

# Δείκτης κόστους αποκατάστασης και βαθμός βλάβης κτιρίων μετά από σεισμικές καταπονήσεις

Ν.Π. Καρέλα

*Πολιτικός Μηχανικός. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Πατρών.*

Σ.Η. Δρίτσος

*Αναπληρωτής καθηγητής. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Πατρών.  
dritsos@upatras.gr.*

*Λέξεις κλειδιά:* βαθμός βλάβης, δείκτης κόστους αποκατάστασης, βλάβη, σεισμός, αποκατάσταση, κτίριο, δομικός τύπος, πλαίσια, τοιχώματα.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των επικρατέστερων παραμέτρων που επιδρούν στο βαθμό βλάβης των κτιρίων για σεισμικές καταπονήσεις καθώς και η σχέση του βαθμού βλάβης με το κόστος αποκατάστασης. Παράμετροι οι οποίες εξετάζονται είναι το δομικό σύστημα του φέροντος οργανισμού, η χρονική περίοδος κατασκευής, η ύπαρξη ή όχι τοιχωμάτων και το πλήθος των ορόφων. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων αξιολογήθηκαν παρατηρήσεις από κτίρια που έπαθαν βλάβες στον σεισμό της Πάτρας το 1993, του Αιγίου το 1995 και της Πάρνηθας το 1999. Για τις κατασκευές που υπέστησαν βλάβες από τον σεισμό της Πάρνηθας χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή δεδομένα δύο ερευνητικών προγραμμάτων που εκτελέστηκαν αμέσως μετά το σεισμό, στην περιοχή που επλήγη. Τα στοιχεία για τα κτίρια του Αιγίου και της Πάτρας συλλέχθηκαν και κωδικοποιήθηκαν μετά από μία συστηματική επεξεργασία των σχετικών φακέλων μελέτης, που υποβλήθηκαν στα ΤΑΣ των αντίστοιχων πόλεων και αφορούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του συνόλου της ευρύτερης πλειόσειστης περιοχής, για τις οποίες εγκρίθηκε η μελέτη και χρηματοδοτήθηκε η αποκατάσταση.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επιρροή των επικρατέστερων παραμέτρων που επιδρούν στο βαθμό βλάβης των κτιρίων για ισχυρές σεισμικές καταπονήσεις. Επίσης εξετάζεται η σχέση του βαθμού βλάβης με το κόστος αποκατάστασης. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων αξιολογήθηκαν παρατηρήσεις από κτίρια που έπαθαν βλάβες στον σεισμό της Πάτρας το 1993, του Αιγίου το 1995 και της Πάρνηθας το 1999.

Για τις κατασκευές που υπέστησαν βλάβες από τον σεισμό της Πάρνηθας χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή δεδομένα δύο ερευνητικών προγραμμάτων (Καραμπίνης, 2004 και Κωστίκας κ.α., 2000) που εκτελέστηκαν αμέσως μετά το σεισμό, στην περιοχή που επλήγη. Το δείγμα των κατασκευών που αξιολογείται στην παρούσα εργασία αφορά μόνο κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα και περιλαμβάνει δύο ομάδες κτιρίων που αντιστοιχούν στα δεδομένα των δύο ανωτέρω προγραμμάτων. Η πρώτη ομάδα κτιρίων περιλαμβάνει 456 κτίρια και είναι αντιπροσωπευτική της ευρύτερης πλειόσειστης περιοχής, ενώ η δεύτερη ομάδα, στην οποία περιλαμβάνονται 102 κτίρια, αντιπροσωπεύει την περιοχή με τις μεγαλύτερες βλάβες. Στην συνέχεια η πρώτη ομάδα κτιρίων θα προσδιορίζεται ως Πάρνηθα 1 και η δεύτερη ως Πάρνηθα 2.

Τα στοιχεία για τα κτίρια που υπέστησαν βλάβες στον σεισμό του Αιγίου και της Πάτρας συλλέχθηκαν και κωδικοποιήθηκαν μετά από μία συστηματική επεξεργασία των σχετικών φακέλων μελέτης, που υποβλήθηκαν στα ΤΑΣ των αντίστοιχων πόλεων και αφορούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του συνόλου της ευρύτερης πλειόσειστης περιοχής, για τις οποίες εγκρίθηκε η μελέτη και χρηματοδοτήθηκε η αποκατάσταση. Όλες οι σχετικές πληροφορίες, περιλαμβανομένου και του κόστους αποκατάστασης, αντλήθηκαν από τα αρχεία των αρμοδίων

ΤΑΣ. Στο Αίγιο το δείγμα περιελάμβανε 524 κτίρια εκ των οποίων 291 είχαν φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, 195 από φέρουσα τοιχοποιία και 38 είχαν χαρακτηριστεί διατηρητέα (Καρέλα κ.α., 1999). Στην Πάτρα εξετάστηκαν συνολικά 1.423 κτίρια εκ των οποίων 423 είχαν φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, 877 από φέρουσα τοιχοποιία και 123 είχαν χαρακτηριστεί διατηρητέα (Δρίτσος κ.α., 2001). Πρέπει να σημειωθεί ότι στα δείγματα αυτά δεν περιλαμβάνονται κτίρια χωρίς βλάβες ή που κατέρρευσαν.

