

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Αλέξανδρος Μπελιβάνης

Λεμεσός 2011

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Αλέξανδρος Μπελιβάνης

Επιβλέπων καθηγητής

Αναπληρωτής Καθηγητής Κρίστης Χρυσοστόμου

Λεμεσός 2011

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Αλέξανδρος Μπελιβάνης, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου Δρ. Κρίστη Χρυσοστόμου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο. Επίσης ευχαριστώ τον Δρ. Νικόλα Κυριακίδη για τις παρατηρήσεις και τις υποδείξεις του στη βελτίωση της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την πρόταση μεθοδολογίας για την ορθολογιστική λήψη απόφασης για την ενίσχυση κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Όσον αφορά στο τεχνικό μέρος, παρατίθενται πληροφορίες που αφορούν στην αντισεισμική ενίσχυση των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, ενώ όσον αφορά στο οικονομικό μέρος, εξηγούνται οι μέθοδοι ανάλυσης οφέλους-κόστους και ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis-LCCA), στην οποία υπολογίζεται η βέλτιστη στάθμη ενίσχυσης και το κόστος των ζημιών λόγω σεισμών συγκεκριμένης μεγίστης εδαφικής επιτάχυνσης (Peak Ground Acceleration-PGA), για δύο κατηγορίες των κτιρίων του Δήμου Λεμεσού, για τις οποίες θεωρείται ότι οι ζημιές από τυχόν σεισμούς θα έχουν το μεγαλύτερο κόστος και θα επηρεάσουν μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Αυτές οι δύο κατηγορίες περιλαμβάνουν χαμηλά κτίρια διώροφα ή χαμηλότερα και ψηλά κτίρια, εξαώροφα ως και οκταώροφα. Τέλος, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα και προτείνονται στρατηγικές λύσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xiii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xv
1 ΣΕΙΣΜΟΣ.....	19
1.1 Σεισμός.....	19
1.2 Ρήγματα	20
1.3 Μέγεθος και ένταση σεισμού	21
1.4 Κόστη που προέκυψαν από μεγάλους σεισμούς.....	22
2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	23
2.1 Στάθμες επιτελεστικότητας	23
2.2 Ανάλυση πριν και μετά την επέμβαση	25
2.2.1 Μέθοδοι ανάλυσης.....	25
2.3 Στρατηγικές ενίσχυσης.....	25
2.3.1 Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του κτιρίου.....	26
2.3.2 Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης.....	26
2.3.3 Διόρθωση κρίσιμων ανεπαρειών και μη κανονικοτήτων.....	27
2.3.4 Μείωση της σεισμικής απαίτησης.....	27
2.4 Συστήματα επεμβάσεων	27
2.4.1 Κατασκευή τοιχομάτων εντός πλαισίων.....	29
2.4.2 Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων.....	29

2.4.3	Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων	30
2.4.4	Ενίσχυση της κατασκευής με τοπικές επεμβάσεις.....	31
3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΦΕΛΟΥΣ-ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	39
3.1	Ανάλυση οφέλους-κόστους.....	39
3.1.1	Βήμα 1: Ποιο είναι το προς επίλυση πρόβλημα;.....	39
3.1.2	Βήμα 2: Κόστος κάθε εναλλακτικής μεθόδου.....	40
3.1.3	Βήμα 3: Οφέλη κάθε εναλλακτικής λύσης.....	40
3.1.4	Βήμα 4: Υπολογισμός της ελκυστικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης	45
3.1.5	Βήμα 5: Επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής λύσης.....	46
3.2	Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής.....	46
4	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΔΗΜΟΥ ΛΕΜΕΣΟΥ ΜΕΣΩ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	49
4.1	Η σεισμικότητα της Κύπρου.....	49
4.2	Η σεισμικότητα της Κύπρου στην ιστορία	50
4.3	Σεισμικές ζώνες στην Κύπρο	53
4.4	Σεισμική τρωτότητα υφιστάμενων κατασκευών.....	56
4.5	Κατηγοριοποίηση των υφιστάμενων κτιρίων του Δήμου Λεμεσού.....	57
4.6	Πρόταση μεθοδολογίας για την ορθολογιστική λήψη απόφασης για την ενίσχυση κτιρίων στο Δήμο Λεμεσού	61
4.6.1	Καμπύλες τρωτότητας.....	63
4.6.2	Κόστος λόγω ζημιών	65
4.6.3	Κόστος ενίσχυσης.....	73
4.6.4	Διαγράμματα κόστους ζημιών και ενίσχυσης συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης	75
5	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ.....	79
5.1	Χρήσιμες παρατηρήσεις.....	82

