

# Βαθμονόμηση και Συσχέτιση της Δομικής Βλάβης Κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος με Οικονομικές Απώλειες

Α.Κ. Ελευθεριάδου

Πολιτικός Μηχανικός MSc, Υποψήφια Διδάκτωρ\*, [aelefthe@civil.duth.gr](mailto:aelefthe@civil.duth.gr).

Α.Ι. Καραμπίνης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής\*, [karabin@civil.duth.gr](mailto:karabin@civil.duth.gr).

\*Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ.

*Λέξεις κλειδιά:* κλίμακα βλάβης, δομική βλάβη, κτίρια ωπλισμένου σκυροδέματος, σεισμός Αθήνας, οικονομικές απώλειες

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα από την επεξεργασία στοιχείων από τους μετασεισμικούς ελέγχους οικοδομικών κατασκευών με βλάβες μετά το σεισμό της Αθήνας (7-9-1999). Προτείνεται η βαθμονόμηση της βλάβης μέσω κλίμακας, η οποία την ορίζει με περιγραφικούς όρους σε επτά επίπεδα δομικής βλάβης, και την οποία βαθμονομεί ανάλογα με τη σοβαρότητα της μέσω ενός μετρήσιμου δείκτη από 0-100%. Με βάση τη διακριτοποίηση των δομικών τύπων (ομάδα κτιρίων) των κτιρίων που εμφανίζονται στο στατιστικό δείγμα 140 κατασκευών, αξιολογείται ο βαθμός βλάβης του καθενός, βάσει της προτεινόμενης κλίμακας και της παρατηρηθείσας δομικής βλάβης. Τέλος, γίνεται κατανομή της βαθμονομημένης βλάβης ανά δομικό τύπο αλλά και συσχέτιση της κατανομής αυτής με τα στοιχεία οικονομικών απωλειών που προκύπτουν από το τεκμαρτό κόστος επισκευής/ενίσχυσης, με στόχο να συσχετισθεί η δομική βλάβη με οικονομικές παραμέτρους μέσω καμπυλών συσχέτισης.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με βασική επιδίωξη την βελτιστοποίηση της διαχείρισης του σεισμικού κινδύνου και την διασφάλιση της αντισεισμικής θωράκισης από την Πολιτεία παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες σημαντική ερευνητική δραστηριότητα σχετικά με την αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και της αντίστοιχης διακινδύνευσης. Η συσχέτιση του δομικού με τον οικονομικό δείκτη βλάβης και η ανάπτυξη αντίστοιχων προσομοιωμάτων αποτελεί αναγκαιότητα για την ταχεία και αξιόπιστη κάλυψη των οικονομικών αναγκών που προκύπτουν από τα κόστη επισκευής/ενίσχυσης σεισμόπληκτων κτιρίων. Προς την κατεύθυνση αυτή, η συσχέτιση της δομικής βλάβης με την οικονομική απώλεια επιτρέπει την εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους βάσει στοιχείων βλαβών και κόστους επισκευών που προέκυψαν από μετασεισμικούς ελέγχους πραγματικών σεισμών. Ο συνδυαστικός κρίκος μεταξύ δομικής τρωτότητας και της αντίστοιχης συνιστώσας της διακινδύνευσης εμπεριέχει την μετατροπή του αναλυτικά υπολογιζόμενου δομικού δείκτη βλάβης σε οικονομικό δείκτη βλάβης με όρους οικονομικών απωλειών. Οι οικονομικές απώλειες συνήθως σχετίζονται με τα πραγματικά κόστη επισκευής/ενίσχυσης που προκύπτουν για τις κατασκευές μετά από ένα σεισμό ή ανηγμένες σε λόγους κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής [Ομάδα Εργασίας και Επιτελική Επιτροπή ΤΕΕ, 2001, ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2003]. Σε κάθε περίπτωση, η συσχέτιση της δομικής βλάβης με το οικονομικό κόστος παράλληλα οδηγεί σε μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της χρηματοδότησης αποκατάστασης των βλαμμένων κτιρίων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αρχικά μια σύντομη ανασκόπηση των υφιστάμενων σχέσεων δομικού-οικονομικού δείκτη βλάβης. Στη συνέχεια προτείνεται μια ταχέως εφαρμόσιμη και τυποποιημένη, προσεγγιστική αλλά ορθολογική κλίμακα καταγραφής των βλαβών. Η κλίμακα

αυτή, πέρα από περιγραφικούς όρους, περιέχει μια βαθμονομημένη κατάταξη της βλάβης μέσω ενός εμπειρικού δείκτη που κυμαίνεται, ανάλογα με τα επίπεδα επιτελεστικότητας, από 0-100% [Eleftheriadou & Karabinis, 2005]. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται δυνατή η ανάπτυξη προσομοιωμάτων βαθμονόμησης της βλάβης αντιμετωπίζοντας την αδυναμία της μάλλον ποιοτικής της ταξινόμησης με όρους «κόκκινα-κίτρινα-πράσινα». Στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία από την επεξεργασία εντύπων μετασεισμικών ελέγχων, που συλλέχθηκαν από το αρχείο του Τομέα Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων (Τ.Α.Σ.) Άνω Λιοσίων. Έχοντας διακριτοποιήσει τους δομικούς τύπους των κτιρίων που εμφανίζονται στο στατιστικό δείγμα των 140 κτιρίων, βαθμονομήθηκαν για κάθε κτίριο οι παρατηρηθείσες και καταγεγραμμένες στα έντυπα βλάβες, μέσω της προτεινόμενης κλίμακας βλαβών και συσχετίστηκαν με τα οικονομικά στοιχεία των κτιρίων που αντλήθηκαν από τα εν λόγω έντυπα. Έτσι, αποδίδεται μέσω διαγραμμάτων η κατανομή της βαθμονομημένης βλάβης ανά δομικό τύπο κτιρίου που έχει οριστεί και συσχετίζεται με τα διαγράμματα κατανομής του τεκμαρτού κόστους/m<sup>2</sup>, το οποίο προέκυψε ως ο λόγος του εγκεκριμένου προϋπολογισμού της άδειας επισκευής/ενίσχυσης με την συνολική επιφάνεια. Η χρήση πραγματικών στατιστικών στοιχείων από μετασεισμικούς ελέγχους προσφέρει ουσιαστική αξιολόγηση και εκτίμηση του σχετικού βαθμού επιτυχούς προβλέψεως όσον αφορά τη συσχέτιση των δομικών και οικονομικών παραμέτρων βλάβης [ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2003].

## 2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΔΟΜΙΚΟΥ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΒΗΣ

Ο δομικός δείκτης βλάβης (structural damage index) ενδέχεται να εκφράζεται είτε σε όρους απομείωσης αντίστασης (π.χ. αντοχής) είτε σε όρους σχετικής μετακίνησης (σχετικά βέλη ορόφων) ή και σε όρους απόσβεσης (κατανάλωσης) ενέργειας. Συνήθως η εκτίμηση της απομένουσας αντοχής (ως ποσοστό της αρχικής) για μεμονωμένα δομικά στοιχεία (κυρίως κατακόρυφα) είναι ευκολότερη από αυτή του συνόλου της κατασκευής. Η δεύτερη πρέπει να λαμβάνει υπόψη της όλα τα μεμονωμένα δομικά στοιχεία, τον τυπικό βαθμό βλάβης τους και την απομένουσα αντοχή τους, την έκταση της βλάβης, τον ρόλο του κάθε φέροντος στοιχείου στην συμπεριφορά του κτιρίου και την δυνατότητα ανακατανομής της έντασης. Ακόμη, τόσο για τον προσδιορισμό του δομικού δείκτη βλάβης όσο και για την συσχέτιση του με τον οικονομικό δείκτη βλάβης κρίσιμο μέγεθος είναι η ηλικία του κτιρίου [Χρονόπουλος, 1984].

