

## ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΒΗΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

### Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν οι σημαντικότεροι δείκτες βλάβης ως μέθοδοι αποτίμησης βλαβών σε κτίρια από Ω.Σ. Οι δείκτες βλάβης κατηγοριοποιούνται με βάση τη μείωση της δυσκαμψίας, την απορροφούμενη υστερητική ενέργεια, τον αριθμό των κύκλων φόρτισης, την εμπειρία του παρατηρητή, τον οπτικό έλεγχο καθώς και το κόστος αποκατάστασης. Αναφέρεται ο ορισμός του κάθε δείκτη βλάβης, η φιλοσοφία βάση της οποίας αυτός εξελίχθηκε στην τελική του μορφή, τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του και το πεδίο όπου μπορεί να εφαρμοστεί ο κάθε δείκτης βλάβης.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη χρήση των δεικτών βλάβης στοχεύουμε να εκτιμήσουμε τα ποσοστά ή το βαθμό βλάβης μιας κατασκευής ή ενός επιμέρους της στοιχείου, και να εκφραστεί όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερα η υφιστάμενη κατάσταση της όσον αφορά την υποβάθμιση τόσο της συνολικής αντοχής της όσο και της δυσκαμψίας της, έτσι ώστε να γίνει εφικτή η ταξινόμηση και η ορθή σύγκριση κατασκευών ή επιμέρους στοιχείων που έχουν υποστεί κάθε βλάβη.

Τυπικές περιπτώσεις όπου κρίνεται σημαντική η χρήση κάποιου δείκτη σεισμικής βλάβης είναι:

- 1) Στη μετασεισμική διάγνωση των κατασκευών με επιμέρους φάσεις:
  - 1<sup>α</sup>) την γρήγορη εκτίμηση της επικινδυνότητας και
  - 1β) τη λήψη αποφάσεων για την αποκατάσταση της ζημιάς
- 2) Στην εκτίμηση της αξιοπιστίας των υφιστάμενων κατασκευών έναντι ενός ενδεχόμενου σεισμού, η οποία είναι ιδιαίτερα απαραίτητη για αποφάσεις προσεισμικής ενίσχυσης και
- 3) Στην πρόβλεψη σεισμικής συμπεριφοράς νέων κατασκευών και κυρίως των μεγάλης σημαντικότητας ( π.χ. δημόσια κτίρια ). Στην τελευταία περίπτωση οι δείκτες σεισμικής βλάβης είναι χρήσιμα εργαλεία στο σχεδιασμό τους.

Έτσι, κατά καιρούς προτάθηκαν διάφορες μορφές δεικτών βλάβης. Οι σημαντικότερες δείκτες βλάβης παρουσιάζονται παρακάτω και συσχετίζονται με το κόστος αποκατάστασης τους.

Πιθανές παράμετροι βλάβης είναι:

- 1) Οι ανηγμένες παραμορφώσεις σκυροδέματος και χάλυβα (  $\epsilon_c, \epsilon_s$  ) και καμπυλότητες (  $\phi$  και  $\mu_\phi$  )
- 2) Οι στροφές (  $\theta$ ,  $\mu_\theta$  ), μετατοπίσεις ορόφων (  $\chi$  ), σχετικά βέλη (  $\Delta x$  )
- 3) Η απορροφούμενη και εκκλύμενη ενέργεια (  $E$  )
- 4) Οι τέμνουσες οροφών (  $V_s$  ) ή τέμνουσες βάσης (  $V_b$  ), αντοχές στοιχείων (  $R$  ) και

5) Το κόστος αποκατάστασης, η οποία είναι οικονομική παράμετρος και είναι απαραίτητη για την αποτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε οικονομικούς όρους ( π.χ. τα ασφάλιστρα για σεισμό )

Ο δείκτης βλάβης ενός κατασκευαστικού στοιχείου μπορεί να οριστεί ως ο παρακάτω λόγος [4]:

$$D = J / J_c \quad (1)$$

Όπου,  $J$  = μια ποσότητα απόκρισης

$J_c$  = η κρίσιμη ποσότητα απόσβεσης

Ισχύει πάντα  $D \leq 1$ .

➤ Όταν  $D = 0$ , το στοιχείο είναι χωρίς βλάβη και όταν  $D = 1$  ή  $D=100\%$  το στοιχείο έχει ήδη αστοχήσει.

## 1. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΒΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

### 1.1 Δείκτης βλάβης κατά Lybas και Sozen (1977) [5]

Οι Lybas και Sozen πρότειναν ένα δείκτη  $D_r$  γνωστός ως **λόγος βλάβης (πηλίκο βλάβης)** ο οποίος εξαρτάται από τη δυσκαμψία του στοιχείου και ορίζεται ως εξής:

$$D = k_0 / k_r \quad (2)$$

Όπου,  $k_0$ : η αρχική δυσκαμψία του στοιχείου

$k_r$ : η δυσκαμψία όταν η μετατόπιση είναι η μέγιστη δυνατή

Για το <<λόγο βλάβης>> αυτό ισχύει πάντα  $D_r > 1$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η βλάβη τόσο αυξάνεται η τιμή του δείκτη βλάβης.

