

**ΥΠΕΧΩΔΕ – ΟΑΣΠ**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΒΛΑΒΗΣ  
ΣΕΙΣΜΟΠΛΗΚΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ**

**ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ – ΜΕΛΕΤΗ**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003**

## Περιεχόμενα

### Περίληψη

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1. Γενικά
- 1.2. Σύνοψη και λειτουργία Ομάδας Μελέτης
- 1.3. Συνοπτική αναφορά σε σχετικές διατάξεις του ΣΝ του ΟΑΦΚ
- 1.4. Παρατηρήσεις για το κόστος αποκατάστασης σεισμόπληκτων κτιρίων
- 1.5. Παρατηρήσεις για το θέμα της επισκευής ή ενίσχυσης

#### 2. Η ΛΟΓΙΚΗ, ΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- 2.1. Επισκόπηση μελετών πάνω στη σχέση δομικού – οικονομικού δείκτη βλάβης
- 2.2. Γενικές αρχές που υιοθετήθηκαν στα πλαίσια των εργασιών της ΟΜ
- 2.3. Βιβλιογραφικές παραπομπές

#### 3. ΟΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- 3.1. Συνοπτικές διαδικασίες
- 3.2. Λεπτομερείς διαδικασίες
- 3.3. Προκαταρκτική βαθμονόμηση της συσχέτισης D – C
- 3.4. Βιβλιογραφικές παραπομπές

#### 4. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ

- 4.1. Απολογισμός έργου – ανοιχτά θέματα
- 4.2. Συμπεράσματα, αξιοποίηση
- 4.3. Προτάσεις

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Κυριότερες δημοσιεύσεις σχετικές με το αντικείμενο της ΟΜ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### 1. Γενικά

Η παρούσα έκθεση συντάσσεται με βάση την σχετική απόφαση (3/Ιαν. 2001) του ΔΣ του ΟΑΣΠ και αντίστοιχες (από 28.2.01) συμβάσεις των Αναδόχων για την εκπόνηση της υπόψη Έκθεσης-Μελέτης («Σύνταξη οδηγιών και ειδικού δελτίου για την εκτίμηση του ποσοστού βλάβης των σεισμόπληκτων κτιρίων»).

### 2. Ομάδα Μελέτης

Η Ομάδα Μελέτης (ΟΜ) ήταν πενταμελής, ενώ υπήρχε και Σύνδεσμος με την αντίστοιχη ΟΜ για την ανασύνταξη των Δελτίων Αυτοψιών.

Στην κυρίως Έκθεση-Μελέτη παρουσιάζονται τα Μέλη της ΟΜ καθώς και οι πραγματοποιηθείσες συναντήσεις και ανταλλαγές στοιχείων και σχολίων.

### 3. Σκοπός

Σκοπός του έργου ήταν η συγκέντρωση / αξιολόγηση των διαθέσιμων στοιχείων και ερευνών και η σύνταξη Οδηγιών για την εκτίμηση του δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης σεισμόπληκτων κτιρίων (από σκυρόδεμα και τοιχοποιία), στα πλαίσια του Σχεδίου Νόμου περί «Σύστασης Οργανισμού Ασφάλισης έναντι Φυσικών Καταστροφών – ΟΑΦΚ».

Η ανάθεση της υπόψη μελέτης έγινε διότι ο ΟΑΣΠ επιδιώκει την προχωρημένη (αν όχι ολοκληρωμένη) και ορθολογική επεξεργασία του εν λόγω θέματος και τη συνδυασμένη παρουσίαση των τελικών προτάσεων σε ενιαίο κείμενο, στα πλαίσια εφαρμογής του ΣΝ περί ΟΑΦΚ.

### 4. Μεθοδολογία

Όπως αναλυτικότερα περιγράφεται στο τεύχος της Έκθεσης-Μελέτης, συγκεντρώθηκαν – κατ' αρχάς – και αξιολογήθηκαν συνοπτικώς όλα τα σχετικά διαθέσιμα τεχνικά στοιχεία, άρθρα, μελέτες, έρευνες κ.λπ., όπως παρουσιάζονται και στο Παράρτημα Ι, καθώς και τα σχετικά Δελτία Αυτοψιών (Παράρτημα ΙΙ) και η σχετική ΥΑ της ΥΑΣ /ΥΠΕΧΩΔΕ (Παράρτημα ΙΙΙ). Τα στοιχεία αυτά είναι λίγα – ομολογουμένως, ενώ οι διαφορές μεταξύ των σχετικών εκτιμήσεων, κυρίως για την μετάβαση από τον **δομικό** στον **οικονομικό** δείκτη βλάβης, είναι μάλλον σημαντικές, ειδικώς για τις περιπτώσεις βλαβών «τοπικού» και όχι «γενικού» χαρακτήρα.

Ως **δομικός** δείκτης βλάβης ( $D_i$ ) ορίστηκε ο δείκτης που συνδέεται με την βλάβη (σε τεχνικούς όρους – όρους Μηχανικής) ενός δομικού στοιχείου ή υποσυνόλου (π.χ. ορόφου) ή συνόλου (π.χ. κτιρίου). Δηλαδή, ο δομικός δείκτης βλάβης συνδέεται π.χ. με την παθολογική εικόνα ενός βλαμμένου υποστυλώματος ή τοιχώματος και με το τι αυτή συνεπάγεται π.χ. σε όρους απομείωσης της αντίστασης (π.χ. της αντοχής έναντι κατακόρυφων φορτίων).

Ως **οικονομικός** δείκτης βλάβης ( $C_i$ ) ορίσθηκε ο δείκτης που σχετίζεται με τις συνέπειες της συγκεκριμένης βλάβης (βλ. πριν) και την οικονομική απώλεια (ζημία), δηλ. το κόστος αποκατάστασης του υπόψη δομικού στοιχείου (ή υποσυνόλου ή συνόλου). Έτσι, ο οικονομικός δείκτης βλάβης σχετίζεται π.χ. με το κόστος αποκατάστασης του βλαμμένου υποστυλώματος ή τοιχώματος, είτε κατ' ευθείαν (π.χ. 1000€) είτε σχετικώς, ανηγμένο π.χ. ως προς το κόστος καθαίρεσης και ανακατασκευής.

Σε σειρά συναντήσεων (συνολικώς δέκα), κυρίως στην Αθήνα – στα γραφεία του ΟΑΣΠ, αντηλλάγησαν απόψεις και σχόλια μεταξύ των Μελών της ΟΜ, αλλά και του Συνδέσμου (Ι. Βλάχος) και του Προέδρου του ΟΑΣΠ, με στόχο τον συγκερασμό και τη σύγκλιση των διαφόρων αρχικών απόψεων σε δύο (2) – τελικώς – προτάσεις, μία περί συνοπτικών και μία περί λεπτομερών (αναλυτικών) διαδικασιών, όπως περιγράφονται στην Έκθεση –Μελέτη, ως εξής:

- **Συνοπτική διαδικασία**

Κατά τη διαδικασία αυτή ελέγχεται μόνον ο «κρίσιμος» (περισσότερο βλαμμένος) όροφος του κτιρίου και βασικώς μόνον τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία του (υποστυλώματα και τοιχώματα), έτσι ώστε να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση ο δομικός δείκτης βλάβης του ορόφου και εμμέσως ο οικονομικός δείκτης βλάβης (και το κόστος αποκατάστασης) του κτιρίου ως συνόλου.

- **Λεπτομερής διαδικασία**

Κατά τη διαδικασία αυτή ελέγχεται σχεδόν το σύνολο των δομικών αλλά και των λοιπών στοιχείων του κτιρίου, σ' όλους τους ορόφους, έτσι ώστε να εκτιμηθούν λεπτομερέστερα (και ακριβέστερα) οι δείκτες βλάβης (δομικοί και οικονομικοί) των επιμέρους στοιχείων και ορόφων και τελικώς του κτιρίου ως συνόλου ή –αμέσως– το συνολικό άμεσο κόστος αποκατάστασης.

Σχετικώς, δύο ιδιαίτερα προβλήματα που απασχόλησαν την ΟΜ ήταν αυτό της παλαιότητας των κατασκευών (και της επιρροής της στους σχετικούς δείκτες), καθώς και αυτό της αναπόφευκτης ενισχύσεως στα πλαίσια οποιασδήποτε επισκευής, κυρίως για υψηλότερες τιμές του δείκτη βλάβης. Έτσι, και όπως είναι φυσικό, οποιαδήποτε αποκατάσταση σεισμόπληκτου κτιρίου συνεπάγεται – τις περισσότερες φορές – και σχετική «ενίσχυση», έστω περιορισμένη ή και «αθέλητη».

Το γεγονός αυτό έχει πλέον αποδειχθεί σχεδόν ως κανόνας μετά από πρόσφατους σεισμούς (π.χ. της Πάρνηθας), σε αντίθεση με παλαιότερες εμπειρίες (π.χ. Θεσσαλονίκης), ενώ εκτιμάται ότι θα διέπει και στο μέλλον, ενόψει των συνεχώς αυξανόμενων διαφοροποιήσεων μεταξύ σύγχρονων απαιτήσεων και παλιών αντιλήψεων και διατάξεων για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων.

Έτσι, όπως προτείνεται και στα επόμενα, υπάρχει άμεση ανάγκη για αξιολόγηση και βαθμονόμηση των δύο εναλλακτικών προτάσεων που κατατίθενται στον ΟΑΣΠ στα πλαίσια του έργου αυτής της ΟΜ.

## 5. Απολογισμός, επιτυχία

Σκοπός του υπόψη έργου (βλ. και παρ. 3) δεν ήταν η παραγωγή νέας ή και πρωτότυπης επιστημονικής γνώσης αλλά η σύνθεση των διαθέσιμων στοιχείων και ο συνδυασμός τους με την εμπειρία των Μελών της ΟΜ, έτσι ώστε να συνταχθούν πρακτικές – τεχνικές Οδηγίες.

Ο βαθμός εμπειρισμού (ή – έστω - ημιεμπειρισμού) είναι εκ των πραγμάτων υψηλός, αλλά σαφώς αποδεκτός, δεδομένου ότι ακόμη και διεθνώς τα σχετικά προβλήματα δεν έχουν αντιμετωπισθεί επαρκώς (ουσιαστικώς δεν έχουν βρεθεί λύσεις για γρήγορη αλλά αξιόπιστη αποτίμηση των δεικτών βλάβης και ορθολογική λήψη σχετικών αποφάσεων). Έτσι, ο απολογισμός και ο βαθμός επιτυχίας του έργου κρίνονται ικανοποιητικοί, λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των αβεβαιοτήτων και την διεθνή «σιγή» επί του θέματος.

Όπως προτείνεται από την ΟΜ (βλ. και παρ. 7), και έχει ήδη συζητηθεί κατ' επανάληψη με τον Σύνδεσμο αλλά και τον Πρόεδρο του ΟΑΣΠ, η βαθμονόμηση των πρακτικών Οδηγιών μέσω ελέγχου φακέλων πραγματικών περιπτώσεων ( π.χ. σεισμόπληκτων κτιρίων από τον σεισμό της Πάρνηθας) θα προσφέρει ουσιαστική αξιολόγηση και εκτίμηση του σχετικού βαθμού επιτυχούς προβλέψεως όσον αφορά την σύσχετιση του δομικού και του οικονομικού δείκτη βλάβης. Στο διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ της περάτωσης των εργασιών της ΟΜ και της σύνταξης της λεπτομερούς έκθεσης που ακολουθεί, μέλη της ΟΜ (Κάππος – Λεκίδης) προχώρησαν σε μια πρώτη προσπάθεια τέτοιας βαθμονόμησης, στα πλαίσια της δουλειάς ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ. Τα πρώτα αποτελέσματα της προσπάθειας βαθμονόμησης περιλαμβάνονται στη λεπτομερή έκθεση και πιστεύεται ότι αποτελούν πολύτιμο υλικό που πρέπει να αξιοποιηθεί (μαζί με ό,τι μεταγενέστερο προκύψει) για τη διαμόρφωση της τελικής διαδικασίας που θα εφαρμόζεται για τον υπολογισμό των αποζημιώσεων σε ιδιοκτήτες κτιρίων που έχουν ασφαλισθεί έναντι σεισμού.

## 6. Συμπεράσματα, χρησιμότητα

Όπως παρουσιάζεται στην Έκθεση – Μελέτη, η ΟΜ κατέληξε σε δύο εναλλακτικές (και, σ' έναν βαθμό συμπληρωματικές) προτάσεις για τη σχετικώς γρήγορη εκτίμηση του κόστους αποκαταστάσεως σεισμόπληκτων κτιρίων.

Η πρώτη (συνοπτικές διαδικασίες) θα μπορούσε να εφαρμοσθεί σχεδόν αμέσως, με μικρές ίσως συμπληρώσεις και επεξηγήσεις, ενώ η δεύτερη (λεπτομερείς διαδικασίες) μπορεί να εφαρμοσθεί μετά από πρόσθετη προετοιμασία (π.χ. σύνταξη ειδικών πινάκων και παραδειγμάτων).

Και οι δύο προτάσεις είναι απαραίτητο συμπλήρωμα του ΣΝ περί ΟΑΦΚ, και θα μπορούσαν να υιοθετηθούν π.χ. η πρώτη για την αρχική – ευρείας κλίμακας διαλογή και διαβάθμιση («κοσκίνισμα» - screening) του συνόλου των περιπτώσεων μετά από ισχυρό σεισμό και η δεύτερη για τον «έλεγχο» ιδιαίτερων περιπτώσεων ή μετά από ενστάσεις.

Έτσι, η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων του παρόντος έργου είναι προφανής, προς πλήρη (σχεδόν) ικανοποίηση του αρχικού στόχου. Εδώ, πρέπει να επισημανθεί πως οι προτάσεις της παρούσας ΟΜ όσον αφορά τους δείκτες βλάβης (δομικό και οικονομικό) μπορούν να εφαρμοσθούν, βεβαίως μετά τη βαθμονόμηση που προτείνεται στην επόμενη παράγραφο, ανεξαρτήτως της τύχης και της εφαρμογής ή μη του ΣΝ περί ΟΑΦΚ.

Όπως φαίνεται, η «λογική» του δείκτη βλάβης μπορεί να προσφέρει, παρά τον αναπόφευκτο εμπειρισμό, σημαντικό βαθμό εξορθολογισμού των κατά ΥΑΣ / ΥΠΕΧΩΔΕ διαδικασιών αποκατάστασης των σεισμόπληκτων κτιρίων καθώς και γρήγορες εκτιμήσεις (σε συνδυασμό με πληροφορίες των Δελτίων Αυτοψιών) για τις συνολικές οικονομικές συνέπειες ενός ισχυρού σεισμού.

## 7. Προτάσεις

Ήδη επισημάνθηκε η αναγκαιότητα για ολοκλήρωση και βαθμονόμηση των προτάσεων της ΟΜ.

Σχετικώς, προτείνεται προς τον ΟΑΣΠ η συνέχιση του έργου της ΟΜ (ως έχει), εμπλουτισμένης π.χ. με δύο (2) Μηχανικούς της ΥΑΣ /ΥΠΕΧΩΔΕ, προς έλεγχο ικανού αριθμού περιπτώσεων σεισμοπλήκτων κτιρίων, π.χ. εντός έξι (6) μηνών.

Δηλαδή, προτείνεται όπως ελεγχθούν περίπου σαράντα (40) φάκελοι σεισμοπλήκτων κτιρίων (σεισμός Πάρνηθας), με επαρκή τεχνικά στοιχεία (σχέδια, εκθέσεις φωτογραφίες κ.λπ.), ως εξής:

- Είκοσι (20) κτίρια με σχετικώς μικρό δείκτη δομικής βλάβης, και
- Από δέκα (10) κτίρια με δείκτη δομικής βλάβης διπλάσιο και τριπλάσιο (περίπου) αυτού της προηγούμενης κατηγορίας.

Έτσι, θα γίνει δυνατή η αξιολόγηση και η βαθμονόμηση των προτεινόμενων διαδικασιών, με προφανή στόχο τη βελτίωση της αξιοπιστίας των προβλέψεων και τη μείωση των ενδεχομένων προβλημάτων κατά την λειτουργία του ΟΑΦΚ.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Μετά από κάθε ισχυρό σεισμό κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, με πρόσφατο παράδειγμα αυτό του σεισμού της Πάρνηθας, η Πολιτεία αντιμετωπίζει, εκτός άλλων, και το μείζον πρόβλημα της οικονομικής κάλυψης μεγάλου τμήματος (αν όχι του συνόλου) του κόστους των εργασιών αποκατάστασης, κυρίως επισκευής αλλά και ενίσχυσης, των σεισμόπληκτων κτιρίων.

Το πρόβλημα γίνεται ακόμη οξύτερο γιατί μέσα σε μικρό, σχετικώς, χρονικό διάστημα και υπό συνθήκες «πίεσεως» με πολλές συνιστώσες πρέπει να αντιμετωπισθούν χιλιάδες ή και δεκάδες χιλιάδων περιπτώσεων, κάθε είδους, και μάλιστα με κριτήρια εκ των πραγμάτων όχι αυστηρώς τεχνικά ή τεχνοοικονομικά, αλλά και κοινωνικά, πολιτικά κ.λπ.

Έτσι, και για λόγους εξορθολογισμού και αντικειμενικότητας (στο μέτρο του εφικτού), έχουν ήδη υιοθετηθεί και καθιερωθεί σχετικές διαδικασίες για την αποτίμηση και τον χαρακτηρισμό των βλαβών, για τη σύνταξη των μελετών επισκευής / ενίσχυσης, για την εκτίμηση του κόστους των εργασιών και για την έκδοση των σχετικών αδειών (μέσω της ΥΑΣ / ΓΓΔΕ / ΥΠΕΧΩΔΕ).

Ομολογουμένως, όμως, οι σχετικές διαδικασίες για τα σεισμόπληκτα κτίρια είναι αρκετά γραφειοκρατικές και χρονοβόρες, ενώ οι διαφωνίες και οι προστριβές μεταξύ ιδιοκτητών και ιδιωτών Μηχανικών, απ' τη μία και Πολιτείας, απ' την άλλη (που αντιπροσωπεύεται, κυρίως, απ' τους ελέγχοντες Μηχανικούς της ΥΑΣ), είναι και συχνές και έντονες, ακόμη και για κατ' εξοχήν τεχνικά θέματα ουσίας, με αποτέλεσμα όχι μόνο τις πρόσθετες καθυστερήσεις (και την ταλαιπωρία όλων, με πλήθος δευτερογενών δυσμενών συνεπειών) αλλά και την τελικώς μη εύστοχη αντιμετώπιση αρκετών, αν όχι πολλών, περιπτώσεων.

Προσφάτως, η Πολιτεία αποφάσισε να προχωρήσει σε «υποχρεωτική» ασφάλιση (είτε μέσω του ΟΑΦΚ, βλ. αμέσως μετά, είτε μέσω ιδιωτικών ασφαλιστικών επιχειρήσεων) όλων των κτιρίων έναντι φυσικών καταστροφών, όπως οι σεισμοί και οι πλημμύρες, οι θύελλες και οι κεραυνοί, οι κατολισθήσεις, οι δασικές πυρκαγιές κ.λπ.

Έτσι, συντάχθηκε λεπτομερές Σχέδιο Νόμου για τη «Σύσταση Οργανισμού Ασφάλισης έναντι Φυσικών Καταστροφών (ΟΑΦΚ)», καθώς και η συνοδευτική Αιτιολογική και Εισηγητική Έκθεση, που καλύπτει τις σχετικές διαδικασίες ασφάλισης, αποτίμησης των ζημιών και καταβολής του ασφαλισματος κ.λπ.

Ο ΟΑΦΚ είναι ΝΠΙΔ, μορφής ΑΕ, με πλήρη διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια, με μόνο μέτοχο το Ελληνικό Δημόσιο, και σκοπό «την άσκηση ασφάλισης για τη στεγαστική αποκατάσταση των φυσικών και νομικών προσώπων σε περίπτωση μερικής ή ολικής καταστροφής των ασφαλισθέντων ακινήτων τους» λόγω φυσικών καταστροφών.

Στα πλαίσια ιδρύσεως και λειτουργίας του ΟΑΦΚ, αλλά και ανεξαρτήτως αυτού, ο ΟΑΣΠ / ΥΠΕΧΩΔΕ αποφάσισε να συνδράμει με την εκπόνηση μελέτης για τη «Σύνταξη Οδηγιών και Ειδικού Δελτίου για την Εκτίμηση του Δείκτη Βλάβης των Σεισμόπληκτων Κτιρίων».

Έτσι, με βάση την Απόφαση 3 / Ιαν. 2001 του ΔΣ του ΟΑΣΠ (και σχετικές επιμέρους Συμβάσεις), ανατέθηκε σε Ομάδα Μελέτης (ΟΜ) το υπόψη έργο, με υποχρέωση υποβολής της τελικής εκθέσεως πριν το τέλος του 2001 (μετά από εύλογη παράταση).

Η σχετική Ομάδα Μελέτης (ΟΜ) ήταν πενταμελής, ενώ υπήρχε και Σύνδεσμος με την αντίστοιχη ΟΜ για την ανασύνταξη των Δελτίων Αυτοψιών (Ι. Βλάχος).

Τα Μέλη της ΟΜ καθώς και οι πραγματοποιηθείσες συνολικώς δέκα (10) συναντήσεις / συνεδριάσεις παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Στη Συνοπτική Έκθεση (βλ. στην αρχή) γίνεται αναφορά για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την ολοκλήρωση του έργου καθώς και για τις τελικές προτάσεις περί δύο διαδικασιών εκτιμήσεως του δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης ( $D_i$  και  $C_i$ , αντιστοίχως), μιας συνοπτικής και μιας λεπτομερούς (αναλυτικής), όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.

## 1.2 Σύνθεση και λειτουργία Ομάδας Μελέτης

Σύμφωνα με την Απόφαση 3 / Ιαν. 2001 του ΔΣ του ΟΑΣΠ και τις σχετικές Συμβάσεις, η σύνθεση της παρούσας ΟΜ ήταν η εξής (με αλφαβητική σειρά):

- Δρίτσος Στέφανος, Πολ. Μηχ.,  
Αν. Καθηγ. Παν. Πατρών
- Θεοδωράκης Σταύρος, Πολ. Μηχ.,  
Μέλος του ΔΣ του ΟΑΣΠ
- Κάππος Ανδρέας, Πολ. Μηχ.,  
Καθηγ. Παν. Θεσ/νίκης
- Λεκίδης Βασίλης, Πολ. Μηχ.,  
Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ, και
- Χρονόπουλος Μιλτιάδης, Πολ. Μηχ, Συντονιστής της ΟΜ,  
Επιστ. Συν/της ΕΩΣ/ΕΜΠ.

Σύνδεσμος μεταξύ αυτής της ΟΜ και της ΟΜ για την ανασύνταξη των Δελτίων Αυτοψιών για μετασεισμικό έλεγχο σεισμόπληκτων κτιρίων ήταν ο Βλάχος Ιωάννης, Πολ. Μηχ., Μέλος του ΔΣ του ΟΑΣΠ.

Για την εκπλήρωση των σκοπών της ΟΜ πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω συναντήσεις:

- **Στην Αθήνα :** 05/04/01, 31/05/01, 15/06/01, 25/07/01, 24/09/01 και 10/10/01  
(ατύπως και στις 30/10/01/ και 20/06/02).
- **Στη Θεσσαλονίκη :** 06/05/01 (ατύπως και στις 30/11/01).



### 1.3 Συνοπτική αναφορά σε σχετικές διατάξεις του ΣΝ του ΟΑΦΚ

- Η ασφάλιση είναι «υποχρεωτική» για τον φέροντα οργανισμό και τα λοιπά κοινόκτητα και κοινόχρηστα μέρη του κτιρίου ((π.χ. κλιμακοστάσια και ανελκυστήρες, όψεις κ.λπ.). Για πολυκατοικίες και άλλα κτίρια με διηρημένους λειτουργικώς αυτοτελείς χώρους / ιδιοκτησίες, οι επιμέρους ιδιοκτήτες μπορούν να ασφαλισθούν (επιπροσθέτως) και έναντι βλαβών επιμέρους δομητικών (αλλά μη φερόντων) και οικοδομικών στοιχείων, επιμέρους δικτύων και εγκαταστάσεων κ.λπ.

Σχετικώς, βλ. και την επόμενη ενότητα (1.4) για τις συνιστώσες του κόστους αποκατάστασης σεισμόπληκτων κτιρίων.