## 2 ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ

Για την αξιολόγηση των δεδομένων από τις παρατηρήσεις των βλαβών, ως βάση, για μια καλή προσεγγιστική ποσοτικοποίηση του βαθμού βλάβης των κτιρίων, θα μπορούσε κατ' αρχάς να θεωρηθεί η βαθμολογία που έχει υιοθετηθεί στον ATC 13 και παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 (ATC 13, 1985).

Πίνακας 1. Διαστήματα βλαβών κατά ATC 13, 1985

Εκτιμώμενη βλάβη	Βαθμός βλάβης (%)
Καθόλου βλάβη	0.00-0.1
Μικρή βλάβη	0.1-10
Μέτρια βλάβη	10-30
Βαριά βλάβη	30-60
Κατάρρευση	60-100

Με βάση τις τιμές του Πίνακα 1 και λαμβάνοντας υπ' όψιν την μορφή των καταγεγραμμένων δεδομένων που διατίθενται για αξιολόγηση οι τιμές του βαθμού βλάβης για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ποσοτικοποιούνται έτσι όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Παραδοχή βαθμών βλάβης

Χαρακτηρισμός βλάβης	Καταλληλότητα για χρήση	Εκτιμώμενη βλάβη	Βαθμός βλάβης (B)
B1	Κατοικήσιμο (πράσινο)	Κατασκευή χωρίς βλάβες	0.00
B2	Κατοικήσιμο (πράσινο)	Κατασκευή με ελαφρές βλάβες	0.05
B3	Προσωρινά μη κατοικήσιμο (κίτρινο)	Κατασκευές με μέτριες βλάβες στον φέροντα οργανισμό	0.15
B4	Προσωρινά μη κατοικήσιμο (κίτρινο)	Κτίρια με σοβαρές βλάβες στον φέροντα οργανισμό	0.25
B5	Μη κατοικήσιμο (κόκκινο)	Κτίρια με βαριές βλάβες στον φέροντα οργανισμό	0.45
B6	Μη κατοικήσιμο (κόκκινο)	Καταρρεύσεις	0.80

## 3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο μέσος δείκτης βλάβης, που εκφράζει μία ομάδα N κτιρίων μπορεί να οριστεί:

$$B_m = \frac{\sum_{i=1}^N B_i}{N} \quad (1)$$

όπου  $B_i$  = ο βαθμός βλάβης κάθε κτιρίου.

Εξάλλου ο δείκτης κόστους αποκατάστασης  $c_{\delta i}$  που εκφράζει την δαπάνη επέμβασης στο κτίριο σε σχέση με το κόστος ανακατασκευής του, ορίζεται ως:

$$c_{\delta i} = \frac{\text{κόστος επέμβασης στο κτίριο } i}{\text{κόστος ανακατασκευής κτιρίου } i} \quad (2)$$

Σε μία ομάδα  $N$  κτιρίων, ο μέσος δείκτης  $c_m$  ορίζεται ως:

$$c_m = \frac{\sum_{i=1}^N c_{\delta i}}{N} \quad (3)$$

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των  $c_{\delta}$  και  $c_m$ , χρησιμοποιούνται οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν από τα αρμόδια ΤΑΣ για τον υπολογισμό του κόστους της επέμβασης, καθώς και του κόστους ανακατασκευής που στην περίπτωση της Πάτρας ήταν 100.000 δρχ. και του Αιγίου 110.000 δρχ. Οι σχετικοί δείκτες συμβολίζονται στην συνέχεια ως  $c_{\delta}^T$  και  $c_m^T$ , για να αποφευχθεί η σύγχυση με σχετικές τιμές των δεικτών που παρουσιάστηκαν σε παλαιότερες εργασίες (Δρίτσος κ.α., 2003) και είχαν υπολογιστεί με διαφορετικές τιμές. Σημειώνεται ότι η διαφορά του πραγματικού κόστους από τις τιμές που χρησιμοποιούνται από τα ΤΑΣ δεν αναμένεται να διαφοροποιήσει την εκτίμηση του μεγέθους των πραγματικών δεικτών, δεδομένου ότι οι τιμές των ΤΑΣ είναι κατ' αναλογία μειωμένες προς τις πραγματικές τόσο για το κόστος επέμβασης όσο και για το κόστος αποκατάστασης.

#### 4 ΣΧΕΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεικτών  $B_m$  και  $c_m^T$  για το σύνολο των κτιρίων ανάλογα με το δομικό τους σύστημα. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί οι τιμές αυτές είναι σύμφωνες με τις σχετικές εκτιμήσεις ότι ο σεισμός της Πάτρας είναι ο λιγότερο “καταστροφικός” ενώ της Πάρνηθας ο υψηλότερος. Αποτιμώντας την “καταστροφικότητα” κάθε σεισμικού γεγονότος είτε με το βαθμό βλάβης  $B_m$  είτε με το δείκτη κόστους αποκατάστασης  $c_m^T$ , παρατηρείται ότι η “καταστροφικότητα” του σεισμού της Πάρνηθας ήταν τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη απ’ αυτήν του Αιγίου και τέσσερις περίπου φορές μεγαλύτερη από αυτήν της Πάτρας.