Ο οικονομικός δείκτης βλάβης (cost index, loss index) σχετίζεται με την αντίστοιχη προς τον δομικό δείκτη βλάβης οικονομική απώλεια, εκφρασμένη είτε απλά σε όρους κόστους επισκευής/ενίσχυσης είτε ανηγμένης σε κόστος επισκευής/ενίσχυσης προς το κόστος ανακατασκευής. Γενικά το κόστος επισκευών πρέπει να έχει χαμηλότερη τιμή από αυτό της ανακατασκευής και να έχει λογική συσχέτιση με το κόστος της αρχικής επένδυσης και την απομένουσα ζωή της κατασκευής. Το συνολικό κόστος διαχωρίζεται σε άμεσο κόστος (material losses) δηλαδή αποκατάσταση φερόντων ή μη στοιχείων και λοιπών οικοδομικών στοιχείων-εγκαταστάσεων ή εξοπλισμού-μηχανημάτων και σε έμμεσο κόστος (indirect cost) περιλαμβανομένου του κόστους περιεχομένου και μετεγκατάστασης, τις απώλειες εισοδήματος και παραγωγής και του κόστους που προκύπτει λόγω διαφόρων δυσλειτουργιών [ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2003].

Στην Ελλάδα ως δείκτης βλάβης (σε όρους απώλειας αντίστασης-αντοχής) έχει υιοθετηθεί η *απώλεια φέρουσας ικανότητας* [Απόφαση ΥΠΕΧΩΔΕ 5172/AZ5β/18-10-99 και 330/AZ5β/16-1-2001]. Έχει παρατηρηθεί πως ο τυπικός δείκτης βλάβης σχετίζεται με την απομένουσα φέρουσα ικανότητα και κατά συνέπεια με το κόστος αποκατάστασης ως απόρροια τους κόστους αναβάθμισης της φέρουσας ικανότητας. Το ίδιο συμβαίνει και σε διεθνές επίπεδο, όπου το άμεσο κόστος αποκατάστασης φερόντων στοιχείων συσχετίζεται με την απομείωση της αντοχής (strength

degradation), ενώ το υπόλοιπο άμεσο κτιριακό κόστος συσχετίζεται με τις σχετικές μετακινήσεις ορόφων (interstorey drifts).

Όσον αφορά στην εκτίμηση του οικονομικού δείκτη βλάβης, αυτή εμπεριέχει πολλές δυσκολίες και αβεβαιότητες, κυρίως για τις χαμηλές τιμές. Οι αβεβαιότητες αυτές αφορούν κυρίως στον τρόπο εκτίμησης του κόστους και των μεθόδων αποκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, οι διαφορετικές τιμές κόστους των τεχνικών επισκευής/ενίσχυσης που επιλέγονται κατά περίπτωση, οι παραδοχές που γίνονται στην μεθοδολογία υπολογισμού του κόστους και ο παράγοντας της υποκειμενικότητας των υπευθύνων που αναπόφευκτα εμπεριέχεται κατά την διαδικασία εκτίμησης των βλαβών και του προϋπολογισμού επισκευών, μπορούν να προσδώσουν διακυμάνσεις στην τιμή εκτίμησης του οικονομικού δείκτη βλάβης. Η δυσκολία λοιπόν στην διαδικασία μετάβασης του δομικού σε οικονομικό δείκτη βλάβης πηγάζει κυρίως στη διασπορά που εμπεριέχει ο δεύτερος.

Για την συσχέτιση δομικού-οικονομικού δείκτη βλάβης μπορούν να γίνουν διάφορες προσεγγίσεις [ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2003]:

- ❖ Στην περίπτωση έλλειψης στοιχείων, μπορεί να γίνει η παραδοχή πως οι δυο δείκτες είναι ίσοι, πράγμα που οδηγεί σε υπερεκτίμηση των οικονομικών απωλειών για μικρές τιμές του δομικού δείκτη και υποεκτίμηση των απωλειών για μεγάλες τιμές, εφόσον το κόστος επισκευής μπορεί να φτάσει το κόστος ανακατασκευής, πριν την κατάρρευση του κτιρίου.
- ❖ Συσχέτιση του βαθμού βλάβης με τις απώλειες μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων, όπως επιχείρησαν οι Gunturi & Shah (1992) μέσω δοκιμών μονότονης και ανακυκλιζόμενης φόρτισης 403 δοκιμών στοιχείων Ω.Σ. Η παραδοχή που έκαναν ήταν πως η απώλεια είναι μηδέν όταν και η πιθανότητα αστοχίας του δοκιμίου είναι μηδενική και αντίστοιχα η οικονομική απώλεια ισούται με την μονάδα όταν η πιθανότητα αστοχίας είναι μονάδα εκφράζοντας την κατανομή της πιθανότητας αστοχίας με κανονική λογαριθμική συνάρτηση.
- ❖ Βάσει της «έμπειρης γνώσης» (expert knowledge) όπου ειδικοί επιστήμονες κάνουν σχετικές εκτιμήσεις συσχέτισης βλάβης-κόστους μέσω συμπλήρωσης ερωτηματολογίων. Να σημειωθεί ότι οι υφιστάμενες αυτές προσεγγίσεις παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση εφαρμοζόμενες στην Ν.Ευρώπη, κυρίως λόγω της ύπαρξης τοιχοποιιών πληρώσεων ως διαχωριστικών μέσων.
- ❖ Επίσης οι Karpos et al. (1991 & 1998) πρότειναν πως η σχέση δομικού-οικονομικού δείκτη βλάβης μπορεί να προκύψει αναφορικά με το κόστος κάθε τεχνικής επισκευής (ή το λόγο του κόστους επισκευής προς το κόστος της ακριβότερης τεχνικής) ανηγμένο στις διαστάσεις των στοιχείων ή καλύτερα στον όγκο της κατασκευής, για φέροντα και μη στοιχεία.
- ❖ Έχει προταθεί ακόμη η συσχέτιση συνολικού δείκτη βλάβης κτιρίου με την οικονομική απώλεια. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή ο δείκτης κτιρίου μπορεί να προέλθει από τους επί μέρους δείκτες βλαβών των δομικών στοιχείων αυξημένων κατά κάποιο συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με το είδος του στοιχείου. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται είτε βάσει του ποσοστού ενέργειας που αποσβένει το στοιχείο, είτε βάσει του ποσοστού του συνολικού αξονικού φορτίου που φέρει (για υποστυλώματα), είτε βάσει της ανηγμένης διατομής του [Χρονόπουλος, 1984].
- ❖ Τέλος ο ΟΑΣΠ προτείνει τη συσχέτιση του δείκτη βλάβης κρίσιμου ορόφου  $D_{\text{κροφ}}$

$$= \sum_{i=1}^n \beta_i \alpha_i / \sum \beta_i \quad (\text{ο οποίος υπολογίζεται με βάση τους δείκτες απώλειας φέρουσας}$$

ικανότητας  $\alpha_i$  κατακόρυφων μόνο στοιχείων αριθμού  $n$  με συντελεστές βαρύτητας  $\beta_i$  που λαμβάνονται από τα κατακόρυφα φορτία των αντίστοιχων στοιχείων ή από τα αντίστοιχα εμβαδά των διατομών τους) με το δείκτη απωλειών  $C$  (εκφρασμένος μέσω του λόγου κόστους αποκατάστασης/κόστος καθαίρεσης-ανακατασκευής) μέσω της σχέσης  $C \approx f(\kappa$

$D_{\text{κρορ}}$ ). Ο συντελεστής  $\kappa$  ανάγει το δείκτη βλάβης κρίσιμου ορόφου σε δείκτη βλάβης κτιρίου με το σκεπτικό πως η βλάβη μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον κρίσιμο όροφο.