- Η συμβατική αξία ασφάλισης (ΣΑΑ) προσδιορίζεται με βάση την εξής σχέση:

$$(\Sigma\text{ΑΑ}) = (\text{Ε}) \times (\text{ΜΚΚ}) \times (\Sigma\text{Χ}) \times (\Sigma\text{Π})$$

όπου:

Ε είναι η επιφάνεια του ακινήτου, χωρίς όριο για τα κοινόκτητα και κοινόχρηστα μέρη και με όριο τα 130 (+30)m για επιμέρους ιδιοκτησίες

ΜΚΚ είναι το μέσο κόστος κατασκευής, σε €/m<sup>2</sup>

ΣΧ είναι ο συντελεστής χαρακτηρισμού (χρήσεως), αναλόγως της λειτουργίας και του χαρακτήρα του ακινήτου

ΣΠ είναι ο συντελεστής παλαιότητας (γενικώς μειωτικός), αναλόγως της ηλικίας και της γενικής κατάστασης του ακινήτου

Το (ΜΚΚ) και οι συντελεστές (ΣΧ) και (ΣΠ) ορίζονται με Υπουργική Απόφαση μετά από αιτιολογημένη πρόταση του ΔΣ του ΟΑΦΚ.

Το ασφαλιστρο και το ασφάλισμα καθορίζονται με βάση την συμβατική αξία ασφάλισης (ΣΑΑ).

- Μετά από σεισμό, «αυτεπάγγελτα» ή μετά από αίτηση διενεργούνται πρωτοβάθμιοι και δευτεροβάθμιοι έλεγχοι (αυτοψίες).

Σκοπός των *πρωτοβάθμιων ελέγχων* είναι η διαπίστωση τυχόν ύπαρξης κινδύνου και ο γενικός χαρακτηρισμός από άποψη καταλληλότητας προς χρήση (κατάλληλα και ακατάλληλα, ή και επικίνδυνα).

Σκοπός των *δευτεροβάθμιων ελέγχων* είναι ο χαρακτηρισμός των κτιρίων σε μη βλαμμένα και βλαμμένα, και των βλαμμένων σε «επισκευάσιμα» και «μη επισκευάσιμα», ή και επικινδύνως ετοιμόρροπα.

Επιπλέον, για τα «επισκευάσιμα» κτίρια γίνεται από τις Επιτροπές δευτεροβάθμιων ελέγχων (αυτοψιών) και καταγραφή των βλαβών και εκτίμηση του δείκτη βλάβης.

Κατά των επιμέρους αποφάσεων και, κυρίως, της «απόφασης» για τον δείκτη βλάβης (βεβαίως δομικό, αλλά που σχεδόν μονοσήμαντα συνεπάγεται και τον αντίστοιχο οικονομικό, με βάση και τις προτάσεις αυτής της μελέτης –έκθεσης) μπορεί να ασκηθεί προσφυγή (από

τον ασφαλισμένο Ιδιοκτήτη και τον ΟΑΦΚ), που κρίνεται από τριμελή Επιτροπή Μηχανικών (ΥΠΕΧΩΔΕ).

- Το καταβαλλόμενο ασφάλισμα για τα «επισκευάσιμα» κτίρια είναι το γινόμενο της (ΣΑΑ) του ακινήτου επί τον δείκτη βλάβης.

Εφόσον το ασφαλισμένο ακίνητο χαρακτηριστεί «μη επισκευάσιμο» ή επικινδύνως ετοιμόρροπο, δηλ. στις περιπτώσεις κατεδαφιστέων (ή και κατεδαφισμένων ήδη) κτιρίων, καταβάλλεται ολόκληρο το ποσόν της (ΣΑΑ).

Αν ο φέρων οργανισμός και τα λοιπά κοινόκτητα και κοινόχρηστα μέρη του κτιρίου έχουν υποστεί «μη επισκευάσιμες βλάβες», τότε και οι υπόλοιπες επιπροσθέτως ασφαλισμένες διηρημένες ιδιοκτησίες χαρακτηρίζονται «μη επισκευάσιμες».

- Ο καθορισμός του ασφαρίσματος γίνεται από τον ΟΑΦΚ, ενώ κατά την απόφασεως μπορεί να ασκηθεί προσφυγή για ενδεχόμενη αναθεώρηση.
- Η τελική απόφαση (ενδεχομένως μετά από αναθεώρηση) είναι οριστική, αλλά ο ασφαλισμένος μπορεί να προσφύγει στα κατά τόπο αρμόδια Δικαστήρια.

### **Παρατηρήσεις**

1) Το (ΜΚΚ) σε περιπτώσεις διηρημένων ιδιοκτησιών θα πρέπει να καθορίζεται χωριστά για τα κοινόκτητα / κοινόχρηστα μέρη και χωριστά για τα υπόλοιπα στοιχεία των επιμέρους ιδιοκτησιών, με κάποιον αλγόριθμο, γρήγορον αλλά αξιόπιστον.

2) Από τους δύο συντελεστές (ΣΧ και ΣΠ) διαμόρφωσης της (ΣΑΑ), ιδιαίτερη σημασία και βαρύτητα έχει αυτός της παλαιότητας (και όχι αυτός του χαρακτηρισμού, που είναι περισσότερο αντικειμενικός).

Για τον ίδιο περίπου δείκτη βλάβης για τα ίδια κτίρια του αυτού περίπου μεγέθους, το κόστος αποκατάστασης για ένα παλιό κτίριο είναι περίπου ίσο (αν όχι μεγαλύτερο) με το κόστος για ένα νέο κτίριο, χωρίς να αναφερθούν οι περιπτώσεις των διατηρητέων κτιρίων. Επίσης, όσο πιο παλιό είναι ένα κτίριο, τόσο οποιαδήποτε επέμβαση συνεπάγεται και αναπόφευκτη ενίσχυση πέραν από την επισκευή.

Έτσι, απαιτείται προσοχή στην τελική διαμόρφωση των τιμών για τον (ΣΠ) και τον αντίστοιχο- «διορθωμένο» δείκτη βλάβης.

3) Ως ενδείξεις αναφέρονται:

- (ΜΚΚ)  $\approx 600 \text{ € / m}^2$
- Ασφάλιστρο  $\approx 0,15\%$  (ΣΑΑ).

### **1.4 Παρατηρήσεις για το κόστος αποκατάστασης σεισμόπληκτων κτιρίων**

Το κόστος αποκατάστασης ενός σεισμόπληκτου κτιρίου είναι προφανώς γενικευμένο (generalized) και έχει δύο κύριες συνιστώσες, ως εξής:

**(A) Άμεσο κόστος** (υλικές ζημιές, material losses)

- A.1 Αποκατάσταση φερόντων στοιχείων (του «σκελετού»)
- A.2 Αποκατάσταση μη φερόντων στοιχείων (π.χ. τοιχοποιϊών)
- A.3 Αποκατάσταση άλλων οικοδομολογικών στοιχείων, τελειωμάτων, δικτύων κάθε είδους και εγκαταστάσεων
- A.4 Αποκατάσταση εξοπλισμού και μηχανημάτων (stored property), αν υπάρχουν (π.χ. για τα βιοτεχνικά /βιομηχανικά κτίρια), και αν το κόστος αυτό δεν καλύπτεται μέσω άλλων διαδικασιών.

**(B) Έμμεσο κόστος** (indirect costs)

- B.1 Κόστος μετεγκατάστασης και προσωρινής στέγασης, για όσον χρόνο διαρκούν οι εργασίες αποκατάστασης, και αν το κόστος αυτό δεν καλύπτεται μέσω άλλων διαδικασιών
- B.2 Απώλειες εισοδήματος, ακόμη και για συμβατικά κτίρια κατοικιών
- B.3 Απώλειες παραγωγής, αναλόγως και της ειδικής χρήσεως του κτιρίου
- B.4 Κόστος λόγω «δυσλειτουργίας» διαφόρων δραστηριοτήτων κ.λπ.

Η παρούσα μελέτη στα πλαίσια του ΟΑΦΚ, όπως παρουσιάζεται στα επόμενα κεφάλαια αυτής της έκθεσης, αφορά **μόνον** το άμεσο κόστος, και συγκεκριμένα τις συνιστώσες Α.1 έως Α.3, ενώ η συνιστώσα Α.4. (π.χ. για βιοτεχνικά /βιομηχανικά κτίρια, κτίρια γραφείων και επιχειρήσεων με σημαντικό εξοπλισμό, ειδικά κτίρια κ.λπ.) θα καλύπτεται επιπροσθέτως, κατά περίπτωση (π.χ. μέσω ανεξάρτητων ασφαλιστηρίων συμβολαίων ιδιωτικών ασφαλιστικών επιχειρήσεων).

Συνιστώσες του έμμεσου κόστους, που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να διέπουν στην τελική διαμόρφωση του γενικευμένου κόστους, **δεν** λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα μελέτη και στις διαδικασίες αποκατάστασης και αποζημίωσης στα πλαίσια του ΟΑΦΚ.

**1.5 Παρατηρήσεις για το θέμα της επισκευής ή ενίσχυσης**

Ασχέτως του τεχνικού (και οικονομικού) προβλήματος περί του πότε επιτρέπεται επισκευή ή πότε επιβάλλεται ενίσχυση ενός σεισμόπληκτου κτιρίου, καθώς και ασχέτως της πάγιας και βασικής ασφαλιστικής «αρχής» ότι καλύπτεται **μόνον** η αποκατάσταση βλαβών και όχι οποιαδήποτε «θωράκιση» - βελτίωση της συμπεριφοράς και αποκρίσεως των κτιρίων (π.χ. έναντι σεισμού), είναι γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις κάθε επισκευή ενέχει και έναν ορισμένο βαθμό ενίσχυσης, έστω στοιχειώδους και «αναπόφευκτης» και έστω ορισμένων μόνο μηχανικών χαρακτηριστικών (π.χ. της ανθεκτικότητας σε επίπεδο μόνον δομικού στοιχείου).

Έτσι, εκ των πραγμάτων, τα όρια μεταξύ επισκευής και ενίσχυσης (και μάλιστα υπό την ευρύτερη σημασία του όρου) είναι αντικειμενικώς δυσδιάκριτα, για πλήθος τυπικών βλαβών δομικών στοιχείων που σχετίζονται και συνδέονται αμέσως με τυπικές εργασίες επεμβάσεως, άρα και συγκεκριμένο (εν πολλοίς) συνολικό άμεσο κόστος.

Είναι δε αυτονόητο, ότι ακόμη και για τον ίδιο (περίπου) δομικό δείκτη βλάβης, βεβαίως κατ' εξοχήν σε περιπτώσεις μικρών και όχι μεγάλων τιμών, η μετάβαση από λιγότερες και πιο απλές επισκευές σε περισσότερες και πιο σύνθετες ενισχύσεις συνεπάγεται, εκτός άλλων, και επιβάρυνση του κόστους, που μπορεί να προκύπτει σημαντική.

Η κατάσταση αυτή αντανάκλαται και στις ημι-εμπειρικές προτάσεις αυτής της Έκθεσης-Μελέτης. Έτσι, για μικρότερες τιμές του δομικού δείκτη βλάβης (ελαφρές και τοπικές βλάβες), το κόστος επεμβάσεων αφορά κυρίως εργασίες επισκευών, ενώ για μεγαλύτερες τιμές του δομικού δείκτη βλάβης (σοβαρές και γενικές βλάβες) το κόστος επεμβάσεων αφορά εργασίες επισκευών αλλά και αναπόφευκτων ενισχύσεων, βεβαίως με μέτρο.

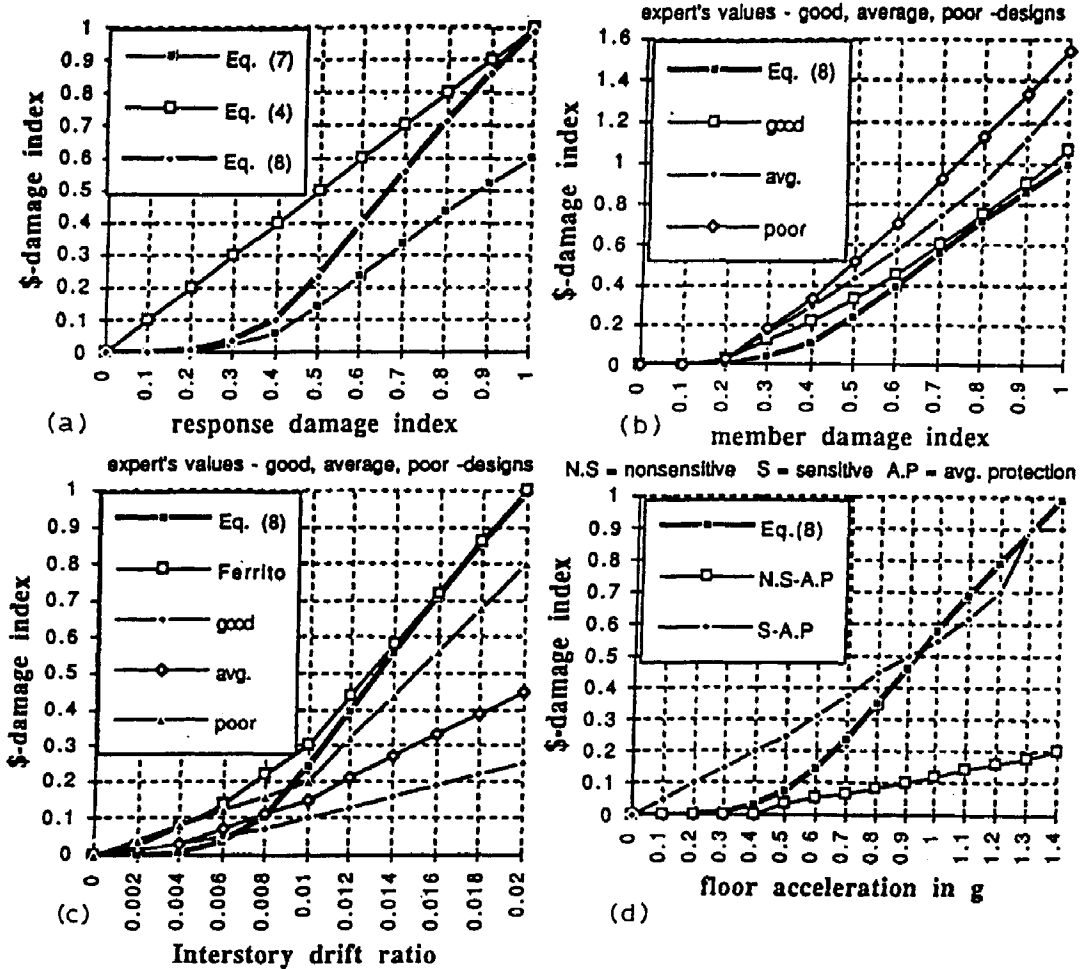
## 2. Η ΛΟΓΙΚΗ, ΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 2.1 Επισκόπηση μελετών πάνω στη σχέση δομικού – οικονομικού δείκτη βλάβης

Ο συνδετικός κρίκος μεταξύ δομικής τρωτότητας και διακινδύνευσης είναι η έκφραση του δομικού δείκτη βλάβης σε όρους απωλειών (δραχμικών, με έμμεση συνεκτίμηση παραγόντων όπως η απώλεια ζωής), ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της διακινδύνευσης για κάθε επιμέρους στοιχείο που εκτίθεται στο σεισμικό κίνδυνο. Ο καθορισμός αυτού του συνδετικού κρίκου αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα βήματα στην αναλυτική εκτίμηση της διακινδύνευσης.

Μια σειρά από διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του αναλυτικά υπολογιζόμενου *δομικού* δείκτη βλάβης σε *οικονομικό* δείκτη βλάβης, δηλ. σε απώλειες, εκφρασμένες είτε απευθείας σε χρήμα ή σε λόγους κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής.

- 1) Στη δυσμενέστερη περίπτωση που δεν διατίθενται καθόλου σχετικά στοιχεία, μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι ο οικονομικός δείκτης βλάβης, δηλ. η απώλεια ( $C$ ), ισούται προς το δομικό δείκτη βλάβης, ήτοι  $C=d$ . Αυτό οδηγεί συνήθως σε υπερεκτίμηση των απωλειών για χαμηλές τιμές του  $d$  και υποεκτίμηση των απωλειών για υψηλές τιμές του  $d$ , δεδομένου ότι το κόστος επισκευής μπορεί να φθάσει το κόστος ανακατασκευής ενώ η κατασκευή δεν έχει ακόμη καταρρεύσει (δηλ.  $C=1$  για  $d<1$ ).
- 2) Για πολλούς τύπους δομικών στοιχείων διατίθενται σήμερα πειραματικά αποτελέσματα από δοκιμές σε μονότονη και σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συσχετισμό του βαθμού βλάβης με τις απώλειες, εφόσον βεβαίως γίνουν οι κατάλληλες παραδοχές. Για παράδειγμα, οι Gunturi & Shah (1992) μετεπεξεργάστηκαν δεδομένα από 403 δοκιμια στοιχεία Ο/Σ που είχαν αρχικά συλλέξει οι Park et al. (1985), κάνοντας τις παραδοχές ότι  $C=0$  όταν η πιθανότητα αστοχίας του δοκιμίου είναι μηδενική και  $C=1$  όταν η πιθανότητα αστοχίας είναι 1, καθώς και ότι η κατανομή της πιθανότητας αστοχίας είναι κανονική λογαριθμική. Με τις παραδοχές αυτές κατέληξαν στην καμπύλη (7) του Σχήματος 2.1(α), η οποία κατόπιν μετατοπίστηκε (λίγο-πολύ αυθαίρετα) προς τα πάνω (καμπύλη (8) του σχήματος) ώστε να προκύψει μια πιο ρεαλιστική σχέση  $d$  και  $C$ . Ακόμη και μετά απ' αυτή την προσαρμογή, η παραδοχή  $C=1$  για  $d=1$  μπορεί να είναι υπερσυντηρητική, όπως ήδη αναφέρθηκε.
- 3) Μια άλλη προσέγγιση βασίζεται στην «έμπειρη γνώση» (expert knowledge), όπου ζητείται από έναν αριθμό ειδικών επί του θέματος να δώσουν, συνήθως με ανεπίσημο τρόπο (συμπλήρωση ερωτηματολογίου ή συνέντευξη), την εκτίμησή τους σχετικά με το πρόβλημα που τους τίθεται, εν προκειμένω τη σχέση μεταξύ δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης. Παραδείγματα εφαρμογής μεθόδων έμπειρης γνώσης στον προσδιορισμό της σχέσης δείκτη βλάβης σε δομικά στοιχεία και σε αρχιτεκτονικά στοιχεία, και απωλειών, δίνονται στα σχήματα 2.1(b) και 2.1(c) (Gunturi & Shah 1992). Οι πολύ χαμηλές τιμές απωλειών που αντιστοιχούν σε τιμές σχετικών βελών ορόφων γύρω στο 2% (Σχ. 2.1c) για αρχιτεκτονικά στοιχεία καλής και μέσης ποιότητας, δεν φαίνονται κατάλληλες για την περίπτωση των τυπικών διαχωριστικών στοιχείων στην Ελλάδα και τη Ν. Ευρώπη, που είναι οι τοίχοι από οπτοπλινθοδομή.

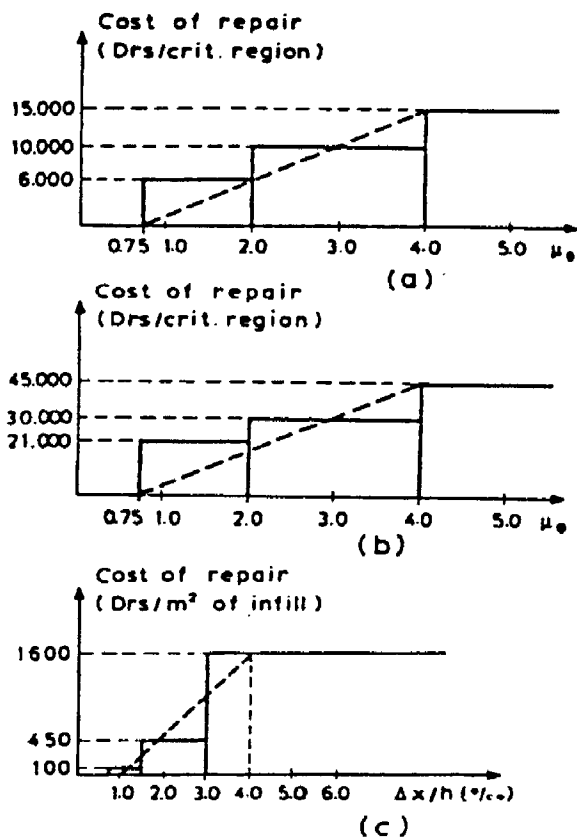


Σχήμα 2.1: Συσχέτιση δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης:

- (a) Γενική σχέση, (b) Βλάβη σε δομικά στοιχεία, (c) Βλάβη σε αρχιτεκτονικά στοιχεία, (d) Βλάβη στο περιεχόμενο του κτιρίου.

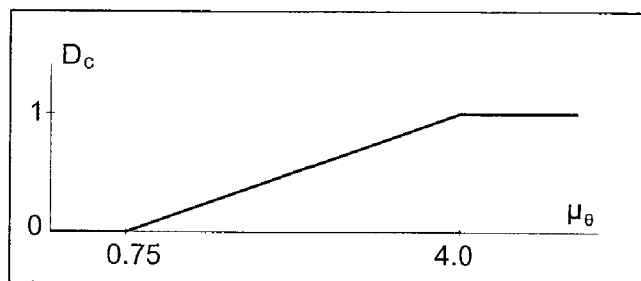
4) Για φέροντα και μη-φέροντα στοιχεία για τα οποία έχουν καθιερωθεί σαφείς διαδικασίες επισκευής στη διάρκεια προηγούμενων σεισμών, η σχέση  $d - C$  μπορεί να προσδιοριστεί αναφορικά με το κόστος κάθε τεχνικής επισκευής ανηγμένο στις διαστάσεις των στοιχείων ή, βολικότερα, στον όγκο της κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση προτάθηκε από την ομάδα του ΑΠΘ (Karros et al. 1991) που χρησιμοποίησε στοιχεία από τις επεμβάσεις σε κτίρια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978) για να αναπτύξει καταρχήν μοντέλα όπως αυτά του Σχήματος 2.2 για τα στοιχεία Ο/Σ και για τις τοιχοπληρώσεις. Οι δραγματικές τιμές του σχήματος αναφέρονται σε δεδομένα 1978 (τότε ισοτιμία: 1\$=36δρχ.). Τα τρία επίπεδα στα δύο πρώτα μοντέλα του σχήματος αντιστοιχούν σε τρεις τυπικές μεθόδους επισκευής στοιχείων Ο/Σ, συγκεκριμένα τη σφράγιση των ρωγμών με εποξειδικές ρητίνες, την τοποθέτηση μεταλλικών ελασμάτων, και το μανδύα Ο/Σ. Οι αντίστοιχες τεχνικές για τις τοιχοπληρώσεις είναι αποκατάσταση του επιχρίσματος, τοποθέτηση συρμάτινου πλέγματος, και ανακατασκευή της τοιχοπλήρωσης. Η γραμμικοποίηση των κλιμακωτής μορφής σχέσεων (βλ. Σχ. 2.2) μειώνει τις αβεβαιότητες που συνδέονται με τον ορισμό των ορίων της παραμέτρου

βλάβης (πλαστιμότητα  $\mu_\theta$  ή σχετικό βέλος  $\Delta x/h$ ) που αντιστοιχούν σε κάθε τεχνική και οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα (Karros et al. 1991).



**Σχήμα 2.2:** Μοντέλα συσχέτισης παραμέτρου βλάβης και κόστους επισκευής ανά τύπο στοιχείου (α) Δοκοί και υποστυλώματα Ο/Σ, (β) τοιχώματα Ο/Σ, (γ) Τοιχοπληρώσεις από οπτοπλινθοδομή.

Σε νεότερη μελέτη της ομάδας του ΑΠΘ (Karros et al. 1998) τα μοντέλα του σχήματος 2.2 εκφράστηκαν σε αδιάστατη μορφή, με τεταγμένη το λόγο του κόστους επισκευής προς το κόστος της ακριβότερης τεχνικής (π.χ. μανδύα Ο/Σ), άρα τιμές μεταξύ 0 και 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.



**Σχήμα 2.3:** Μοντέλο συσχέτισης απαιτούμενης πλαστιμότητας στοιχείου Ο/Σ προς κόστος επισκευής (ανηγμένο ως προς το κόστος του μανδύα).