5.2	Λύσεις και στρατηγικές.....	85
5.2.1	Προτεινόμενες στρατηγικές και λύσεις με βάση τη δημιουργία κινήτρων.....	86
5.2.2	Προτεινόμενες στρατηγικές και λύσεις με βάση τη θέσπιση περιορισμών και υποχρεώσεων	88
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Κόστη μεγάλων σεισμών	22
Πίνακας 2.1 Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού	24
Πίνακας 4.1 Σεισμοί στην Κύπρο στην ιστορία	51
Πίνακας 4.2 Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού για τις 4 μεγαλύτερες πόλεις της Κύπρου	62
Πίνακας 4.3 Οι στατιστικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις εντολές στο λογισμικό matlab	63
Πίνακας 4.4 Κόστος λόγω ζημιών (χαμηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια (PGA=0,25g)	66
Πίνακας 4.5 Κόστος λόγω ζημιών (χαμηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια (PGA=0,175g)	67
Πίνακας 4.6 Κόστος λόγω ζημιών (χαμηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια (PGA=0,125g)	67
Πίνακας 4.7 Κόστος λόγω ζημιών (ψηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια (PGA=0,25g)	70
Πίνακας 4.8 Κόστος λόγω ζημιών (ψηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια (PGA=0,175g)	70
Πίνακας 4.9 Κόστος λόγω ζημιών (ψηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια (PGA=0,125g)	71
Πίνακας 4.10 Κόστος ενίσχυσης για τα 14000 χαμηλά κτίρια συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους.....	74
Πίνακας 4.11 Κόστος ενίσχυσης για τα 200 ψηλά κτίρια συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους.....	74
Πίνακας 5.1 Κόστος ζημιάς, ενίσχυσης και συνολικό για στάθμες ενίσχυσης 30%, 60%, 90% για σεισμούς με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50, 20 και 10 χρόνια, για χαμηλά κτίρια....	79

Πίνακας 5.2 Κόστος ζημιάς, ενίσχυσης και συνολικό για στάθμες ενίσχυσης 30%, 60%, 90% για σεισμούς με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50, 20 και 10 χρόνια, για ψηλά κτίρια 81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1 Παγκόσμια κίνηση των τεκτονικών πλακών (ιστοχώρος NASA).....	20
Εικόνα 2.1 Αποτελεσματικότητα διαφόρων μεθόδων ενίσχυσης (Sugano S., 1996)	28
Εικόνα 2.2 Τεχνικές κατασκευής τοιχωμάτων εντός πλαισίων α) με εγχυτο σκυρόδεμα και περιμετρική σύνδεση β) με προκατασκευασμένα τοιχώματα χωρίς πλευρική σύνδεση (Φαρδής, Δρίτσος 2003).....	29
Εικόνα 2.3 Μεταλλικά δικτυώματα εντός πλαισίων (Φαρδής, Δρίτσος 2003).....	30
Εικόνα 2.4 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες σύνδεσης μεταλλικών δικτυωμάτων (Φαρδής, Δρίτσος 2003).....	30
Εικόνα 2.5 Προσθήκη τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων (Φαρδής, Δρίτσος 2003) .	31
Εικόνα 2.6 Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. α) Εσωτερικό μεμονωμένο υποστύλωμα β) Περιμετρικό υποστύλωμα σε επαφή με τοίχωμα (Σπυράκος 2004).....	32
Εικόνα 2.7 Περίσφιξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα (αριστερά), περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό (δεξιά) (Φαρδής, Δρίτσος 2003).....	33
Εικόνα 2.8 Εφαρμογή της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού για ενίσχυση υποστυλώματος με επιβολή εξωτερικής περίσφιξης (Σπυράκος 2004).....	34
Εικόνα 2.9 Ενίσχυση τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής τους. α) Διατμητική ενίσχυση β) Καμπτική ενίσχυση γ) Διατμητική και καμπτική ενίσχυση με κλειστό μανδύα (Σπυράκος 2004).....	35
Εικόνα 2.10 Ενίσχυση με χιαστί κολάρα α) γενική διάταξη β) λεπτομέρεια εφαρμογής (Φαρδής, Δρίτσος 2003).....	36
Εικόνα 2.11 Ενίσχυση πεδύλων με την τεχνική των μανδύων, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (Φαρδής, Δρίτσος 2003).....	37
Εικόνα 2.12 Ενίσχυση πεδύλων όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (Φαρδής, Δρίτσος 2003)	37
Εικόνα 4.1 Τεκτονικός χάρτης ανατολικής μεσογείου (Ιστοχώρος Εκπαιδευτικού Εργαλείου Κυπριακής Γεωλογικής Κληρονομιάς)	50