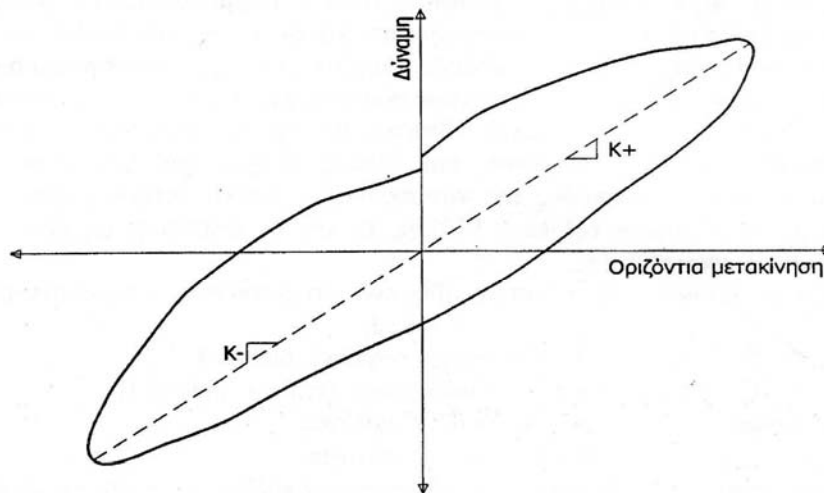
Για ανακυκλιζόμενη φόρτιση, η δυσκαμψία του στοιχείου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση

$$k = (k_+ + k_-) / 2 \quad (3)$$

Όπου:  $k$  = η μέση δυσκαμψία του στοιχείου στον κύκλο που εξετάζεται

$k_+$ ,  $k_-$  = η μέση δυσκαμψία στη θετική και στην αρνητική φορά φόρτισης

Οι δυσκαμψίες αυτές υπολογίζονται διαιρώντας τη μέγιστη δύναμη στην εξεταζόμενη φορά του κύκλου με την αντίστοιχη μετακίνηση.



Σχήμα 1: Ορισμός δυσκαμψίας στοιχείου σε κάθε κύκλο φόρτισης [7]

Ο συγκεκριμένος δείκτης βλάβης μπορεί να αξιοποιηθεί ως μέθοδος αποτίμησης βλαβών στην πράξη αφού ο λόγος της αρχικής δυσκαμψίας ενός στοιχείου προς την δυσκαμψία που αυτό έχει μια συγκεκριμένη στιγμή μπορεί να αποτελέσει ένα μέτρο για την ταξινόμηση των βλαβών που έχουν υποστεί τα μέλη μιας κατασκευής.

### 1.2 Δείκτης βλάβης κατά Kunath και Jenne (1994) [5]

Οι Kunath και Jenne μετέτρεψαν το <<λόγο βλάβης>> των Lybas και Sozen και πρότειναν τον ποσοτικό δείκτη βλάβης:

$$D_r = 1 - (k_r / k_0) \quad (4)$$

Όπου,  $k_0$ : η αρχική δυσκαμψία του στοιχείου

$k_r$ : η δυσκαμψία όταν η μετατόπιση είναι η μέγιστη δυνατή

Για τον ποσοτικό δείκτη βλάβης ισχύει πάντα  $D_r \leq 1$ . Επειδή έχει ίδιο πεδίο τιμών με άλλους δείκτες βλάβης, ενδεχόμενη σύγκρισή μεταξύ των είναι εφικτή. Έτσι, ο δείκτης των Kunath και Jenne είναι αρκετά εύχρηστος.

➤ Όταν  $D_r = 0$ , το στοιχείο είναι χωρίς βλάβη

και όταν  $D_r = 1$ , το στοιχείο έχει ήδη αστοχήσει.

### 1.3 Δείκτης βλάβης κατά Cosenza et al. (1993) [5]

Οι Cosenza et al. πρότειναν τον δείκτη βλάβης  $D$  με βάση την πλαστιμότητα και ορίζεται ως εξής:

$$D = \frac{\mu - 1}{\mu_u - 1} \quad (5)$$

Όπου  $\mu$  : η πλαστιμότητα σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση

$\mu_u$  : η μέγιστη πλαστιμότητα σε μονοτονική φόρτιση

Ο δείκτης βλάβης  $D$  βασίζεται στην πλαστιμότητα του στοιχείου που εξετάζεται. Η πλαστιμότητα  $\mu$  ορίζεται ως εξής:

$$\mu = \delta_{\max} / \delta_u \quad (6)$$

Όπου,  $\delta_{\max}$  : η μέγιστη μετατόπιση

$\delta_u$  : η μετατόπιση τη στιγμή της διαρροής

➤ Όταν η μετατόπιση δεν έχει φτάσει τη μετατόπιση διαρροής, τότε ισχύει  $D=0$ .

#### 1.4 Δείκτης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων

Είναι μία παράμετρος βλάβης και αναφέρεται κυρίως σε μία ακραία διατομή ενός μέλους.

Ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{\phi} = \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_y} \quad (7)$$

Όπου,  $\Phi_{\max}$  : η μέγιστη καμπυλότητα σε μία ακραία διατομή

$\Phi_y$  : η καμπυλότητα στη διαρροή της ακραίας διατομής

➤ Ο ορισμός ισχύει μόνο για μονοτονική φόρτιση του μέλους.

Η διαθέσιμη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων, δηλαδή η τιμή του δείκτη στην αστοχία είναι :