Ο τελικός συσχετισμός κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής γίνεται στην περίπτωση αυτή με εμπειρικές σχέσεις που βαθμονομήθηκαν βάσει των στατιστικών

στοιχείων από το σεισμό της Θεσσαλονίκης, π.χ. για ψηλά κτίρια Ο/Σ (8-10 ορόφους) η σχέση που προέκυψε για το λόγο κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής ήταν

$$C = 0.30D_c + 0.08D_p \quad (2.1)$$

όπου  $D_c$  ο συνολικός οικονομικός δείκτης βλάβης (ως ποσοστό της ακριβότερης τεχνικής επισκευής) για όλα τα στοιχεία Ο/Σ και  $D_p$  ο αντίστοιχος δείκτης για τις τοιχοπληρώσεις. Επισημαίνεται ότι, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία κόστους για την Ελλάδα, ακόμη και αν οι δείκτες  $D_{cg}$  και  $D_{pg}$  είναι μονάδα (δηλ. επισκευή όλων των στοιχείων Ο/Σ με μανδύα και ανακατασκευή όλων των τοιχοπληρώσεων) το κόστος αποκατάστασης δεν ξεπερνά το 0.38 του κόστους ανακατασκευής, μ' άλλα λόγια η επισκευή, εφόσον είναι εφικτή, έχει πάντα χαμηλότερο κόστος από την ανακατασκευή, εκτός εάν ληφθεί υπόψη η μείωση της αξίας του κτιρίου λόγω παλαιότητας. Το συμπέρασμα αυτό δεν μπορεί προφανώς να γενικευθεί χωρίς περαιτέρω έρευνα.

Κρίσιμο στοιχείο σε σχέση με το αντικείμενο της Ομάδας Μελέτης (ΟΜ) είναι η αναγωγή του προβλήματος στην κλίμακα του (συνόλου του) κτιρίου, εκτός και αν προτιμηθεί η λογική της λεπτομερούς εξέτασης σε επίπεδο κρίσιμου ορόφου, για τα στοιχεία του οποίου θα εφαρμοστούν μοντέλα του τύπου των σχημάτων 2.1-2.3, ενώ για τους λοιπούς ορόφους θα γίνει χονδρική (και συγκριτική ως προς τον κρίσιμο) αποτίμηση του βαθμού βλάβης. Στην κατεύθυνση της λογικής του δείκτη κτιρίου, χρήσιμη είναι η σχέση που προέκυψε με βάση παλιότερα στοιχεία από τον Ελληνικό χώρο (Χρονόπουλος 1984)

$$C = \alpha \cdot D \cdot \beta \quad (2.2)$$

όπου  $D$  ο συνολικός βαθμός βλάβης του κτιρίου,  $\alpha=1$  για νέα κτίρια και 0.75-0.8 για παλιά, ενώ  $\beta=1.5-2.0$  για νέα κτίρια και 2.0-2.5 για παλιά. Σημειώνεται ότι για  $\beta=2$ , το κόστος ανακατασκευής γίνεται μονάδα όταν  $D=0.5$  για νέα κτίρια και όταν  $D=0.67$  για παλιά. Εξάλλου, χρήσιμα στοιχεία για το συσχετισμό του κόστους επισκευής με το χαρακτηρισμό του βαθμού βλάβης όπως αυτός γίνεται στα δελτία αυτοψίας (6 βαθμοί συνολικά, B1 ως B6) προέκυψαν από το σεισμό του Αιγίου (Καρέλα κ.ά. 1999).

Ο συνολικός βαθμός βλάβης  $D$  του κτιρίου μπορεί να εκτιμηθεί με σειρά διαφορετικών προσεγγίσεων. Στην ιδανικότερη περίπτωση που διατίθενται οι δείκτες βλάβης  $d_i$  για όλα τα στοιχεία του κτιρίου, ο συνολικός δείκτης δίνεται από τη σχέση

$$D = \sum_i \lambda_i d_i \quad (2.3)$$

όπου ο συντελεστής βαρύτητας  $\lambda_i$  για κάθε στοιχείο μπορεί να υπολογιστεί με βάση το ποσοστό της ενέργειας που αποσβένει (Park et al. 1985), το ποσοστό του συνολικού αξονικού φορτίου που φέρει (για κατακόρυφα στοιχεία), ή ακόμη και με βάση την (ανηγμένη) διατομή του.

Σημαντικά προβλήματα που πρέπει να επισημανθούν είναι:

- Η ενγένει ανεπαρκής βαθμονόμηση, κυρίως των συνολικών δεικτών  $D$
- Η μεγάλη διασπορά και η ενίοτε μη-ομαλή μορφή της καμπύλης συσχέτισης C-d (ή C-D)
- Η ποικιλία των δομικών δεικτών που έχουν χρησιμοποιηθεί (για τους δείκτες βλάβης του δελτίου δευτεροβάθμιας αυτοψίας δεν υπάρχει, ουσιαστικά, βαθμονόμηση).



Στο Παράρτημα I της παρούσας Έκθεσης – Μελέτης περιλαμβάνονται τα κυριότερα διαθέσιμα άρθρα, οι μελέτες, έρευνες κλπ. σχετικά με το πρόβλημα της συσχέτισης δομικού – οικονομικού δείκτη βλάβης.

## 2.2 Γενικές αρχές που υιοθετήθηκαν στα πλαίσια των εργασιών της ΟΜ

Καταρχήν, οι σχετικοί με το μελετώμενο πρόβλημα όροι που υιοθετήθηκαν (βλ. και §4 Συνοπτικής Έκθεσης) είναι οι εξής:

- **Δομικός δείκτης βλάβης  $D_i$**  (structural damage index) που εκφράζεται σε όρους απομείωσης αντίστασης (π.χ. αντοχής), ή σε όρους σχετικής μετακίνησης (σχετικά βέλη ορόφων), ή και σε όρους απόσβεσης (κατανάλωσης) ενέργειας
- **Οικονομικός δείκτης βλάβης  $C_i$**  (cost index, loss index) που σχετίζεται με την αντίστοιχη προς τον  $D_i$  απώλεια (οικονομική ζημιά) και εκφράζεται σε όρους κόστους αποκατάστασης (ανηγμένο π.χ. ως προς το κόστος καθαίρεσης και ανακατασκευής).

Προφανώς οι δείκτες  $D_i$  και  $C_i$  μπορεί να εκτιμηθούν για κάθε στοιχείο χωριστά, ή για έναν όροφο, ή και για ένα κτίριο ως σύνολο. Στα πλαίσια εφαρμογής των διαδικασιών του ΟΑΦΚ το κατ' εξοχήν ζητούμενο δεν είναι ο αυστηρός και ακριβής προσδιορισμός του δομικού δείκτη βλάβης, αλλά η «μετάβαση» από το δείκτη  $D_i$  στο δείκτη  $C_i$  για ένα κτίριο (ως σύνολο), με συνοπτικές (κατά το δυνατόν) αλλά ορθολογικές διαδικασίες και εκτιμήσεις, π.χ. βάσει μιας απλής σχέσης του τύπου

$$C_i \approx \kappa \cdot D_i \quad (2.4)$$

όπου  $\kappa$  δεν είναι απαραίτητα ένας σταθερός συντελεστής, αλλά μπορεί να είναι και μια συνάρτηση της μορφής που φαίνεται π.χ. στο σχήμα 2.1.

Για τον πρακτικό προσδιορισμό της σχέσης (2.4) κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ως αφετηρία ένας δομικός δείκτης βλάβης που να είναι σχετικά εύκολο να βαθμονομηθεί με βάση ελληνικά δεδομένα. Ως τέτοιος επελέγη η «απώλεια φέρουσας ικανότητας» ( $\alpha$ ) που εισάγεται στο παράρτημα της απόφασης του ΥΠΕΧΩΔΕ του Δεκ. 2000 («Γροποποίηση και συμπλήρωση της ΥΑ 5172/ΑΖ5β/18.10.99») που εφαρμόστηκε (σ' ένα βαθμό) για τις δευτεροβάθμιες αυτοψίες μετά το σεισμό της Πάρνηθας. Πράγματι, αναφορικά με το δείκτη βλάβης παρατηρείται ότι, για μεμονωμένα δομικά στοιχεία ο τυπικός βαθμός βλάβης (η «παθολογική εικόνα») συσχετίζεται αρκετά αξιόπιστα με την απώλεια φέρουσας ικανότητας (ή και με την αντίστοιχη απομένουσα φέρουσα ικανότητα  $\varphi = 1 - \alpha$ ). Επομένως και ο δείκτης βλάβης (σε όρους απώλειας αντίστασης/αντοχής) συνδέεται με το κόστος αποκατάστασης, ήτοι με το κόστος αναβάθμισης της φέρουσας ικανότητας στα προ του σεισμού (και της βλάβης) επίπεδα.

Εξάλλου, και διεθνώς το άμεσο κόστος αποκατάστασης φερόντων στοιχείων (του «σκελετού») – βλ. και κόστος Α.1 της Σημείωσης 2 στο Κεφ. 1 – συσχετίζεται με την απομείωση αντοχής (strength degradation), ενώ το υπόλοιπο άμεσο κτιριακό κόστος – βλ. συνιστώσες Α.2 και Α.3 της ίδιας Σημείωσης 2 – συσχετίζεται μάλλον με τις σχετικές μετακινήσεις ορόφων (interstorey drifts). Βεβαίως, και η απομείωση αντοχής κατά την ανακύκλιση εξαρτάται από το μέγεθος των επιβαλλόμενων μετακινήσεων.

Με βάση τα ανωτέρω, η προαναφερθείσα ΥΑ του Δεκ. 2000 μπορεί να χρησιμοποιηθεί (με κατάλληλες συμπληρώσεις ή και τροποποιήσεις) για την εκτίμηση του δομικού δείκτη βλάβης. Στα Παραρτήματα II και III της παρούσας Έκθεσης – Μελέτης δίνονται προτάσεις για βελτιώσεις – τροποποιήσεις τόσο της ΥΑ όσο και των Δελτίων Αυτοψίας, για λόγους απλούστευσης των διαδικασιών, αντικειμενικότητας (στο μέτρο του εφικτού) και εξορθολογισμού των δευτεροβάθμιων αυτοψιών είτε στα πλαίσια λειτουργίας του ΟΑΦΚ, είτε και ανεξάρτητα αυτού.

Αναφορικά με τον οικονομικό δείκτη βλάβης ( $C_i$ ), η εκτίμησή του είναι αρκετά δύσκολη και υποκειμένη σε περισσότερες αβεβαιότητες, κυρίως για μικρότερες τιμές του δομικού δείκτη βλάβης, που όμως μπορεί να αφορά μεγάλο ποσοστό κτιρίων (εκατοντάδες ή και χιλιάδες, κατά περίπτωση) που παρουσιάζουν λίγες και ελαφρές βλάβες στο σκελετό (βλάβες «τοπικού χαρακτήρα»). Οι πηγές των αβεβαιοτήτων στη μετάβαση από τον  $D_i$  στον  $C_i$  (παραβάλε και Σχ. 2.1 ως 2.3) είναι αρκετές και σχετίζονται με το πλήθος των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο πρόβλημα, αφορούν δε κυρίως στις εκτιμήσεις του κόστους και της στρατηγικής αποκατάστασης και λιγότερο στην εκτίμηση του βαθμού βλάβης.

### 2.3 Βιβλιογραφικές παραπομπές

- Gunturi, S.K.V. and H.C. Shah 1992. Building Specific Damage Estimation. *Proceedings of 10th World Conf. on Earthq. Engng.* (July 1992, Madrid, Spain) Balkema, Rotterdam, Vol. 10, 6001-6006.
- Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and 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., and Pitilakis, K., 1998. Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment. *Natural Hazards*, **17**(2): 177-192.
- Park, Y-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K. (1985) “Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings”, *J. Str. Eng.*, ASCE, V. 111, No. 4, pp. 740-757.
- Park, Y-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K. (1987) “Damage-limiting aseismic design of buildings”, *Earthquake Spectra*, V. 3, No. 1, 1-25.
- Καρέλα, Ν.Π., Δρίτσος, Σ.Η. κ.ά. (1999) Μετασεισμικές επεμβάσεις αποκατάστασης κτιρίων στην πόλη του Αιγίου, *13ο Ελλ. Συνέδριο Σκυροδέματος*, Ρέθυμνο, Οκτ. 1998, τ. Ι, σελ. 508-517.
- Χρονόπουλος, Μ.Π. (1984), “Βλάβες και κόστος επεμβάσεων”, *Πρακτ. Συνεδ. Σεισμοί και Κατασκευές* (Αθήνα), 459-469.

### 3. ΟΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στα πλαίσια του προβληματισμού που αναπτύχθηκε στην §2.2, η ΟΜ κατέληξε σε σειρά διαφορετικών προτάσεων που προσεγγίζουν από (εν μέρει) διαφορετική σκοπιά το πρόβλημα της συσχέτισης των δεικτών  $D_i$  και  $C_i$ . Για τους λόγους που αναφέρθηκαν ήδη στην §6 της Συνοπτικής Έκθεσης και με δεδομένο ότι η βαθμονόμηση των προτεινόμενων διαδικασιών είναι ακόμη εν εξελίξει (δεν συμπεριλαμβανόταν, άλλωστε, στο συμβατικό αντικείμενο της παρούσας μελέτης), κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν στην έκθεση και οι δύο εναλλακτικές προτάσεις που προέκυψαν από τις εργασίες της ΟΜ. Επισημαίνεται ότι η βασική διαφορά στις δύο προτάσεις – διαδικασίες έγκειται κυρίως στο κατά πόσο ο έλεγχος θα περιορισθεί στον κρίσιμο όροφο, ή θα επεκταθεί και στους λοιπούς ορόφους.

#### 3.1 Συνοπτικές διαδικασίες

##### *Γενικές αρχές*

Σκοπός της «συνοπτικής διαδικασίας» είναι η κατά το δυνατό ταχεία και τυποποιημένη, αναπόφευκτα προσεγγιστική, αλλά ορθολογική και με κοινά βασικά κριτήρια προεκτίμηση του κόστους αποκατάστασης σεισμοπλήκτων κτιρίων (κυρίως των ασφαλισμένων) ως ποσοστό του κόστους ανακατασκευής τους. Η προεκτίμηση αυτή θα γίνεται από τριμελείς επιτροπές (επανελέγχου), με τουλάχιστο έναν πολιτικό μηχανικό στη σύνθεσή τους. Τα αποτελέσματα της προεκτίμησης θα συνοψίζονται σε κατάλληλα, τυποποιημένα, έντυπα (βλ. Παράρτημα II).

Στα πλαίσια λειτουργίας του ΟΑΦΚ, βασικός στόχος (αλλά και κριτήριο επιτυχίας) 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 (οπότε θα δημιουργούσε προβλήματα στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ασφάλισης). Σε κάθε περίπτωση, οι ιδιοκτήτες των κτιρίων θα μπορούν να υποβάλουν ένσταση σχετικά με την προεκτίμηση του κόστους αποκατάστασης μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

Στα πλαίσια της προτεινόμενης διαδικασίας αντιμετωπίζονται τόσο κτίρια με φέροντα οργανισμό από *οπλισμένο σκυρόδεμα* (ΟΣ), όσο και κτίρια από *φέρουσα τοιχοποιία* (ΦΤ). Οι σπάνιες περιπτώσεις των κτιρίων με φέροντα οργανισμό από χάλυβα ή ξύλο αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση από τις τριμελείς επιτροπές, οπότε κατευθείαν γίνεται εκτίμηση του κόστους αποκατάστασης. Είναι σκόπιμη (αλλά έξω από το συμβατικό αντικείμενο της παρούσας μελέτης) η συγγραφή σχετικού Βοηθήματος γι' αυτούς τους τύπους κτιρίων.

Βασική έννοια που υπεισέρχεται στη συνοπτική διαδικασία είναι εκείνη του *κρίσιμου ορόφου*, δηλ. αυτού που παρουσιάζει τις περισσότερες και μεγαλύτερες βλάβες (έκταση+ένταση), άρα και τον υψηλότερο δείκτη βλάβης. Στην έννοια του ορόφου δεν περιλαμβάνονται (για τους σκοπούς της προτεινόμενης διαδικασίας) τα δώματα, περιλαμβάνονται όμως τα υπόγεια. Επίσης η θεμελίωση θεωρείται ως αυτοτελής όροφος.

Στα πλαίσια της προτεινόμενης διαδικασίας ο δείκτης βλάβης  $D$  ορίζεται ως συνάρτηση των δεικτών απώλειας φέρουσας ικανότητας  $a$  (βλ. §2.2), οι οποίοι υπολογίζονται με τις διαδικασίες των δευτεροβάθμιων αυτοψιών (βλ. και Παράρτημα II). Διακρίνονται οι παρακάτω μορφές του δείκτη βλάβης:

$D_{op}$  : δείκτης βλάβης ορόφου ( $D_{κρορ}$  είναι ο δείκτης βλάβης του κρίσιμου ορόφου)

$D_{κτ}$  : δείκτης βλάβης κτιρίου (ως σύνολου)

$D_{Σ}$  : δείκτης βλάβης σκελετού (περιλαμβάνει και τα κοινόκτητα διαχωριστικά)

$D_{Δ}$  : δείκτης βλάβης διαχωριστικών στοιχείων (όχι των κοινόχρηστων/κοινόκτητων)

Ο οικονομικός δείκτης βλάβης (ή δείκτης απωλειών)  $C$ , που ορίστηκε στο Κεφ. 2, εκτιμάται ως συνάρτηση του (δομικού) δείκτη βλάβης  $D$ , όπως περιγράφεται παρακάτω. Σημειώνεται ότι στην προτεινόμενη διαδικασία γίνεται διάκριση των κτιρίων με βλάβες

- στο σκελετό ή και τα κοινόχρηστα/κοινόκτητα διαχωριστικά, περίπτωση στην οποία αποζημιώνεται το σύνολο των συνιδιοκτητών
- μόνο στα διαχωριστικά στοιχεία, οπότε αποζημιώνονται μόνο οι ιδιοκτήτες των διαμερισμάτων όπου εμφανίστηκαν οι βλάβες.

#### *Κτίρια με βλάβες στο σκελετό*

Όπως προαναφέρθηκε, στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και τα κτίρια με βλάβες στα διαχωριστικά, όταν (κάποια από) αυτά είναι κοινόχρηστα/κοινόκτητα.

Ο κρίσιμος όροφος ταυτίζεται, κατά κανόνα, με το ισόγειο ή με το ημιυπόγειο. Σε σπάνιες περιπτώσεις, όπως αυτές όπου υπάρχουν σημαντικές ασυνέχειες καθ' ύψος (π.χ. λόγω προγενέστερων επεμβάσεων) ή σημαντικές μη-κανονικότητες (π.χ. προσκρούσεις ανισόσταθμων ορόφων), μπορεί ο κρίσιμος όροφος να βρίσκεται πάνω από το ισόγειο.

Η εκτίμηση του δείκτη βλάβης του κρίσιμου ορόφου ( $D_{κρορ}$ ) γίνεται με βάση τους δείκτες απώλειας φέρουσας ικανότητας  $\alpha_i$  (της ΥΑ Δεκ. 1999) από τη σχέση

$$D_{κρορ} \cong \sum_{i=1}^n \beta_i \alpha_i / \sum \beta_i \quad (3.1)$$

όπου στο άθροισμα των  $\alpha_i$  περιλαμβάνονται, για λόγους απλούστερης διαδικασίας, οι δείκτες των *κατακόρυφων* στοιχείων (μόνο), συνολικού αριθμού  $n$ , ενώ οι συντελεστές βαρύτητας (στάθμισης)  $\beta_i$  μπορεί να ληφθούν είτε ως τα κατακόρυφα φορτία  $N_i$  των αντίστοιχων στοιχείων (υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων), είτε (επί το απλούστερο) τα αντίστοιχα εμβαδά διατομών  $A_i$ . Στη σχέση (3.1) δεν περιλαμβάνονται οι τοιχοπληρώσεις των κτιρίων ΟΣ, εκτός εάν οι βλάβες περιορίζονται μόνο στις τοιχοπληρώσεις, οπότε οι αντίστοιχοι δείκτες  $\alpha_i$  σταθμίζονται με βάση τα μήκη των τοιχοπληρώσεων ή και, απλούστερα, τον αριθμό τους.

Για κτίρια από ΦΤ εφαρμόζονται κατ' αντιστοιχία όσα προαναφέρθηκαν, ενώ για τον υπολογισμό των  $\alpha_i$  λαμβάνεται υπόψη το Κεφ. Γ του Παραρτήματος της ΥΑ του 2000.

Η λογική της σχέσης (3.1) είναι να δώσει με τον απλούστερο δυνατό τρόπο μια εκτίμηση του βαθμού βλάβης που έχει υποστεί η κατασκευή, και είναι προφανές ότι δεν έχουν συνεκτιμηθεί όλες οι παράμετροι που καθορίζουν το βαθμό βλάβης ενός κτιρίου, με κυριότερη παράλειψη τη συνεκτίμηση των οριζοντίων στοιχείων (δοκών, πλακών).

Η συσχέτιση του δείκτη  $D_{κρορ}$  με το δείκτη απωλειών ( $C$ ) του κτιρίου (που ορίστηκε ήδη στην §2.2 ως ο λόγος του κόστους αποκατάστασης προς το κόστος καθαίρεσης και ανακατασκευής) μπορεί να γίνει με βάση τη σχέση

$$C \cong f(\kappa D_{\text{κρορ}}) \quad (3.2)$$

όπου  $\kappa$  είναι ένας συντελεστής αναγωγής του δείκτη βλάβης του κρίσιμου ορόφου σε δείκτη βλάβης του κτιρίου ( $D_{\text{κτ}}$ ). Με βάση το σκεπτικό ότι η βλάβη μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον κρίσιμο όροφο, αλλά, ταυτόχρονα, οι επεμβάσεις που γίνονται στον κρίσιμο όροφο συνεχίζονται ενγένη και στο υπόγειο (εφόσον υπάρχει), αλλά και στη θεμελίωση, ο συντελεστής αναγωγής  $\kappa$  προτείνεται να υπολογίζεται ως το άθροισμα  $\Sigma \kappa_i$ , όπου

$\kappa_i = 1$ , για τον κρίσιμο όροφο, τη θεμελίωση, και το υπόγειο (εφόσον υπάρχει)

$\kappa_i = 2/3$ , για τον πρώτο όροφο πάνω από τον κρίσιμο

$\kappa_i = 1/3$ , για το δεύτερο όροφο πάνω από τον κρίσιμο

Έτσι, π.χ. για ένα πενταώροφο κτίριο με υπόγειο που καλύπτει το 50% της κάτοψής του, με κρίσιμο όροφο το ισόγειο, ο δείκτης

$$\kappa = (1 \times 1 + 0.5 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 2/3 + 1 \times 1/3 + 3 \times 0) / 7.5 = 0.54$$

Εναλλακτικά, αντί των προηγούμενων τιμών των  $\kappa_i$  πέραν του κρίσιμου ορόφου, ο Μηχανικός μπορεί να τις εκτιμά κατά την κρίση του με βάση μια εξωτερική επισκόπηση του κτιρίου, από την οποία θα προκύπτει η συγκριτική εικόνα βλάβης των περιμετρικών στοιχείων σε σχέση με αυτά του κρίσιμου ορόφου. Εάν, πέραν των περιμετρικών, γίνει εκτίμηση του βαθμού βλάβης και σε εσωτερικά στοιχεία, τότε μεταπίπτουμε στη «λεπτομερή» διαδικασία της επόμενης ενότητας (§3.2).

Η συνάρτηση  $f(D_{\text{κτ}})$  της σχέσης (3.2) έχει ενγένη τη μορφή του Σχήματος 2.1 (Κεφ. 2), αλλά η κατάλληλη προσαρμογή της αφενός στα ελληνικά δεδομένα και αφετέρου στη μορφή της συσχέτισης που εισάγεται με την παρούσα πρόταση (όπου το  $D_{\text{κρορ}}$  έχει προκύψει συναρτήσει των δεικτών  $a_i$  των κατακόρυφων στοιχείων) απαιτεί συστηματική βαθμονόμηση. Η ΟΜ συζήτησε επανειλημμένα και διεξοδικά το ζήτημα της συνάρτησης αυτής, χωρίς να μπορεί να καταλήξει σε κάποια ομόφωνη τελική πρόταση, δεδομένης της έλλειψης βαθμονόμησης. Ένα σημείο στο οποίο υπήρξε κάποια σύγκλιση είναι ότι ο δείκτης  $C$  λαμβάνει την τιμή 1 (δηλ. το κόστος αποκατάστασης είναι ίσο προς το κόστος καθαίρεσης και ανακατασκευής) για τιμές του  $D_{\text{κτ}}$  μικρότερες της μονάδας (περίπου για  $D_{\text{κτ}} \cong 2/3$ ), ήτοι η επέμβαση καθίσταται ασύμφωρη όταν οι βλάβες είναι τόσο σημαντικές, ώστε να απαιτούν επισκευές με το προαναφερθέν κόστος. Επίσης, φάνηκε από τις σχετικές εκτενείς συζητήσεις ότι ενώ για μικρούς βαθμούς βλάβης μπορεί να υιοθετείται η σχέση (2.1) που προέκυψε με βάση στοιχεία από το σεισμό της Θεσσαλονίκης του 1978 (Kappos et al. 1998), για υψηλότερους βαθμούς βλάβης (π.χ. άνω του 0.3) θα πρέπει να αυξάνεται η κλίση της ευθείας που ορίζεται από τη σχέση (2.1), ώστε να προκύπτει  $C=1$  για  $D_{\text{κτ}} \cong 2/3$ . Η χρήση λογαριθμικών συναρτήσεων της μορφής που φαίνεται στο Σχήμα 2.1 είναι θεωρητικά προτιμότερη, αλλά πρακτικά λιγότερο ευχερής.

