οικονομική απώλεια χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία των ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών. Ελέγχθηκαν 116 περιπτώσεις κτιρίων, από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, με βλάβες στην περιοχή Άνω Λιοσίων, από τα οποία τα 64 είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα, 20 με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν, ενώ 32 είχαν από μηδενικές έως ελαφρές και επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό και είχαν χαρακτηριστεί με πράσινο χρώμα. Στην περιοχή του Δήμου Αχαρνών ελέγχθηκαν 100 περιπτώσεις κτιρίων με βλάβες, από τα οποία τα 54 είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα, τα 22 με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν, ενώ 24 είχαν από μηδενικές έως ελαφρές και επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό. Σε αυτά τα 24 κτίρια, εμφανίστηκαν κυρίως βλάβες στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Το χρώμα χαρακτηρισμού των κτιρίων αναφέρεται στον χαρακτηρισμό της επιτροπής δευτεροβάθμιου ελέγχου για τα κίτρινα και τα κόκκινα. Ο υπολογισμός της απώλειας της φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης δεν βρέθηκε σε όλους τους φακέλους που ανοίχθηκαν. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι υπολογισμοί έγιναν επί τόπου από τα μέλη της ομάδας εργασίας, με βάση το φωτογραφικό υλικό κάθε φακέλου και την τεχνική περιγραφή των βλαβών που είχε γίνει από τους μηχανικούς κάθε έργου. Προκειμένου να συγκεντρωθούν τα στοιχεία του δείγματος ανοίχθηκαν περίπου 700 φάκελοι οι οποίοι δεν χρησιμοποιήθηκαν όλοι επειδή είτε είχαν ως αντικείμενο κτίρια από τοιχοποιία είτε δεν είχαν επαρκή στοιχεία περιγραφής βλαβών για τον υπολογισμό της απώλειας φέρουσας ικανότητας της

κρίσιμης στάθμης. Για τη συλλογή των στοιχείων συντάχθηκε ειδικό έντυπο, στα πλαίσια της ομάδας εργασίας.

3.2 Έντυπα συλλογής στοιχείων

Στα έντυπα συλλογής στοιχείων συμπληρώθηκαν πληροφορίες σχετικά με το κάθε κτίριο στο οποίο παρουσιάστηκαν βλάβες και έγιναν επισκευές ή/και ενισχύσεις. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Ο αριθμός φακέλου που δόθηκε σε κάθε περίπτωση από την αντίστοιχη υπηρεσία ΤΑΣ. Αυτό το στοιχείο θεωρήθηκε απαραίτητο προκειμένου να είναι δυνατό να προσδιορισθεί ο συγκεκριμένος φάκελος στην περίπτωση που χρειασθεί να γίνει επανέλεγχος.
- Η χρονολογία μελέτης και κατασκευής του κτιρίου προκειμένου να προκύψει αφενός μεν ο κανονισμός με βάση τον οποίο έγινε η στατική του μελέτη, αφετέρου δε η ηλικία του κτιρίου.
- Το εμβαδό κάθε ορόφου του κτιρίου (χωρίς τους εξώστες) καθώς και της θεμελίωσης. Επίσης αναφέρεται ποιες ήταν οι στάθμες με τις περισσότερες βλάβες (κρίσιμες στάθμες). Τα στοιχεία του εμβαδού των ορόφων κρίθηκαν απαραίτητα προκειμένου να προκύψει το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά μονάδα επιφανείας.
- Το πλήθος και ο τύπος (υποστυλώματα και τοιχώματα κατά X ή Y) των κατακόρυφων δομικών στοιχείων της κρίσιμης στάθμης.
- Το κανονιστικό πλαίσιο σύνταξης της μελέτης επισκευών και ενισχύσεων (π.χ. ΕΑΚ., ΝΕΚΟΣ ή $1.75 \varepsilon (G+\psi_2Q)$, $1.35G+1.50Q$, $G+\psi_2Q\pm E$). Σύμφωνα με την υπουργική απόφαση επισκευών και ενισχύσεων επιτρέπεται η χρήση διαφόρων συνδυασμών κατακόρυφων και σεισμικών φορτίων. Πρέπει να συσχετιστεί ο συνδυασμός φορτίων που επιλέχθηκε με το κόστος επισκευής.
- Το πλήθος και ο τύπος των στοιχείων με βλάβες στην κρίσιμη στάθμη. Είναι πιθανό σε κτίρια μικρής ηλικίας λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού των κόμβων δοκών - υποστυλωμάτων να αναπτύσσονται βλάβες κυρίως σε δοκούς και όχι σε υποστυλώματα. Καθώς ο υπολογισμός της απομένουσας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης βασίζεται στις βλάβες που εμφάνισαν τα υποστυλώματα είναι δυνατό να δημιουργούνται σημαντικές αποκλίσεις (προς τα επάνω) στο κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο κατά τη συγκέντρωση των βλαβών κυρίως στις δοκούς.
- Οι στάθμες με βλάβες (πλήθος, θέση), στις οποίες έγιναν επεμβάσεις (θεωρώντας και τη θεμελίωση στην περίπτωση που έγιναν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση).
- Ο δείκτης βλάβης του κρίσιμου ορόφου.
- Το συνολικό κόστος των επεμβάσεων