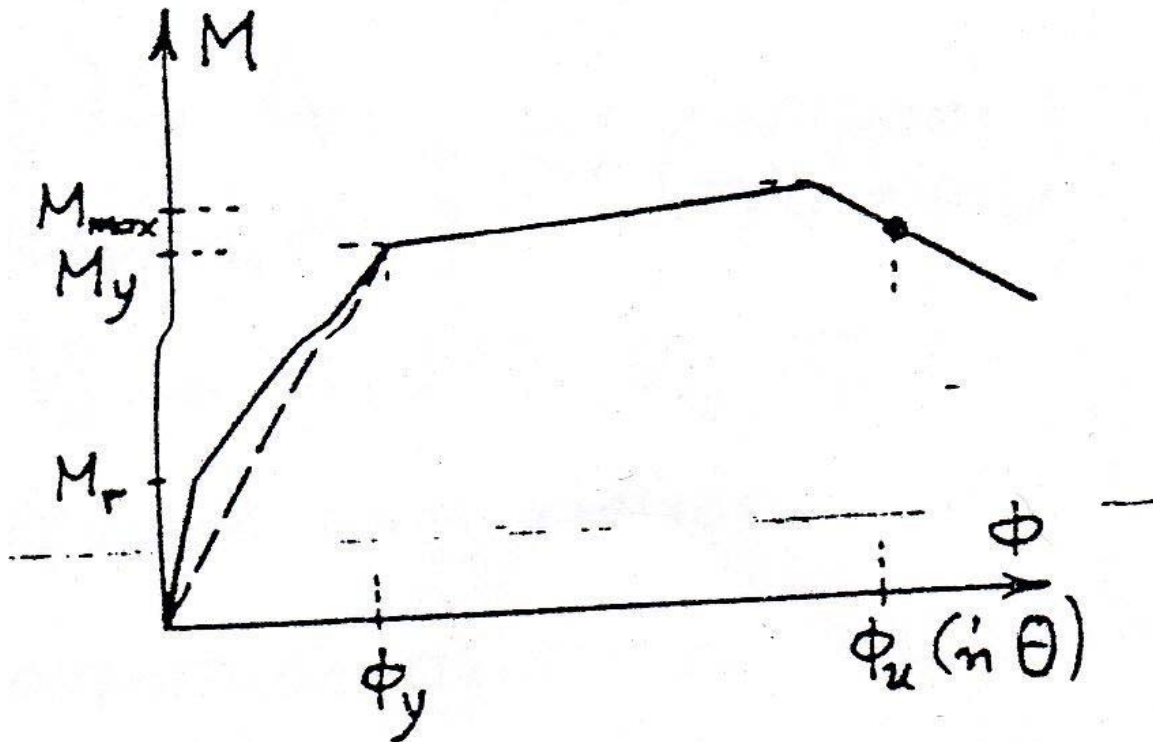
$$\mu_{\phi,u} = \frac{\Phi_u}{\Phi_y} \quad (8)$$

Όπου,  $\Phi_u$  : η οριακή τιμή της καμπυλότητας

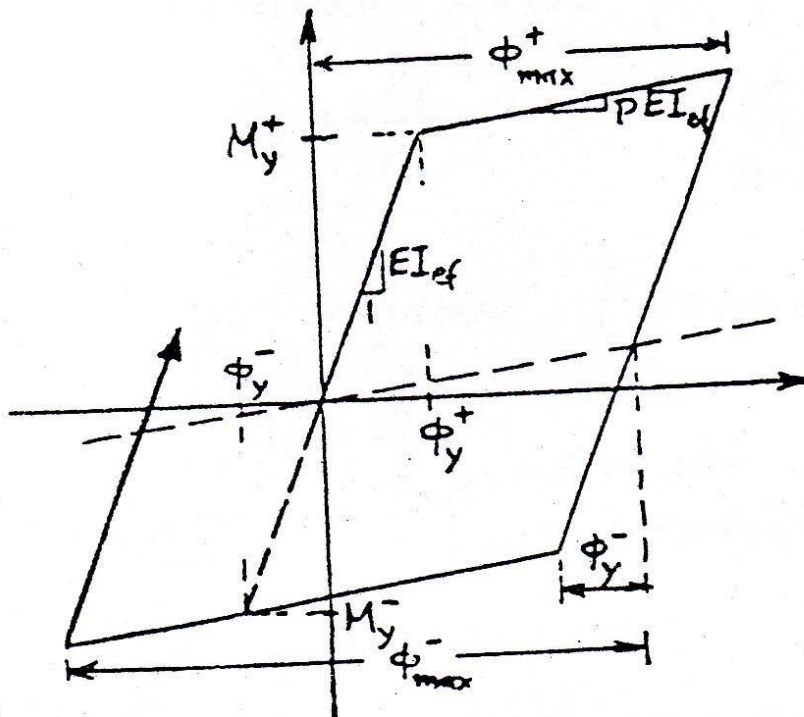
$\Phi_y$  : η καμπυλότητα στη διαρροή της ακραίας διατομής

Οι καμπυλότητες  $\Phi_u$ ,  $\Phi_y$  δίνονται από συγκεκριμένες σχέσεις, τις οποίες σκόπιμα δεν αναφέρουμε.

Ο δείκτης πλαστιμότητας  $\mu_{\phi}$  υπολογίζεται εύκολα από το διάγραμμα ροπών- καμπυλοτήτων (σχήματα 2 και 3).



Σχήμα 2: Καμπυλότητα για μονοτονική φόρτιση [3]



Σχήμα 3: Καμπυλότητα για ανακυκλιζόμενη φόρτιση [3]

- **Μειονέκτημα δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων:** Ως μη γραμμικό φαινόμενο, η καμπυλότητα σε μία διατομή δεν έχει φυσικό νόημα. Γι αυτό πρέπει να κάνουμε λόγο για μέση καμπυλότητα ενός τμήματος.

## 2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΒΗΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΥΠΟΨΗ ΤΗ ΣΩΡΡΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΡΟΗ ΤΗΣ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΑΠΟ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

### 2.1 Δείκτης βλάβης D Park και Ang (1985) [5]

Ορίζεται ως:

$$D = (\delta_M / \delta_u) + (\beta [dE / Q_y \delta_u]) \quad (9)$$

Όπου,  $\delta_M$ : η μέγιστη μετατόπιση

$\delta_u$ : η μέγιστη μετατόπιση σε μονοτονική φόρτιση

$\beta$ : σταθερός θετικός συντελεστής και ισούται:

$$\beta = [-0,447 + 0,073(1/d) + 0,24n_0 + 0,314\rho_t] * 0,7^{P_w} \quad (9a)$$

Όπου,  $1/d$ : το διατμητικό άνοιγμα του μέλους και  $1/d > 1.70$

$n_0$ : η αξονική δύναμη και  $n_0 > 0.20$

$\rho_t$ : το γεωμετρικό ποσοστό του συνολικού διαμήκους οπλισμού και  $\rho_t > 0.75$

$\rho_w$ : το ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περισφυγξης

Οι Park και Ang πρότειναν ταξινόμηση των βλαβών σύμφωνα με τον πίνακα 1.