### 3 ΚΛΙΜΑΚΑ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ

#### 3.1 Κλίμακα Βλάβης

Προκειμένου να υπάρξει ένας ενοποιημένος τρόπος καταγραφής των βλαβών, ο οποίος να συσχετίζει την ποιοτική περιγραφή της βλάβης με ένα μετρούμενο βαθμό βλάβης προτάθηκε η παρακάτω κλίμακα βλάβης [Πίνακας 1] (Eleftheriadou & Karabinis, 2005). Πρόκειται για μια κλίμακα καταγραφής των βλαβών εύκολα και ταχέως εφαρμόσιμη, αναπόφευκτα προσεγγιστικής αλλά ορθολογικής, ενώ σκόπιμα δεν αποκλίνει πολύ από τον μέχρι τώρα, σύνηθες σε πολλούς, τρόπο αξιολόγησης της μετασεισμικής βλάβης στην Ελλάδα. Συντείνει μάλιστα στην ενοποίηση, βαθμονόμηση και διεύρυνση της κρατούσας μεθόδου.

Πίνακας 1. Η προτεινόμενη κλίμακα βλαβών με τα αναμενόμενα επίπεδα επιτελεστικότητας και τους αντίστοιχους βαθμούς βλάβης.

ΚΛΙΜΑΚΑ ΒΛΑΒΩΝ		
ΕΥΡΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΒΛΑΒΗΣ %	ΕΠΙΠΕΔΟ ΒΛΑΒΗΣ	ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ
0%	Καμία	Καμία
0-20%	Μηδαμινή	Ελαφριά ρηγμάτωση στους Τ.Π και στα επιχρισμ., χωρίς βλάβες τα Φ.Στ.
20-40%	Μικρή	Ρωγμές στους Τ.Π., αποκόλληση επιχρισμ., τριχοειδείς ρωγμές σε οριζόντια στοιχεία
40-55%		Διαγώνιες ρωγμές σε Τ.Π., μεμονωμένες ρωγμές πλάτους 1-2mm σε δοκούς-υποστυλ. που οφείλονται σε τοπικές αδυναμίες, σημαντικές βλάβες σε καμινάδες-στηθαία
55-70%	Μέτρια	Αρκετές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες διατμητικές (<0.5mm) χωρίς εναπομένουσες μετακινήσεις σε υποστυλ., διαρροή κάποιων Φ.Στ., τριχοειδείς ρωγμές σε κόμβους-τοιχώματα, έναρξη τοπικής αποδιοργ. σκυροδ., σοβαρές βλάβες σε πλάκες-δοκούς
70-85%		Εκτεταμένη ρηγμάτωση-αστοχία σε Τ.Π., τοπική σύνθλιψη σκυροδ. σε υποστυλ. και/ή χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές χωρίς εναπομένουσες μετακινήσεις, πολλές καμπτικές και μεμονωμένες διατμητικές ρωγμές, ρωγμές σε κόμβους -τοιχώματα
85-90%	Εκτεταμένη	Πτώση τούβλων, έντονη ρηγμάτωση υποστυλ. και λυγισμός διαμήκους οπλισμού, διαρροή ή θραύση συνδετήρων, μικρές παραμορφώσεις, σοβαρές βλάβες στους κόμβους, ασυνέχεια στοιχείου, αποδιοργ. σκυροδ.
90-95%		Οι παραπάνω βλάβες με σημαντικές παραμορφώσεις, αστοχία κοντών υποστυλ., διατμητική αστοχία δοκών ή/και υποστυλ.
95-100%	Μερική κατάρρευση	Διατμητική αστοχία πολλών υποστυλ., επικείμενη αστοχία μαλακού ορόφου, αστοχία κάποιων τοιχωμάτων, κατάρρευση μερικών υποστυλ., μερική κατάρρευση
100%	Κατάρρευση	Ολική ή επικείμενη κατάρρευση, κατάρρευση

Η καινοτομία που εισάγει έγκειται στην βαθμονόμηση της βλάβης μέσω ενός εμπειρικού δείκτη βλάβης, που προκύπτει από την σοβαρότητα και επέκταση των βλαβών, ήδη από τον χώρο της διενέργειας αυτοψίας του κτιρίου, ποσοτικοποιώντας κατά το δυνατόν την μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενη ποιοτική ταξινόμηση της βλάβης με όρους «κόκκινα-κίτρινα-πράσινα». Μετριάζονται έτσι οι χρονοβόροι κατοπινοί, δειγματοληπτικοί και διεξοδικότεροι έλεγχοι των σεισμόπληκτων κατασκευών. Πρέπει να αναφερθεί, πως η προτεινόμενη κλίμακα σε καμιά περίπτωση δεν προτίθεται ή μπορεί να αναπληρώσει τους αναλυτικούς ελέγχους των κτιρίων, απλά προχωρά ένα βήμα παραπέρα με την εισαγωγή βαθμονόμησης της βλάβης ήδη από την φάση ελέγχου.

Η κλίμακα διαιρείται σε δέκα βαθμούς βλάβης αντιστοιχώντας σε επτά επίπεδα επιτελεστικότητας, ο καθένας από τους οποίους αναφέρεται σε όρους δομικής ή μη βλάβης που αναμένεται να έχουν οι κατασκευές μετά από κάποιο ενδεχόμενο σεισμικό σενάριο. Τα επίπεδα επιτελεστικότητας της κλίμακας καθορίστηκαν βάσει ενός μετρούμενου βαθμού ή δείκτη βλάβης (Damage Index- DI), ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0-100% που αφορά σε επίπεδο «καμιάς βλάβης» και «κατάρρευσης», αντίστοιχα. Η περιγραφή των βλαβών σε κάθε επίπεδο επιτελεστικότητας βασίστηκε στις κυριότερες υφιστάμενες κλίμακες βλάβης (Eleftheriadou & Karabinis. 2005). Η ταξινόμηση της βλάβης έγινε εμπειρικά βάσει της κλίμακας αυτής και τις παρατηρηθείσες πραγματικές βλάβες που εμφάνισε το στατιστικό δείγμα 140 κτιρίων.

### 3.2 Δομικοί τύποι κτιρίων

Μετά από εξέταση του στατιστικού δείγματος των κτιρίων διακριτοποιήθηκαν οι παρακάτω δομικοί τύποι κτιρίων [Πίνακας 2], οι οποίοι εκπροσωπούν την πλειονότητα των κατασκευών με δομικό σύστημα από ωπλισμένο σκυρόδεμα που συναντάται σήμερα στην Ελλάδα. Πρόκειται για κτίρια με πλαισιακό ή μικτό φέροντα οργανισμό μικρού (0-2 όροφοι), μέσου (3-5 όροφοι) και υψηλού ύψους (5+ όροφοι) σχεδιασμένα βάσει διαφόρων κανονιστικών περιόδων (1959-1985, 1985-1995, μετά το 1995).

Πρέπει να σημειωθεί πως το στατιστικό δείγμα, στην παρούσα εργασία, σε ότι αφορά τους δομικούς τύπους ΩΣ6 και ΩΣ7 είναι μικρό και συνεπώς σχετικά αναξιόπιστο. Ακόμη, λόγω της δυσκολίας διακριτοποίησης των τύπων ΩΣ2 και ΩΣ3, λαμβάνεται ως ενιαίος δομικός τύπος ο δυσμενέστερος, δηλαδή ο ΩΣ2. Τέλος, δεν υπήρξαν περιπτώσεις ψηλών κτιρίων (5+ όροφοι) για τους δομικούς τύπους ΩΣ1, ΩΣ2, ΩΣ4 και ΩΣ5.