Επίσης σημειώθηκε σε κάθε περίπτωση ποια ήταν η μέθοδος επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκε. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο υπολογισμός της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης δεν βρέθηκε σε κάθε φάκελο καθώς δεν ήταν υποχρεωτική η εφαρμογή του. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι υπολογισμοί έγιναν από τα μέλη της Ο.Ε. που έκαναν τις αυτοψίες φακέλων με βάση την τεχνική έκθεση του υπεύθυνου μηχανικού, το φωτογραφικό υλικό και τα σκαριφήματα των εντύπων σύνταξης του προϋπολογισμού. Το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο προκύπτει από το πηλίκο του συνολικού κόστους των επεμβάσεων προς το συνολικό εμβαδό των σταθμών με βλάβες όπου έγιναν επεμβάσεις (συνυπολογίζοντας και τη θεμελίωση στις περιπτώσεις που έγιναν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση) και των σταθμών για τις οποίες προέκυψε υπολογιστικά ότι έπρεπε να γίνει ενίσχυση. Τα έντυπα που συμπληρώθηκαν παρουσιάζονται στο τελευταίο τμήμα αυτού του τεύχους. Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη συσχέτιση της απώλειας της φέρουσας ικανότητας και του κόστους επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο και για τις μεθόδους επισκευής που εφαρμόστηκαν.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Τυπολογία βλαβών

Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στα έντυπα, προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των βλαβών και τον τύπο των δομικών στοιχείων στα οποία αυτές συγκεντρώθηκαν. Παρακάτω περιγράφονται οι περιπτώσεις όπου οι βλάβες επηρέαζαν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου. Οι βλάβες που παρατηρήθηκαν ήταν κυρίως διατμητικού τύπου ενώ ήταν σπάνιες οι περιπτώσεις με βλάβες καμπτικού τύπου. Στα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν με κίτρινο χρώμα υπήρχαν περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν διατμητικά ρήγματα μιας διεύθυνσης και περιπτώσεις με διατμητικά ρήγματα σε δύο διευθύνσεις. Πολύ λίγες ήταν οι περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκε λυγισμός των διαμήκων ράβδων. Βλάβες αναφέρονται σε κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων οι οποίες κυμαίνονται από ελαφριές μέχρι βαριές. Στις περιπτώσεις με βαριές βλάβες κόμβων γίνεται λόγος για αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και σπανιότερα για λυγισμό διαμήκων ράβδων. Λίγες είναι οι περιπτώσεις κτιρίων όπου παρουσιάζονται βλάβες σε δοκούς στον κρίσιμο όροφο. Επίσης παρατηρήθηκαν βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης οι οποίες κυμαίνονταν από ελαφριές (επισκευάσιμες) έως βαριές. Στην τελευταία περίπτωση παρατηρήθηκαν περιπτώσεις με συντριβή των τούβλων και μερικές ή ολικές καταρρεύσεις τοιχοπλήρωσεων. Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι η χρήση των τοιχωμάτων ήταν γενικά περιορισμένη ενώ πολλές ήταν οι περιπτώσεις κτιρίων χωρίς τοιχώματα. Η κατασκευή των κλιμακοστασίων γινόταν με γραμμικά δομικά στοιχεία χωρίς την κατασκευή πυρήνων τοιχωμάτων. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν βλάβες στην πλάκα οροφής ισογείου.

Στα κτίρια όπου οι βλάβες στον φέροντα οργανισμό ήταν από ανύπαρκτες έως πολύ μικρές θεωρείτο ότι δεν επηρέαζονταν η γενική ευστάθειά τους και προτεινόταν μέθοδος επισκευής χωρίς την εκτέλεση υπολογισμών. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις υπήρχαν βλάβες σημαντικές στις τοιχοποιίες πλήρωσης.

Στα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν παρατηρήθηκαν σημαντικές βλάβες στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία του ισογείου που συνοδεύονταν από συντριβή του σκυροδέματος στην κεφαλή και τον πόδα των υποστυλωμάτων, αποφλοιώση και λυγισμό των οπλισμών, παραμένονσα παραμόρφωση στο ισόγειο, απόκλιση από την κατακόρυφο και σημαντικές βλάβες στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι βλάβες εκτεινόταν και στον υπερκείμενο όροφο οι οποίες ήταν σημαντικά μειωμένες και περιορίζονταν κυρίως στις τοιχοποιίες πλήρωσης.