$D < 0.10$	Χωρίς βλάβη ή μόνο εμφάνιση τοπικών ρωγμών (επισκευάσιμες)
$0.10 \leq D \leq 0.25$	Μικρές βλάβες (επισκευάσιμες)
$0.25 \leq D \leq 0.40$	Μέτριες βλάβες (επισκευάσιμες)
$0.40 \leq D \leq 1.00$	Σοβαρές βλάβες (μη επισκευάσιμες)
$D \geq 1.00$	Κατάρρευση (μη ασφαλής κατασκευή)

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των βλαβών κατά Park και Ang [5]

### 2.2 Δείκτης βλάβης κατά Kratzig και Merkouris [5]

Ο δείκτης βλάβης  $D_Q$  ορίζεται ως εξής:

$$D_Q = D_Q^+ * (1 - D_Q^-) + D_Q^- \quad (10)$$

$$\text{Όπου, } D_Q^+ = (\sum E_{si}^+ + \sum E_i^+) / (E_u^+ + \sum E_i^+) \quad (10a)$$

$$D_Q^- = (\sum E_{si}^- + \sum E_i^-) / (E_u^- + \sum E_i^-) \quad (10b)$$

Όπου,  $E_{si}$  = η ενέργεια των ημικύκλων φόρτισης που ξεπερνούν την προηγούμενη παραμόρφωση (κύριοι ημίκυκλοι)

$E_i$  = η ενέργεια των ημικύκλων φόρτισης με μικρότερη ή ίση παραμόρφωση από την προηγούμενη (δευτερεύοντες ημίκυκλοι)

$E_u$  = η απορροφούμενη ενέργεια σε μονοτονική φόρτιση

Τα πρόσσημα (+) και (-) αντιστοιχούν στους κύκλους φόρτισης (+ για αυξανόμενο κύκλο, - για μειούμενο). Οι αυξανόμενοι και μειούμενοι κύκλοι φόρτισης καθορίζονται από τη διεύθυνση της φόρτισης.

Η ενέργεια που απορροφάται προκύπτει ως εμβαδό των υστερητικών βρόχων.

### **3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΒΗΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΟΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΤΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ [9]**

Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούνται ευρύτατα επειδή καταλήγουν γρήγορα σε συμπεράσματα σχετικά με το βαθμό της βλάβης ενός στοιχείου ή μιας κατασκευής σε περιπτώσεις που εφαρμόζονται μετασεισμικές τεχνικές επέμβασης έκτακτης ανάγκης. Με αυτό τον τρόπο, διευκολύνεται η διαδικασία της απόφασης για το αν θα γίνει επέμβαση ή επισκευή. Οι δείκτες αυτοί καταλήγουν σε αποτέλεσμα βασιζόμενοι στην επί τόπου παρατήρηση των βλαβών και στην κατάταξη αυτών βάσει μίας βαθμονομημένης κλίμακας.

Οι τυπικοί βαθμοί βλάβης, που προκύπτουν από τους δείκτες βλάβης με βάση τον οπτικό έλεγχο κυρίως αλλά και στην εμπειρία του παρατηρητή, συνδέονται άμεσα, με την απομένουσα φέρουσα ικανότητα και τα διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας των βλαβέντων δομικών στοιχείων και της κατασκευής ως σύνολου.

Για τα **υποστυλώματα** έχουμε τέσσερις βαθμούς βλάβης:

1. **Βαθμού "Α", ελαφρές βλάβες:** Είναι μεμονωμένες ρωγμές μικρού πλάτους (μικρότερου από 2,0mm) και προκαλούνται κυρίως λόγω κάμψης ή δευτερευόντων λόγων (πχ διεύρυνση αρμών διακοπής σκυροδετήσεως, ελαφρές κρούσεις κλπ).
2. **Βαθμού "Β", ελαφρές βλάβες:** Είναι πολλές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες διατμητικές ρωγμές μικρού πλάτους (μικρότερου από 0,5mm), με την προϋπόθεση βεβαίως ότι δεν παρατηρούνται εμφανείς μετακινήσεις του σκελετού.
3. **Βαθμού "Γ", σοβαρές βλάβες:** Η ρηγμάτωση είναι έντονη και παρατηρείται τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος από θλίψη και διάτμηση. Οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι πολύ μικρές.
4. **Βαθμού "Δ", βαριές βλάβες:** Έχουμε θραύση του σκυροδέματος του στοιχείου και εμφανίζεται βλάβη των κυρίων οπλισμών. Ακόμη, παρατηρείται διακοπή της συνέχειας του στοιχείου. Τέλος, οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι μικρές.

Αν οι προϋποθέσεις που αναφέρονται στα προηγούμενα για τις μετακινήσεις δεν πληρούνται, τότε η βλάβη θεωρείται ενός βαθμού παραπάνω (πχ του βαθμού "Α" θεωρείται "Β", του "Β" "Γ", κλπ).