Με βάση τους προηγούμενους προβληματισμούς και με δεδομένη την κρισιμότητα της αξιόπιστης συσχέτισης  $C$  και  $D_{\text{κτ}}$ , η ΟΜ θεώρησε απαραίτητη μια προκαταρκτική τουλάχιστο βαθμονόμηση της προαναφερθείσας σχέσης πριν την υποβολή της τελικής έκθεσής της. Με δεδομένο ότι τέτοια βαθμονόμηση δεν περιλαμβανόταν στο συμβατικό αντικείμενο της ΟΜ, έγινε προσπάθεια να αξιοποιηθεί η δουλειά ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ που συστήθηκε (την άνοιξη του 2002) με πρωτοβουλία και συμμετοχή των εκ των μελών της παρούσας ΟΜ Α. Κάππου και Β. Λεκίδη. Μια συνοπτική παρουσίαση των μέχρι σήμερα (Δεκ. 2002) αποτελεσμάτων της ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ δίνεται στην §3.3 του παρόντος κεφαλαίου.

*Κτίρια με βλάβες μόνο σε ιδιότητα διαχωριστικά*

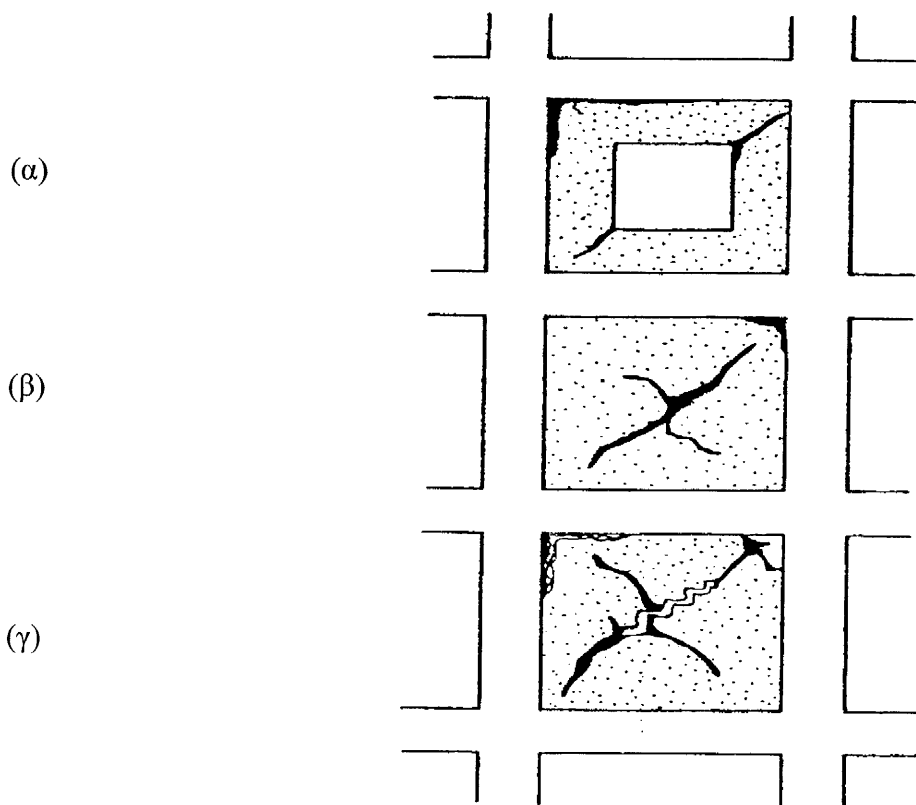
Στην περίπτωση αυτή κρίνεται σκόπιμη, για περιορισμό και των σοβαρών αποκλίσεων άλλων προσεγγίσεων, η καταγραφή όλων των τοιχοπληρώσεων που παρουσίασαν βλάβες και η απευθείας εκτίμηση του κόστους αποκατάστασής τους.

Δεδομένου ότι στο Παράρτημα της ΥΑ του 2000 δεν καλύπτονται οι τοιχοπληρώσεις, προτείνεται εδώ η εξής προσέγγιση στο θέμα της εκτίμηση του βαθμού βλάβης και του αντίστοιχου τύπου αποκατάστασης.

*Ελαφρές βλάβες (Σχ. 3.1α):* Απλή ρηγμάτωση, με άνοιγμα ρωγμών μικρότερο του 1 mm, κυρίως στις γωνίες των κουφωμάτων, αποκολλήσεις – αποσυνδέσεις οργανισμού πληρώσεως και σκελετού. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται *επισκευή* (το κόστος αποζημίωσης προσδιορίζεται ανά μέτρο μήκους τοιχοπλήρωσης).

*Σοβαρές βλάβες (Σχ. 3.1β):* Έντονη ρηγμάτωση, ρωγμές διαγώνιες ή και χιαστί, με άνοιγμα ρωγμών μέχρι περίπου 5 mm, αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας, βλάβη των διαζωμάτων, σοβαρές βλάβες στα διακοσμητικά στοιχεία και στις εγκαταστάσεις. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται επίσης *επισκευή* (αλλά το κόστος αποζημίωσης προσδιορίζεται ανά τετραγωνικό μέτρο τοιχοπλήρωσης).

*Βαρείες βλάβες (Σχ. 3.1γ):* Θλιπτοδιατμητική θραύση, μεγάλες (της τάξεως του 1 cm) και ανοικτές ρωγμές διαγώνιες ή χιαστί, θραύση πλίνθων. Επίσης, θραύση διαζωμάτων, αποσχίσεις, σοβαρές βλάβες στα διακοσμητικά στοιχεία και στις εγκαταστάσεις. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται επίσης *ανακατασκευή* (το κόστος αποζημίωσης προσδιορίζεται ανά τετραγωνικό μέτρο τοιχοπλήρωσης).



Σχ. 3.1 Τυπικοί βαθμοί βλάβης στον οργανισμό πληρώσεως

### 3.2 Λεπτομερείς διαδικασίες

Τα βασικά στοιχεία της λεπτομερούς προσέγγισης είναι:

- Ο έλεγχος γίνεται ανά στάθμη (όροφο)
- Υπάρχει κρίσιμος όροφος
- Προτείνονται δύο διαδικασίες εκτίμησης τους κόστους\*
  - Διαδικασία Α για ορόφους με μικρές βλάβες
  - Διαδικασία Β για ορόφους με μεγάλες βλάβες
- Μικρές βλάβες είναι:
  - Σε μη φέροντα στοιχεία : κάθε τύπου βλάβη (τοιχοποιίες)
  - Σε δοκούς και πλάκες : κάθε τύπου βλάβη
  - Σε υποστυλώματα, τοιχώματα: βλάβες τύπου Α ή Β\*\* που μπορεί να θεωρηθεί  $\delta_{\beta_i} \leq 0.30$ \*\*\*
  - Σε κόμβους: βλάβες τύπου Γ\*\*
- Μεγάλες βλάβες είναι αν υπάρχει έστω και ένα κατακόρυφο στοιχείο με  $\delta_{\beta} > 0.30$  ή υπάρχει κόμβος με βλάβη τύπου Δ και στο σύνολο του ορόφου  $\delta_{\beta,ορ} > 0.1$   
Ορίζεται ως  $\delta_{\beta,β,ορ}$  ο δείκτης  $\delta_{\beta,ορ}$  που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο τις βαριές βλάβες.
- Για μεγάλες βλάβες το κόστος που προκύπτει από εφαρμογή της διαδικασίας Β δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το αντίστοιχο με εφαρμογή της διαδικασίας Α.

Για την εκτίμηση του  $\delta_{\beta}$  αγνοείται η ηλικία και η ποιότητα της κατασκευής επομένως\*\* λαμβάνεται:

EIKONA ΒΛΑΒΗΣ	$\delta_{\beta}$
A	0.05
B	0.25
Γ	0.55
Δ	0.85
E	1.0

#### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ Α

##### Βλάβες σε Τοιχοποιίες

\* Προσπαθούμε δηλ. να διαχωρίσουμε (χωρίς αυτό να αναφέρεται) τις δύο περιπτώσεις  
Επισκευή → Διαδικασία Α  
Ενίσχυση → Διαδικασία Β

\*\*κατά την Υπουργική Απόφαση

\*\*\*  $\delta_{\beta} = \alpha$  της Υπουργικής Απόφασης

- Ελαφρές βλάβες (τύπος ΑΒ)  
Αποκόλληση από το περιβάλλον πλαίσιο  $c_i = 0.5$
- Βαρειές βλάβες (τύπος ΓΔ)  
Ρηγματώσεις εντός του σώματος της τοιχοποιίας  
 $c_i = 1.0$

$$\text{Ορίζεται } C_T = \frac{\sum c_i}{n}$$

$n = \text{πλήθος τοίχων}$

### Βλάβες στον Φέροντα Οργανισμό (Φ.Ο.)

- Σε δοκούς  $c_i = 0.3$  για ελαφρές βλάβες (ρηγματώσεις ή αποφλειώσεις) – τύπος Α  
 $c_i = 0.6$  για μέτριες βλάβες (ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις) - τύπος Β  
 $c_i = 1.0$  βαρειές βλάβες (αποδιοργάνωση σκυροδέματος ή/και λυγισμός ράβδων Οπλισμού) – τύπος ΓΔ
- Σε Υποστρωμ.-Τοιχωμ.  $c_i = 0.3$  βλάβες τύπου Α.  
 $c_i = 1.0$  « « Β (ή μεγαλύτερες κατά τη διαδικασία Β)
- Σε κόμβους  $c_i = 1.0$  « « Γ (ή μεγαλύτερες κατά τη διαδικασία Β)

$$\text{Ορίζεται } C_{\phi.o.} = \frac{\sum C_i}{n_{o\lambda}}$$

$n_{o\lambda} = n_{\nu} + n_{\delta} = \text{πλήθος κατακορύφων μελών και δοκών}$

$$\text{τελικά } C = \mu_T \cdot C_T + \mu_{\phi.o.} \cdot C_{\phi.o.}$$

όπου

$$\mu_T = \text{μερίδιο κόστους τοιχοποιίας + σοβα + εγκατ. ως προς το κόστους κατασκευής νέου κτιρίου} = 0.10 \div 0.25$$

(μικρές τιμές  $\mu_T$  ( $\rightarrow 0.10$ ) αν υπάρχουν και βλάβες στον φ.ο., διαφορετικά  $\mu_T \rightarrow 0.25$ )

$$\mu_{\phi.o.} = \text{μερίδιο κόστους φ.ο. + σοβα+εγκατ. ως προς το κόστος κατασκευής νέου κτιρίου} = 0.65 \div 0.80$$

(μικρές τιμές  $\mu_{\phi.o.}$  ( $\rightarrow 0.65$ ) αν υπάρχουν και βλάβες στις τοιχοποιίες).

$$\mu_T + \mu_{\phi.o.} \approx 0.90$$



**ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ Β**

Η σχέση είναι διαφορετική από τις μέχρι τώρα προτάσεις γιατί αφορά βαριές βλάβες για έναν όροφο → ενίσχυση

$$\text{Εάν } 0.1 < \delta_{\beta, \text{ορ.}} \leq 0.35 \quad C_{\text{ορ.}} = 0.35 + 0.5 \delta_{\beta, \text{ορ.}}$$

και  $\delta_{\beta, \beta, \text{ορ.}} \leq 0.16$

$$\text{Εάν } \delta_{\beta, \text{ορ.}} > 0.35$$

ή  $\delta_{\beta, \beta, \text{ορ.}} > 0.16 \quad C_{\text{ορ.}} = 1.5 \delta_{\beta, \text{ορ.}} \geq 0.55$

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΟΡΟΦΟΥ**

	n **	A	B	Γ	Δ
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ					
ΔΙΑΤΜΗΤ. ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ					
ΚΟΜΒΟΙ	-	-	-		
ΔΟΚΟΙ				ΓΔ:	
ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ		ΑΒ :		ΓΔ :	

**Δείκτης κόστους κτιρίου**

- Το κόστος για το σύνολο του κτιρίου προκύπτει από το άθροισμα του κόστους κάθε στάθμης.
- Αν σε μία στάθμη (όροφο) j ενός κτιρίου εφαρμόζεται η διαδικασία Β
  - (α) Για τους ορόφους (i) τους κατώτερους αυτού, j  
ισχύει  $C_{i < j} \geq C_{j(B)}$
  - (β) Για τον αμέσως ανώτερο όροφο j+1  
ισχύει  $C_{j+1} \geq 1/2 C_{j(B)}$
  - (γ) Για την θεμελίωση  $C_{\ominus} = 0.7 C_{\text{κρισ. οροφ.}}$
  - (δ) Για το Υπόγειο  $C_{\Upsilon\pi.} = 0.5 C_{\text{κρισ. οροφ.}}$
  - (ε) Στην pilotis λαμβάνεται μειωτικός συντελεστής ίσος προς 0.6

Παραδείγματα εφαρμογής των προτεινόμενων διαδικασιών δίνονται παρακάτω.

\*\* n = πλήθος στοιχείων (οι κόμβοι δεν καταμετρώνται)

1° ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ  
Υπολογισμός  $C_{\text{ορόφου}}$

	$n^*$	A	B	Γ	Δ
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	10	2	1	0	0
ΔΙΑΤΜΗΤ. ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	1	0	0	0
ΚΟΜΒΟΙ	-	-	-	3	0
ΔΟΚΟΙ	16	8	1	ΓΔ:	2
ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ	16	ΑΒ :	4	ΓΔ :	8

Στα κατακόρυφα στοιχεία (η max βλάβη είναι τύπος Β)

$$\max \delta_{\beta_i} = 0.25 < 0.30$$

Στους κόμβους δεν υπάρχουν βλάβες τύπου Δ

Επομένως εφαρμόζεται η διαδικασία Α

$$\delta_{\beta, \text{ορ.}} = \frac{3 \times 0.05 + 1 \times 0.25 + 3 \times 0.55}{13} = 0.158 > 0.1$$

έστω και αν  $\delta_{\beta} > 0.1$  δεν εφαρμόζεται η διαδικασία Β επειδή  $\max \delta_{\beta_i} < 0.30$

$$C_T = \frac{4 \times 0.5 + 8}{16} = 0.625$$

$$C_{\phi, \text{ο.}} = \frac{(3 \times 0.3) + (1 \times 1) + 3 + 8 \times 0.3 + 1 \times 0.6 + 2}{10 + 3 + 16} = \frac{9,6}{29} = 0.34$$

$$\mu_T = 0.25 - 0.34 \times 0.15 = 0.20$$

$$\mu_{\phi, \text{ο.}} = 0.80 - 0.625 \times 0.15 = 0.70$$

$$C = 0.20 \times 0.625 + 0.70 \times 0.34 = 0.125 + 0.238 = 0.363$$

\*  $n$  = πλήθος στοιχείων (οι κόμβοι δεν καταμετρώνται)

**2° ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ**  
Υπολογισμός  $C_{\text{ορόφου}}$

	$n^*$	A	B	Γ	Δ
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	10	0	1	2	0
ΔΙΑΤΜΗΤ. ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	3	0	0	1	0
ΚΟΜΒΟΙ	-	-	-	3	0
ΔΟΚΟΙ	16	8	1	ΓΔ: 2	
ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ	16	ΑΒ: 4		ΓΔ: 8	

Τα δεδομένα είναι ίδια με το πρώτο παράδειγμα αλλά τα 2 υποστυλώματα και το 1 τοίχωμα που προηγουμένως είχαν εικόνα βλάβης Α τώρα είναι Γ.

Στα κατακόρυφα στοιχεία

$$\max \delta_{\beta_i} = 0.45 > 0.30$$

$$\delta_{\beta, \text{ορ.}} = \frac{1 \times 0.25 + 6 \times 0.55}{13} = 0.273 > 0.1$$

→ Διαδικασία Β

$$C_{(B)} = 0.35 + 0.273 \times 0.5 = 0.487$$

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η διαδικασία Α

$$C_T = 0.625$$

$$C_{\text{φ.ο.}} = \frac{1 + 2 + 1 + 3 + 8 \times 0.3 + 1 \times 0.6 + 2}{29} = \frac{12}{29} = 0.41$$

$$\mu_T = 0.25 - 0.41 \times 0.15 = 0.19$$

$$\mu_{\text{φ.ο.}} = 0.80 - 0.625 \times 0.15 = 0.70$$

$$C_{(A)} = 0.19 \times 0.625 + 0.70 \times 0.41 = 0.119 + 0.287 = 0.406 < C_{(B)} = 0.487$$

Επομένως

$$C = \max (C_{(A)}, C_{(B)}) = 0.487$$

**3° Παράδειγμα**

Υπολογισμός  $C_{\text{κτ.}}$  και Κόστους επέμβασης

	E(m <sup>2</sup> )	C		
		A	B	Τελικό
2°	80	0.1		0.1
1°	100	0.34		0.36 (0.5 × 0.52 > 0.34)
Ισογ.	100	0.40	0.52	0.52
Υπ.	[100]			0.26 (0.5 × 0.52)
Θ	[100]			0.364 (0.7 × 0.52)
Εμβαδόν* κτιρίου	280			

- $n$  = πλήθος στοιχείων (οι κόμβοι δεν καταμετρώνται)

$$\text{Κόστος Επέμβασης} = (0.1 \times 80 + 0.36 \times 100 + 0.52 \times 100 + 0.26 \times 100 + 0.364 \times 100) \times 200.000 = 31.680.000 \text{ δρχ.}$$

ή

υπολογίζεται ο δείκτης  $C_{\text{κτ.}}$ 

$$C_{\text{κτ.}} = \frac{0.1 \times 80 + 0.36 \times 100 + 0.52 \times 100 + 0.26 \times 100 + 0.364 \times 100}{280} = \frac{8 + 36 + 52 + 26 + 36.4}{280} = 0.566$$

Επομένως

$$\text{Κόστος Επέμβασης} = 0.566 \times 280 \times 200.000 = 31.680.000 \text{ δρχ.}$$

#### 4<sup>ο</sup> Παράδειγμα

Υπολογισμός  $C_{\text{κτ.}}$  και Κόστους επέμβασης

	E(m <sup>2</sup> )	C		
		A	B	Τελικό
2 <sup>ος</sup>	80	0.10		0.10
1 <sup>ος</sup>	100	0.36		0.36
Ισογ.	100	0.40		0.40
Υπ.	[100]	-		-
Θ	[100]	-		-
Εμβαδόν* κτιρίου	280			

$$C_{\text{κτ.}} = \frac{0.1 \times 80 + 0.36 \times 100 + 0.40 \times 100}{280} = \frac{8 + 36 + 40}{280} = \frac{84}{280} = 0,3$$

$$\text{Κόστος Επέμβασης} = 0,3 \times 280 \times 200.000 = 16.800.000 \text{ δρχ.}$$

\* τίθεται το άθροισμα του εμβαδού του ορόφου για να συμφωνεί με την Υπουργική Απόφαση. Πάντως το συνολικό κόστος της επέμβασης στο κτίριο, είναι ανεξάρτητο από την τιμή που θα χρησιμοποιηθεί.

### 3.3 Προκαταρκτική βαθμονόμηση της συσχέτισης D – C

Μια προκαταρκτική βαθμονόμηση της κρίσιμης συνάρτησης  $C=f(D)$  έγινε, όπως προαναφέρθηκε, με βάση τα πρώτα αποτελέσματα της δουλειάς ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ που συστήθηκε (την άνοιξη του 2002) με πρωτοβουλία και συμμετοχή των εκ των μελών της παρούσας ΟΜ Α. Κάππου και Β. Λεκίδη. Κύριος στόχος της δουλειάς αυτής ήταν να συλλεγούν από τους φακέλους επισκευών ενός κατάλληλου αριθμού κτιρίων που πλήγηκαν από το σεισμό της Πάρνηθας (1999), αφενός μεν ο χαρακτηρισμός των βλαβών από τη δευτεροβάθμια επιτροπή και αφετέρου το ύψος του προϋπολογισμού της επισκευής. Με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων αυτών μπορεί να προκύψει ένα απλό μοντέλο συσχέτισης δομικής βλάβης και αντίστοιχης οικονομικής απώλειας (δαπάνης επισκευής). Λήφθηκαν στοιχεία από 216 φακέλους επισκευών, 116 από το ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και 100 από το ΤΑΣ Αχαρνών, που αφορούσαν κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα. 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.

Από την επιτόπου εξέταση των φακέλων προέκυψε ότι (δυστυχώς) μικρό μόνο τμήμα (περίπου 10% του συνόλου) περιλάμβανε έντυπα δευτεροβάθμιας αυτοψίας κατά την ΥΑ του 2000, πιθανώς λόγω και της καθυστερημένης έκδοσης της Απόφασης (σε σχέση με το χρόνο έναρξης εκπόνησης μελετών επισκευών), αλλά και διότι για κάτι τέτοιο δεν υπήρχε νομική υποχρέωση. Έτσι, για το μεγαλύτερο μέρος των φακέλων (περίπου το 90%) που εξετάστηκαν η εκτίμηση των δεικτών  $\alpha$  ή  $\varphi$  (βλ. §2.2) για τα κατακόρυφα στοιχεία έγινε από μέλη της ΟΕ του ΤΕΕ (τους Πολ. Μήχ. Θ. Σαλονικιό, Κ. Αντωνιάδη και Η. Παρασκευόπουλο) με βάση το φωτογραφικό και λοιπό υλικό τεκμηρίωσης των βλαβών που βρέθηκε στους φακέλους (και ενγένηι ήταν επαρκές). Η γενική εικόνα από την εξέταση των φακέλων ήταν ότι υπήρχε μια τάση (εντονότερη στην περίπτωση του Μενιδίου) υπερεκτίμησης του βαθμού βλάβης από τους μηχανικούς που είχαν συντάξει τις μελέτες επισκευών. Περισσότερα στοιχεία για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από την ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ δίνονται σε δημοσίευση των μελών της (στο 14<sup>ο</sup> ΕΣΣ) που περιλαμβάνεται και στο Παράρτημα της παρούσας έκθεσης.

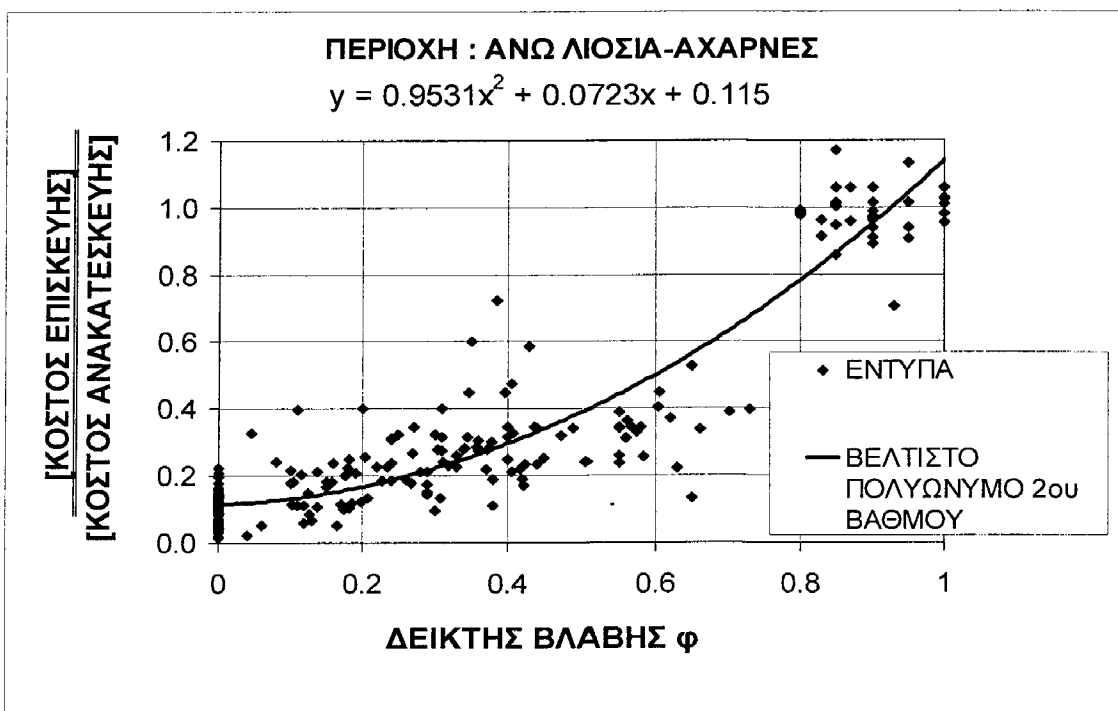
Η παρουσίαση της σχέσης  $C = f(D_{\text{κροφ}})$ , που αποτελεί και τη βάση της «συνοπτικής» μεθοδολογίας, πρέπει να γίνει με κατάλληλη αναγωγή του κόστους της επέμβασης σε επιφάνεια κτιρίου. Οι δυνατές επιλογές είναι:

- αναγωγή στο εμβαδό του κρίσιμου ορόφου
- αναγωγή στο άθροισμα όλων των εμβαδών ορόφων με βλάβες
- αναγωγή στο άθροισμα όλων των εμβαδών ορόφων με βλάβες, αλλά σταθμισμένων ανάλογα με την έκταση των επεμβάσεων σε κάθε όροφο.