4.2 Μέθοδοι επισκευής – ενίσχυσης

Για την επισκευή και ενίσχυση των κτιρίων της πλειόσειστης περιοχής που παρουσίασαν βλάβες εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές. Κυρίως χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος επισκευής με ρητινενέσεις και ενίσχυσης με προσθήκη οπλισμών και κατασκευή μανδύων σκυροδέματος. Οι μανδύες που κατασκευάστηκαν ήταν από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Αυτοί εφαρμόστηκαν σχεδόν σε όλο το ύψος του κρίσιμου ορόφου και στα στοιχεία του υπερκείμενου ορόφου στα οποία είτε σημειώθηκε βλάβη, είτε προέκυπτε από τους υπολογισμούς ότι έπρεπε να ενισχυθούν. Οι μανδύες συνεχίζονταν μέχρι τη θεμελίωση όπου είτε απλώς αγκυρώνονταν, είτε συνδέονταν με την ενίσχυση του πεδύλου (αύξηση διαστάσεων) στις περιπτώσεις που προβλέπονταν κάτι τέτοιο. Επίσης εφαρμόστηκαν και άλλες μέθοδοι ενίσχυσης όπως είναι η μέθοδος των μεταλλικών ελασμάτων και η μέθοδος των σύνθετων υλικών (ανθρακούφασματα, υαλοϋφάσματα). Στο διάγραμμα της εικόνας 5 παρουσιάζονται οι μέθοδοι επισκευής που εφαρμόστηκαν ως ποσοστό των περιπτώσεων που ελέγχθηκαν. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε αφορά κυρίως τα κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα. Όπως προκύπτει, στην πλειοψηφία των κτιρίων εφαρμόστηκε η μέθοδος επισκευής με ρητινενέσεις και ενίσχυσης με μανδύες εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος σε ποσοστό 72%. Στο 20% των περιπτώσεων εφαρμόστηκαν μανδύες σκυροδέματος και προσθήκη τοιχωμάτων. Επισκευή και ενίσχυση με σύνθετα υλικά εφαρμόστηκε

στο 5% των κτιρίων με βλάβες στον φέροντα οργανισμό ενώ η μέθοδος των μεταλλικών ελασμάτων εφαρμόστηκε στο 3% των περιπτώσεων.

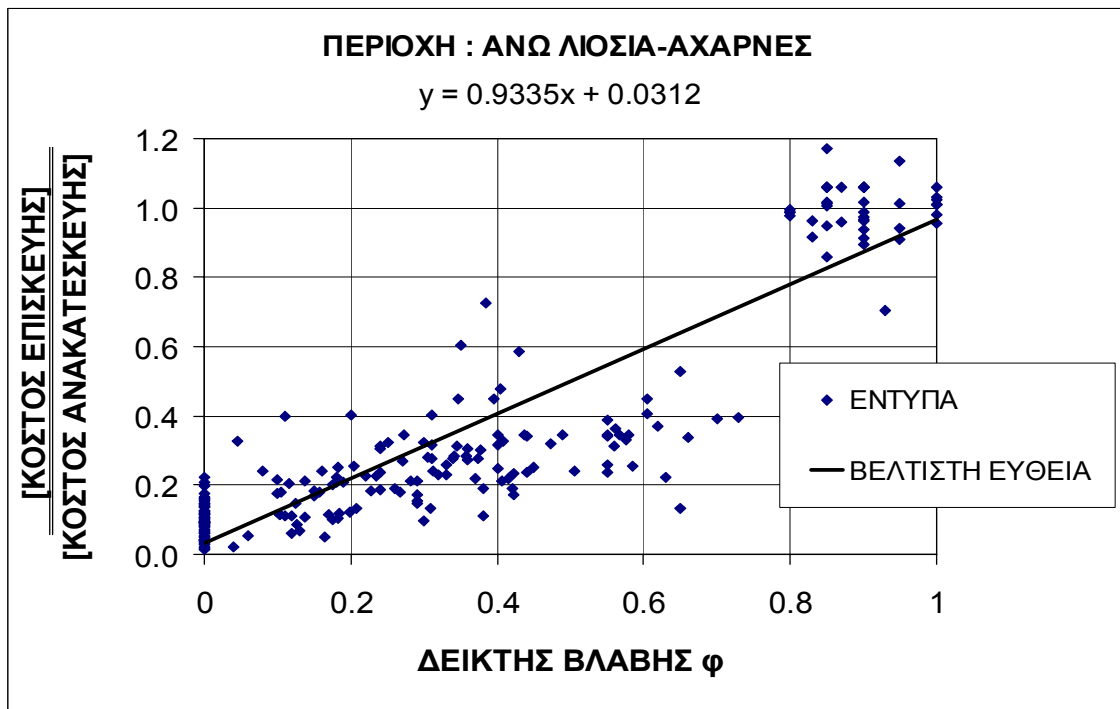
4.3 Συσχέτιση δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας

Από τα έντυπα που συμπληρώθηκαν προέκυψαν τα στοιχεία συσχετισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας κρίσιμης στάθμης (δομική βλάβη) με το κόστος επισκευής ανά τετραγωνικό μέτρο επισκευασμένης – ενισχυμένης επιφάνειας (οικονομική απώλεια). Ο υπολογισμός της δομικής βλάβης, στον κρίσιμο όροφο, έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία της Υπουργικής Απόφασης που περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας. Η οικονομική απώλεια σε κάθε κτίριο προέκυψε ως ο λόγος του συνολικού προϋπολογισμού των επεμβάσεων προς το εμβαδό των σταθμών που έγιναν επεμβάσεις (συνυπολογίζοντας και τη θεμελίωση όταν γινόταν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση). Σε αυτό το διάγραμμα για μικρή απώλεια της φέρουσας ικανότητας (μικρή δομική βλάβη – χαρακτηρισμός με πράσινο χρώμα) έως μηδενική, οι οικονομικές απώλειες δεν μηδενίζονται καθώς υπάρχουν περιπτώσεις χωρίς βλάβες στον φέροντα οργανισμό αλλά με βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης. Επίσης για υψηλές τιμές της δομικής βλάβης η οικονομική απώλεια είναι αντίστοιχα πολύ υψηλή και προκύπτει ίση με το κόστος ανακατασκευής κτιρίου όγκου ίσου με αυτόν του κτιρίου που κατεδαφίστηκε. Η καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων (E.T.) στην περιοχή της μικρής δομικής βλάβης έχει μικρή κλίση η οποία αυξάνει στην περιοχή της μέσης δομικής βλάβης. Η αύξηση της κλίσης της καμπύλης E.T., στην περιοχή της υψηλής δομικής βλάβης, είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αύξηση για χαμηλότερη δομική βλάβη. Η κλίση της καμπύλης σε αυτή την περιοχή αυξάνει σημαντικά, δηλώνοντας την αντίστοιχη μεταβολή της οικονομικής απώλειας, με την αύξηση της δομικής βλάβης. Για τις περιπτώσεις των κτιρίων που είχαν χαρακτηριστεί με κόκκινο χρώμα και ανακατασκευάστηκαν ο υπολογισμός της οικονομικής απώλειας έγινε με βάση το άθροισμα των επιμέρους γινομένων των εμβαδών κύριων χώρων και κοινοχρήστων (των αρχικών κτιρίων) με το αντίστοιχο κόστος στεγαστικής συνδρομής διαιρεμένο με το συνολικό εμβαδό. Ως τεταγμένη στα διαγράμματα χρησιμοποιήθηκε ο λόγος του κόστους επισκευής με το μέσο κόστος ανακατασκευής.

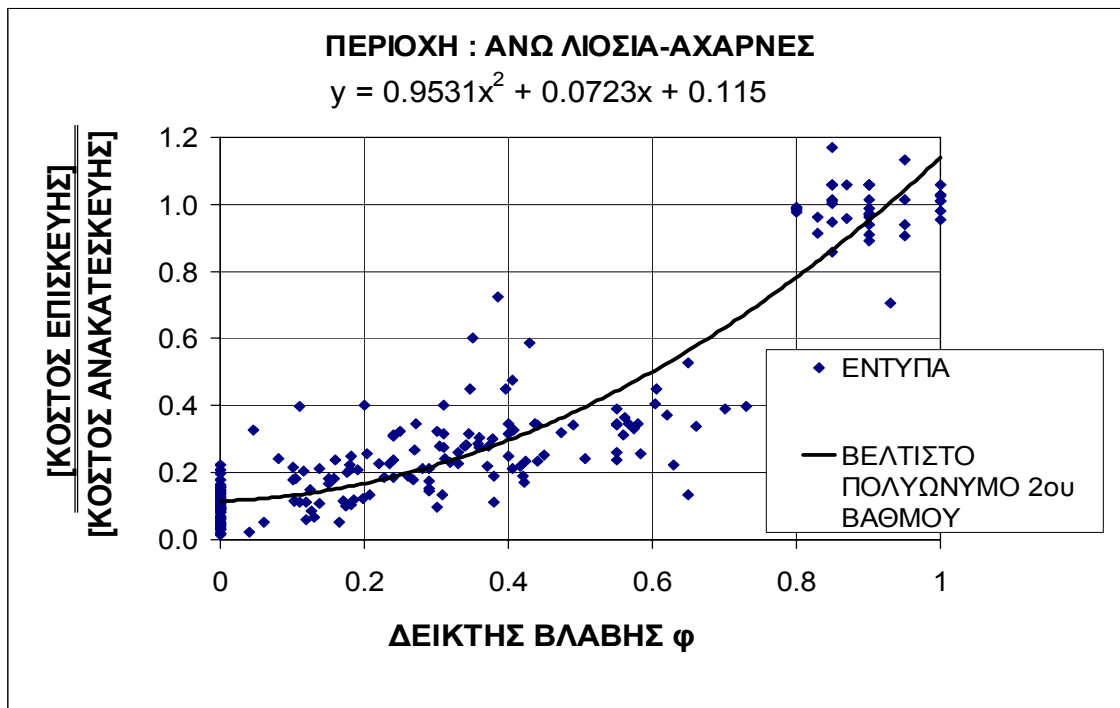
5 ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Στόχος της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός κατάλληλων εμπειρικών σχέσεων που να δίνουν τη συσχέτιση της δομικής βλάβης (απώλεια φέρουσας ικανότητας κρίσιμης στάθμης σύμφωνα με την προαναφερθείσα Υπουργική Απόφαση) με τις αναμενόμενες οικονομικές απώλειες (συνολικό κόστος επισκευής – ενίσχυσης ανηγμένο στο εμβαδό των σταθμών που παρουσίασαν βλάβες). Ως τεταγμένη λαμβάνεται η οικονομική απώλεια ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας διαιρεμένη με το μέσο συμβατικό κόστος ανακατασκευής ανά μονάδα επιφάνειας. Το συμβατικό αυτό κόστος λήφθηκε από τη μέση τιμή του κόστους ανακατασκευής για όλο το δείγμα και είναι ίσο με 360.48 ευρώ (122834 δρχ.).