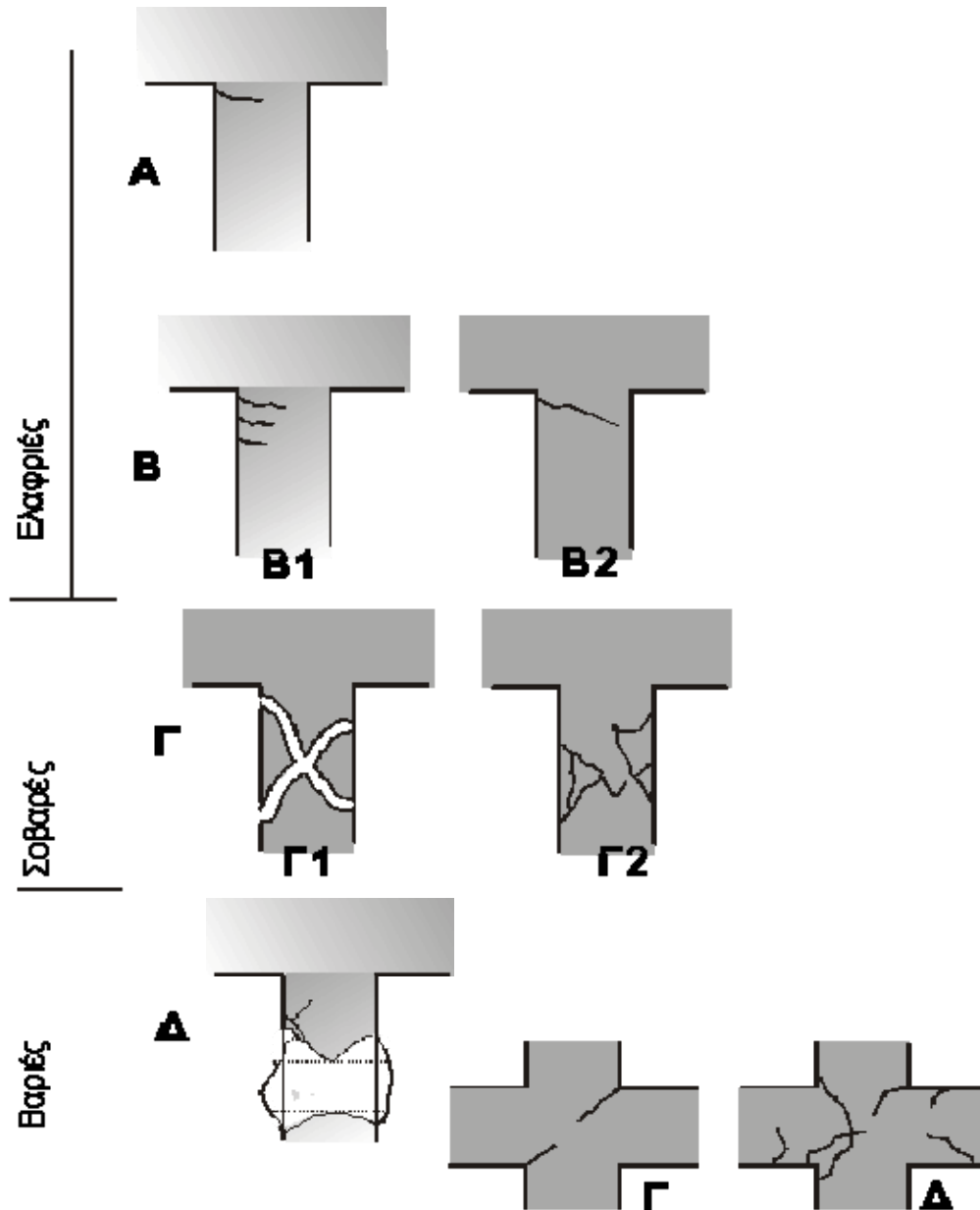
#### **Για τα τοιχώματα και τους κόμβους:**

Λόγω της σπουδαιότητας του ρόλου των στοιχείων αυτών του σκελετού μίας κατασκευής στην αντισεισμική συμπεριφορά του συνόλου, **κάθε βλάβη και ρηγμάτωση, έστω και ελαφριά - πολύ μικρού ανοίγματος, θεωρείται σημαντική** και αντιμετωπίζεται τουλάχιστον ως σοβαρή βλάβη (βαθμού "1"), ή βαριά (βαθμού "Δ") αν έχει συμβεί και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή και βλάβη των οπλισμών.

Σχετικά με τη μορφολογία ισχύουν τα σκίτσα του σχήματος για τα υποστυλώματα και τους κόμβους, ενώ για τα τοιχώματα ισχύουν τα αντίστοιχα σκίτσα των υποστυλωμάτων, με τη διαφορά ότι οι βαθμοί "Α" και "Β" θεωρούνται "Γ" και οι βαθμοί "Γ" και "Δ" θεωρούνται "Δ".

Υπάρχει και **τυπικός βαθμός "Ε"**, όταν οι μετακινήσεις του σκελετού είναι μέτριες έως μεγάλες και όταν παρατηρούνται αποκολλήσεις ή μερικές καταρρεύσεις. Τότε οι βλάβες είναι πολύ δύσκολο να επισκευαστούν.

### ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ



**Σχ.1**

Σχήμα 4: Τυπικοί βαθμοί βλαβών [9]

#### 4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΒΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

##### 4.1 Ορισμός δείκτη κόστους αποκατάστασης [2]



Ο δείκτης κόστους αποκατάστασης εκφράζει το κόστος επισκευής συγκριτικά με την αξία νέων κτιρίων και είναι ένας αδιάστατος αριθμός. Ορίζεται ως εξής:

**Κόστος επέμβασης στο i κτίριο**

$$1) C_{\delta i} = \frac{\text{Κόστος επέμβασης στο } i \text{ κτίριο}}{\text{Αξία } i \text{ κτιρίου}} \quad \text{για ένα } i \text{ κτίριο} \quad (11)$$

**Κόστος επέμβασης σε N κτίρια**

$$2) C_{\delta} = \frac{\text{Κόστος επέμβασης σε } N \text{ κτίρια}}{\text{Αξία } N \text{ κτιρίων}} \quad \text{ή} \quad (12^a)$$

**Σ κόστους επέμβασης i κτιρίου**

$$C_{\delta} = \frac{\Sigma \text{ κόστους επέμβασης } i \text{ κτιρίου}}{\Sigma \text{ αξία } i \text{ κτιρίου}} \quad \text{ή} \quad (12\beta)$$

**Σ C<sub>δi</sub>**

$$C_m = \frac{\Sigma C_{\delta i}}{N} \quad \text{για } N \text{ κτίρια} \quad (12\gamma)$$

Για μεγάλο δείγμα κτιρίων  $C_{\delta} = C_m$ , ενώ για μικρό δείγμα κτιρίων  $C_{\delta} \leq C_m$ .