Στο Σχ. 3.2 δίνονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης του  $\varphi \equiv D_{\text{κροφ}}$  με το κόστος επέμβασης, ανηγμένο σύμφωνα με τη δεύτερη επιλογή (που θεωρείται και η πλέον κατάλληλη για πρακτική εφαρμογή), δηλ. 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).

Επισημαίνεται ότι η αναγωγή αυτή είναι κοντά στη φιλοσοφία της «συνοπτικής» μεθοδολογίας της §3.1, μόνο που αντί των ενιαίων εμπειρικών συντελεστών που υπεισέρχονται στο  $\kappa$  (ανάλογα με τη θέση ενός ορόφου ως προς τον κρίσιμο), στο Σχ. 3.2 η στάθμιση έγινε με βάση τους ορόφους που όντως παρουσίασαν βλάβη σε κάθε κτίριο (και επισημάνθηκαν από τα μέλη της ΟΕ με βάση τα στοιχεία των φακέλων). Αυτό κρίθηκε απαραίτητο στην παρούσα αρχική φάση, ώστε να απομονωθεί η αβεβαιότητα της συσχέτισης κόστους επέμβασης με βαθμό (δομικής) βλάβης από την αβεβαιότητα της συσχέτισης δείκτη βλάβης κρίσιμου ορόφου με δείκτη βλάβης υπολοίπων ορόφων. Πάντως, τουλάχιστο για τα κτίρια που εξετάστηκαν, οι επισκευές αφορούσαν κυρίως τον κατώτερο όροφο (ισόγειο) και σπανίως τον αμέσως επόμενο (οπότε και ο τύπος της επισκευής ήταν πρακτικά ο ίδιος και στους δύο ορόφους), άρα ο τρόπος αναγωγής ήταν αρκετά σαφής.

Ως τεταγμένη στο Σχ. 3.2 λαμβάνεται η οικονομική απώλεια ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας διαιρεμένη με το μέσο συμβατικό κόστος ανακατασκευής ανά μονάδα επιφανείας. 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.) ανά  $m^2$ .



**Σχήμα 3.2:** Συσχέτιση δείκτη βλάβης κρίσιμου ορόφου ( $\phi$ ) με κόστος επέμβασης (δεδομένα από Άνω Λίοσια και Μενίδι)

Από τα δεδομένα του Σχ. 3.2 (που περιλαμβάνουν και τις 216 περιπτώσεις που εξετάστηκαν) προκύπτει ότι, κατ' αρχήν, η διασπορά είναι αρκετά μεγάλη, όπως άλλωστε αναμενόταν. Το πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού του σχήματος είναι μία από τις καλύτερες καμπύλες συσχέτισης που δοκιμάστηκαν (βλ. τις υπόλοιπες στο Παράρτημα), αλλά έχει το πρακτικό πρόβλημα ότι για  $\phi=0$  δίνει κόστος  $>0$ . Η καμπύλη της σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (που επίσης δοκιμάστηκε) αρχίζει από μηδενικό κόστος (όπως πρέπει), αλλά η προσαρμογή της στα διαθέσιμα στοιχεία κόστους δεν είναι τόσο καλή όσο εκείνη των πολυωνύμων 2<sup>ου</sup> ή 3<sup>ου</sup> βαθμού. Μπορεί, προφανώς, να εξεταστούν και άλλες εναλλακτικές λύσεις (π.χ. δύο

ευθείες, μία για κάθε περιοχή διακύμανσης του  $\varphi$ ), αλλά το κυριότερο είναι να εμπλουτισθούν τα στοιχεία κόστους (απωλειών) από κτίρια του ελληνικού χώρου.

Επίσης, είναι απολύτως απαραίτητη η περαιτέρω βαθμονόμηση της διαδικασίας, που πρέπει να περιλαμβάνει και το δεύτερο στάδιο της συσχέτισης δείκτη βλάβης κρίσιμου ορόφου με το δείκτη βλάβης υπολοίπων ορόφων.

### 3.4 Βιβλιογραφικές παραπομπές

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

Κάππος, Α.Ι., Λεκίδης, Β.Α., Σαλονικιός, Θ.Ν., Αντωνιάδης, Κ.Κ. και Παρασκευόπουλος, Η.Α., “Συσχέτιση της Δομικής Βλάβης Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Οικονομικές Απώλειες: Βαθμονόμηση βάσει δεδομένων από το σεισμό της Αθήνας (7-9-1999)”, *14ο Ελλ. Συνέδριο Σκυροδέματος*, Κως, Οκτ. 2003.

Καρέλα, Ν.Π., Δρίτσος, Σ.Η. κ.ά. (1999) Μετασεισμικές επεμβάσεις αποκατάστασης κτιρίων στην πόλη του Αιγίου, *13ο Ελλ. Συνέδριο Σκυροδέματος*, Ρέθυμνο, Οκτ. 1998, τ. Ι, σελ. 508-517.

ΥΠΕΧΩΔΕ – ΥΑΣ (2000) Τροποποίηση και συμπλήρωση της ΥΑ 5172/ΑΖ5β/18.10.99, Αθήνα, Δεκ. 2000.

Χρονόπουλος, Μ.Π. (1984), “Βλάβες και κόστος επεμβάσεων”, *Πρακτ. Συνεδ. Σεισμοί και Κατασκευές* (Αθήνα), 459-469.

## 4. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ

### 4.1 Απολογισμός έργου – ανοιχτά θέματα

Σκοπός του εκτελεσθέντος έργου ήταν η σύνθεση των διαθέσιμων στοιχείων σχετικά με τη συσχέτιση του βαθμού βλάβης με το κόστος επεμβάσεων και ο συνδυασμός τους με την εμπειρία των Μελών της ΟΜ, έτσι ώστε να συνταχθούν πρακτικές – τεχνικές Οδηγίες. Ο βαθμός εμπειρισμού στις προσεγγίσεις που ακολουθήθηκαν ήταν εκ των πραγμάτων υψηλός, αλλά σαφώς αποδεκτός, δεδομένου ότι ακόμη και διεθνώς τα σχετικά προβλήματα δεν έχουν αντιμετωπισθεί επαρκώς (ουσιαστικώς δεν έχουν βρεθεί λύσεις για γρήγορη αλλά αξιόπιστη αποτίμηση των δεικτών βλάβης, ούτε για ορθολογική λήψη των αποφάσεων σχετικά με τις επεμβάσεις). Έτσι, ο απολογισμός και ο βαθμός επιτυχίας του έργου κρίνονται ικανοποιητικοί, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την πολυπλοκότητα του προβλήματος, όσο και το πλήθος των αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται σ' αυτό.

Όπως προτείνεται από την ΟΜ και έχει ήδη συζητηθεί κατ' επανάληψη με τον Σύνδεσμο αλλά και τον Πρόεδρο του ΟΑΣΠ, η βαθμονόμηση των πρακτικών Οδηγιών μέσω ελέγχου φακέλων πραγματικών περιπτώσεων (σεισμόπληκτων κτιρίων από τον σεισμό της Πάρνηθας) θα προσφέρει ουσιαστική αξιολόγηση και εκτίμηση του σχετικού βαθμού επιτυχούς προβλέψεως όσον αφορά την συσχέτιση του δομικού και του οικονομικού δείκτη βλάβης. Στο διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ της περάτωσης των εργασιών της ΟΜ και της σύνταξης της λεπτομερούς έκθεσης που ακολουθεί, μέλη της ΟΜ (Κάππος – Λεκίδης) προχώρησαν σε μια πρώτη προσπάθεια τέτοιας βαθμονόμησης, στα πλαίσια της δουλειάς ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ. Τα πρώτα αποτελέσματα της προσπάθειας βαθμονόμησης περιλήφθηκαν στην παρούσα έκθεση και πιστεύεται ότι αποτελούν πολύτιμο υλικό που πρέπει να αξιοποιηθεί (μαζί με ό,τι μεταγενέστερο προκύψει) για τη διαμόρφωση της τελικής διαδικασίας που θα εφαρμόζεται για τον υπολογισμό των αποζημιώσεων σε ιδιοκτήτες κτιρίων που έχουν ασφαλισθεί έναντι σεισμού.

### 4.2 Συμπεράσματα, αξιοποίηση

Όπως παρουσιάζεται στην Έκθεση – Μελέτη, η ΟΜ κατέληξε σε δύο εναλλακτικές (και, σ' έναν βαθμό συμπληρωματικές) προτάσεις για τη σχετικώς γρήγορη εκτίμηση του κόστους αποκαταστάσεως σεισμόπληκτων κτιρίων.

Η πρώτη (συνοπτικές διαδικασίες) θα μπορούσε να εφαρμοσθεί σχεδόν αμέσως, με μικρές ίσως συμπληρώσεις και επεξηγήσεις, ενώ η δεύτερη (λεπτομερείς διαδικασίες) μπορεί να εφαρμοσθεί μετά από πρόσθετη προετοιμασία (π.χ. σύνταξη ειδικών πινάκων και παραδειγμάτων).

Και οι δύο προτάσεις είναι απαραίτητο συμπλήρωμα του ΣΝ περί ΟΑΦΚ, και θα μπορούσαν να υιοθετηθούν π.χ. η πρώτη για την αρχική – ευρείας κλίμακας διαλογή και διαβάθμιση («κοσκίνισμα» - screening) του συνόλου των περιπτώσεων μετά από ισχυρό σεισμό και η δεύτερη για τον «έλεγχο» ιδιαιτέρων περιπτώσεων ή μετά από ενστάσεις.

Έτσι, η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων του παρόντος έργου είναι προφανής, προς πλήρη (σχεδόν) ικανοποίηση του αρχικού στόχου. Εδώ, πρέπει να επισημανθεί πως οι προτάσεις της παρούσας ΟΜ όσον αφορά τους δείκτες βλάβης (δομικό και οικονομικό) μπορούν να



εφαρμοσθούν, βεβαίως μετά τη βαθμονόμηση που προτάθηκε, ανεξαρτήτως της τύχης και της εφαρμογής ή μη του ΣΝ περί ΟΑΦΚ.

Όπως φαίνεται, η «λογική» του δείκτη βλάβης μπορεί να προσφέρει, παρά τον αναπόφευκτο εμπειρισμό, σημαντικό βαθμό εξορθολογισμού των κατά ΥΑΣ / ΥΠΕΧΩΔΕ διαδικασιών αποκατάστασης των σεισμόπληκτων κτιρίων καθώς και γρήγορες εκτιμήσεις (σε συνδυασμό με πληροφορίες των Δελτίων Αυτοψιών) για τις συνολικές οικονομικές συνέπειες ενός ισχυρού σεισμού.

#### 4.3 Προτάσεις

Ήδη επισημάνθηκε η αναγκαιότητα για ολοκλήρωση και βαθμονόμηση των προτάσεων της ΟΜ. Στην κατεύθυνση αυτή πολύτιμη είναι η υπό εξέλιξη δουλειά της ΟΕ του ΤΕΕ/ΤΚΜ που συστήθηκε με πρωτοβουλία και συμμετοχή των εκ των μελών της παρούσας ΟΜ Α. Κάππου και Β. Λεκίδη, και τα πρώτα αποτελέσματά της παρουσιάστηκαν στην §3.3 της παρούσας έκθεσης.

Παράλληλη προς την προαναφερθείσα δουλειά, προτείνεται προς τον ΟΑΣΠ η συνέχιση του έργου της ΟΜ (ως έχει), εμπλουτισμένης π.χ. με δύο (2) Μηχανικούς της ΥΑΣ /ΥΠΕΧΩΔΕ, προς έλεγχο ικανού αριθμού περιπτώσεων σεισμόπληκτων κτιρίων, π.χ. εντός έξι (6) μηνών.

Δηλαδή, προτείνεται όπως ελεγχθούν περίπου σαράντα (40) φάκελοι σεισμόπληκτων κτιρίων (σεισμός Πάρνηθας), με επαρκή τεχνικά στοιχεία (σχέδια, εκθέσεις φωτογραφίες κ.λπ.), ως εξής:

- Είκοσι (20) κτίρια με σχετικώς μικρό δείκτη δομικής βλάβης, και
- Από δέκα (10) κτίρια με δείκτη δομικής βλάβης διπλάσιο και τριπλάσιο (περίπου) αυτού της προηγούμενης κατηγορίας.

Έτσι, θα γίνει δυνατή η πληρέστερη αξιολόγηση και βαθμονόμηση των προτεινόμενων διαδικασιών, με προφανή στόχο τη βελτίωση της αξιοπιστίας των προβλέψεων και τη μείωση των ενδεχομένων προβλημάτων κατά την λειτουργία του ΟΑΦΚ.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

### Κυριότερες δημοσιεύσεις σχετικές με το αντικείμενο της ΟΜ

1. Κάππος, Α.Ι., Λεκίδης, Β.Α., Σαλονικιός, Θ.Ν., Αντωνιάδης, Κ.Κ. και Παρασκευόπουλος, Η.Α., “Συσχέτιση της Δομικής Βλάβης Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Οικονομικές Απώλειες: Βαθμονόμηση βάσει δεδομένων από το σεισμό της Αθήνας (7-9-1999)”, *14ο Ελλ. Συνέδριο Σκυροδέματος*, Κως, Οκτ. 2003.
2. Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and Pitilakis, K., 1998. Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment. *Natural Hazards*, **17**(2): 177-192.
3. Χρονόπουλος, Μ.Π. (1984), “Βλάβες και κόστος επεμβάσεων”, *Πρακτ. Συνεδ. Σεισμοί και Κατασκευές* (Αθήνα), 459-469.

# 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 υπολογίσθηκε 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 προαναφέρθηκε, 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 ερευνείται κατά πόσο οι βλάβες υποδηλώνουν:

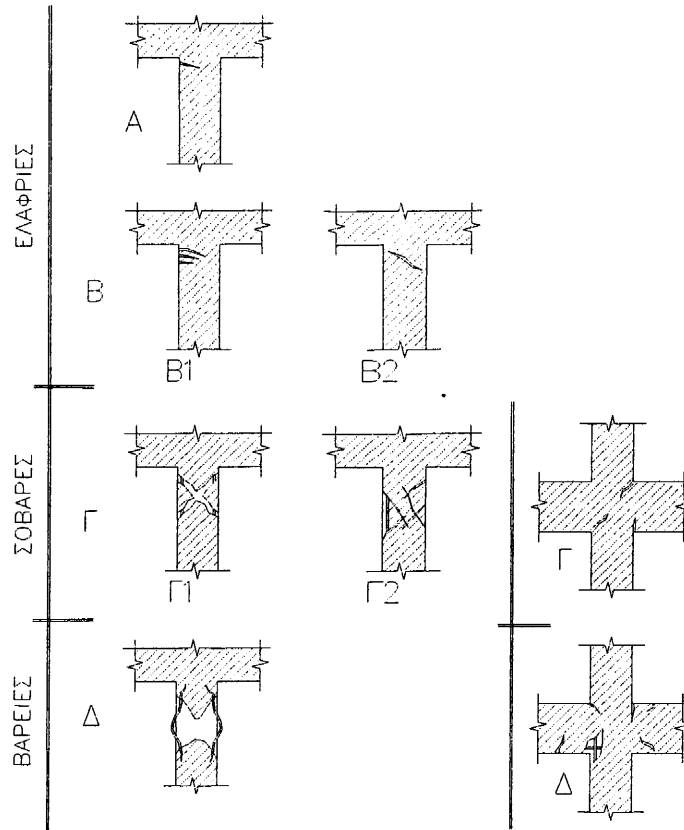
- ότι υπάρχει πρόβλημα στη σύνθεση και το σχεδιασμό του φορέα.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα του εδάφους θεμελίωσης.
- ότι υπάρχει κάποιο σφάλμα στον υπολογισμό του φορέα (αρχική μελέτη).
- ότι υπάρχει κάποιο σοβαρό πρόβλημα λόγω μη τήρησης της αρχικής μελέτης.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την αντοχή 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 ρηγμάτωση 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» (Β1 ή Β2 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 1 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 ( $\Phi_i$ ) Στοιχείου ( $\phi_i$ ) ως ποσοστό της αρχικής  $\Phi_i$ .

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  $\leq 25$  ετών, μεγάλη ηλικία  $\geq 30$  ετών (για ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή)

Κακή κατάσταση ή κακή κατασκευή στοιχείου: μείωση  $\phi_i$  κατά 5%

Κακή κατάσταση και κακή κατασκευή στοιχείου: μείωση  $\phi_i$  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 δευτεροβάθμιοι 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 ε (G+ψ<sub>2</sub>Q), 1.35G+1.50Q, G+ψ<sub>2</sub>Q±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 τοιχοπληρώσεων. 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, αποφλοίωση και λυγισμό των οπλισμών, παραμένουσα παραμόρφωση στο ισόγειο, απόκλιση από την κατακόρυφο και σημαντικές βλάβες στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι βλάβες εκτείνονταν και στον υπερκείμενο όροφο οι οποίες ήταν σημαντικά μειωμένες και περιοριζόνταν κυρίως στις τοιχοποιίες πλήρωσης.

### 4.2 Μέθοδοι επισκευής – ενίσχυσης

Για την επισκευή και ενίσχυση των κτιρίων της πλειοψηφίας της 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 (ανθρακοϋφάσματα, 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.

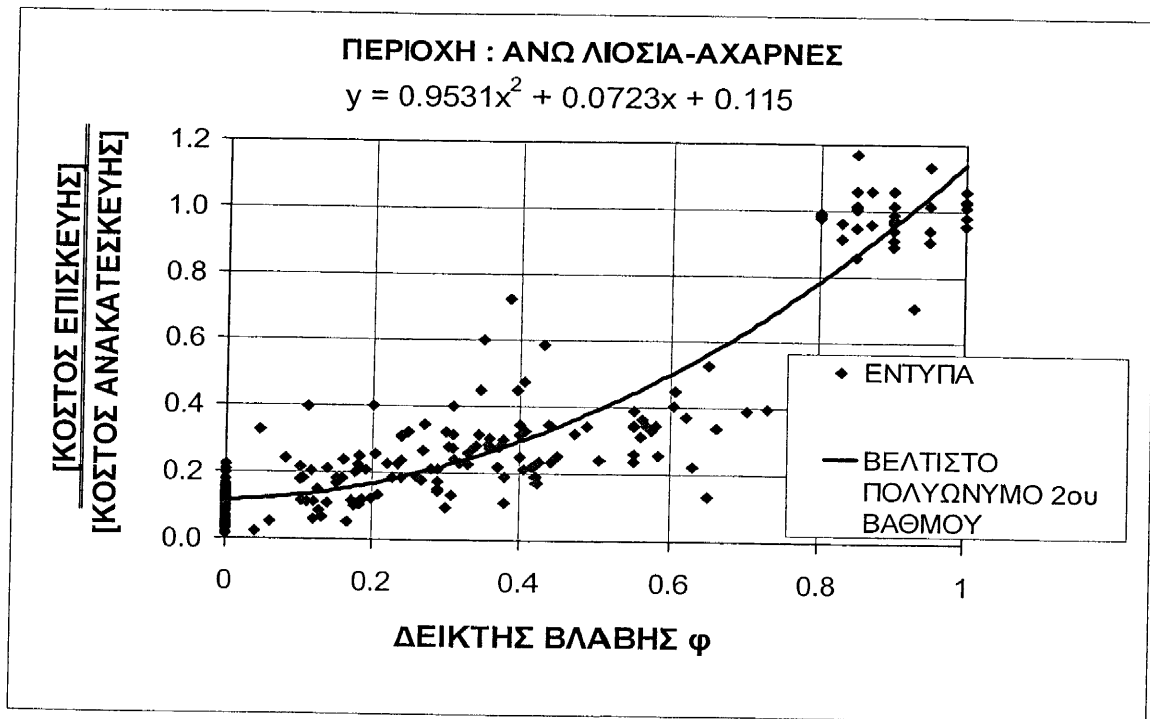
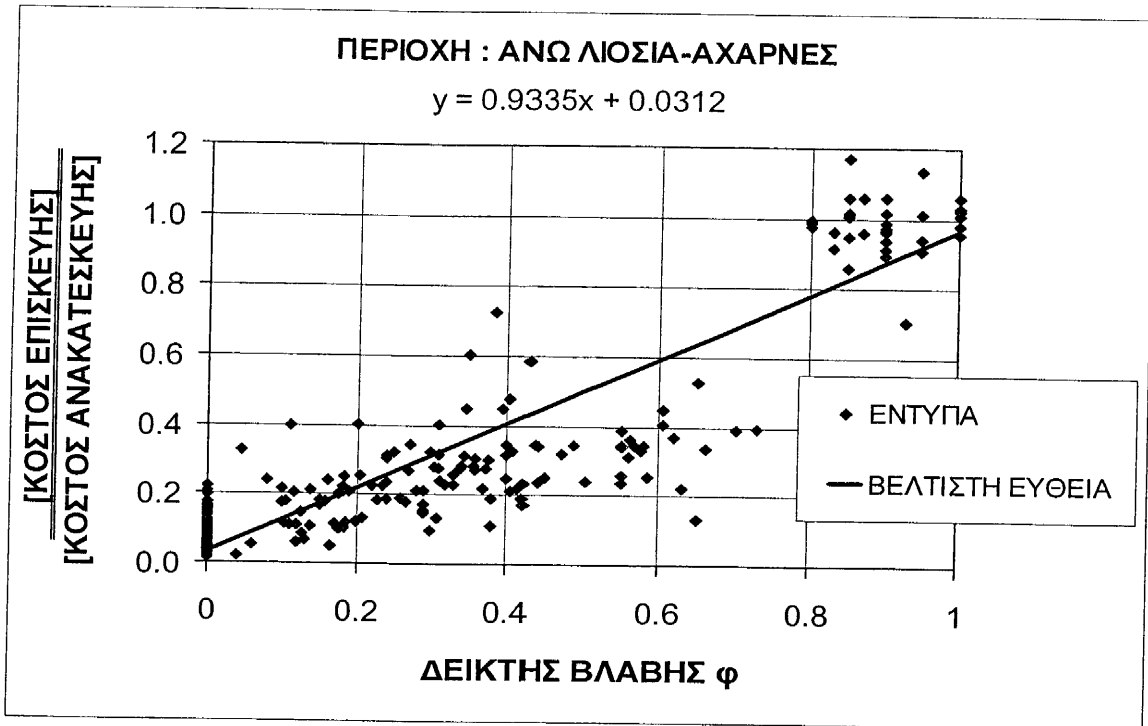
#### 4.3 Συσχέτιση δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας

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.