## 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Στατιστικό δείγμα

Η εργασία βασίστηκε σε στοιχεία που λήφθηκαν από το αρχείο του Τομέα Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων (Τ.Α.Σ.) Άνω Λιοσίων. Για τις ανάγκες της εργασίας κρίθηκε απαραίτητη η πρόσβαση στο αρχείο του ΤΑΣ με τους φακέλους αδειών επισκευής/ενίσχυσης που έχουν εκδοθεί, ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση του βαθμού βλάβης για κάθε κτίριο. Ακολούθησε, δειγματοληπτική επιλογή 140 φακέλων βάσει της πληρότητας που περιείχαν σχετικά με τα στοιχεία καταγραφής του μετασεισμικού ελέγχου. Πρόκειται για κτίρια που έχουν χαρακτηριστεί από το Δευτεροβάθμιο Έλεγχο ως κίτρινα και αποτελούν ποσοστό  $140/2072=6.76\%$  επί του συνόλου των κτιρίων για τα οποία κατατέθηκαν μελέτες επισκευής/ενίσχυσης. Σ' αυτά περιέχονται και κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί πρωτοβαθμίως κόκκινα και δευτεροβαθμίως κίτρινα. Όπως, επίσης, περιέχονται και κτίρια που μόνο ο ένας όροφος, συνήθως το ισόγειο, έχει χαρακτηρισμό, δευτεροβαθμίως κίτρινο ενώ οι υπόλοιποι έχουν χαρακτηρισμό πράσινο. Να σημειωθεί ότι δεν

αξιολογήθηκαν φάκελοι κτιρίων που είχαν δευτεροβαθμώς χαρακτηριστεί ως κόκκινα (άμεση κατάρρευση ή κατεδάφιση).

Πίνακας 2. Δομικοί τύποι κτιρίων.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ Ω.Σ.				
Ω.Σ.	ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ	
		ΔΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ		
Ω.Σ.	ΩΣ1	XY(0-2)	Πλαισιακός Φ.Ο. από Ω.Σ.	1959-1985
		MY(3-5)		
		YY(5+)		
	ΩΣ2	XY(0-2)	Μικτός Φ.Ο. από Ω.Σ.	1959-1985
		MY(3-5)		
		YY(5+)		
	ΩΣ3	XY(0-2)	Μικτός Φ.Ο. από Ω.Σ. (με επαρκή τοιχώματα)	1959-1985
MY(3-5)				
YY(5+)				
ΩΣ4	XY(0-2)	Πλαισιακός Φ.Ο. από Ω.Σ.	1985-1995	
	MY(3-5)			
	YY(5+)			
ΩΣ5	XY(0-2)	Μικτός Φ.Ο. από Ω.Σ.	1985-1995	
	MY(3-5)			
	YY(5+)			
ΩΣ6	XY(0-2)	Πλαισιακός Φ.Ο. από Ω.Σ.	Μετά το 1995	
	MY(3-5)			
	YY(5+)			
ΩΣ7	XY(0-2)	Μικτός Φ.Ο. από Ω.Σ.	Μετά το 1995	
	MY(3-5)			
	YY(5+)			

#### 4.2 Έντυπα συλλογής στοιχείων

Για κάθε κτίριο συλλέχθηκαν τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά. Μετά από μελέτη του φακέλου επισκευής/ενίσχυσης συμπληρώθηκαν τα παρακάτω στοιχεία: διεύθυνση κτιρίου, δήμος που ανήκει το κτίριο, αριθμός ορόφων, έτος κατασκευής, ολική δομημένη επιφάνεια, χρήση-αριθμός χρηστών, σπουδαιότητα, δομικός τύπος. Συμπληρώθηκαν, επίσης, παράμετροι όπως η ύπαρξη ή/και κοντών υποστυλωμάτων, η απουσία ή η κανονική διάταξη τοίχων πλήρωσης, εάν κατασκευάστηκε το κτίριο χωρίς αντισεισμικό κανονισμό καθώς οι τροποποιητικοί συντελεστές που αφορούν στην κακή κατάσταση, προηγούμενες επιβαρύνσεις, μεγάλο ύψος, μη κανονικότητα καθ' ύψος, οριζόντια μη κανονικότητα, στρέψη, κρούση με γειτονικά, βαριές επικαλύψεις.

Επιπλέον συγκεντρώθηκαν για κάθε κτίριο τα οικονομικά στοιχεία που σχετίζονται με τις δαπάνες επεμβάσεων/ενισχύσεων, όπως αναφέρονται στο έντυπο άδειας επισκευής. Συγκεκριμένα καταγράφηκε: το άθροισμα των δαπανών εργασιών επισκευής/ενίσχυσης, η μείωση της δαπάνης λόγω υπέρβασης των επιτρεπόμενων ορίων, το σύνολο των δαπανών, το ποσό αμοιβής μηχανικού [ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 1999], το συνολικό ποσό στεγαστικής συνδρομής, ο προϋπολογισμός της νέας μελέτης επισκευής και ενίσχυσης [ΤΑΣ], το χορηγούμενο ποσό από τράπεζα και αντίστοιχα από το δημόσιο με τη μορφή κρατικής αρωγής και τέλος, ο προτεινόμενος προϋπολογισμός, ο οποίος προήλθε από δαπάνες που υπολογίστηκαν με τιμές μονάδας σύμφωνα με το συμβατικό τιμολόγιο [Αποφάσεις 5140/ΤΠ32/15-10-99 & 5171/ΑΖ9β/18-10-99 & 5172/ΑΖ5β/18-10-99 & 330/ΑΖ5β/16-1-2001].

Επίσης, καταγράφηκε ο χαρακτηρισμός των βλαβών που προέκυψε από το Δευτεροβάθμιο έλεγχο ο οποίος χαρακτήριζε τα κτίρια, από άποψη καταλληλότητας για χρήση, ως «κίτρινα» ή «πράσινα-κίτρινα», σύμφωνα με τις οδηγίες ελέγχου των βλαβών [ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2000] καθώς και η κατάταξη των βλαβών σε βλάβες γενικού ή τοπικού χαρακτήρα στις μελέτες επισκευής/ενίσχυσης [Αποφάσεις 5171/AZ9β/18-10-99 & 11237/20-11-2000].

Ακόμη, για κάθε κτίριο λήφθηκαν πληροφορίες σχετικά με την περιγραφή των βλαβών, τα κρίσιμα αίτια βλαβών, όπως αυτά αξιολογήθηκαν και αναφέρονται στις τεχνικές εκθέσεις των μελετών επισκευής/ενίσχυσης (94/140), τις παρατηρήσεις του Δευτεροβάθμιου και Πρωτοβάθμιου ελέγχου ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις (65/140) υπήρξε και αναφορά των μεθόδων επισκευής/ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν.

Τέλος, για περιορισμένο αριθμό κτιρίων (18/140) λήφθηκε ο υπολογισμένος δείκτης απώλειας φέρουσας ικανότητας στάθμης των κατακόρυφων στοιχείων, σύμφωνα με την απόφαση της ΥΑΣ [330/AZ5β/16-1-2001]. Να σημειωθεί ότι για την έκδοση της άδειας επισκευής/ενίσχυσης ο υπολογισμός του δείκτη απώλειας φέρουσας ικανότητας δεν ήταν υποχρεωτικός, αλλά απαιτούνταν μόνο στις περιπτώσεις που υπήρχε διαφωνία ανάμεσα στον μελετητή μηχανικό και τον αρμόδιο ελεγκτή μηχανικό του Τ.Α.Σ. για το χαρακτηρισμό των βλαβών του κτιρίου ως γενικού ή τοπικού χαρακτήρα στις προδιαγραφές μελετών επισκευής/ενίσχυσης.