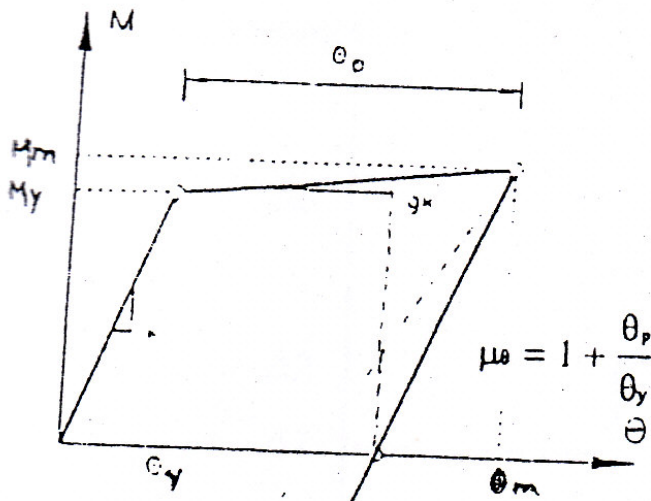
**4.2 Δείκτης σχετικός με το κόστος αποκατάστασης κατά Παπαδόπουλο (1994) [3]**

Αυτός ο δείκτης βασίζεται στον δείκτη γενικευμένης πλαστιμότητας γωνιών στροφής με τον οποίο ορίζεται το μέγεθος και η έκταση των ρωγμών στο στοιχείο. Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με το κόστος αποκατάστασης που απαιτείται για την επαναφορά μιας κρίσιμης διατομής κατά τρόπο ώστε να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της κυκλικής φόρτισης στα διάφορα επίπεδα παραμόρφωσης. Χρησιμοποιείται ο δείκτης γενικευμένων πλαστικών στροφών  $\mu_{\theta}^*$ , που είναι συνδυασμός της μέγιστης παραμόρφωσης της διατομής, που εκφράζεται με το δείκτη πλαστιμότητας  $\mu_u$ , και του βαθμού κόπωσης της διατομής, που εκφράζεται με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης.

Η σεισμική βλάβη μπορεί να εκφραστεί σαν γραμμικός συνδυασμός της βλάβης εξαιτίας της επανειλημμένης κυκλικής φόρτισης και αυτής που δημιουργήθηκε από υπερβολική παραμόρφωση. Ο δείκτης γενικευμένης πλαστικότητας στροφών ορίζεται ως:

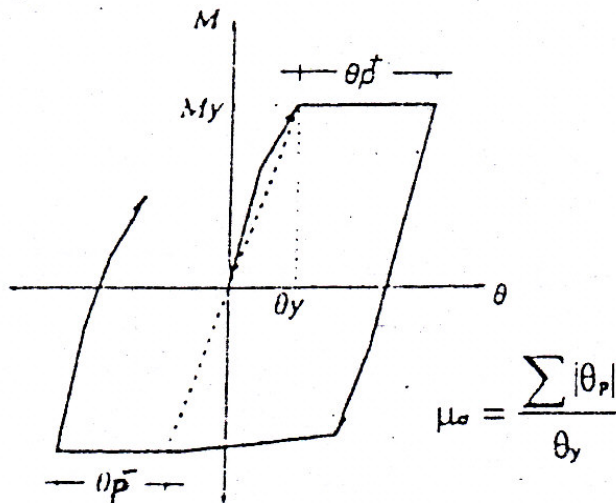
$$\mu_{\theta}^* = \mu_{\theta} + \mu_{\theta}^*(\mu_{\sigma}/\mu_{\theta}) \quad (13)$$

όπου,  $\mu_{\theta}$ : ο δείκτης πλαστιμότητας στροφών σύμφωνα με το σχήμα:



Σχήμα 5: Ορισμός του δείκτη  $\mu_\theta$  [3]

$\mu_\sigma$  : δείκτης συσσωρευμένων πλαστικών στροφών όπως αυτός ορίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6: Ορισμός του δείκτη  $\mu_\sigma$  [3]

$\mu_\sigma$ : ο δείκτης που ρυθμίζει το ποσοστό συμμετοχής του αριθμού των κύκλων φόρτισης, δηλαδή ουσιαστικά της απορροφούμενης υστερητικής ενέργειας στη συγκεκριμένη βλάβη. Ο όρος  $\mu_\theta$  ( $\mu_\sigma / \mu_\theta$ ) εκφράζει τη συμμετοχή του αριθμού των κύκλων φόρτισης .

Ο δείκτης βλάβης  $\mu_\sigma$  χαρακτηρίζει άμεσα την σημαντικότητα της βλάβης σε κάθε κρίσιμη διατομή και κατ' αυτό τον τρόπο, συσχετίζεται με το κόστος αποκατάστασης της βλάβης, όπως φαίνεται στο σχήμα . Στον κατακόρυφο άξονα εκφράζεται η δαπάνη επισκευής, ενώ στον οριζόντιο άξονα παριστάνεται η κατηγορία της βλάβης.

Η αποκατάσταση για κάθε κατηγορία βλάβης πραγματοποιείται σε τρία στάδια ανάλογα με την έκταση των ρωγμών. Αναλυτικότερα, έχουμε:

$\Delta_1$  είναι η δαπάνη επισκευής ανά διατομή για την αποκατάσταση των τριχοειδών ρωγμών με ρητινενέσεις.

$\Delta_2$  είναι η δαπάνη επισκευής ανά διατομή για μεγαλύτερες έκτασης ρωγμών με τη χρήση μεταλλικών επικολλητών λάμων.

$\Delta_3$  είναι η δαπάνη επισκευής ανά διατομή για μεγάλης έκτασης ρωγμές μέχρι αποδιοργάνωσης της διατομής και η αποκατάσταση έγινε με μανδύα σκυροδέματος.

Τώρα, αν ορίσουμε το κόστος αποκατάστασης δείκτη βλάβης  $\Delta B_i$  και την κατηγορία βλάβης ως  $\mu^*$ , προκύπτει το διάγραμμα του σχήματος 8.