Ο συσχετισμός γίνεται τόσο με τη θεώρηση των δειγμάτων χωριστά για κάθε περιοχή που εξετάστηκε (Δήμος Άνω Λιοσίων και Αχαρνών) όσο και με την ταυτόχρονη θεώρησή τους σε ένα διάγραμμα. Για κάθε περίπτωση γίνεται προσέγγιση μέσω της καμπύλης ελαχίστων τετραγώνων. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζεται ως πολυωνυμική πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού. Επίσης παρουσιάζονται προσεγγίσεις των στοιχείων που συλλέχθηκαν από εκθετική καμπύλη, καθώς και από την καμπύλη της σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (μια καμπύλη που χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα σεισμικών βλαβών – τρωτότητας, CDF, πίνακας 2).

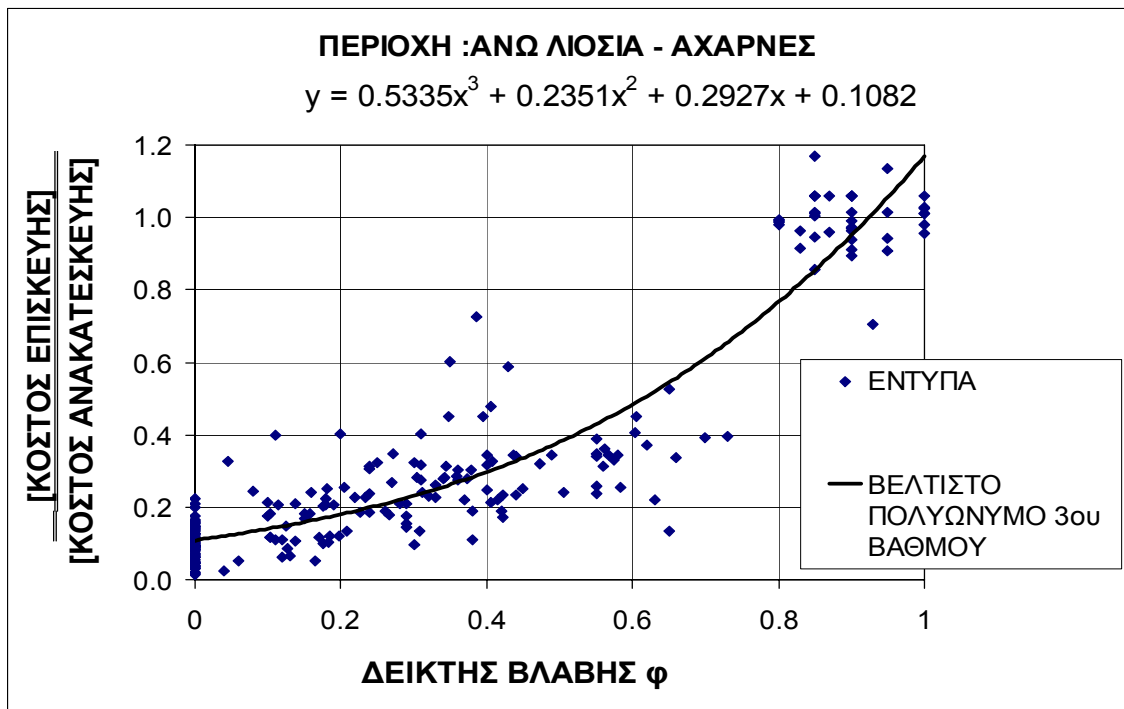


(α)