Πίνακας 3. Δείκτες  $B_m$  και  $c_m^T$  ανάλογα με το δομικό σύστημα

	Πάτρα	Αίγιο	Πάρνηθα 1	Πάρνηθα 2	Δομικό σύστημα
$B_m$	0.11	0.19	0.40	0.50	Από οπλισμένο σκυρόδεμα
$N$	423	203	456	101	
$c_m^T$	0.11	0.17	-	-	Από οπλισμένο σκυρόδεμα
$N$	421	266	-	-	
$B_m$	0.16	0.21	-	-	Από φέρουσα τοιχοποιία
$N$	876	140	-	-	
$c_m^T$	0.22	0.23	-	-	Από φέρουσα τοιχοποιία
$N$	874	183	-	-	
$B_m$	0.23	0.34	-	-	Διατηρητέα
$N$	122	24	-	-	
$c_m^T$	0.50	0.78	-	-	Διατηρητέα
$N$	128	37	-	-	

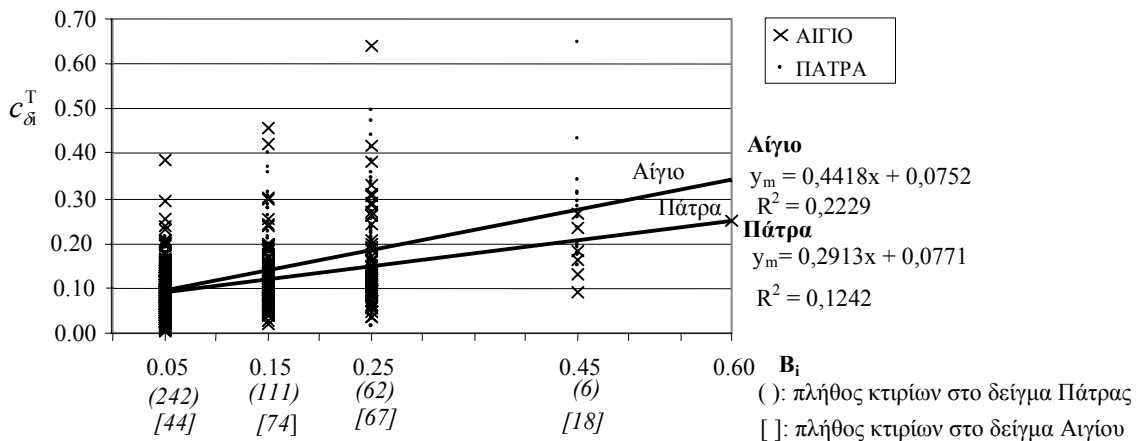
Εξάλλου συγκρίνοντας τα μεγέθη  $B_m$  και  $c_m^T$  μπορεί να αξιολογηθεί ένας σημαντικός βαθμός εξάρτησής τους. Στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα οι αντίστοιχες τιμές είναι περίπου ίδιες. Όμως στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία οι μέσες τιμές του δείκτη κόστους αποκατάστασης προκύπτουν σαφώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του δείκτη βλάβης. Η διαφορά είναι ιδιαίτερα έντονη στα διατηρητέα κτίρια. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο λόγος των δύο συντελεστών σ' αυτήν την περίπτωση, προέκυψε της τάξης του 2 έως 2.5 ανεξάρτητα από την περιοχή που εξετάστηκε (Πάτρα ή Αίγιο).

Για την αναλυτικότερη διερεύνηση της σχέσεως του βαθμού βλάβης και του δείκτη κόστους αποκατάστασης παρουσιάζονται, σε άξονες x, y, τα ζεύγη των τιμών  $B_i$  και  $c_{\delta i}^T$  κάθε κτιρίου για το δείγμα των κτιρίων από την Πάτρα και το Αίγιο (Σχήματα 1 έως 3).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για τις τρεις ομάδες κτιρίων (από οπλισμένο σκυρόδεμα, από φέρουσα τοιχοποιία και διατηρητέα). Για να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων σε σχέση με την αντιπροσωπευτικότητα κάθε ομάδας κτιρίων που εξετάζεται, στον άξονα των x δηλώνεται το πλήθος κάθε ομάδας κτιρίων.

Στα Σχήματα 1 έως 3 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις καλύτερης προσαρμογής των τιμών  $B_i$  και  $c_{\delta i}^T$ . Πάντως, όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τα σχετικά διαγράμματα, η σχέση βαθμού βλάβης και δείκτη κόστους αποκατάστασης (μη συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων με κατάρρευση) μπορεί να θεωρηθεί γραμμική.