### 4.3 Έπεξεργασία

Μετά τη διακριτοποίηση των τύπων των κτιρίων που εμφανίζονται στο στατιστικό δείγμα των 140 κτιρίων, αξιολογείται ο βαθμός βλάβης του καθενός με βάση την προτεινόμενη κλίμακα και τις παρατηρηθείσες δομικές βλάβες που εμφάνισαν τα κτίρια. Μέσω της αξιολόγησης αυτής, επιτυγχάνεται μια μετρήσιμη βαθμονόμηση της βλάβης, πέραν του ποιοτικού ορισμού επιπέδου βλάβης «κίτρινο». Παρουσιάζεται η κατανομή τόσο της βαθμονομημένης βλάβης όσο και των οικονομικών απωλειών σε όρους τεκμαρτού κόστους/m<sup>2</sup> ανά δομικό τύπο, το οποίο προέκυψε ως ο λόγος του εγκεκριμένου προϋπολογισμού της άδειας επισκευής/ενίσχυσης προς την συνολική δομημένη επιφάνεια. Ο προϋπολογισμός προήλθε από προμέτρηση εργασιών βάσει των τιμών μονάδων του συμβατικού τιμολογίου εμπεριέχοντας τη μείωση της δαπάνης λόγω υπέρβασης των επιτρεπομένων ορίων ενώ περιελάμβανε και την αμοιβή του μελετητή μηχανικού, η οποία εξάγεται αθροιστικά για τρεις κατηγορίες διακριτοποίησης των εργασιών μελετών επισκευής/ενίσχυσης ανάλογα με το σοβαρότητα των βλαβών. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια συσχέτισης αυτών σε διαγράμματα μέσω καμπυλών συσχέτισης.

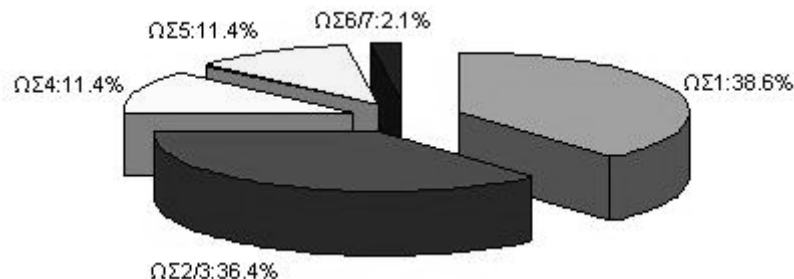
Για την βαθμονόμηση της βλάβης λήφθηκε, επίσης, υπόψη η σπουδαιότητα του κάθε φέροντος στοιχείου που εμφάνιζε τη βλάβη και η συμμετοχή του στην ανάληψη των σεισμικών δυνάμεων ως προς το σύνολο της σεισμικής δράσης. Επιπρόσθετα, θεωρήθηκε ως τελικό επίπεδο βλάβης το δυσμενέστερο από τις παρατηρηθείσες βλάβες (η πιο σοβαρή βλάβη για το πιο σημαντικό στοιχείο στην συμπεριφορά της οικοδομής). Η σπουδαιότητα των στοιχείων με φθίνουσα σειρά έχει ως εξής: κόμβοι, τοιχώματα, υποστυλώματα, πλάκες-δοκοί, τοιχοποιίες πλήρωσης. Ακόμη λήφθηκε εν μέρει υπόψη η έκταση της βλάβης που σχετίζεται με το πλήθος των δομικών στοιχείων που εμφάνισαν βλάβη. Παρόλο που η παλαιότητα της κατασκευής συμβάλλει καθοριστικά στη συσχέτιση δομικής-οικονομικής απώλειας και μπορεί να ληφθεί υπόψη μέσω μειωτικών συντελεστών, στην παρούσα εργασία κάτι τέτοιο θεωρήθηκε πέραν των στόχων της εργασίας, που κυρίως αποβλέπουν σε μια γρήγορη και από τα πρώτα στάδια ελέγχου βαθμονόμηση της βλάβης.

Ο βαθμός εμπειρισμού που αναγκαστικά εμπεριέχεται στην προσέγγιση που ακολουθήθηκε είναι αποδεκτός, δεδομένου ότι διεθνώς τα προβλήματα που σχετίζονται με την γρήγορη και αξιόπιστη αποτίμηση των δεικτών βλάβης και την ορθολογική λήψη των αποφάσεων σχετικά με τις επεμβάσεις δεν έχουν επιλυθεί.

## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

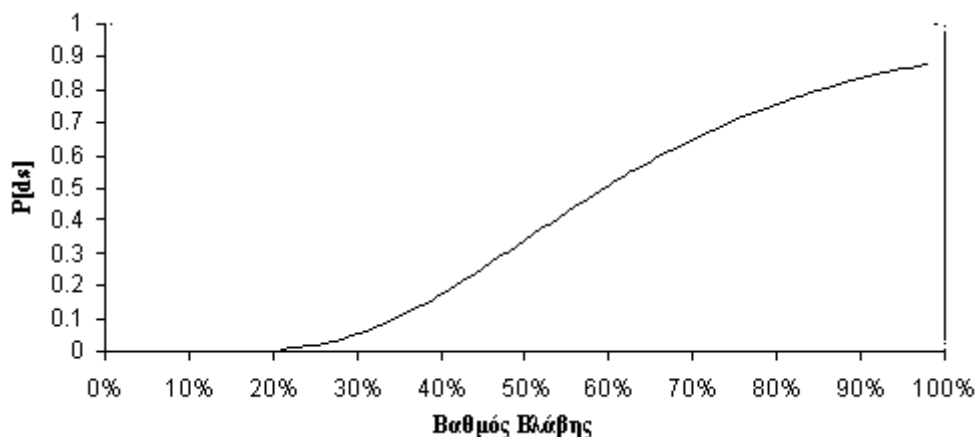
### 5.1 Κατανομή της δομικής βλάβης

Η κατανομή του στατιστικού δείγματος ως προς τους δομικούς τύπους που εμφανίζεται στα 140 κτίρια με χαρακτηρισμό ΚΙΤΡΙΝΑ έχει ως εξής: το 38,6% (54 κατασκ.) έχουν δομικό τύπο ΩΣ1: κτίριο με πλαισιακό Φ.Ο. από Ω.Σ.- έτος κατασκευής 1959-1985 (σημειώνεται ότι στον δομικό τύπο ΩΣ1 έχουν ενταχθεί και 5 κατασκευές με έτος κατασκευής πριν το 1959), 36,4% (51 κατασκ.) ΩΣ2/3: κτίριο με μικτό Φ.Ο. από Ο.Σ.- έτος κατασκευής 1959-1985, 11,4% (16 κατασκ.) ΩΣ4: κτίριο με πλαισιακό Φ.Ο. από Ω.Σ.-έτος κατασκευής 1985-1995, 11,4% (16 κατασκ.) ΩΣ5: κτίριο με μικτό Φ.Ο. από Ω.Σ.- έτος κατασκευής 1985-1995 και 2,1% (3 κατασκ.) ΩΣ6/7: κτίριο με μικτό ή πλαισιακό Φ.Ο. από Ω.Σ.- έτος κατασκευής μετά το 1995 (Σχήμα1).