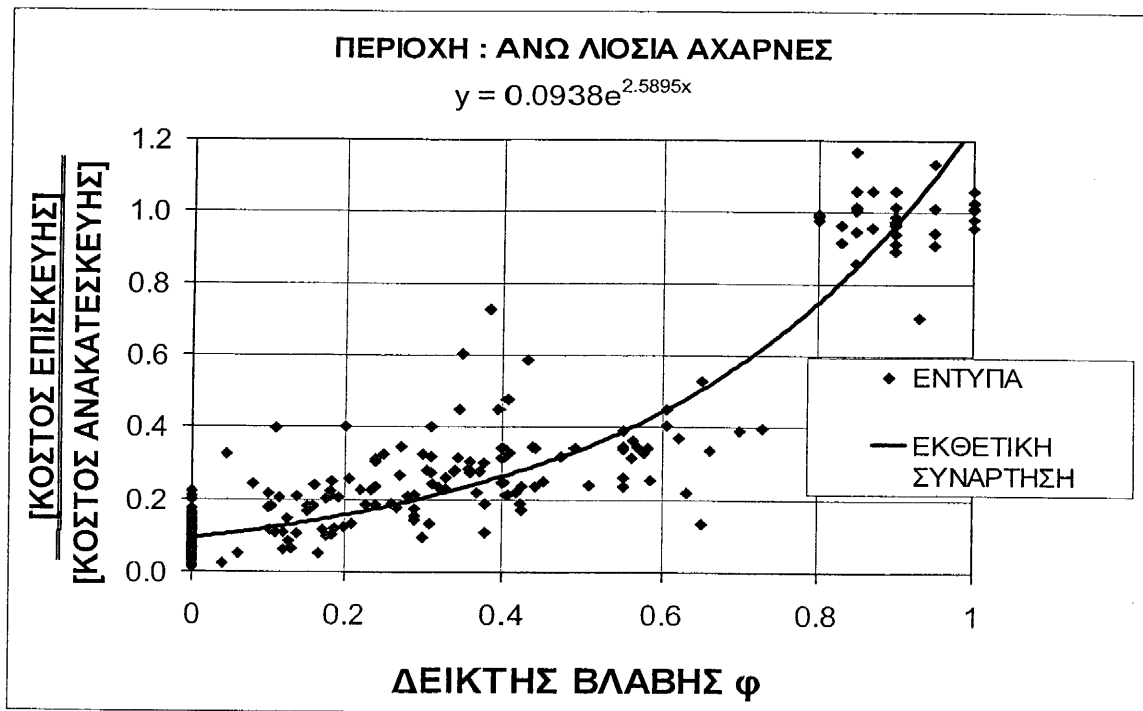
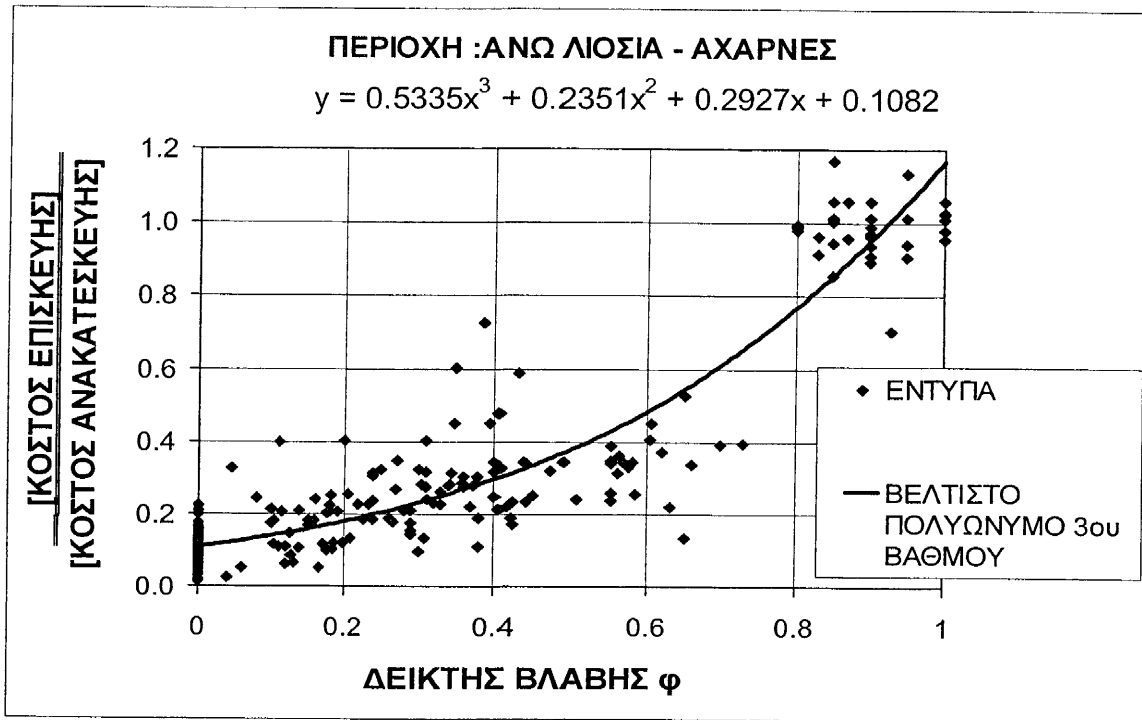
## 5 ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

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.).

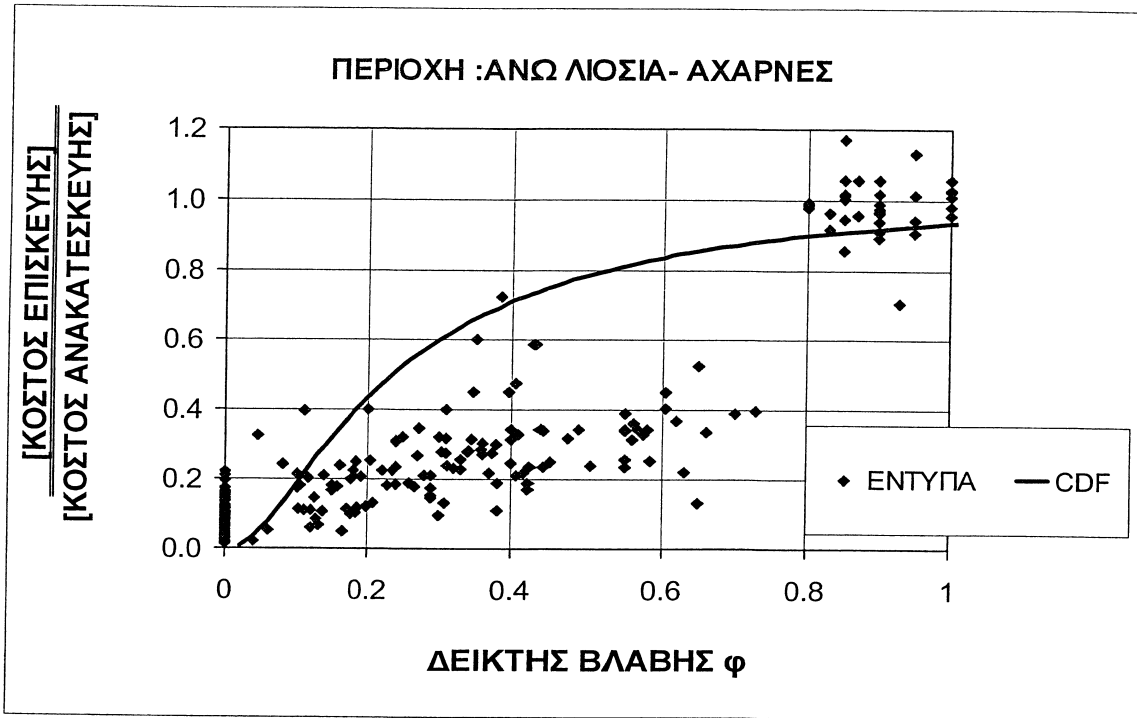
Ο συσχετισμός γίνεται τόσο με τη θεώρηση των δειγμάτων χωριστά για κάθε περιοχή που εξετάστηκε (Δήμος Άνω Λιοσίων και Αχαρνών) όσο και με την ταυτόχρονη θεώρησή τους σε ένα διάγραμμα. Για κάθε περίπτωση γίνεται προσέγγιση μέσω της καμπύλης ελαχίστων τετραγώνων. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζεται ως πολυωνυμική πρώτου, δεύτερου 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).



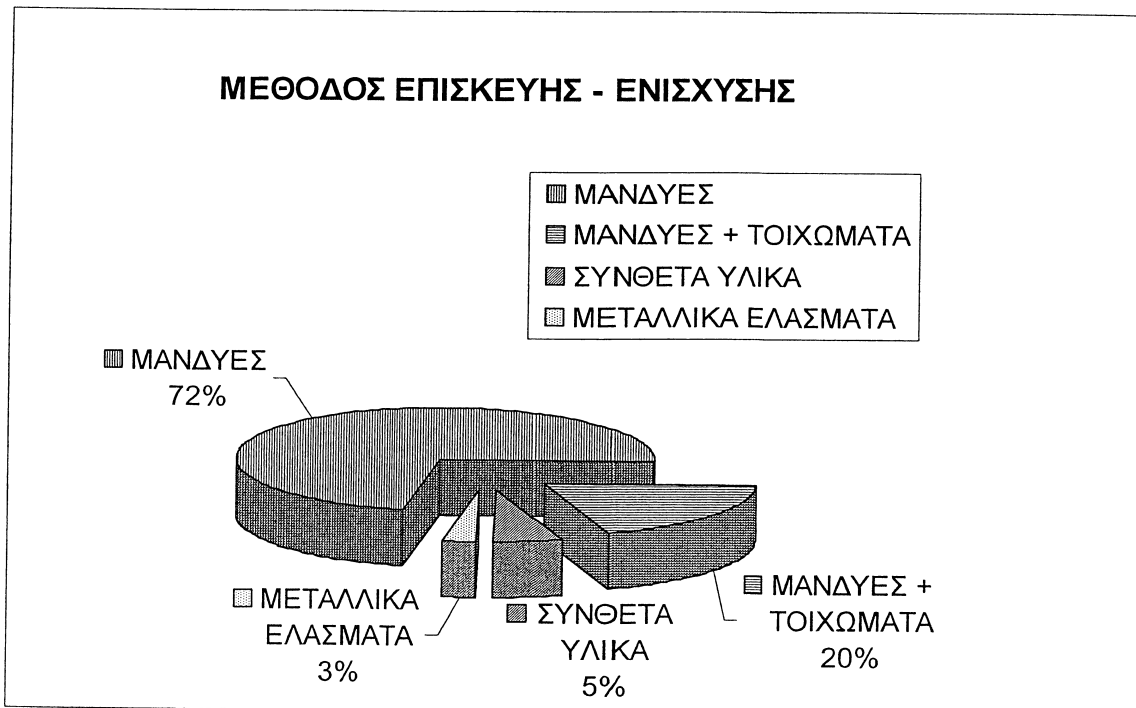
Εικόνα 2. Καμπύλες ελαχίστων τετραγώνων συσχέτισης δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες:  
 (α) 1<sup>ου</sup> βαθμού, (β) 2<sup>ου</sup> βαθμού.



Εικόνα 3. Καμπύλες ελαχίστων τετραγώνων συσχέτισης δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες:  
(α) 3<sup>ου</sup> 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 Άνω 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 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9095x+0.02$	$R^2 = 0.8136$
	Πολ. 2 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=1.0582x^2-0.0309x+0.1124$	$R^2 = 0.9057$
	Πολ. 3 <sup>ου</sup> 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	$y = 0.5(1+\text{Erf}[0.7682(1.4744+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4744 , stdev = 0.9205	
ΑΧΑΡΝΕΣ	Πολ. 1 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9604x+0.0446$	$R^2 = 0.8274$
	Πολ. 2 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.775x^2+0.2474x+0.113$	$R^2 = 0.8617$
	Πολ. 3 <sup>ου</sup> 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	$y = 0.5(1+\text{Erf}[0.6942(1.4337+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4337 , stdev = 1.0180	
ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ & ΑΧΑΡΝΕΣ	Πολ. 1 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9335x+0.0312$	$R^2 = 0.8165$
	Πολ. 2 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9531x^2+0.0723x+0.115$	$R^2 = 0.8799$
	Πολ. 3 <sup>ου</sup> 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	$y = 0.5(1+\text{Erf}[0.7310(1.4556+\text{Ln}(x))])$	
	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 ρητινών 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”*.



## Development of Seismic Risk Scenarios Based on a Hybrid Method of Vulnerability Assessment

A. J. KAPPOS<sup>1,2</sup>, K. C. STYLIANIDIS<sup>2</sup> and K. PITILAKIS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Imperial College, London SW7 2BU, U.K.

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

(Received: 21 October 1997, in final form: 3 March 1998)

**Abstract.** A hybrid methodology of vulnerability analysis is presented, involving elements from both empirical and theoretical methods. A model for correlating analytically calculated structural damage indices to loss (in monetary terms) is also proposed and calibrated against available statistical data. Probability damage matrices derived using this methodology are incorporated into a cost-benefit model tailored to the problem of estimating the feasibility of seismically rehabilitating the existing stock of reinforced concrete buildings in Thessaloniki, Greece. Losses calculated using the suggested procedure are found to be in good agreement with losses incurred during the 1978 Thessaloniki earthquake. The results of the present study also indicate that benefit/cost ratios for reinforced concrete buildings are quite low. Hence, it appears that a pre-earthquake strengthening programme is not economically justifiable.

**Key words:** seismic risk scenarios, vulnerability assessment, damage probability matrices.

### 1. Introduction

Loss assessment for seismic risk analysis purposes has traditionally been carried out using empirical (or statistical) methods, which are either categorization methods, or inspection and rating (scoring) methods (UNDP/UNIDO, 1985). On the other hand, in situations where statistical methods cannot be applied (due to lack of data) or some more detailed information is sought, analytical methods can offer an attractive alternative (Dolce *et al.* 1995).

Loss assessment is indispensable in the development of seismic risk scenarios which can be used in several ways, notably for the definition of criteria for prioritizing seismic strengthening (rehabilitation) programmes for existing buildings. Decisions regarding the seismic rehabilitation of existing buildings require both engineering and economic studies and consideration of social priorities. Pre-earthquake upgrading of a city's existing building stock is one of the most conflictual and difficult types of public policy decisions. Even in California cities where the direct experience of disasters (including very recent ones) paved the way for seismic safety policy advances, the codes for upgrading of existing buildings took years to enact and the process was highly politicized (Comerio, 1992).

This paper first presents a procedure for seismic vulnerability assessment, which combines the statistical approach with the analytical one. Existing damage (loss) data for a single intensity are supplemented by results of inelastic dynamic analysis of appropriate models. A methodology for the development of a (structural damage index) – (monetary loss) correlation model based on the fundamental approach of estimating the required cost of repair corresponding to a certain value of the ductility or drift index is also presented. Analytical estimations of loss are subsequently checked against empirical data for the reference intensity and then used to construct damage probability matrices for various typologies of buildings. Recent previous studies in the same direction include those by Singhal and Kiremidjian (1996), and Barbat *et al.* (1996).

The aforementioned methodology is then used to construct a risk scenario for the city of Thessaloniki, Greece. In determining the risk, indirect (or associated) costs are taken into account, in addition to the direct costs referring to the required repair of damaged buildings. The emphasis of the work presented herein is on the estimation of the vulnerability of the existing reinforced concrete (R/C) buildings, in particular those constructed prior to 1984 (when the Greek Seismic Code was revised) which are low ductility frames and dual systems (walls coupled with frames).

## 2. Suggested Methodology

A comprehensive methodology for developing earthquake damage scenarios for specific metropolitan areas involves the following basic steps (Kappos *et al.*, 1992):

- (i) Estimation of site-specific *design motions*, preferably in the form of acceleration time-histories.
- (ii) Estimation of the *vulnerability* of various classes of structures, characterised by similar structural systems and materials; in its most refined version this estimation is carried out using advanced analysis tools, such as computer codes calculating the inelastic response of structures to input accelerograms.
- (iii) Estimation of *losses* (in monetary terms) on the basis of the previously calculated vulnerabilities and the inventory of structures in the area under consideration. If an analytical procedure has been applied in the previous step, it is of paramount importance to establish an appropriate correlation between structural response quantities and corresponding loss parameters. Direct, as well as indirect, losses should be addressed at this stage. Step (i) above has been addressed in detail in previous studies by the authors (Kappos *et al.*, 1991; Pitilakis, 1995). In the following, the other two steps will be addressed and appropriate procedures will be proposed.



## 2.1. VULNERABILITY ASSESSMENT

As mentioned previously, vulnerability analysis has traditionally been carried out using the so called 'empirical' (or statistical) methods, which are either categorization methods, involving classification of buildings into typological classes, or inspection and rating methods, wherein numerical values (scores) are attributed to each significant building component (UNDP/UNIDO, 1985).

The typical approach used for empirical vulnerability analysis is based on the damage probability matrices (Whitman *et al.*, 1974), wherein each term of the matrix represents the probability that the building stock in an area struck by an earthquake with intensity *I* (on the MMI scale) suffers a certain degree of damage (light, moderate, severe, collapse). Although the use of intensity (*I*) in DPMs has been questioned, since it is a quantity depending on the earthquake characteristics, on the soil conditions and on the building characteristics at the same time, practical reasons (availability of data from past earthquakes) dictated the construction of DPMs in terms of *I* (ATC, 1985; FEMA, 1992).

One matrix is constructed for each building class; classes are usually defined as a combination of number of stories (low, medium or high) and of construction material (concrete, masonry, steel, wooden). The terms of each matrix are ideally calculated using data collected after actual earthquakes. In most practical situations absence of appropriate data makes necessary recourse to other procedures such as expert judgement (ATC, 1985). In the typical situation that data for a certain urban centre, if available, concern only one or two intensities, it is customary to adopt data from other areas of the same country or from other countries with similar construction practices. In such situations, it is not uncommon to find out that the latter data bear little resemblance to those applicable in the city under consideration (Barbat *et al.*, 1996), since numerous factors, additional to the structural type, influence the damage matrix; these factors relate to the characteristics of the seismic motion, which cannot be fully described in intensity terms.

As an alternative to the foregoing approach, the following hybrid methodology is suggested, which combines the empirical approach with the advanced analysis-based procedure:

(i) Construct the parts of each damage probability matrix for which statistical data from past earthquakes are available, using the standard procedure initially suggested by Whitman *et al.* (1974), namely by dividing the cost of repair by the replacement cost and using an appropriate damage state classification scheme, such as that suggested by ATC-13 (1985) which ranges from 1 (no damage) to 7 (collapse). It is pointed out that the DPMs suggested by ATC-13, which are based on California data, may be significantly different from those derived from local data; this was often the case with several building classes in Thessaloniki, as discussed later on.

(ii) Construct the remaining parts of the DPMs on the basis of the results of inelastic time-history analysis of models simulating as closely as practicable the

behaviour of each building class, subjected to input motions that have been derived for the site under consideration, taking local soil conditions into account. The complete procedure for deriving input motions corresponding to various intensities is discussed elsewhere (Kappos *et al.*, 1991; Pitilakis, 1995). The approach adopted was that of scaling the available records to the PGA's estimated by seismic hazard analysis; intensities and PGA's were correlated using empirical relationships for the area studied. As dynamic analysis typically provides structural response quantities (such as ductility factors, displacements etc.) an appropriate model correlating structural parameters to loss, expressed in terms of cost of repair, is required at a post-processing stage; this is presented in the next section. In determining the DPM terms, in particular those referring to very low or very high degrees of damage, some engineering judgement is commonly required for smoothing local peaks resulting from the output of the time-history analysis (and also, quite often, from the available statistical data mentioned in the previous step).

An essential part of the suggested procedure consists in correlating damage estimates derived from available statistical data to corresponding estimates based on the aforementioned time-history analysis, at specific areas. This permits the evaluation of the reliability of the analytical technique which inevitably is susceptible to numerous uncertainties.

Another key feature concerns the effect of local soil conditions: DPMs are typically derived for building categories defined in structural terms, without taking soil conditions into account. On the other hand the input motions used for theoretical analysis can readily account for this effect; if this is the case, the average theoretically calculated response of a model (representing a certain building class) should be used in constructing the site-independent terms of the corresponding DPM. Nevertheless, when conclusive trends are detected from both the statistical and the theoretical data with regard to the effect of soil conditions, site-dependent DPMs can be constructed (relatively few soil categories should be used in this context, for the DPM to be of more practical value).

## 2.2. LOSS ASSESSMENT

The methodology for loss assessment described hereunder refers to buildings, more specifically to R/C buildings with or without partition walls; nevertheless several aspects of the methodology are also pertinent to other types of structures. Although reference is made throughout to '*repair*', it is understood that some of the techniques considered imply also *strengthening* of the structure.

### 2.2.1. General Assumptions

- (i) Buildings struck by an earthquake are classified into three basic categories:
  - (a) Buildings that have failed (actual collapse or irreparable damage); failure criteria appropriate for use in analytical studies are discussed by Kappos

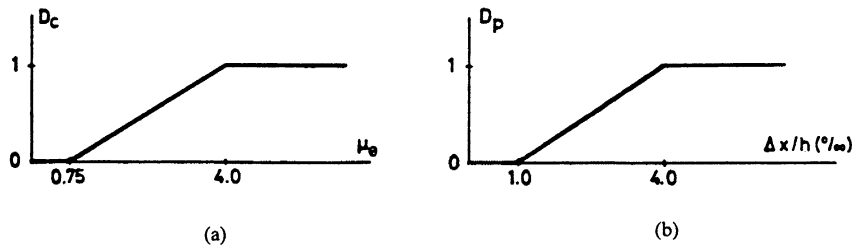


Figure 1. Normalised economic damage indices for (a) R/C members; (b) Brick masonry infill walls.

*et al.* (1991). The loss in these buildings is taken equal to the replacement cost (with due account for depreciation, as suggested in the next section).

(b) Buildings with repairable damage. In this case loss is expressed as a fraction of the replacement cost, calculated as described in the following.

(c) Buildings with no damage at all.

- (ii) The *cost of repair* is calculated with reference to structural members and infill (partition) walls. Account is taken for the cost of all works related to repair (such as removal of rubble, replacement of plaster, etc.).
- (iii) It is assumed that the cost of repair is proportional to the volume of the member. For structural elements, cost is always referred to 'critical regions', defined for convenience to extend half the member length; usually, though not necessarily, both critical regions are repaired in the same way. The *total cost* of repair for a building is the sum of the repair costs of R/C critical regions and infill panels.

#### 2.2.2. Damage and Loss in R/C Members

The model suggested for the correlation of structural damage and loss (cost of repair) for R/C members is shown in Figure 1(a). Based on the limited data available in the literature (see Penelis and Kappos, 1997), it has been assumed that for rotational ductilities  $\mu_\theta = \theta_{\max}/\theta_y \geq 4$  the most costly repair technique is applied. Typically, though not necessarily, this technique involves *jacketing* of the R/C member; less costly techniques involve shotcreting, injection of resins, and gluing of metal plates (Penelis and Kappos, 1997). A similar model directly involving the various repair techniques has previously been suggested by the authors (Kappos *et al.* 1991); these models have been taken into account in defining the shape of the curve of Figure 1, but a different (and more efficient) approach will be used herein, which avoids the need for defining repair cost at member level. For  $\mu_\theta < 0.75$  no repair is required, while the variation of repair cost from  $\mu_\theta = 0.75$  to 4.0 is assumed to be linear. The parameter  $D_c$  in Figure 1 is the cost of repair (per critical region) normalised to the cost of the most expensive technique, hence  $\max D_c = 1$ .

A weighting factor  $w_i$  is defined for each critical region  $i$  as the ratio of concrete volume in the region to the total volume of all concrete members (beams, columns,

walls). If the total number of R/C members is  $N$ , then  $\sum_{i=1}^{2N} w_i = 1$ , since each critical region extends half a member length.

The economic *damage index* for the entire R/C structural system is

$$D_{cg} = \sum_{i=1}^{2N} w_i D_{ci} \quad (1)$$

and its max value  $D_{cg} = 1$  corresponds to the case that all structural members are repaired using the most costly technique ( $\mu_\theta \geq 4$  in all R/C members). If the total cost of these repairs is  $C_c$  and the total value of the building (including structural and non-structural elements, as well as all installations) is  $C_{tot}$ , then the economic *repair index* for the entire R/C structural system is defined as

$$G_c = D_{cg} \cdot \frac{C_c}{C_{tot}} \quad (2)$$

and expresses the cost of repair as a fraction of the total cost of the building. Bearing in mind that the value of an existing building, having an age  $T_n$  years, is not the same as that of a similar new building (for which  $C_{tot}$  can be readily evaluated from current market rates), the cost can be estimated as

$$C_{tot,n} = \left( \frac{T_{rem}}{T_d} \right)^\gamma C_{tot,0} \quad (3)$$

where  $T_d$  is the design life of the structure and  $T_{rem} = T_d - T_n$  its 'remaining' life after  $n$  years. Based on data from Greek practice,  $T_d = 67$  yrs and  $\gamma = 1$  may be assumed, corresponding to an annual depreciation of 1.5%.

### 2.2.3. Damage and Loss in Infill Walls

A (structural damage) – (loss) correlation model similar to the one used for R/C members was assumed for infill wall panels, as shown in Figure 1(b). Note however that loss is now correlated to the interstorey drift ratio, and that the repair techniques are different from those used for R/C members; in the case of infills the most costly repair consists in demolition of the existing panel and construction of a new one. The repair index for the infill panels is now defined as

$$G_p = D_{pg} \cdot \frac{C_p}{C_{tot}} \quad (4)$$

where the global economic damage index  $D_{pg}$  is defined similarly to  $D_{cg}$  in Equation (1) and  $C_p$  is the total cost of replacing all the panels in the building.