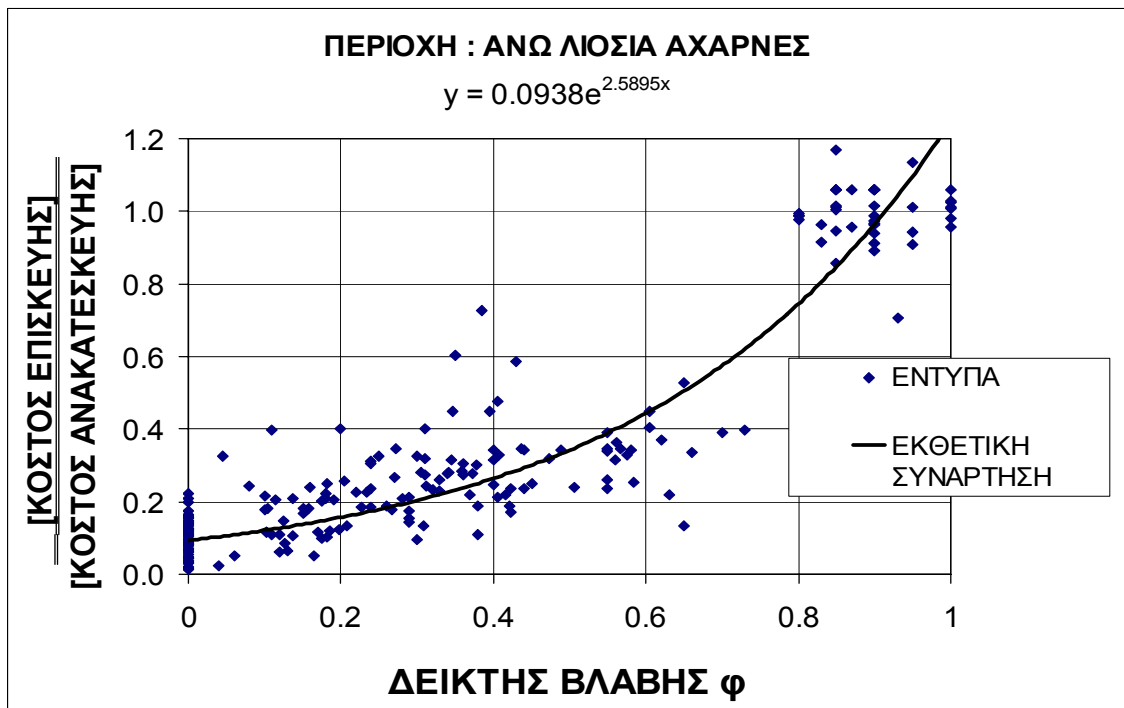


(β)

Εικόνα 2. Καμπύλες ελαχίστων τετραγώνων συσχέτισης δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες:
(α) 1^{ου} βαθμού, (β) 2^{ου} βαθμού.

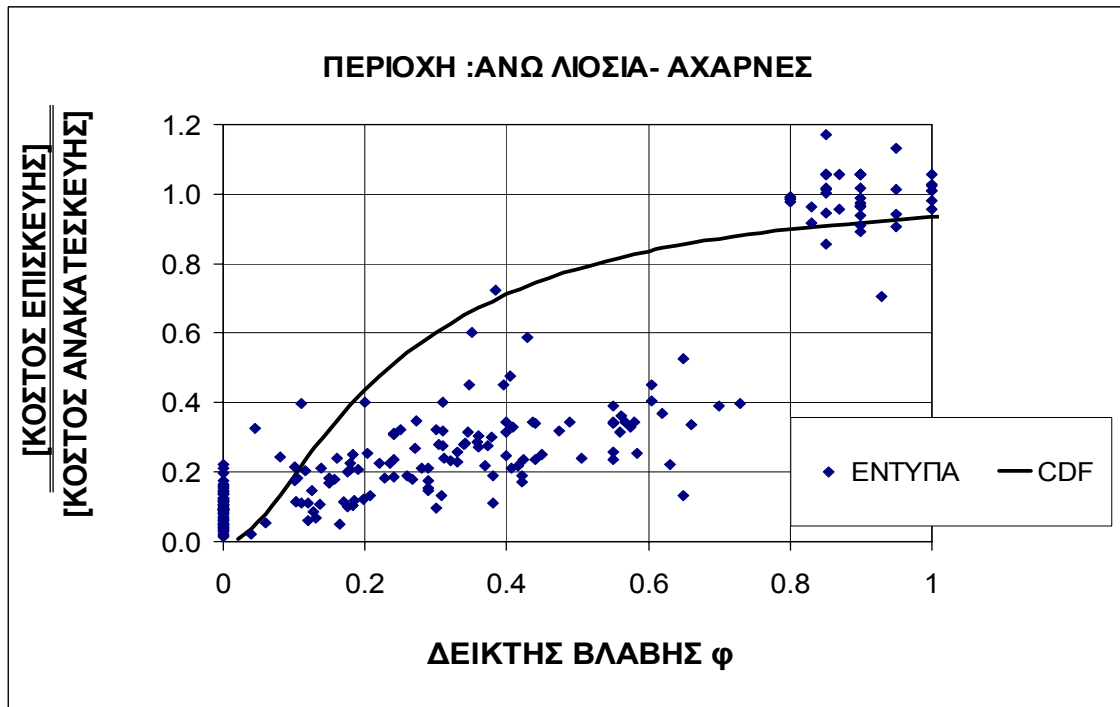


(α)