**Σχήμα 1:** Κατανομή των κατασκευών ανά δομικό τύπο κτιρίου Ω.Σ στο στατιστικό δείγμα.

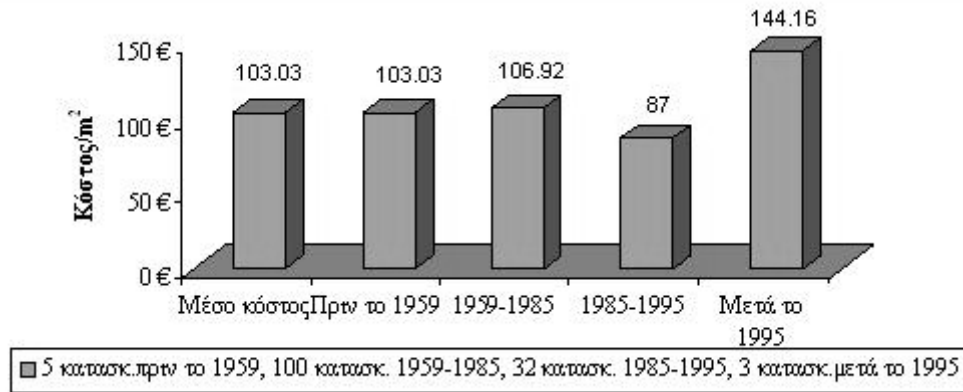
Η κατανομή της βαθμονομημένης βλάβης για το στατιστικό δείγμα των 140 κτιρίων παρουσιάζεται μέσω της καμπύλης σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (CDF-Cumulative Distribution Function) η οποία χρησιμοποιείται ευρέως προκειμένου να αποδώσει μοντέλα σεισμικών βλαβών-τρωτότητας (Σχήμα 2). Οι παράμετροι της CDF είναι ο αριθμητικός μέσος (mean) ίσος 0.6 (ή 60%) και η τυπική απόκλιση (standard deviation) ίση με 0.43.



**Σχήμα 2:** Καμπύλη σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (CDF).

Από την επεξεργασία του δείγματος προέκυψε το μέσο τεκμαρτό κόστος/μ<sup>2</sup> συναρτήσει του αντισεισμικού κανονισμού (Σχήμα 3). Σύμφωνα με αυτό το 71,43% (100 κατασκευές) κατασκευάστηκαν την περίοδο 1959-1985 με το μεγαλύτερο κόστος απωλειών 106,92€/μ<sup>2</sup>, το 22,9% (32 κατασκευές) την περίοδο 1985-1995 με απώλειες 87€/μ<sup>2</sup> και μόνο το 3,6% (5 κατασκευές) κατασκευάστηκαν πριν το 1959 με οικονομικές απώλειες 103,03€/μ<sup>2</sup>

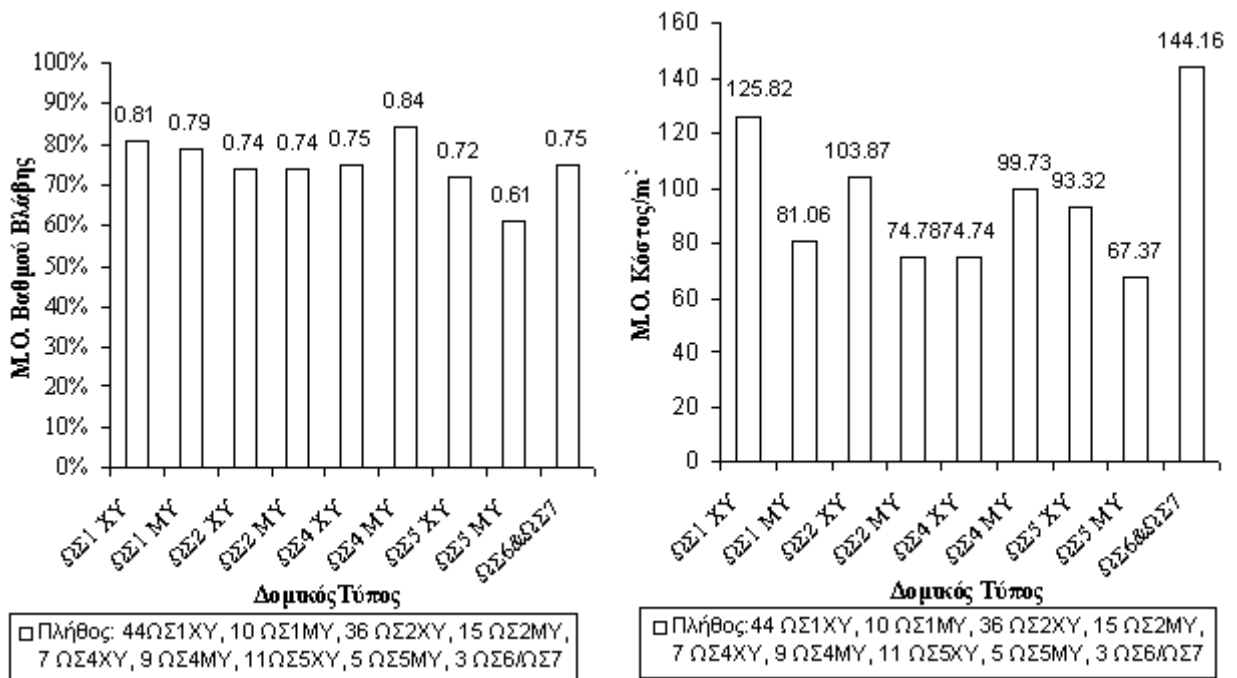




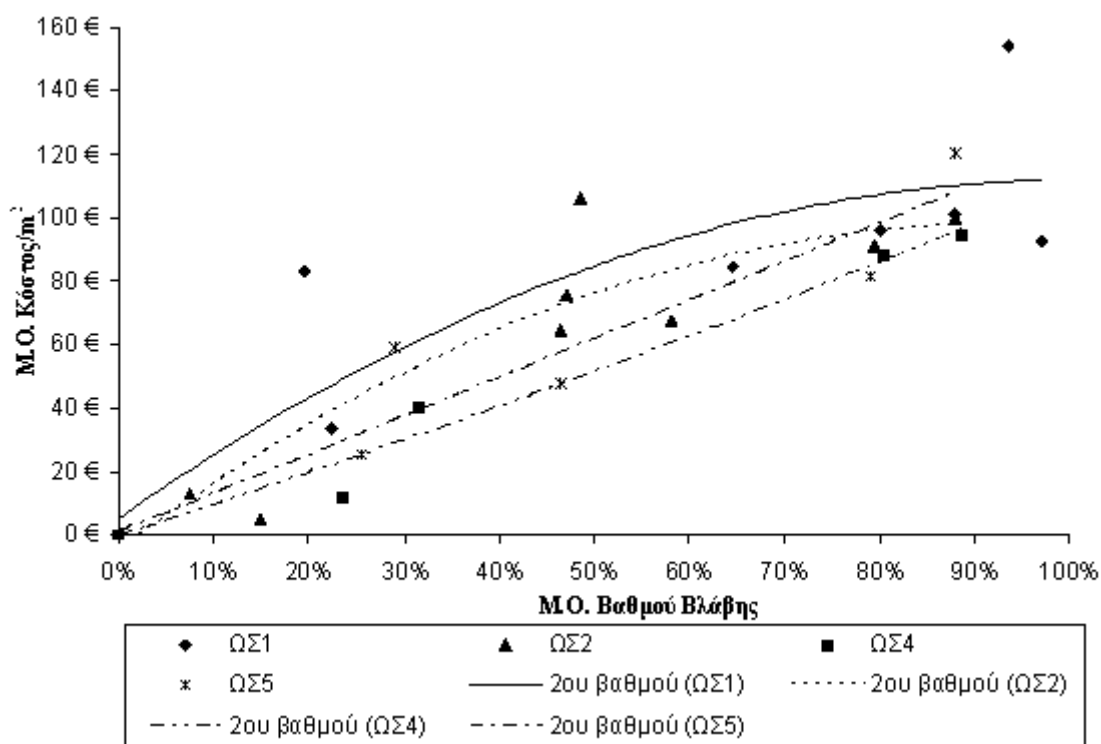
**Σχήμα 3:** Κατανομή των απωλειών συναρτήσει του Αντισεισμικού κανονισμού στο στατιστικό δείγμα.