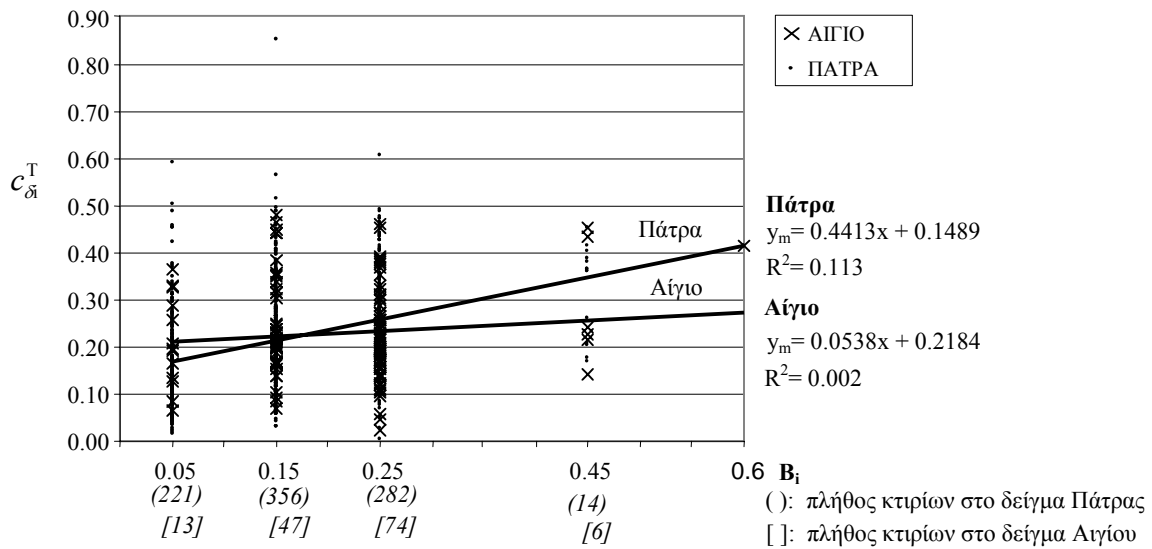
Στον Πίνακα 4 δίνονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες αποκλίσεις των  $c_{\delta i}^T$  από τις τιμές που αντιστοιχούν στις ευθείες προσαρμογής, αγνοώντας το άνω και κάτω ακραίο 10% του συνόλου των τιμών.



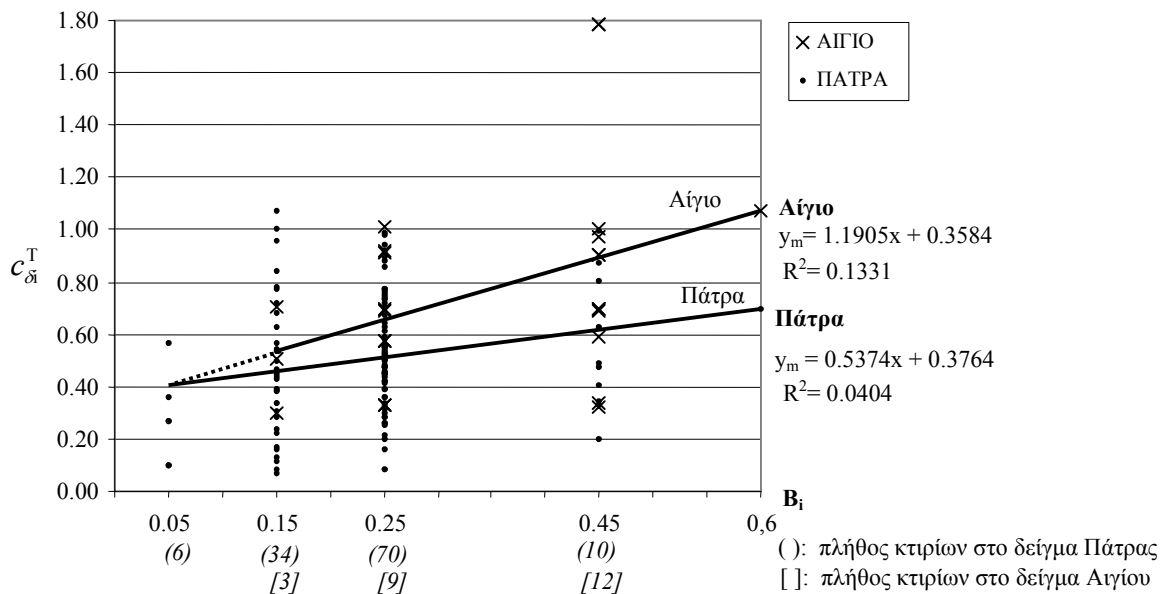
Σχήμα 1. Σχέση δείκτη αποκατάστασης και βαθμού βλάβης για τα κτίρια από Ο.Σ.

Πίνακας 4. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές του δείκτη κόστους αποκατάστασης

	Ελαφρές βλάβες	Μέτριες βλάβες	Σοβαρές βλάβες	Βαρίες βλάβες
Πάτρα	$c_{\delta i}^T = 0,092 \begin{matrix} +69\% \\ -65\% \end{matrix}$	$c_{\delta i}^T = 0,121 \begin{matrix} +58,5\% \\ -55\% \end{matrix}$	$c_{\delta i}^T = 0,150 \begin{matrix} +58,5\% \\ -55\% \end{matrix}$	$c_{\delta i}^T = 0,208 \begin{matrix} +28\% \\ -57\% \end{matrix}$
Αίγιο	$c_{\delta i}^T = 0,097 \begin{matrix} +96\% \\ -70\% \end{matrix}$	$c_{\delta i}^T = 0,141 \begin{matrix} +98\% \\ -64\% \end{matrix}$	$c_{\delta i}^T = 0,186 \begin{matrix} +81,3\% \\ -65\% \end{matrix}$	$c_{\delta i}^T = 0,274 \begin{matrix} +25\% \\ -36,7\% \end{matrix}$



Σχήμα 2. Σχέση δείκτη αποκατάστασης και βαθμού βλάβης για τα κτίρια από Φ.Τ.