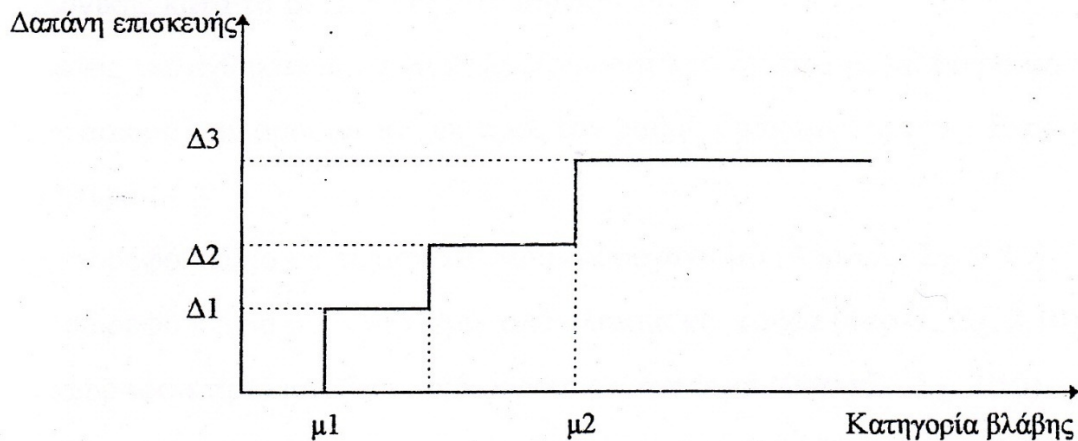
Έτσι, έχουμε:

- Για  $\Delta B_i = 0$ , το στοιχείο είναι χωρίς βλάβη και
- Για  $\Delta B_i = 1$  ή  $\Delta B_i = 100\%$  το στοιχείο έχει τη μεγαλύτερη δυνατή βλάβη της διατομής.

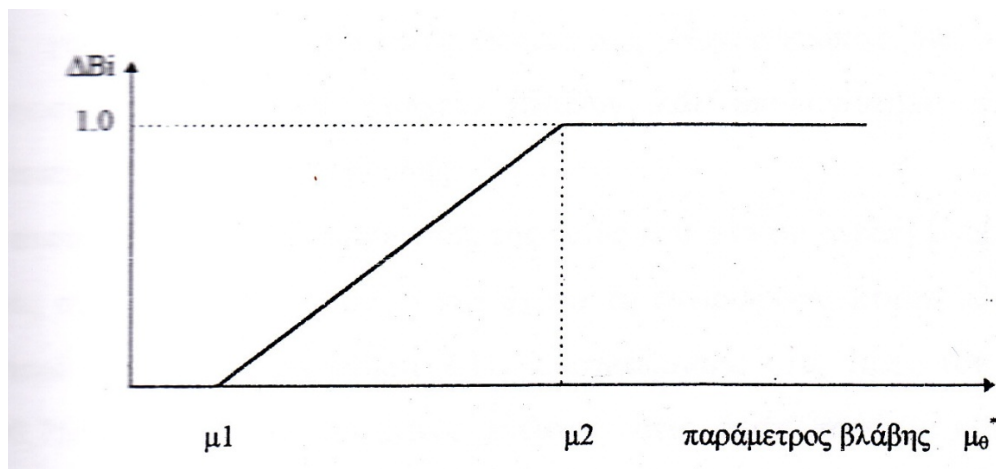
Το  $\mu_1$  κυμαίνεται μεταξύ των τιμών:  $0.4 < \mu_1 < 0.8$

Το  $\mu_2$  κυμαίνεται μεταξύ των τιμών:  $3.5 < \mu_2 < 6.0$

Το  $\mu_0$  κυμαίνεται μεταξύ των τιμών:  $10 < \mu_0 < 20$  που αντιστοιχούν σε μείωση αντοχής του μέλους της τάξης του 25% - 50% για τιμή του  $\mu_\sigma = 5$ .



Σχήμα 7: Συσχετισμός της κατηγορίας της βλάβης με τη δαπάνη επισκευής [3]



Σχήμα 8: Συσχετισμός του δείκτη βλάβης  $\Delta B_i$  με την παράμετρο  $\mu^*_\theta$  [3]

Η γραμμική σχέση των παραπάνω παραμέτρων οφείλεται στην ιδιαίτερη δυσκολία κατάταξης μίας βλάβης στα όρια μεταβολής των κατηγοριών και στην αδυναμία της πλήρους ταύτισης των ρωμών του πειράματος και των πραγματικών ρωγμών.

Η ολική δαπάνη των επισκευών εκφράζεται από τον ολικό δείκτη βλάβης της κατασκευής, ο οποίος περιλαμβάνει τους επιμέρους δείκτες βλάβης για κάθε κρίσιμη διατομή του φορέα. Ο ολικός δείκτης βλάβης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta B = (1000 / \sum \lambda_i) * \sum (\lambda_i \Delta B_i) \quad (14)$$

Όπου:  $\lambda_i$  = ο παράγοντας συμμετοχής της διατομής και κατά κανόνα λαμβάνεται ανάλογος του μήκους της παράπλευρης επιφάνειας της διατομής.

Ο ολικός δείκτης βλάβης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $0 < \Delta B < 1000$ . Οι ακραίες τιμές του δείκτη βλάβης είναι:

- $\Delta B = 0$  για μηδενική βλάβη στο φορέα
- $\Delta B = 1000$  για ολική βλάβη στο φορέα

#### 4.3 Συσχέτιση του δείκτη κόστους αποκατάστασης με το βαθμό βλάβης [2]

Ύστερα από εκταμένη διερεύνηση σε εργασία του κ. Δρίτσου, της κ. Καρέλα και της κ. Παύλου και αφορά τη σχέση του κόστους αποκατάστασης των κτιρίων με το βαθμό βλάβης τους μετά από το σεισμό του 1993 όπου επλήγησαν αρκετές οικοδομές της Πάτρας, αξιολογήθηκαν τα στοιχεία που αφορούν 423 κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Παράμετροι των οποίων εξετάστηκε η επιρροή τους στη σχέση του δείκτη κόστους αποκατάστασης με το βαθμό βλάβης είναι οι εξής:

- 1) ο αριθμός των ορόφων
- 2) η μορφή του ισογείου
- 3) η ύπαρξη υπογείου και
- 4) το έτος κατασκευής του κτιρίου

Σχετικά με την επιρροή του αριθμού ορόφων, ο δείκτης κόστους αποκατάστασης μειώνεται, όσο ο αριθμός των ορόφων αυξάνεται. Ακόμα, το κόστος των μη φερουσών επεμβάσεων είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος των φερουσών επεμβάσεων. Αυτό δεν ισχύει μόνο σε κτίρια με βαριές βλάβες.