#### 2.2.4. Quantification of Loss Indices

A systematic analysis of data concerning repairs carried out in Thessaloniki after the 1978 earthquake (Penelis *et al.*, 1989) has led to the following equations relating the individual damage indices  $D_{cg}$  and  $D_{pg}$  to the global repair indices  $G_c$  and  $G_p$  of Equations (2) and (4); both equations refer to R/C buildings with dual structural systems (frames and walls), which is the most common type of R/C structures in Greece and elsewhere, designed to the seismic regulations applicable from 1959 to 1985 (when a new seismic code was introduced).

- For medium-rise structures (3–5 storeys):

$$G = G_c + G_p = 0.25D_{cg} + 0.08D_{pg} \quad (5)$$

- For high-rise structures (8–10 storeys):

$$G = G_c + G_p = 0.30D_{cg} + 0.08D_{pg} \quad (6)$$

It is worth pointing out with respect to Equations (5) and (6) that if a building has suffered repairable damage, the required cost of repair does not exceed 38% of the value of a similar *new* building. It is obvious then that repair, rather than reconstruction should be the optimum solution for all structures with a remaining life of 25 or more years (see Equation (3)).

Whereas the procedure described by Equations (1) to (4) is a general one, the empirical relationships (5) and (6) strictly apply to economic parameters (such as relative cost of materials and workmanship) pertinent to Greece; appropriate adjustments are obviously required in countries where these parameters are significantly different.

### 2.3. RISK ASSESSMENT AND BENEFIT-COST RATIOS

A decision regarding the feasibility of pre-earthquake strengthening of the existing building stock, should necessarily be based on the total risk (in monetary terms) for this stock, taking indirect (or associated) costs into account, in addition to the direct costs referring to the repair of damaged buildings, calculated as described in the previous section. The estimation of the indirect costs presupposes the knowledge of variables such as the use of buildings under consideration, economic information specific to the building (replacement value, rental income, value of personal property etc.) as well as of general character (discount rate, planning horizon, net present value coefficient and, of course, the value of human life). Valuable data regarding these factors are included in a report by FEMA (1992) but they strictly apply only to the U.S., and particularly in California. On the other hand, in Europe most of these data are either missing or in a form different from that required for a seismic risk analysis.

Benefit/cost ratios, estimated by dividing the expected present value of future benefits by the costs required for rehabilitating a certain class of buildings are a key parameter in establishing priorities for pre-earthquake strengthening projects.

If these ratios are greater than one, prospective rehabilitation (i.e. strengthening against earthquake) is economically justified. In the case study concerning Thessaloniki, the methodology suggested by FEMA (1992) for calculating benefit/cost ratios has been generally followed and the relevant economic data used, with the modifications described in the following section.

### 3. Case Study: Risk Scenario for Thessaloniki

Complete scenarios of damage and loss have been developed for the city of Thessaloniki, which is the second metropolitan area in Greece with a population of about 1 million. The city has been struck by an earthquake in 1978 which caused 39 fatalities, a few partial collapses and extended damage; a statistical evaluation of damage data for this earthquake has been presented by Penelis *et al.* (1989).

#### 3.1. ASSUMPTIONS, DATA ACQUISITION, AND ANALYSES

For the vulnerability assessment of buildings, DPMs were constructed using the hybrid methodology described in Section 2.1, for the following six categories of buildings:

- (i) Non-ductile frames, low-rise (1–3 stories), medium-rise (4–7 stories), and high-rise (8 and more stories). Note that the tallest buildings in the area under consideration do not exceed 10 stories. Note also that most of the buildings with frame systems also include rather heavy brick masonry infill walls which significantly enhance their strength and energy dissipation capacity (Penelis *et al.*, 1989; Kappos *et al.*, 1992).
- (ii) Non-ductile dual systems (frames and R/C walls), low-rise, medium-rise and high-rise, as previously. Again brick masonry infill walls are present in most of these structures, but their effect is generally not as pronounced as in the bare frames.

For the foregoing six categories of buildings a large database including information regarding 3707 buildings damaged from the 1978 earthquake was available from a previous programme (Penelis *et al.*, 1989). Data regarding the cost of repair for the buildings of the database (which is deemed to be a very reliable statistical sample for the study of the existing building stock) were used to construct the columns of the DPMs referring to the VII (MMI) intensity, since all the buildings in the city struck by the 1978 earthquake fall within this intensity zone. Different groupings for buildings resting on 'good' or 'poor' soil were initially carried out, but since no conclusive trends with regard to the effect of soil conditions were detected, when the above mentioned methodology was applied, it was finally decided to construct one single DPM for each building class. It is worth mentioning that the assumption made in the FEMA (1992) model that 'poor' soil conditions can be accounted for by assigning the building under consideration to the next higher

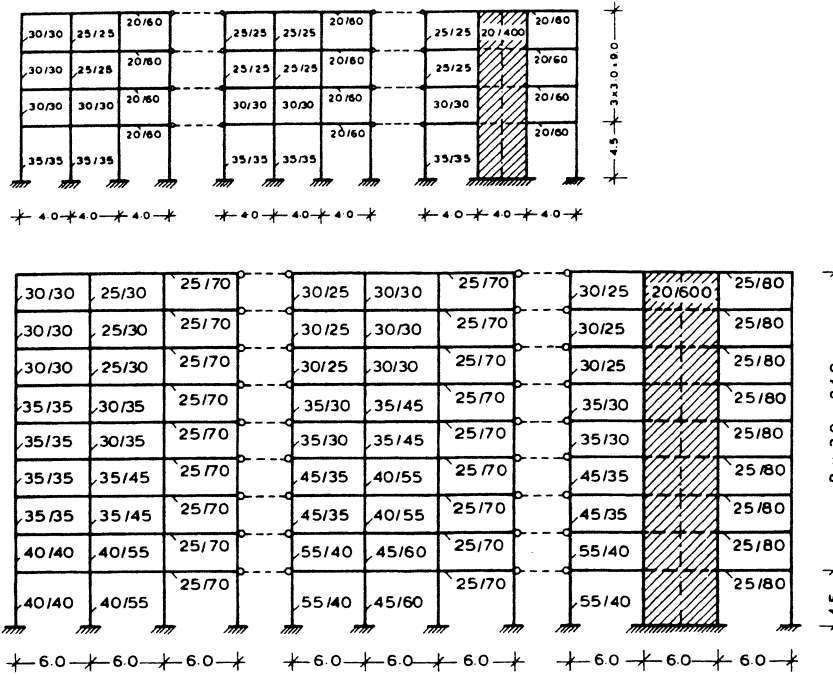


Figure 2. Analytical models of the structures analysed: (a) Four-storey building; (b) Nine-storey building.

grade on the MMI scale, was not verified by the data available for Thessaloniki. The local site effects cannot be simply described by the 'poor' quality of soils.

The final seismic action in a specific site can be very different in terms of frequency content, duration, PGA, PSA etc., depending on many parameters including the SSI phenomena (Pitilakis, 1995). The columns of the DPMs referring to the VIII intensity were estimated on the basis of analytical studies involving models of medium and high rise R/C buildings designed to the 1959 Seismic Code of Greece (which was in force up to 1984). Generic structures consisting of bare frames as well as dual systems were analysed, first without masonry infill walls and then taking the effect of walls into account through an appropriate finite element for infill panels. The types of structures studied are shown in Figure 2; in addition to bare frames, buildings with infill masonry walls along the entire height, or with the exception of the ground storey ('pilotis') were analysed. Details of the design of the buildings and a discussion of the limitations of the analytical models used may be found in Kappos *et al.* (1992).

The models were first analysed for a total of 10 input motions, each one corresponding to a typical soil profile in the area under consideration (Thessaloniki city-centre) derived from the input motion at bedrock, corresponding to the 1978

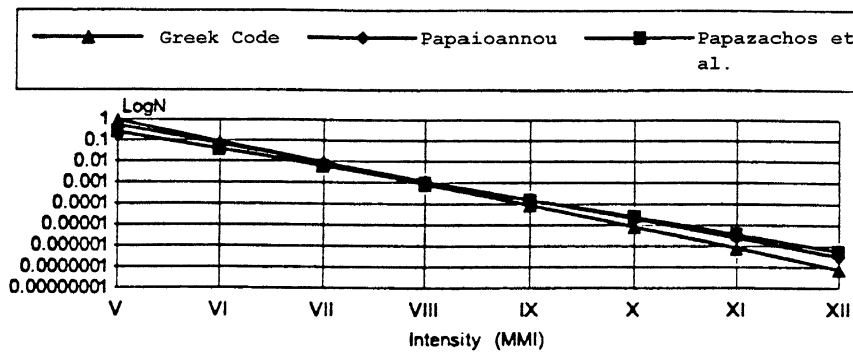


Figure 3. Seismic hazard curves for Thessaloniki (expected number of annual earthquakes).

earthquake (Kappos *et al.*, 1991). Another set of 10 input motions was derived for a 7.0 magnitude earthquake which is estimated to be the design earthquake for the city and corresponds to an intensity of approximately VIII if the M-I correlation equations for the area under consideration are used (Papazachos *et al.*, 1990).

For each generic structure analysed, ductility factors and interstorey drifts were calculated (for each member or storey) in each of the ten locations in the city, for either hazard scenario; a total of 120 analyses were run (6 structures  $\times$  10 motions  $\times$  2 intensities). Ductilities and interstorey drifts from the previous analyses were then introduced into the loss models described in Section 2.2 and the required cost of repair was determined in each case.

The columns of the DPMs for the intensity VIII were then calculated by multiplying the statistically derived values corresponding to the intensity VII by the ratio of the average (over the 10 locations) damage index for the  $M = 7.0$  earthquake to the same index for a 6.5 earthquake; this is equivalent to assuming a vulnerability function which is linear between the two intensities. An analogous procedure was used for calculating the columns of the DPMs for the intensity VI (which is the threshold of visible damage). As mentioned in section 2.1, some smoothing of the matrices had to be carried out in order to arrive at a reasonable form. Since neither statistical nor analytical data were available for the intensities from IX to XII, the values suggested by ATC-13 (1985) were adopted; it will be shown subsequently that for the present study the forms of the DPMs corresponding to intensities IX or higher contribute only marginally to the final benefit/cost ratios. A typical DPM for medium-rise buildings is shown in Table II.

The DPMs derived using the aforementioned procedure were used for calculating the direct costs of the repairs to the buildings of Thessaloniki required for each earthquake intensity. The hazard curves shown in Figure 3 were used to this purpose. The curves give the annual expected average number of earthquakes as a function of the MMI intensity for the major area of Thessaloniki; two curves from



recent seismological studies, as well as the curve adopted by the current Greek Seismic Code are indicated.

Indirect costs (see Section 2.3) were estimated according to the procedure and the data suggested by FEMA (1992) with the following modifications:

- (i) Indirect costs of retrofit (such as those related to planning and permitting), replacement costs for the various buildings, and rental rates were determined from the limited local data available and the experience of the writers, as it was found that they were considerably lower than the U.S. values suggested by FEMA (1992).
- (ii) Relocation costs (incurring whenever due to the repair works the function of the building is partially or fully lost) and the value of human life (which is indispensable in cost-benefit analysis of earthquake effects) had also to be adjusted, since the values suggested by FEMA (1992) clearly do not reflect the actual situation in Greece. As no data (in the desired form) exist, values applicable to the U.S. were adjusted proportionally to the rental rates and replacement costs.

Finally, various analyses have been performed using values of the discount rate ranging from 3 to 6% and planning horizons (periods over which the potential benefits are estimated) ranging from 20 to 30 years; it is pointed out that the latter values apply to existing buildings which have an age of about 30 years, not to new ones.

### 3.2. DISCUSSION OF RESULTS

Summarised in Table I are the costs of repair (as a percentage of new building cost) calculated for bare, infilled and pilotis buildings for the two hazard scenarios ( $M = 6.5$  and  $7.0$ ); the values represent the *average* over the ten locations studied, hence site effects (which were quite important) cannot be inferred from this table.

It is seen that, with the exception of bare frame buildings, damage in both medium-rise and high-rise buildings is minor for the 6.5 event. Bearing in mind that bare frames constituted just a small fraction of the building inventory (less than 5%), the estimated ratios are in good agreement with the values calculated for the 1978 earthquake (Penelis *et al.*, 1989), for which the total cost of repairs amounted to approximately 1% the cost of (new) buildings. With regard now to the scenario for the future  $M = 7.0$  earthquake, it is seen that damage will be quite higher; this is particularly true in the case of high-rise buildings where cost of repair to the (very common) infilled frame-wall systems will be approximately 4 times higher than in the 1978 earthquake.

A risk scenario due to the design earthquake, estimated to have an intensity of VIII, is shown in Figure 4, where both the expected losses and the losses estimated to be avoided due to a possible retrofit are plotted for the six categories of buildings studied. Figure 4a shows the expected direct losses, that is the amount of money

Table I. Cost of repair (% of building cost) for the two hazard scenarios

	Medium-rise			High-rise		
	Infills	R/C	Total	Infills	R/C	Total
<i>M</i> = 6.5						
Bare	1.28	1.85	3.13	3.52	4.31	7.83
Infilled	0.08	0.43	0.51	0.76	0.49	1.25
Pilotis	0.37	0.56	0.93	0.65	0.37	1.02
<i>M</i> = 7.0						
Bare	2.05	3.35	5.40	3.62	5.39	9.01
Infilled	0.71	1.34	2.05	3.56	1.86	5.42
Pilotis	1.09	1.39	2.48	1.55	1.64	3.19

Table II. Damage probability matrix for medium-rise (4–7 storey) nonductile R/C frames

Central damage ratio (%)	Modified Mercalli intensity						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.0	29.1	26.5	23.7	0	0	0	0
0.5	45.0	40.9	34.8	0	0	0	0
5.0	15.3	19.3	24.3	1.9	0.2	0	0
20.0	10.0	10.9	11.5	65.1	30.8	3.6	0.5
45.0	0.6	1.2	4.3	33.0	67.7	70.0	27.9
80.0	0	1.2	1.4	0	1.3	26.4	71.2
100.0	0	0	0	0	0	0	0.4
Mean damage ratio	3.2	4.8	6.7	27.9	37.7	53.3	70.0

required for repairing the seismic damage in the buildings, whereas Figure 4b shows the indirect losses related to rental income, relocation expenses, personal property and human life; all data used for constructing Figure 4b refer to buildings used as dwellings (i.e. not industrial or special-purpose buildings). It is clear from Figure 4a that frame buildings (FR) are more vulnerable than buildings with a dual system (FW) which is a confirmation of a well-known feature of existing buildings; the fact that medium-rise buildings are the most vulnerable among those with a frame system should be attributed, at least partly, to the spectral characteristics of the design earthquake (Kappos *et al.*, 1991; Pitilakis, 1995). On the other hand the effectiveness of retrofit (expressed as loss avoided) is higher in the case of frame structures, as also seen in Figure 4a. Indirect losses (Figure 4b) are also higher in frame structures, the higher losses occurring again in medium-rise buildings (4–7

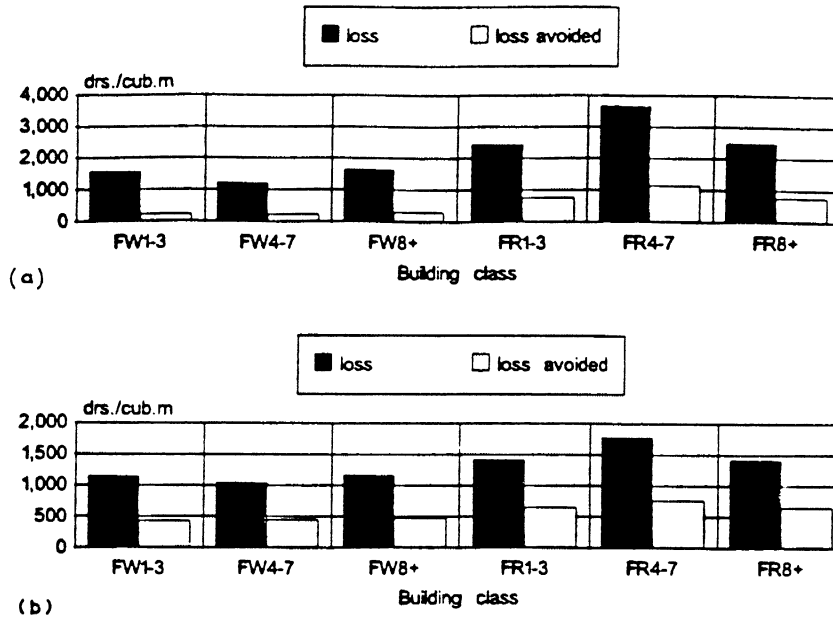


Figure 4. Loss scenario for the design earthquake (intensity VIII): (a) Direct losses (building damages) in drs/m<sup>3</sup> and (b) Indirect losses (income, relocation, personal property).

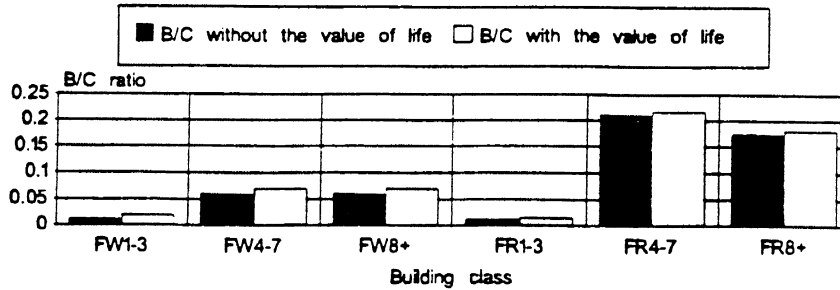


Figure 5. Benefit-cost ratios for the various building classes studied.

stories). It is pointed out that the amount of indirect losses avoided increases by 50% when the value of human life is taken into account (on the average from 20 to 30% of the losses).

The feasibility of strengthening existing buildings does not depend on the losses due to the design earthquake only, but other intensities play also an important role. Hence the most important, from the public policy point of view, output of the present study are the benefit/cost ratios shown in Figure 5 for the six classes of R/C buildings, which were studied. These ratios include the effect of both direct and indirect losses, that is the entire group of elements at risk is taken into account (Sections 2.3 and 3.1); data for estimating indirect losses refer to buildings used

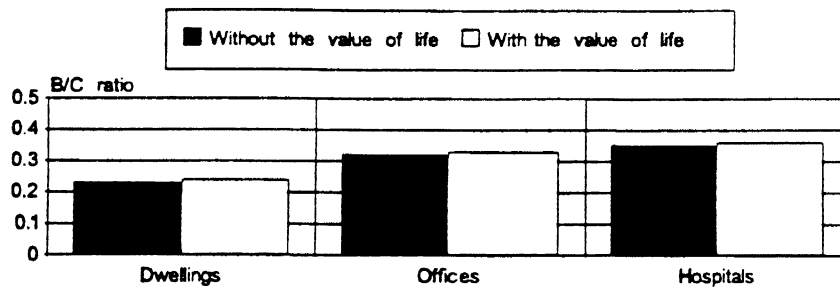


Figure 6. Benefit-cost ratios for RC medium-rise frame structures, for various uses.

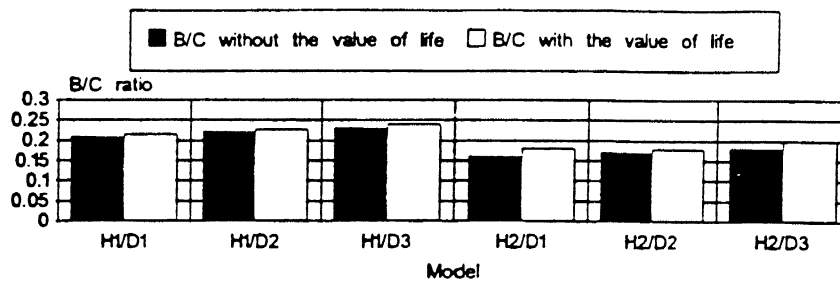


Figure 7. Benefit-cost ratios for medium-rise frame structures, calculated using different hazard and vulnerability models.

as dwellings. As shown in the figure, the benefit/cost ratio is lower than 0.25 for all building classes, while for low-rise frames and for all dual systems the ratio does not exceed 0.07. Including the value of life in the cost-benefit model led to only minor increases in the calculated B/C ratios, with the exception of low-rise buildings (1–3 stories) for which however, the ratios are in all cases very low.

The foregoing are a clear indication that for the seismic hazard taken into account (Figure 3) and subject to the limitations of the methods used for estimating vulnerability and loss, the rehabilitation of existing R/C buildings in Thessaloniki is not economically justified. This was expected with regard to structures with R/C walls (dual systems) but the substantially low B/C ratios estimated for non-ductile frames should be attributed, at least partly, to the favourable effect of the brick masonry infills (this has also been pointed out by Penelis *et al.*, 1989).

As a further step, the most vulnerable class of buildings (medium-rise frames, FR4-7) was analysed with different assumptions regarding indirect losses and data pertaining to special-purpose buildings were introduced. Figure 6 summarises the calculated B/C ratios for two common categories of buildings, namely offices and hospitals; it is seen that even for the latter category the benefits do not exceed about 35% of the rehabilitation costs, hence the foregoing conclusions apply to those types of buildings as well.

In order to evaluate the sensitivity of the cost-benefit analysis to the assumptions regarding hazard and vulnerability, a number of additional studies were carried out and the results are summarised in Figure 7, where H1 stands for the hazard curve adapted by the Greek Seismic Code (used in all previous analyses), H2 for the hazard curve recently suggested by Papaioannou (personal communication), D1 for the DPMs constructed as described in Sections 2.1 and 3.1, D2 for similar DPMs but with zero entries in the no-damage category for intensities VII or higher, and re-allocation of the corresponding percentage ratio to the next category (this accounts for the fact that for these intensities some minor damage does occur, although the statistical data indicate zero cost of repair, since this minor damage is often not repaired by the owners of the buildings) and D3 stands for the DPMs suggested by ATC-13 (1985). It is seen from Figure 7 that regardless of the combination of hazard and vulnerability models used, B/C ratios for the most critical category (FR4-7) are consistently below 0.25; the DPMs suggested by ATC-13 and FEMA increase the calculated ratio by less than 10%, with respect to the DPMs (D1 and D2) suggested in the present paper.

#### 4. Conclusions

The study presented herein indicated the possibility of constructing damage probability matrices for R/C buildings in areas where only limited empirical (statistical) data are available, without making recourse to analogous data from other areas. The necessary condition for this is the construction of reliable analytical models, able to describe the behaviour of the buildings at least under the earthquake intensities which influence considerably the output of a cost-benefit analysis and, in addition, the development of appropriate models correlating vulnerability (in terms of structural damage indices) and loss (economic damage indices). Calibration of the latter models against available data from actual earthquakes is indispensable; the models proposed herein were found to be in good agreement with statistical data from the 1978 Thessaloniki earthquake.

The case study involving the existing R/C buildings in Thessaloniki indicated that the ratio of expected benefits resulting from a retrofitting of these buildings (pre-earthquake strengthening) to the cost of retrofitting is consistently lower than 0.25 for dwellings and 0.35 for special buildings (such as hospitals). This is a clear indication that a rehabilitation programme concerning R/C buildings is not economically justifiable in the area under consideration; this does not necessarily mean that such a programme is not justifiable for other types of existing buildings, for example those constructed in unreinforced load-bearing masonry.

Finally, it is recommended to extend the model used in this study introducing the seismic hazard, not only with a single parameter (MMI intensity), but with some cross-correlated factors, taking into account the site effects as well.

Β Λ Α Β Ε Σ και Κ Ο Σ Τ Ο Σ Ε Π Ε Μ Β Α Σ Ε Ω ΝΜ.Π. Χρονόπουλος<sup>1</sup>**Περίληψη**

Στην εργασία επιχειρείται μια αναλυτική παρουσίαση ταξινομήσεως βλαβών από σεισμό σε κατασκευές με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα και οργανισμό πληρώσεως από οπτοπλινθοδομές.

Η ταξινόμηση περιλαμβάνει και τους τυπικούς βαθμούς βλάβης (χωριστά για τον φέροντα οργανισμό και τον οργανισμό πληρώσεως) και τον χαρακτήρα των βλαβών (ανάλογα με την έκταση της βλάβης).

Επίσης παρουσιάζονται και στοιχεία κόστους εργασιών επεμβάσεων (επισκευών ή/και ενισχύσεων) ανάλογα με την ταξινόμηση των βλαβών.

Τα στοιχεία κόστους δίνονται τόσο για τις απαραίτητες επεμβάσεις στον σκελετό όσο και για τις επεμβάσεις στον οργανισμό πληρώσεως, στα δευτερεύοντα δομικά στοιχεία, στις εγκαταστάσεις, κ.λ.π.