Σχήμα 3. Σχέση δείκτη αποκατάστασης και βαθμού βλάβης για τα διατηρητέα κτίρια

Αξιολογώντας το σύνολο των παραπάνω διαγραμμάτων (Σχήματα 1 έως 3), φαίνεται ότι για τον ίδιο εκτιμώμενο βαθμό βλάβης ο δείκτης κόστους αποκατάστασης προκύπτει εν γένει μεγαλύτερος στο Αίγιο απ' ότι στη Πάτρα. Μάλιστα η διαφορά προκύπτει μεγαλύτερη όσο αυξάνει ο βαθμός βλάβης. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως μία τάση των μηχανικών που πραγματοποιούν μετασεισμικούς ελέγχους να υπερεκτιμούν το βαθμό βλάβης σε σεισμικά γεγονότα μικρής καταστροφικότητας. Όμως, επειδή η παραπάνω παρατήρηση δεν επιβεβαιώθηκε σε όλες τις περιπτώσεις όπως στη περίπτωση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με μεγάλο βαθμό βλάβης, απαιτείται η αξιολόγηση περισσότερων στοιχείων για να επιβεβαιωθεί η παραπάνω ερμηνεία.

## 5 ΣΧΕΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

### 5.1 Σχέση δείκτη βλάβης και έτους κατασκευής

Η χρονική περίοδος κατά την οποία μελετήθηκε και κατασκευάστηκε ένα κτίριο, αναμένεται να έχει σημαντική επιρροή στις βλάβες που θα παρατηρηθούν σε έναν ισχυρό σεισμό. Η χρονική περίοδος κατασκευής κάθε κτιρίου συναρτάται με τους Κανονισμούς που ίσχυαν κάθε φορά καθώς και με τις μεθόδους, την ποιότητα και την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στον Πίνακα 5 διαχωρίζονται για τα κτίρια στον Ελληνικό χώρο χρονικές περιόδοι, ανάλογα με τις χρονολογίες (έτη “σταθμούς”) που τέθηκαν σε ισχύ οι 4 σχετικές Κανονιστικές Διατάξεις.

Πίνακας 5. Διάκριση χρονικών περιόδων ανάλογα με τις ισχύουσες Κανονιστικές Διατάξεις

Χρονική περίοδος	Κανονισμός μελέτης
προ 1960	Άνευ αντισεισμικού κανονισμού
1960-1985	Αντισεισμικός κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54)
1986-1995	Α/Σ '59 με πρόσθετα άρθρα 1985 (Κ/Σ '54) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54)
≥ 1996	Α/Σ: ΝΕΑΚ Κ/Σ: ΝΕΚΟΣ

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή  $B_m$  σε σχέση με τη χρονική περίοδο κατασκευής των κτιρίων ανάλογα με το δομικό τους σύστημα.

Πίνακας 6. Σχέση  $B_m$  με τη χρονική περίοδο κατασκευής

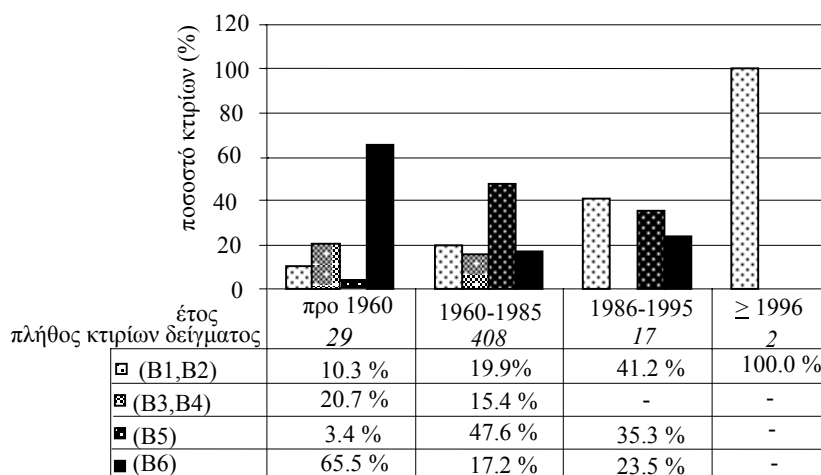
Έτος κατασκευής	Πάτρα	Αίγιο	Πάρνηθα 1	Πάρνηθα 2	Δομικό σύστημα
προ 1960	0.11	0.25	0.59	0.80	Από οπλισμένο σκυρόδεμα
1960-1985	0.12	0.18	0.39	0.53	»
1986-1995	0.11	0.18	0.37	0.37	»
≥1996	-	-	0.05	0.28	»
προ 1960	0.18	0.19			Από φέρουσα τοιχοποιία
1960-1985	0.15	0.18			»
1986-1995	0.20	-			»
προ 1960	0.22	0.33			Διατηρητέα

Στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα της Πάτρας δεν παρατηρείται σημαντική επίδραση του έτους κατασκευής στον δείκτη βλάβης. Στα κτίρια του Αιγίου από οπλισμένο σκυρόδεμα σαφής είναι η επίδραση του αντισεισμικού Κανονισμού του 1959, όπως φαίνεται από την μείωση του  $B_m$  από 0.25 σε 0.18. Όμως, εκεί που η επιρροή της χρονικής περιόδου κατασκευής δείχνει να είναι ιδιαίτερα σημαντική είναι στο σεισμό της Πάρνηθας. Στις δύο ομάδες κτιρίων της Πάρνηθας παρατηρείται σημαντική πτώση των τιμών του  $B_m$  με το χρόνο και μάλιστα στα νεότερα κτίρια ο δείκτης βλάβης βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Τα εντός της χρονικής περιόδου 1960-1985 κατασκευασθέντα κτίρια παρουσίασαν 1.5 έως 2 φορές υψηλότερο βαθμό βλάβης απ' ό,τι τα μετά του 1995, ενώ στα προ του 1960 ο βαθμός βλάβης ήταν 3 φορές υψηλότερος.