και το 2,1% (3 κατασκευές) κατασκευάστηκαν μετά το 1995 με κόστος 144,16€/m<sup>2</sup> που όμως οι καταγραφές αυτές είναι στατιστικά αναξιόπιστες.

Τα αποτελέσματα βαθμονόμησης του μέσου βαθμού βλάβης και μέσου τεκμαρτού κόστους/m<sup>2</sup> ανά δομικό τύπο κτιρίου, σύμφωνα με τις παρατηρηθείσες βλάβες, της προτεινόμενης κλίμακας και των καταγεγραμμένων οικονομικών απωλειών παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Η μέση βλάβη για κάθε δομικό τύπο προέκυψε ως μέτρια προς εκτεταμένη, πράγμα αναμενόμενο αφού τα υπό επεξεργασία στοιχεία είχαν χαρακτηριστεί ως *κίτρινα* από τον δευτεροβάθμιο έλεγχο. Παρατηρείται λοιπόν σύγκλιση της προτεινόμενης κλίμακας καταγραφής της βλάβης με αυτή του ΟΑΣΠ. Όσον αφορά το μέσο κόστος και όπου η αξιοπιστία του δείγματος το επιτρέπει, εμφανίζεται αυξημένο και πάλι για τις κατασκευές προ του 1985. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η κατανομή του μέσου τεκμαρτού κόστους/m<sup>2</sup> συναρτήσει του μέσου βαθμού βλάβης για κάθε επίπεδο επιτελεστικότητας ανά δομικό τύπο.



**Σχήμα 4:** Κατανομή του μέσου α) Βαθμού Βλάβης και β) Κόστους/m<sup>2</sup> ανά δομικό τύπο.



**Σχήμα 5:** Κατανομή του μέσου Βαθμού Βλάβης και τεκμαρτού Κόστους/τ.μ. ανά δομικό τύπο.

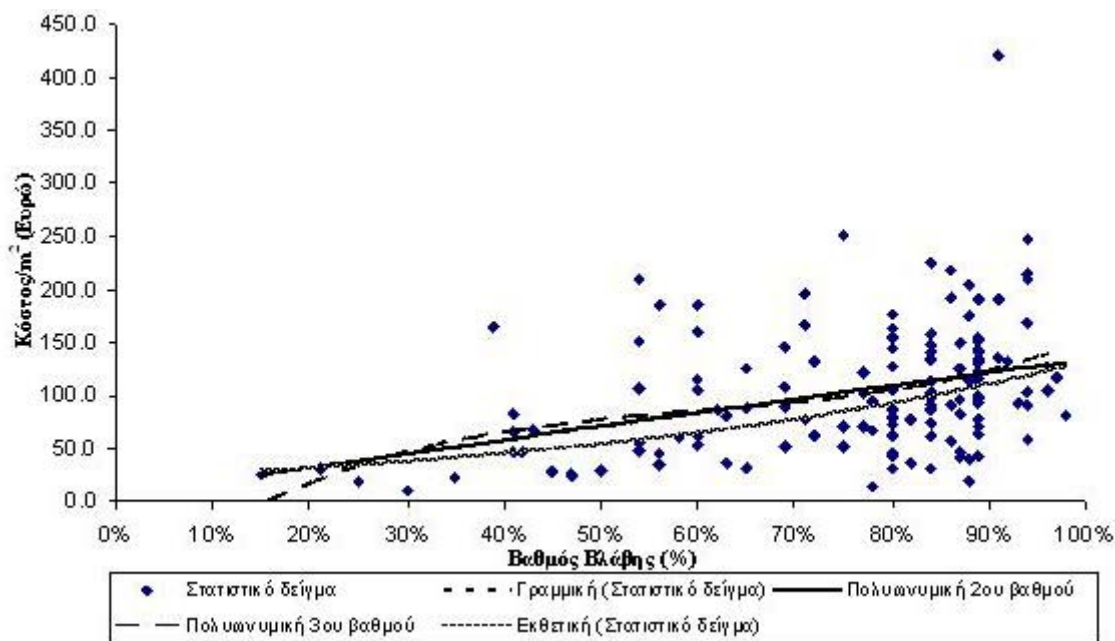
Επιπλέον γίνεται προσπάθεια συσχέτισης της δομικής βλάβης με την οικονομική απώλεια μέσω εμπειρικών σχέσεων. Για τον σκοπό αυτό, γίνεται προσέγγιση μέσω της καμπύλης ελαχίστων τετραγώνων της πολυωνυμικής πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού καθώς και της εκθετικής καμπύλης (Σχήμα 6). Στους Πίνακες 3 και 4 δίνονται οι σχέσεις συσχέτισης για κάθε δομικό τύπο και για το σύνολο του στατιστικού δείγματος αντίστοιχα. Για την πρώτη περίπτωση λόγω του ικανοποιητικού βαθμού συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε μόνο η καμπύλη 2<sup>ου</sup> βαθμού.

**Πίνακας 3.** Σχέσεις συσχέτισης δομικής-οικονομικής βλάβης ανά δομικό τύπο.

	Δομικός Τύπος	Πολυωνυμική Εξίσωση 2 <sup>ου</sup> Βαθμού	Συντελεστής Συσχέτισης
<b>M.O. Κόστος/τ.μ.</b>	ΩΣ1	$y = -105,17x^2 + 211,75x + 5,1901$	$R^2 = 0,8225$
	ΩΣ2	$y = -118,58x^2 + 220,35x - 4,6866$	$R^2 = 0,8928$
	ΩΣ4	$y = 14,932x^2 + 95,811x - 0,3855$	$R^2 = 0,9836$
	ΩΣ5	$y = 0,8465x^2 + 120,49x + 0,9661$	$R^2 = 0,9364$

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προτείνεται μια εύκολα και ταχέως εφαρμόσιμη, προσεγγιστική αλλά ορθολογική κλίμακα καταγραφής των βλαβών από σεισμό σε κατασκευές ωπλισμένου σκυροδέματος, η οποία εκτός από περιγραφικούς όρους, περιέχει μια βαθμονομημένη κατάταξη βλάβης μέσω ενός εμπειρικού δείκτη που κυμαίνεται από 0-100%. Μέσω της κλίμακας αυτής προτείνεται η βαθμονόμηση της βλάβης κατά τη διενέργεια του μετασεισμικού ελέγχου των σεισμόπληκτων κατασκευών.



Σχήμα 6: Καμπύλες ελαχίστων τετραγώνων συσχέτισης δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες.

Πίνακας 4. Σχέσεις συσχέτισης δομικής-οικονομικής βλάβης για το σύνολο του στατιστικού δείγματος.