---

<sup>1</sup>Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π., Επιστ. Συνεργ. Κλάδου Ω.Σ., Ε.Μ.Π.

## 1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

Στα επόμενα παρουσιάζεται μια ταξινόμηση των βλαβών που παρουσιάζονται στα διάφορα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής μετά από σεισμό.

Η ταξινόμηση περιλαμβάνει:

- τους τυπικούς βαθμούς βλάβης, που αναφέρονται σε μεμονωμένα δομικά στοιχεία και συνδέονται άμεσα με απομένουσες αντοχές και διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας για αυτά τα βλαμμένα στοιχεία, και
- τον χαρακτήρα των βλαβών, που αναφέρεται στην κατασκευή ως σύνολο και συνδέεται με την ασφάλεια της κατασκευής και την λήψη αποφάσεων (επιλογή μέτρων "θεραπείας"), και τον βαθμό επείγοντος λήψεως μέτρων και επεμβάσεων.

### 1.1. Τυπικοί βαθμοί βλάβης

#### α. Θεμελίωση

Προβλήματα υπεδάφους ή/και θεμελίων (όπως ολισθήσεις, διαφορικές καθιζήσεις, βλάβη συνδετηρίων δοκών, ανησυχητική μορφολογία ρηγματώσεων ανωδομής, κ.λ.π.) θεωρούνται σοβαρές έως βαρείες βλάβες (επικίνδυνες για την ασφάλεια της κατασκευής ως συνόλου). απαιτείται ιδιαίτερη και προσεκτική αντιμετώπιση και διατίθενται ειδικές τεχνικές επεμβάσεων.

#### β. Ανωδομή

##### β.1. Φέρων οργανισμός

##### ■ Υποστυλώματα (Σχ. 1)

- Βαθμού "Α", ελαφρές βλάβες: μεμονωμένες ρωγμές μικρού πλάτους (μικρότερου από 2,0 mm) κυρίως λόγω κάμψης ή δευτερευόντων λόγων (π.χ. αρμοί διακοπής σκυροδετήσεως, ανεπαρκείς αγκυρώσεις, ελαφρές κρούσεις, κ.λ.π.)· για να χαρακτηριστεί μια βλάβη ως βαθμού "Α" πρέπει να αποδειχθεί ότι δεν οφείλεται σε ανεπάρκεια διατομής, χάλυβα ή σκυροδέματος.

- Βαθμού "Β", ελαφρές βλάβες: πολλές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες διατμητικές ρωγμές μικρού πλάτους (μικρότερου από 0,5 mm), με την προϋπόθεση ότι δεν

παρατηρούνται εμφανείς μετακινήσεις του σκελετού.

- Βαθμού "Γ", σοβαρές βλάβες:

έντονη ρηγμάτωση μεγάλου πλάτους, τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος από θλίψη ή/και διάτμηση

οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι πολύ μικρές.

- Βαθμού "Δ", βαρειές βλάβες:

θραύση του σκυροδέματος του στοιχείου, βλάβη των κυρίων οπλισμών, διακοπή της συνεχείας του στοιχείου

οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι μικρές.

Επισημαίνεται ότι αν οι προϋποθέσεις που αναφέρονται στα προηγούμενα για την ανεπάρκεια της διατομής ή τις μετακινήσεις των κόμβων δεν πληρούνται, τότε η βλάβη θεωρείται ενός βαθμού παραπάνω (π.χ. του βαθμού "Α" θεωρείται "Β", του "Β" "Γ", κ.λ.π.).

Επίσης, οι ελαφρές βλάβες θεωρούνται περιορισμένης σπουδαιότητας (εκτός αν παρουσιάζονται σε πολλά στοιχεία), ενώ οι σοβαρές και οι βαρειές βλάβες θεωρείται ότι επηρεάζουν την ασφάλεια της όλης κατασκευής (ακόμη και αν παρουσιάζονται σε λίγα στοιχεία).

#### ■ Δοκοί, πλάκες

Για τα κυρίως καμπτόμενα στοιχεία όπως είναι οι πλάκες και οι δοκοί, ισχύουν σε γενικές γραμμές, οι ίδιοι τυπικοί βαθμοί βλάβης όπως και για τα κυρίως θλιβόμενα στοιχεία - υποστυλώματα. Επίσης, ισχύουν και οι ίδιες προϋποθέσεις για ανεπάρκεια διατομής (χάλυβα ή σκυροδέματος) ή μετακινήσεις των κόμβων (κατακόρυφες και οριζόντιες).

Δεδομένου όμως του ότι οι δοκοί και οι πλάκες είναι από τα λιγότερο επιπνούμενα στοιχεία σε περίπτωση σεισμού, παρουσιάζονται, συνήθως, μόνο ελαφρές έως σοβαρές βλάβες, εκτός και αν υπάρχει πρόβλημα διαφραγματικής λειτουργίας ή/και μεταφοράς δυνάμεων στα στοιχεία ακαμψίας· σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν να παρουσιαστούν σοβαρές βλάβες, έντονες και διαμπερείς ρηγματώσεις, μερικές αποκολλήσεις, κ.λ.π. που απαιτούν ιδιαίτερη και προσεκτική αντιμετώπιση.

#### ■ Τοιχώματα, κόμβοι

Λόγω της σπουδαιότητας του ρόλου των στοιχείων αυτών του σκελετού μιάς κατασκευής στην αντισεισμική συμπεριφορά του συνόλου,



κάθε βλάβη και ρηγμάτωση, έστω και απλή - πολύ μικρού ανοίγματος, θεωρείται επικίνδυνη (επηρεάζει την ασφάλεια της όλης κατασκευής) και αντιμετωπίζεται τουλάχιστον ως σοβαρή βλάβη (βαθμού "Γ"), ή βαρειά (βαθμού "Δ") αν έχει συμβεί και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή/καί βλάβη των οπλισμών.

Από πλευράς μορφολογίας ισχύουν τα σκίτσα του Σχ. 1 για τους κόμβους· για τα τοιχώματα ισχύουν τα αντίστοιχα σκίτσα για τα υποστυλώματα, με την διαφορά ότι οι βαθμοί "Α" και "Β" θεωρούνται "Γ" και οι βαθμοί "Γ" και "Δ" θεωρούνται "Δ".

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: υπάρχει και τυπικός βαθμός "Ε", για δύσκολα επίσκευσιμες βλάβες, όταν οι μετακινήσεις του σκελετού είναι μέτριες έως μεγάλες, παρατηρούνται αποκολλήσεις ή μερικές καταρρεύσεις.

### β.2. Οργανισμός πληρώσεως

- Ελαφρές βλάβες:

απλή ρηγμάτωση με άνοιγμα ρωγμών μικρότερο από 1,0 mm, κυρίως στις γωνίες κουφωμάτων·

αποκολλήσεις - αποσυνδέσεις οργανισμού πληρώσεως και σκελετού.

- Σοβαρές βλάβες:

έντονη ρηγμάτωση, ρωγμές διαγώνιες ή χιαστί, με άνοιγμα μέχρι 5,0 mm, αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας, βλάβη των διαζωμάτων, σοβαρές βλάβες στα διακοσμητικά στοιχεία και στις εγκαταστάσεις.

- Βαρειές βλάβες:

θλιπτοδιατμητική θραύση, μεγάλες (~10 mm) και ανοικτές ρωγμές διαγώνιες ή χιαστί, σπάσιμο τούβλων, θραύση των διαζωμάτων, αποκλίσεις, βαρειές βλάβες στα διακοσμητικά στοιχεία και στις εγκαταστάσεις.

### β.3. Δευτερεύουσες κατασκευές

(καμινάδες, πατάρια, υαλοστάσια, κ.λ.π.).

#### Διακοσμητικά στοιχεία

(επενδύσεις, αψίδες, στηθαία, κ.λ.π.).

#### Εγκαταστάσεις

(υδραυλικές, ηλεκτρικές, κ.λ.π.).

Γι' αυτά τα στοιχεία μιάς κατασκευής δεν διακρίνονται τυπικοί βαθμοί βλάβης· η κατάταξη των βλαβών-τους γίνεται ανάλογα με

τον χαρακτήρα-τους, ανάλογα δηλ. με το αν είναι τοπικού, μερικού ή γενικού χαρακτήρα, όπως παρουσιάζεται στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

### 1.2. Χ α ρ α κ τ ή ρ α ς β λ α β ώ ν

- Βλάβες γενικού χαρακτήρα (καθολικές) για τον οργανισμό (φέροντα ή πληρώσεως) ενός ορόφου θεωρούνται αυτές που εκτείνονται στο σύνολο, σχεδόν, των στοιχείων (γραμμικών ή επιφανειακών) του οργανισμού.
- Βλάβες μερικού χαρακτήρα για τον οργανισμό (φέροντα ή πληρώσεως) ενός ορόφου θεωρούνται αυτές που εκτείνονται σε ποσοστό 1/3 έως 2/3 του συνόλου των στοιχείων (γραμμικών ή επιφανειακών) του οργανισμού.
- Βλάβες τοπικού χαρακτήρα για τον οργανισμό (φέροντα ή πληρώσεως) ενός ορόφου θεωρούνται αυτές που εμφανίζονται σε μεμονωμένα στοιχεία (γραμμικά ή επιφανειακά) του οργανισμού.

Ο χαρακτήρας των βλαβών, όσο αφορά δευτερεύοντα στοιχεία ενός κτιρίου (δευτερεύουσες κατασκευές, διακοσμητικά στοιχεία, υλικά εγκαταστάσεων, κ.λ.π.) εξαρτάται από την μιά από την επιρροή των βλαβών στην λειτουργικότητα των στοιχείων αυτών και από την άλλη από τον τυπικό βαθμό και τον χαρακτήρα της βλάβης του οργανισμού πληρώσεως, με τον οποίο (συνήθως) "συνδέονται" τα δευτερεύοντα αυτά στοιχεία.

### 1.3. Π α ρ α μ έ ν ο υ ς α ν τ ο χ ή

Οι τυπικοί βαθμοί αλλά και ο χαρακτήρας των βλαβών συνδέονται άμεσα, εκτός των άλλων, και με την παραμένουσα αντοχή και τα διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας των βλαμμένων δομικών στοιχείων και της κατασκευής ως σύνολου.

Στον Πιν. 1 παρουσιάζεται μια εκτίμηση παραμενουσών αντοχών (ως ποσοστών της αρχικής αντοχής) για μεμονωμένα δομικά στοιχεία, και, κυρίως για υποστυλώματα, ανάλογα με τον τυπικό βαθμό βλάβης από σεισμό που παρουσιάζουν και την ηλικία της κατασκευής ανάλογες εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν και για βλαμμένα τοιχώματα.

Πίνακας 1

Εκτιμήσεις παραμενουσών αντοχών για βλαμμένα δομικά στοιχεία  
(υποστυλώματα και τοιχώματα)

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ			
	"Α"	"Β"	"Γ"	"Δ"
Νέα	0,95	0,75	0,45	0,15
Παλιά	0,80	0,60	0,30	∅

(βλέπε βοήθημα 4)

Η εκτίμηση της παραμένουσας αντοχής της κατασκευής στο σύνολό-της είναι δύσκολη· πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα τα μεμονωμένα δομικά στοιχεία, ο τυπικός βαθμός βλάβης και η παραμένουσα αντοχή-τους, να εκτιμηθεί ο χαρακτήρας των βλαβών και των οριζοντίων φερόντων στοιχείων της κατασκευής και ο ρόλος-τους στην συμπεριφορά του κτιρίου. Ακόμη, πρέπει να εκτιμηθεί η δυνατότητα ανακατανομών της εντάσεως και να ληφθούν υπόψη κατάλληλοι συντελεστές βαρύτητας για τα μεμονωμένα κατακόρυφα στοιχεία, ανάλογοι με την επικινδυνότητά-τους, δηλ. με τις γενικότερες επιπτώσεις που προκαλεί ενδεχόμενη βαρεία βλάβη-τους.

Στον Πίν. 2 επιχειρείται μια, μάλλον συντηρητική, ψευδο-ποσοτική εκτίμηση της παραμένουσας αντοχής (ως ποσοστό της αρχικής αντοχής) κτιρίων στο σύνολό-τους, ανάλογα με τον τυπικό βαθμό και τον χαρακτήρα των βλαβών και την ηλικία και κατάσταση του κτιρίου. Ο πίνακας στηρίζεται σε μέσες τιμές παραμενουσών αντοχών όπως εκτιμήθηκαν (μετά από συγκέντρωση στοιχείων, ταξινόμηση των βλαβών, εκτίμηση της συμπεριφοράς του κτιρίου, των αναμενομένων ανακατανομών, των συντελεστών βαρύτητας, κ.λ.π.) για 50 περίπου οικοδομές, οι οποίες παρουσίασαν βλάβες (από ελαφρές-τοπικού χαρακτήρα έως σοβαρές-γενικού χαρακτήρα) κατά τους ισχυρούς σεισμούς του 1981.

Πίνακας 2

Εκτιμήσεις παραμενουσών αντοχών για βλαμμένα κτίρια (στο σύνολό-τους)

ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Β Λ Α Β Ε Σ		
	Ελαφρές, τοπι- κού χαρακτήρα	Σοβαρές, μερι- κού χαρακτήρα	Σοβαρές, γενι- κού χαρακτήρα
Νέα Καλή	0,95	0,80	0,60
Παλιά Καλή	0,80	0,65	0,45

(Νέα: &lt; 15 χρόνια, Παλιά: &gt; 25 χρόνια)

Επισημαίνεται ότι τέτοιες "γρήγορες" ψευδο-ποσοτικές εκτιμήσεις της παραμένουσας αντοχής του κτιρίου είναι ιδιαίτερα χρήσιμες:

- Η παραμένουσα αντοχή συνδέεται άμεσα με τον βαθμό επείγοντος λήψεως μέτρων· για τιμές κάτω του 0,50, περίπου, απαιτούνται άμεσα μέτρα, έστω προσωρινά, ενώ για τιμές που πλησιάζουν το 1,00 οι επεμβάσεις μπορούν να γίνουν αργότερα (π.χ. μέσα σε μια 10-ετία).
- Η παραμένουσα αντοχή συνδέεται άμεσα και με την απόφαση για απλή επισκευή ή για ενίσχυση της κατασκευής· με την προϋπόθεση ότι η αρχική μελέτη δεν έχει χονδροειδή σφάλματα (κυρίως συλλήψεως) και η κατασκευή δεν παρουσιάζει κακοτεχνίες, τότε μπορεί να γίνει μόνο επισκευή αν η απώλεια αντοχής είναι μέχρι 15%, ενώ επιβάλλεται ενίσχυση αν η απώλεια αντοχής είναι μεγαλύτερη από 20%.

## 2. ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Γενικώς, το κόστος των εργασιών επισκευών/ενισχύσεων πρέπει να βρίσκεται σε λογική σχέση και με το κόστος της αρχικής επένδυσης και με την αναμενόμενη υπόλοιπη "ζωή" της κατασκευής, και σε κάθε (συνήθη) περίπτωση να είναι μικρότερο από το κόστος ανακατασκευής.

Χρειάζεται προσοχή γιατί συχνά το κόστος των επισκευών/ενισχύσεων αυτό καθ'εαυτό είναι πολύ μικρότερο από το "κόστος" της

ανωμαλίας που συνεπάγονται οι εργασίες (διακοπή λειτουργίας, απώλειες παραγωγής, κόστος εξοπλισμού και εγκαταστάσεων για ειδικά κτίρια όπως δημόσια, βιομηχανικά, ξενοδοχεία, κ.λ.π.).

Υπάρχουν στοιχεία κόστους για επεμβάσεις σε πολλά κτίρια (δυστυχώς για το εξωτερικό και όχι για την χώρα-μας), κυρίως μεγάλα κτίρια κατοικιών, γραφείων, σχολείων, νοσοκομείων, κ.λ.π. με βάση αυτά τα στοιχεία το κόστος "συμφέρουσας" επεμβάσεως είναι 15% έως 35% του αρχικού ολικού κόστους της κατασκευής.

Ένα κριτήριο κόστους, που χρησιμοποιείται συχνά, είναι αυτό που προτείνεται στο βοήθημα 1:

$$(K. E./E.) \leq 0,80 (K.A.) \cdot \frac{T-t}{t} ,$$

όπου:

(K. E./E.)	= Κόστος Επισκευών/Ενισχύσεων
(K.A.)	= Κόστος Ανακατασκευής
T	= Εκτιμώμενη διάρκεια "ζωής" του κτιρίου
t	= Παρούσα ηλικία του κτιρίου.

Το παραπάνω κριτήριο ισχύει για, σχετικώς, "παλιά" κτίρια κατοικιών ( $t > T/2$ ) και έχει υιοθετηθεί, σε γενικές γραμμές, και από το Υ.Δ.Ε. στις "Κατευθυντήριες Προδιαγραφές και Οδηγίες για Επισκευές Κτιρίων με Βλάβες από Σεισμό", 1978.

Για τα κτίρια για τα οποία εκτιμήθηκε η παραμένουσα αντοχή-τους στην προηγούμενη παράγραφο (§1.3), επιχειρήθηκε και η συγκέντρωση στοιχείων κόστους των εργασιών επισκευών/ενισχύσεων.

Επισημαίνεται ότι σε όλα τα κτίρια (τα οποία είχαν μέχρι 4 ορόφους) έγιναν επισκευές και "λογικές" ενισχύσεις. Το κόστος των επεμβάσεων και το κόστος της ανακατασκευής-τους εκτιμήθηκαν με κοινά, περίπου, κριτήρια για όλες τις περιπτώσεις.

Στον Πίν. 3 παρουσιάζεται το κόστος των επεμβάσεων ως ποσοστό του κόστους ανακατασκευής του κτιρίου ανάλογα με την ταξινόμηση των βλαβών και την ηλικία/κατάσταση του κτιρίου. Όπως φαίνεται στον πίνακα, παρουσιάζεται χωριστά το κόστος για τον σκελετό και χωριστά για τον οργανισμό πλήρωσης, τις δευτερεύουσες κατασκευές, τα διακοσμητικά στοιχεία, τις εγκαταστάσεις, κ.λ.π.).

Πίνακας 3

Κόστος Επεμβάσεων / Κόστος Ανακατασκευής για βλαμμένα κτίρια

ΗΛΙΚΙΑ	Β Λ Α Β Ε Σ		
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Ελαφρές, τοπικού χαρακτήρα	Σοβαρές μερικού χαρακτήρα	Σοβαρές γενικού χαρακτήρα
Νέα	1: 0,05	0,20	0,30
Καλή	2: 0,05	0,15	0,25
Παλιά	1: 0,15	0,25	0,40
Καλή	2: 0,15	0,35	0,50

(1: σκελετός, 2: λοιπά)

Σύγκριση των πινάκων 2 και 3 δείχνει ότι η παραμένουσα αντοχή των βλαμμένων κτιρίων συνδέεται και με το κόστος των επεμβάσεων (για την ακρίβεια, η απώλεια αντοχής συνδέεται με το κόστος), με τις σχέσεις:

$$\text{νέα κτίρια} : (K. E./E.) \cong (1-U) \cdot (K.A.) \cdot (1,5+2,0)$$

$$\text{παλιά κτίρια} : (K. E./E.) \cong 0,80 \cdot (1-U) \cdot (K.A.) \cdot (2,0+2,5)$$

όπου  $U = (\text{Πίν. 2}) = \text{παραμένουσα αντοχή ως ποσοστό της αρχικής.}$

Ο τελευταίος όρος, και στις δύο παραπάνω σχέσεις, αντανακλά τον λόγο του συνολικού κόστους των επεμβάσεων προς το κόστος επισκευής/ενισχύσεως μόνο του σκελετού (περίπου διπλάσιο).

Οι προηγούμενες σχέσεις ισχύουν, κυρίως, για τοπικού και μερικού χαρακτήρα βλάβες, ενώ για γενικού χαρακτήρα το κόστος είναι μικρότερο (κατά 25% περίπου) από ότι προβλέπεται από τις σχέσεις.

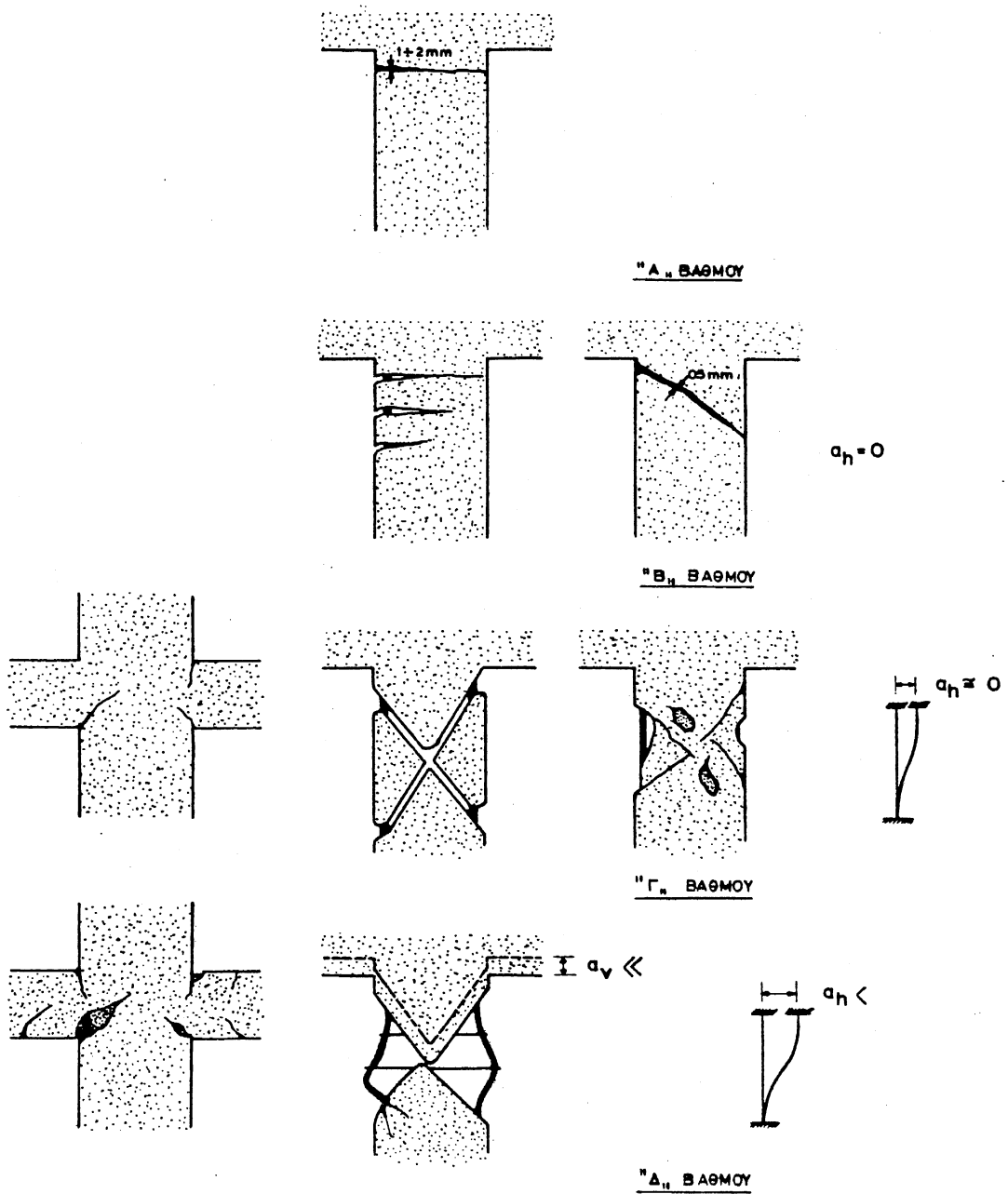
Τέλος, οι σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κριτήρια "συμφέρουσας" επεμβάσεως. Για  $U \cong 0,5$  (για παράδειγμα) ισχύει:

$$\text{νέα κτίρια} : (K. E./E.) \leq 0,75 (K.A.)$$

$$\text{παλιά κτίρια} : (K. E./E.) \leq 0,60 (K.A.).$$

ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ

1. "Repair of Buildings Damaged by Earthquakes"  
United Nations Publ., N.Y., 1977.
2. "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό"  
Ε.Μ.Π., Εδρα Ω.Σ., 1978.
3. "Επισκευές: Λήψη Αποφάσεων, Τεχνολογίες Επεμβάσεων".  
Μ.Π. Χρονόπουλος, 15η σειρά Μεταπτυχιακών Διαλέξεων.  
Εδρα Ω.Σ., Ε.Μ.Π., 1980.
4. "Assessment of concrete structures and Design Procedures for  
Upgrading".  
C.E.B., Bull. N. 162, 1983.



Σχ. 1: Τυπικοί βαθμοί βλάβης (βλ. βοήθημα 4)