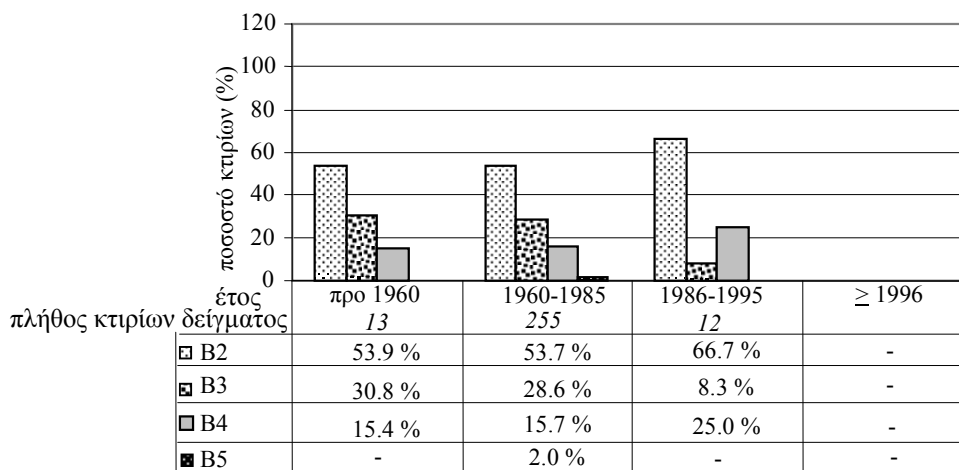
Για την αναλυτικότερη διερεύνηση της σχέσεως των δεδομένων  $B_m$  και του έτους κατασκευής, στη συνέχεια εξετάζεται η σχέση του ποσοστού των κτιρίων (%) που έχουν τον ίδιο βαθμό βλάβης με την χρονική περίοδο που κατασκευάστηκαν. Ενδεικτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται, στα Σχήματα 4 και 5, για τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα της ομάδας Πάρνηθα 1 και της Πάτρας.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, στην ομάδα κτιρίων Πάρνηθα 1 οι κατασκευές προ του 1960 έχουν προεξάρχουσα βλάβη την κατάρρευση (B6), της περιόδου 1960-1985 τη βαριά βλάβη (B5), ενώ για τις κατασκευές μετά το 1986 προεξάρχουσα βλάβη είναι η μικρή (B1 και B2). Στα κτίρια της Πάτρας (Σχήμα 5), προεξάρχουσα βλάβη σε όλες τις χρονικές περιόδους είναι η ελαφρά βλάβη (B2).

Από το σύνολο των παραπάνω παρατηρήσεων θα μπορούσε να εκτιμηθεί ότι ο βαθμός επιρροής της χρονικής περιόδου κατασκευής των κτιρίων στην αναμενόμενη βλάβη τους, αυξάνει όσο ισχυρότερος είναι ο σεισμός.



Σχήμα 4. Ποσοστά κτιρίων (%) με τον ίδιο βαθμός βλάβης ανά χρονική περίοδο κατασκευής (Πάρνηθα 1)



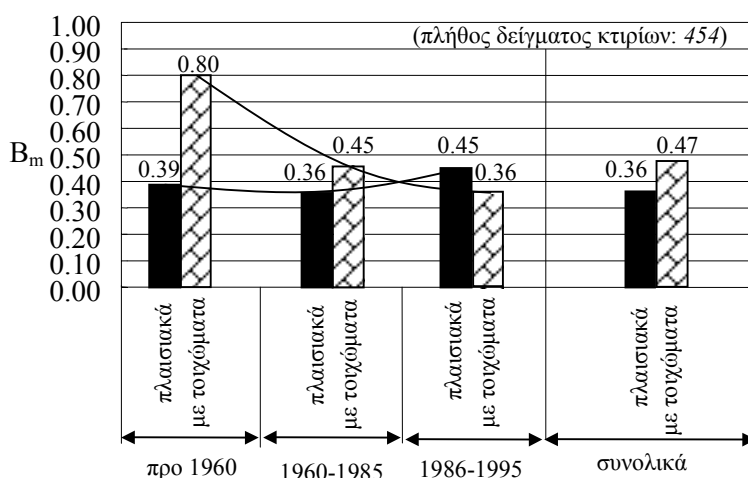
Σχήμα 5. Ποσοστά κτιρίων (%) με τον ίδιο βαθμός βλάβης ανά χρονική περίοδο κατασκευής (Πάτρα)