Εικόνα 4.2 Η σεισμικότητα της Κύπρου (Ιστοχώρος Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων, Κυπριακή Δημοκρατία)	51
Εικόνα 4.3 Χάρτης Σεισμικών ζωνών Κύπρου (Ιστοχώρος Εκπαιδευτικού Εργαλείου Κυπριακής Γεωλογικής Κληρονομιάς)	54
Εικόνα 4.4 Χάρτης μικροζωνών με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους (Μικροζωνική μελέτη).....	55
Εικόνα 4.5 Διασπορά των κατοικιών στο Δήμο Λεμεσού (Δήμος Λεμεσού, 2009).....	55
Εικόνα 4.6 Αθροιστικός αριθμός (α) διαμερισμάτων και (β) οικιών στο Δήμο Λεμεσού ανά χρονική περίοδο(Χρυσοστόμου et al., 2011α)	58
Εικόνα 4.7 Κατανομή αριθμού (α) διαμερισμάτων και (β) οικιών ανά χρονική περίοδο (Χρυσοστόμου et al., 2011α).....	59
Εικόνα 4.8 Καμπύλες τρωτότητας για την Κύπρο (Schnabel, 1987).....	61
Εικόνα 4.9 Καμπύλες τρωτότητας για κτίρια με αριθμό ορόφων ≤ 2	64
Εικόνα 4.10 Καμπύλες τρωτότητας για κτίρια με αριθμό ορόφων 6-8.....	64
Εικόνα 4.11 Κόστος ζημιάς για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (PGA=0,25g)	68
Εικόνα 4.12 Κόστος ζημιάς για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια (PGA=0,175g)	69
Εικόνα 4.13 Κόστος ζημιάς για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια (PGA=0,125g)	69
Εικόνα 4.14 Κόστος ζημιάς για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (PGA=0,25g)	72
Εικόνα 4.15 Κόστος ζημιάς για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια (PGA=0,175g)	72
Εικόνα 4.16 Κόστος ζημιάς για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια (PGA=0,125g)	73
Εικόνα 4.17 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (PGA=0,25g)	75

Εικόνα 4.18 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια (PGA=0,175g)	76
Εικόνα 4.19 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια (PGA=0,125g)	76
Εικόνα 4.20 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (PGA=0,25g)	77
Εικόνα 4.21 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια (PGA=0,175g)	77
Εικόνα 4.22 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια (PGA=0,125g)	78
Εικόνα 5.1 Συνολικά κόστη για χαμηλά και ψηλά κτίρια για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια.	82
Εικόνα 5.2 Συνολικά κόστη για χαμηλά και ψηλά κτίρια για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια.	83
Εικόνα 5.3 Συνολικά κόστη για χαμηλά και ψηλά κτίρια για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια.	84

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AKKZ Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής

LCCA Life Cycle Cost Analysis (Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής)

PGA Peak Ground Acceleration (Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση)

NPV Net Present Value (Καθαρή Παρούσα Αξία)

NIBS National Institute of Building Science

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Μακροσεισμική ένταση I_{MM}

Modified Mercalli Intensity

Εθνικό Ινστιτούτο της Επιστήμης των κατασκευών

National Institute of Building Science

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μια ιδιαίτερα σεισμογενή περιοχή όπως η Κύπρος, ένας από τους κυριότερους στόχους του μελετητή μηχανικού είναι η θωράκιση των κατασκευών έναντι των σεισμικών δράσεων. Οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί έχουν φτάσει σε αρκετά υψηλό επίπεδο με αποτέλεσμα τα σύγχρονα κτίρια να είναι αρκετά ασφαλέστερα από τα παλαιότερα. Όμως τα τελευταία αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων στην Κύπρο. Πιο συγκεκριμένα αποτελούν ποσοστό μεγαλύτερο του 70% των κτιρίων στο Δήμο Λεμεσού (που είναι η περιοχή που επικεντρώνεται η παρούσα εργασία) και τα πλείστα είναι κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος. Συνεπώς αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή κινδύνου από το σεισμό. Για να μειωθεί αυτός ο κίνδυνος, τα κτίρια που αντιμετωπίζουν προβλήματα ασφαλείας μπορούν να ενισχυθούν.

Σύμφωνα με τον Κοσμόπουλο (Κοσμόπουλος 2005) «Με τον όρο ενίσχυση αποδίδεται η αναβάθμιση της αντοχής της κατασκευής σε εξωτικές δράσεις, (στη συγκεκριμένη περίπτωση σεισμό) σε σύγκριση με το επίπεδο του αρχικού σχεδιασμού της».