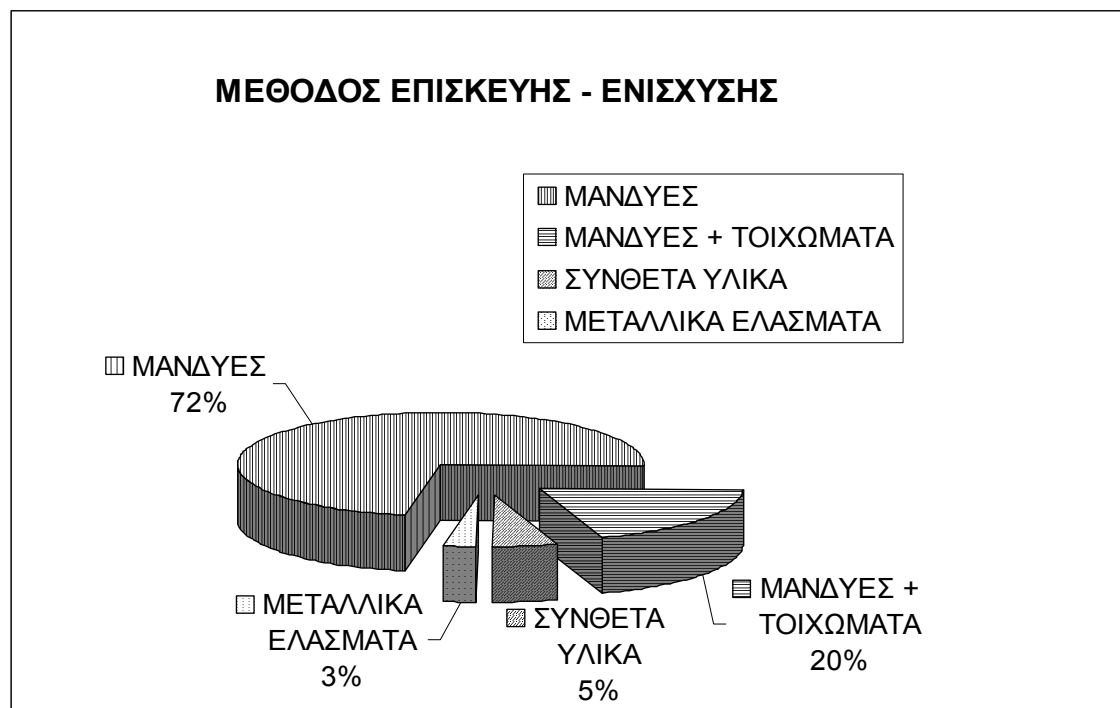


(β)

Εικόνα 3. Καμπύλες ελαχίστων τετραγώνων συσχέτισης δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες:
(α) 3^ο βαθμού, (β) Εκθετική.



Εικόνα 4. Καμπύλη συσχέτισης δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες τύπου CDF



Εικόνα 5. Ποσοστά των τύπων επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στα κτίρια των Ανω Λιοσίων και Αχαρνών.

Πίνακας 2. Αναλυτικά μοντέλα συσχέτισης δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας, επιφανείας, όπου έγιναν επεμβάσεις, ανηγμένης στο συμβατικό κόστος ανακατασκευής (360.48ευρώ)

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	ΕΞΙΣΩΣΗ	ΣΥΝΤ. ΣΥΣΧ.
ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	Πολ. 1 ^ο βαθμου	$y=0.9095x+0.02$	$R^2 = 0.8136$
	Πολ. 2 ^ο βαθμου	$y=1.0582x^2-0.0309x+0.1124$	$R^2 = 0.9057$
	Πολ. 3 ^ο βαθμου	$y=0.4188x^3+0.4829x^2+0.1512x+0.1071$	$R^2 = 0.9065$
	Εκθετική	$y=0.0917e^{2.5828x}$	$R^2 = 0.8030$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+Erf [0.7682 (1.4744+Ln(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4744 , stdev = 0.9205	
ΑΧΑΡΝΕΣ	Πολ. 1 ^ο βαθμου	$y=0.9604x+0.0446$	$R^2 = 0.8274$
	Πολ. 2 ^ο βαθμου	$y=0.775x^2+0.2474x+0.113$	$R^2 = 0.8617$
	Πολ. 3 ^ο βαθμου	$y=0.3946x^3+0.2595x^2+0.3974x+0.1083$	$R^2 = 0.8620$
	Εκθετική	$y=0.0964e^{2.5983x}$	$R^2 = 0.7214$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+Erf [0.6942(1.4337+Ln(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4337 , stdev = 1.0180	
ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ & ΑΧΑΡΝΕΣ	Πολ. 1 ^ο βαθμου	$y=0.9335x+0.0312$	$R^2 = 0.8165$
	Πολ. 2 ^ο βαθμου	$y=0.9531x^2+0.0723x+0.115$	$R^2 = 0.8799$
	Πολ. 3 ^ο βαθμου	$y=0.5335x^3+0.2351x^2+0.2927x+0.1082$	$R^2 = 0.8809$
	Εκθετική	$y=0.0938e^{2.5895x}$	$R^2 = 0.7604$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+Erf [0.7310(1.4556+Ln(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4556 , stdev = 0.9673	