## 5.2 Σχέση δείκτη βλάβης με παρουσία τοιχωμάτων και πλήθος ορόφων

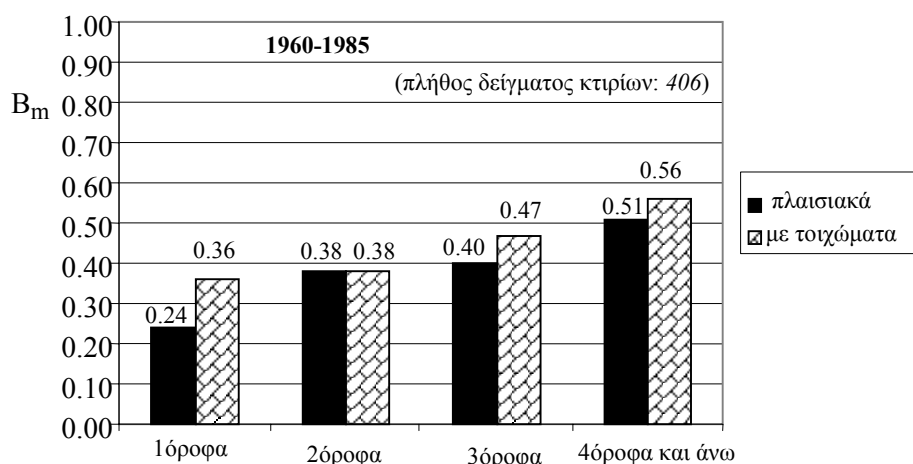
Χωρίς αμφιβολία ο τρόπος εξειδανίκευσης της συμπεριφοράς των τοιχωμάτων και η αξιολόγηση της συμμετοχής τους στην ανάληψη των σεισμικών δυνάμεων ενός κτιρίου, ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την χρονική περίοδο σύνταξης της μελέτης. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια της παρούσας έρευνας τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα κάθε δείγματος διαχωρίστηκαν σε ομάδες

όπου η πρώτη περιελάμβανε τα καθαρώς πλαίσια και η δεύτερη αυτά που είχαν και τοιχώματα, και εξετάστηκε η επιρροή της χρονικής περιόδου κατασκευής σε κάθε μια από τις παραπάνω ομάδες. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται αποτελέσματα από το δείγμα Πάρνηθα 1.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το Σχήμα 6, στα παλαιά κτίρια (που κατασκευάστηκαν πριν από το 1960), τα κτίρια που έχουν τοιχώματα παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό βλάβης σε σχέση με τα αμιγώς πλαίσια. Αντίστροφη τάση παρατηρείται στα νέα κτίρια. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στον τρόπο μελέτης που είχε επικρατήσει για τις κατασκευές προ 1985, σύμφωνα με τον οποίο η σεισμική τέμνουσα ορόφου κατανέμονταν στα κατακόρυφα μέλη ανάλογα με τις ελαστικές παραμορφώσεις και τις δυσκαμψίες τους, θεωρώντας τα μέλη αυτά πακτωμένα στις στάθμες των ορόφων. Η θεώρηση αυτή οδήγησε, στους ανώτερους ορόφους σε συστηματική υποτίμηση της σεισμικής έντασης στα υποστυλώματα και υπερτίμησης αυτής των τοιχωμάτων, ενώ στους κατώτερους ορόφους και πιο κρίσιμους στο αντίστροφο αποτέλεσμα (Φαρδής και Δρίτσος, 2003).



Σχήμα 6. Συσχέτιση  $B_m$  με το δομικό τύπο (Πάρνηθα 1)



Σχήμα 7. Σχέση βαθμού βλάβης και πλήθους ορόφων για κτίρια της περιόδου 1960-1985 (Πάρνηθα 1)



Στο Σχήμα 7 αξιολογείται η σχέση του βαθμού βλάβης ( $B_m$ ) κτιρίων που κατασκευάστηκαν κατά την χρονική περίοδο 1960-1985 και που επλήγησαν στον σεισμό της Πάρνηθας (Πάρνηθα 1) με το πλήθος των ορόφων. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, ο δείκτης  $B_m$  αυξάνεται αναλογικά με το πλήθος των ορόφων τόσο στα τοιχωματικά όσο και στα αμιγώς πλαισιακά συστήματα. Ωστόσο, όπως αναμένεται γι' αυτήν τη χρονική περίοδο (βλ. Σχ.6), τα αμιγώς πλαισιακά συστήματα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές του δείκτη  $B_m$  σε σχέση με τα τοιχωματικά.