	Τύπος καμπύλης	Εξίσωση	Συντελεστής Συσχέτισης
Μ.Ο.	1 <sup>ου</sup> βαθμού	$y = 126,97x + 7,4134$	$R^2 = 0,1328$
	2 <sup>ου</sup> βαθμού	$y = -7,9605x^2 + 137,22x + 4,4533$	$R^2 = 0,1328$
Κόστος/τ.μ.	3 <sup>ου</sup> βαθμού	$y = 579,47x^3 - 1049,4x^2 - 708,52x - 86,976$	$R^2 = 0,1391$
	Εκθετική	$y = 22,36e^{1,776x}$	$R^2 = 0,2246$

Από την επεξεργασία των στοιχείων 140 κατασκευών με βλάβες από τον σεισμό της Αθήνας (7-11-1999) προέκυψε η διακριτοποίηση των δομικών τύπων των κτιρίων που εμφανίζονται στο στατιστικό δείγμα. Βαθμονομήθηκαν οι παρατηρηθείσες και καταγεγραμμένες στα έντυπα βλάβες για κάθε κτίριο, μέσω της προτεινόμενης κλίμακας βλαβών και συσχετίστηκαν με τα οικονομικά στοιχεία των κτιρίων. Αποδίδεται μέσω διαγραμμάτων η κατανομή της βαθμονομημένης βλάβης ανά δομικό τύπο κτιρίου που έχει οριστεί και συσχετίζονται με τα διαγράμματα κατανομής τεκμαρτού κόστους/μ<sup>2</sup>, το οποίο προέκυψε ως ο λόγος του εγκεκριμένου προϋπολογισμού της άδειας επισκευής/ενίσχυσης με την συνολική δομημένη επιφάνεια.

Από τη βαθμονόμηση της βλάβης προέκυψε πως το μέγιστο πλήθος του στατιστικού δείγματος έχει μέσο προς μεγάλο βαθμό βλάβης και εμφανίζει μέτριο προς εκτεταμένο αντίστοιχα επίπεδο βλαβών. Το παραπάνω ήταν αναμενόμενο, εφόσον εξαρχής το δείγμα αφορούσε σε δευτεροβάθμιο έλεγχο κατασκευών με την ένδειξη «κίτρινα». Η επαλήθευση αυτή, αποτελεί μία ένδειξη αξιοπιστίας της προτεινόμενης κλίμακας βλάβης, βάσει της οποίας έγινε η βαθμονόμηση.

Από τις πολυωνυμικές σχέσεις συσχέτισης που προσδιορίστηκαν για το σύνολο του δείγματος η καμπύλη 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> βαθμού παρουσιάζουν τον ίδιο βαθμό συσχέτισης και εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις από τα σημεία της διασποράς σε αρκετές περιοχές ενώ η καμπύλη 3<sup>ου</sup> βαθμού μετριάζει σε μικρό βαθμό τις αποκλίσεις αυτές. Τέλος, η εκθετική καμπύλη εμφανίζει ελαφρώς καλύτερη συσχέτιση από τις πολυωνυμικές. Στην περίπτωση διακριτοποίησης του δείγματος σε δομικούς τύπους εμφανίζεται βελτιωμένος ο βαθμός συσχέτισης που αποδίδεται μέσω της καμπύλης 2<sup>ου</sup> βαθμού. Εντούτοις, σε όλες τις περιπτώσεις, οι πολλαπλοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποτίμηση των οικονομικών απωλειών και η δυσκολία στην διαδικασία μετάβασης από τον δομικό σε οικονομικό δείκτη βλάβης απεικονίζονται στην διασπορά που εμφανίζουν οι καμπύλες

συσχέτισης. Στο εύρος της διασποράς που παρατηρείται συμβάλλουν, επίσης, το μεγάλο εύρος του κόστους επισκευής των τοιχοπληρώσεων που δεν έχει κατ' ανάγκη αναλογική σχέση με το βαθμό βλάβης του κτιρίου, οι διαφορετικές τιμές κόστους των τεχνικών επισκευής/ενίσχυσης που εφαρμόζονται κατά περίπτωση, οι παραδοχές που γίνονται κατά την διαδικασία υπολογισμού του κόστους ακόμη και ο παράγοντας της υποκειμενικότητας των υπευθύνων που αναπόφευκτα εμπεριέχεται κατά την διαδικασία εκτίμησης των βλαβών και του προϋπολογισμού επισκευών.

## 7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Απόφαση ΥΑΣ 5140/ΤΠ32/15-10-99. Παροχή πιστωτικών διευκολύνσεων για την αποκατάσταση των ζημιών σε κατοικίες και κτιριακές εγκαταστάσεις που προκλήθηκαν από το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 σε περιοχές του Νομού Αττικής.

Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18-10-99 Υφυπουργού ΠΕΧΩΔΕ. Καθορισμός ελαχίστων 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.

Απόφαση ΥΑΣ 330/ΑΖ5β/16-1-2001. Τροποποίηση και συμπλήρωση της Υπουργικής Απόφασης 5172//ΑΖ5β/18-10-99.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ-Ο.Α.Σ.Π. Σεπτέμβριος 1999.Συνοπτικές Οδηγίες για Επισκευή του Φέροντος Οργανισμού Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Βλάβες από Σεισμό. Αθήνα.

Απόφαση Υφυπουργού ΠΕΧΩΔΕ 5171/ΑΖ 9Β/18-10-99. Τιμολόγιο εργασιών για επισκευή κτιρίων με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, για τον υπολογισμό της δαπάνης και των αντίστοιχων παροχών στους σεισμόπληκτους του Νομού Αττικής που επλήγησαν από το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999.

Απόφαση ΥΑΣ 11237/20 Νοεμβρίου 2000. Διευκρινήσεις και παραδείγματα για τον καθορισμό αμοιβής μηχανικών για εκπόνηση μελέτης και επίβλεψη αποκατάστασης κτιρίων που υπέστησαν βλάβες από τους σεισμούς. Αθήνα.

Αρχείο ΤΑΣ Άνω Λιοσίων

Gunturi, S.K.V. & Shah, H.C. 1992. Building Specific Damage Estimation. *Proceedings of 10<sup>th</sup> World Conf. on Earthq. Engng. (1992, Madrid, Spain)* Balkema, Rotterdam, Vol. 10, 6001-6006.

Eleftheriadou, A.K. & Karabinis, A.J. 2005. Calibration and Distribution of Structural Damage of Reinforced Concrete Buildings. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Workshop on the Seismic Behavior of Irregular and Complex Structures*, Thessaloniki.

Επιτελική Επιτροπή ΤΕΕ. Αυγ.-Σεπτ.2001. Αντισεισμική Ενίσχυση Υφιστάμενων Κτιρίων, Αθήνα.

Κάππος, Α.Ι, Λεκίδης, Β.Α, Σαλονικιός, Θ.Ν, Αντωνιάδης, Κ.Κ & Παρασκευόπουλος, Η.Α. 2003. Συσχέτιση της Δομικής Βλάβης Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Οικονομικές Απώλειες: Βαθμονόμηση βάσει δεδομένων από το σεισμό της Αθήνας (7-9-1999). 14<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως.

Kappos, A.J., Stylianidis, K.C. & Penelis, G.G. 1991. Analytical Prediction of the Response of Structures to Future Earthquakes. *European Earthquake Engineering*, Vol. 5, No. 1, 1991, 10-21.

Kappos, A.J., Stylianidis, K.C. & Penelis, G.G. 1998. Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment. *Natural Hazards*, 17(2):177-192.

Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ αρ.Ι.2. Μάιος 2001. Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων-ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ. Αθήνα.

Υπουργείο Δημοσίων Έργων - Ο.Α.Σ.Π. 2000. Τεχνικές Οδηγίες Προσεισμικού Ελέγχου Τρωτότητας Δημοσίων Κτιρίων. Τεύχος Α, Αθήνα..

ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ. Σεπτ. 2003. Εκτίμηση του ποσοστού βλάβης σεισμοπλήκτων κτιρίων. Αθήνα.

Χρονόπουλος, Μ.Π. 1984. Βλάβες και κόστος επεμβάσεων. Πρακτικά Συνεδρίου Σεισμοί και Κατασκευές, 459-469, Αθήνα.