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσω της μεθοδολογίας που προτείνεται στην Υ.Α. 5172/Α25β/18.10.1999 παρέχεται μια απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης κτιρίων στα οποία έχουν αναπτυχθεί βλάβες από σεισμό. Με την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας προέκυψαν τα στοιχεία που συνθέτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν επιστημονικά αποδεκτή μορφή. Η διασπορά που παρατηρείται οφείλεται σε παράγοντες όπως:

- Το εάν έγινε μόνο επισκευή, ή επισκευή και ενίσχυση.
- Το εάν έγινε ενίσχυση και στη θεμελίωση.
- Ο βαθμός βλάβης των τοιχοποιιών.
- Η μέθοδος επισκευής που εφαρμόστηκε

Η διασπορά αυτή είναι μεγαλύτερη στα κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα καθώς σε αυτά κυρίως έγιναν επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό.

Από τις μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν προκύπτει ότι εφαρμόστηκαν κυρίως οι παραδοσιακές μέθοδοι των ρητινενέσεων και των μανδυνών, έναντι των μεθόδων με σύνθετα υλικά και μεταλλικά ελάσματα. Προφανώς αυτό οφείλεται αφενός μεν στο γεγονός ότι οι

δύο τελευταίες μέθοδοι είναι σχετικά καινούριες και άρα λιγότερο γνωστές στους ιδιώτες, αφετέρου δε υπάρχει μεγαλύτερη προσφορά (στην τεχνική αγορά) σε συνεργεία επισκευής και ενίσχυσης με την «παραδοσιακή» μέθοδο των ρητίνων και μανδυνών.

Από τα πολυωνυμικά μοντέλα που προσδιορίστηκαν η καμπύλη πρώτου βαθμού έχει σημαντικές αποκλίσεις σε διάφορες περιοχές της. Οι πολυωνυμικές καμπύλες δευτέρου και τρίτου βαθμού διέρχονται από τα σημεία του δείγματος παρουσιάζοντας μικρότερες αποκλίσεις. Δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ των καμπυλών δευτέρου και τρίτου βαθμού. Η καμπύλη τετάρτου βαθμού έχει την καλύτερη προσέγγιση, αλλά η ακρίβεια που επέρχεται κρίνεται ότι δεν έχει πρακτική σημασία λόγω της διασποράς των δεδομένων. Από την παρατήρηση της εκθετικής καμπύλης προκύπτει το συμπέρασμα ότι μέσω αυτής επιτυγχάνεται παρόμοια προσέγγιση με αυτή των πολυωνυμικών καμπυλών δευτέρου και τρίτου βαθμού. Τέλος, κατάλληλης μορφής είναι και η καμπύλη της σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (CDF), η οποία μάλιστα παρουσιάζει μηδενική τιμή απώλειας (κόστους επέμβασης) για $D=0$ (μηδενική δομική βλάβη), άρα προσφέρεται περισσότερο για πρακτική εφαρμογή (δεν χρειάζεται δηλαδή πρόσθετος δείκτης περιγραφής της βλάβης στις τοιχοπληρώσεις). Στην καμπύλη αυτή παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η χρηματοδότηση της Ο.Ε. έγινε από το ΤΕΕ/Τμ. Κεν. Μακεδονίας. Η συλλογή των στοιχείων έγινε από τα αρχεία των ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών. Εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας στους Διευθυντές και το προσωπικό αυτών των υπηρεσιών για τη συμβολή τους στην επιτυχία του έργου της Ομάδας Εργασίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Κάππος Α.Ι., Λεκίδης Β.Α., Σαλονικιός Θ.Ν., Αντωνιάδης Κ.Κ., Παρασκευόπουλος Η.Α. 2003. Συσχέτιση της Δομικής Βλάβης με Οικονομικές Απώλειες με Βάση Στοιχεία από Ελληνικούς Σεισμούς. *Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ/Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας*, Θεσσαλονίκη.

ΥΠΕΧΩΔΕ Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5Β/18.10.99, “Καθορισμός ελαχίστων υποχρεωτικών απαιτήσεων, για τη σύνταξη των μελετών αποκατάστασης των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες από το σεισμό της 7.9.99 και την έκδοση των σχετικών οικοδομικών αδειών επισκευής / ενίσχυσης”. *Τροποποίηση την 21.12.2000* “Θεσμικό πλαίσιο για την αποκατάσταση των βλαβών που προκάλεσε ο σεισμός της 7.9.99 σε κατοικίες και ιδιωτικά εν γένει κτίρια”.