Στα τοιχωματικά κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1960 καθώς και μετά το 1986 δεν παρατηρήθηκε σαφής εξάρτηση του βαθμού βλάβης με το πλήθος των ορόφων. Όμως το μικρό μέγεθος των αντίστοιχων δειγμάτων δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία και αξιολόγηση των στοιχείων της παρούσας έρευνας μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Αποτιμώντας την “καταστροφικότητα” κάθε σεισμικού γεγονότος είτε με το μέσο βαθμό βλάβης είτε με τη μέση τιμή του δείκτη κόστους αποκατάστασης του συνόλου των κτιρίων που εξετάστηκαν, παρατηρείται ότι η “καταστροφικότητα” του σεισμού της Πάρνηθας ήταν τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη απ’ αυτήν του Αιγίου και τέσσερις περίπου φορές μεγαλύτερη από αυτήν της Πάτρας.
- Οι μέσες τιμές του βαθμού βλάβης και του δείκτη κόστους αποκατάστασης για το σύνολο των κτιρίων εξοπλισμένου σκυροδέματος προέκυψαν της ίδιας τάξης μεγέθους τόσο για το δείγμα από το σεισμό της Πάτρας, όσο και από το σεισμό του Αιγίου. Όμως στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία οι μέσες τιμές του δείκτη κόστους αποκατάστασης προέκυψαν σαφώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του δείκτη βλάβης. Η διαφορά ήταν ιδιαίτερα έντονη στα διατηρητέα κτίρια. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο λόγος των δύο συντελεστών στην τελευταία περίπτωση, προέκυψε της τάξης του 2 έως 2.5 ανεξάρτητα από την περιοχή που εξετάστηκε Πάτρα ή Αίγιο.
- Η σχέση βαθμού βλάβης και δείκτη κόστους αποκατάστασης (μη περιλαμβανομένων των κτιρίων με κατάρρευση) μπορεί να θεωρηθεί εν γένει γραμμική.
- Για κτίρια με τον ίδιο βαθμό βλάβης το κόστος αποκατάστασης προέκυψε στο Αίγιο εν γένει μεγαλύτερο απ’ ότι στην Πάτρα. Η διαφορά ήταν μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος ήταν ο βαθμός βλάβης. Διαφαίνεται μία τάση των μηχανικών που πραγματοποιούν μετασεισμικούς ελέγχους να υπερεκτιμούν το βαθμό βλάβης σε σεισμικά γεγονότα μικρής καταστροφικότητας. Όμως τα στοιχεία που αξιολογήθηκαν στη παρούσα έρευνα δεν κρίθηκαν επαρκή για την επιβεβαίωση της παραπάνω υπόθεσης.
- Στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα της Πάτρας δεν παρατηρείται σημαντική επίδραση του έτους κατασκευής στον δείκτη βλάβης. Στα κτίρια του Αιγίου από οπλισμένο σκυρόδεμα σαφής είναι η επίδραση του αντισεισμικού Κανονισμού του 1959, ενώ στις δύο ομάδες κτιρίων της Αθήνας παρατηρείται σημαντική συσχέτιση του βαθμού βλάβης με τη χρονική περίοδο κατασκευής. Τα εντός της χρονικής περιόδου 1960-1985 κατασκευασθέντα κτίρια παρουσίασαν 1.5 έως 2 φορές υψηλότερο βαθμό βλάβης απ’ ότι τα μετά του 1995, ενώ στα προ του 1960 ο βαθμός βλάβης ήταν 3 φορές υψηλότερος.
- Ο βαθμός επιρροής της χρονικής περιόδου κατασκευής των κτιρίων, στην αναμενόμενη βλάβη τους αυξάνει όσο ισχυρότερος είναι ο σεισμός.
- Μεταξύ των κτιρίων που κατασκευάστηκαν πριν από το 1985, τα τοιχωματικά παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό βλάβης σε σχέση με τα αμιγώς πλαισιακά. Αντίστροφη τάση παρατηρείται στα νέα κτίρια.
- Ο βαθμός βλάβης στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα που κατασκευάστηκαν την χρονική περίοδο 1960-1985 στην Αθήνα, αυξάνεται αναλογικά με το πλήθος των ορόφων τόσο στα τοιχωματικά όσο και στα αμιγώς πλαισιακά συστήματα. Ωστόσο, τα αμιγώς πλαισιακά

συστήματα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές του δείκτη βλάβης σε σχέση με τα κτίρια που είχαν τοιχώματα.

## 7 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστίες απευθύνονται στον ΟΑΣΠ και ειδικότερα στους κ. Α.Καραμπίνη και Χ. Κωστίκα για την παραχώρηση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων των ερευνητικών προγραμμάτων.

## 8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Δρίτσος, Σ., Καρέλα, Ν., Πάυλου Μ., 2003. Δείκτης Κόστους Αποκατάστασης και Βαθμός Βλάβης σε Κτίρια Οπλισμένου Σκυροδέματος. 14<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, Τόμος 1: 614-622.

Δρίτσος, Σ., Καρέλα, Ν., 2001. Κόστος Αποκατάστασης Κτιρίων στη Πόλη της Πάτρας Μετά το Σεισμό του 1993. 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη, Τόμος 2:523-532.

Καραμπίνης Α., 2004. Βαθμονόμηση της Διαδικασίας Προσεισμικού Ελέγχου σε Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος. Τελική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, ΟΑΣΠ.

Καρέλα, Ν., Δρίτσος Σ., Πηλακούτας Κ., Αναστασοπούλου Θ., 1999. Μετασεισμικές Επεμβάσεις Αποκατάστασης Κτιρίων στη Πόλη του Αιγίου. 13<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο, Τόμος 2: 200-213.

Κωστίκας Χ., Τρέζος Κ., Καββαδάς Μ., Πλάκας Α., Τσιτώτας Μ., Θεοδωράκης Σ., 2000. Καταγραφή Αιτιών σε Τυπικές Βλάβες από το Σεισμό των Αθηνών της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999. Τελική Έκθεση Αποτελεσμάτων, ΟΑΣΠ.

Φαρδής Μ., Δρίτσος Σ., 2003. Αποτίμηση Σεισμικών Βλαβών, Επισκευές και Ενίσχυσεις Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

ATC 13, 1985. Earthquake Damage Evaluation for California. Applied Technology Council, Redwood City, California.