Όσον αφορά την ενδεχόμενη επιρροή της μορφής του ισογείου, σε κτίρια με άκτιστο ισόγειο το κόστος των φερουσών επεμβάσεων είναι μεγαλύτερο από αυτό των μη φερουσών και η επιρροή του από το βαθμό βλάβης είναι ιδιαίτερα αισθητή. Ωστόσο, το τελικό κόστος αποκατάστασης δεν εξαρτάται από τη μορφή του ισογείου. Αν και στα κτίρια με κτισμένο ισόγειο οι βλάβες μπορεί να είναι μικρότερες, το τελικό κόστος αποκατάστασης είναι ίδιο με το αντίστοιχο των κτιρίων με άκτιστο ισόγειο επειδή λαμβάνεται υπόψη και το κόστος αποκατάστασης των τοιχοπληρώσεων.

Σχετικά με την επιρροή του υπογείου, σε κτίρια χωρίς υπόγειο ο δείκτης κόστους αποκατάστασης για μη φέρουσες επεμβάσεις είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο δείκτη

για κτίρια με υπόγειο. Ωστόσο, συνολικά ο δείκτης κόστους αποκατάστασης δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη ή μη του υπογείου.

Για την επιρροή του έτους κατασκευής του κτιρίου, ισχύουν τα εξής:

- 1) Το κόστος των παλαιότερων κτιρίων ( πριν το 1980 ) είναι μεγαλύτερο από το κόστος των καινούριων ( μετά το 1980 ). Η διαφορά αυτή δεν υπάρχει, όμως, για μικρούς βαθμούς βλάβης.
- 2) Στα παλαιά κτίρια η εξάρτηση των δεικτών κόστους αποκατάστασης με το βαθμό βλάβης είναι ιδιαίτερα έντονη, ενώ στα νέα κτίρια είναι μικρότερη.
- 3) Στα παλαιά κτίρια το κόστος των μη φερουσών επεμβάσεων είναι μεγαλύτερο από εκείνο των φερουσών και η διαφορά αυξάνεται όσο μεγαλώνει ο βαθμός βλάβης. Αντιθέτως, στα νεότερα κτίρια η διαφορά μειώνεται με την αύξηση του βαθμού βλάβης.

#### 4.4 Ποσοστό βλάβης κατασκευής

Όσον αφορά το **ποσοστό βλάβης με βάση το κόστος αποκατάστασης**, εκφράζει το βαθμό βλάβης μιας κατασκευής όταν το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε αλλά στοιχεία, π.χ. την ένταση του σεισμού και όχι στον ίδιο τον φορέα, δηλαδή σε τομείς πέρα από αυτό της απομένουσας αντοχής και δυσκαμψίας, της απόφασης επισκευής και επέμβασης κτλ.

Συγκεκριμένα, το ποσοστό βλάβης ορίζεται ως εξής:

$$\text{Ποσοστό βλάβης κατασκευής} = \frac{\text{Μέσο κόστος επισκευής}}{\text{Μέσο κόστος αντικατάστασης}} \quad (15)$$

## 5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ενισχύσεις-επισκευές κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα – Διαδικασίες, τεχνικές και διαστασιολόγηση, Σ. Η. Δρίτσος, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 2005
- [2] Δείκτης κόστους αποκατάστασης και βαθμός βλάβης σε κτίρια ωπλισμένου σκυροδέματος, Σ. Δρίτσος, Ν. Καρέλα, Μ. Παύλου, 14<sup>ο</sup> Ελληνικό συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος, Κως, 2003
- [3] Μέθοδοι αποτίμησης βλαβών σε κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα, Δ. Καράμπελα, διπλωματική εργασία, Πάτρα 1999
- [4] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΟΑΣΠ, Αθήνα, 2000
- [5] Ακραίοι κόμβοι ωπλισμένου σκυροδέματος με σπειροειδείς οπλισμούς – Δείκτες βλάβης και αξιολόγηση πειραματικών αποτελεσμάτων, Χ. Καραγιάννης, Γ. Σιρκελής, 14<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος, τόμος Α, Κως, 2003
- [6] Αναμενόμενα ποσοστά βλάβης κατασκευών του ελληνικού χώρου ανάλογα με την ένταση του σεισμού, Ι. Βλάχος, Γ. Σταυρακάκης, Ι. Ταφλαμπάς, 9<sup>ο</sup> Ελληνικό συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος, Καλαμάτα, 1990
- [7] Πειραματική διερεύνηση συμπεριφοράς υποστυλωμάτων ενισχυμένων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, Κ. Γ. Βανδώρος, διδακτορική διατριβή, Πάτρα, 2005
- [8] Συμπεριφορά των κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα σε σεισμό, Ι. Κάππος, ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος, Θεσσαλονίκη, 1992
- [9] Οικοδομική άδεια και αποκατάσταση κτιρίων  
[www.domiki.gr/amoives\\_ika/meletes\\_apokatastashs.htm](http://www.domiki.gr/amoives_ika/meletes_apokatastashs.htm) - 116k -
- [10] Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια, ΟΑΣΠ, Αθήνα, Απρίλιος 2001
- [11] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ( ΕΑΚ ), ΟΑΣΠ, Αθήνα, 2000