Ο Κυπριακός αντισεισμικός κανονισμός εισήχθη το 1992. Αυτό σημαίνει ότι είναι δεδομένο πως τα κτίρια που κτίστηκαν πριν το 1992 αντιμετωπίζουν σοβαρό κίνδυνο σε ενδεχόμενο σεισμό. Πριν το 1992 υπήρχαν κάποιοι κανονισμοί όπως οι CP 110 και BS 8110 οι οποίοι όμως δεν κάλυπταν το σχεδιασμό για σεισμικά φορτία. Τα κτίρια που κτίστηκαν πριν το 1992 είναι σχεδιασμένα να αναλαμβάνουν μόνο κατακόρυφες δράσεις και όχι οριζόντιες, ενώ αυτά που κτίστηκαν μετά το 1992 ικανοποιούν όλες τις προδιαγραφές των σύγχρονων κανονισμών, όπως τον ικανοτικό σχεδιασμό υποστυλωμάτων σε κάμψη, την κατασκευαστική διαμόρφωση, τις λεπτομέρειες όπλισης μελών για λόγους τοπικής πλαστιμότητας κλπ.

Πάρα το γεγονός ότι ο σεισμικός κίνδυνος προέρχεται από τα παλαιά κτίρια, το συνολικό κόστος ενίσχυσης είναι τόσο μεγάλο, που η πολιτεία αγνοεί το πρόβλημα και περιμένει ότι θα λυθεί μέσω της φυσικής φθοράς των κτιρίων που θα οδηγήσει σε κατεδάφιση και ανοικοδόμηση. Από την άλλη πλευρά, ο μέσος πολίτης αδυνατεί ή είναι απρόθυμος να καταβάλει το οικονομικό αντίτιμο της επαρκούς ασφάλειας. Αν το θέμα τεθεί ανοικτά από την πολιτεία, ο μέσος πολίτης θα απαιτήσει από την ίδια να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες και να αναλάβει μεγάλο μέρος του κόστους, δεδομένου ότι αυτή θέσπισε τους παλαιούς κανονισμούς, όμως αυτή δεν θα μπορεί να ανταποκριθεί. Το πρόσθετο κόστος για

να σχεδιαστεί με αντισεισμικό τρόπο ένα νέο κτίριο σε σύγκριση με το συνολικό είναι μικρό (5% το πολύ), όμως το κόστος σεισμικής ενίσχυσης μιας υφιστάμενης κατασκευής είναι αρκετά μεγάλο. Είναι λοιπόν πιθανό να είναι οικονομικότερη η κατεδάφιση της κατασκευής και η εκ νέου ανέγερση της.

Επίσης η ενίσχυση των κατασκευών είναι μια τεχνικά δύσκολη υπόθεση, πολύ δυσκολότερη από το σχεδιασμό νέων αντισεισμικών κατασκευών. Η διεθνής κοινότητα αντισεισμικής τεχνολογίας ξεκίνησε αρκετά πρόσφατα να ερευνά εις βάθος το θέμα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ακόμη ευρέως αποδεκτοί και πλήρεις κανονισμοί.

Έτσι η σεισμική ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών είναι περιορισμένη και εφαρμόζεται κυρίως σε κατασκευές με μεγάλη σπουδαιότητα όπως νοσοκομεία σχολεία ή δημόσια κτίρια που πρέπει οπωσδήποτε να λειτουργούν πλήρως μετά το σεισμό.

Η λήψη αποφάσεων για την αποκατάσταση ζημιών που προκλήθηκαν σε υφιστάμενα κτίρια από σεισμό ή οποιαδήποτε άλλη αιτία και η τυχόν ενίσχυση τους απαιτεί τόσο μελέτες μηχανικών, όσο και οικονομικές. Ακόμη επιβάλλεται να εξετασθούν κοινωνικά θέματα που ίσως είναι σημαντικά. Η άσκηση πολιτικής για θέματα σχετικά με την σεισμική ενίσχυση οικοδομημάτων είναι από τις πιο δύσκολες δημόσιες πολιτικές.

Ως εργαλεία λοιπόν για να ληφθούν οι σωστές αποφάσεις χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της ανάλυσης οφέλους-κόστους (Benefit-Cost Analysis) και η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis).

Η ανάλυση οφέλους-κόστους είναι μια τεχνική οικονομικής εκτίμησης που χρησιμοποιείται για την σύγκριση των αναμενόμενων οφελών από τις προτεινόμενες λύσεις για την ενίσχυση του κτιρίου. Όσο περισσότερο τα οφέλη υπερβαίνουν το κόστος για μια συγκεκριμένη λύση, τόσο περισσότερο αποδοτική είναι αυτή η λύση. Η εκπόνηση ανάλυσης οφέλους-κόστους είναι συνήθως σύνθετη διαδικασία που θα πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό, αφού περιλαμβάνει σύνθετους υπολογισμούς και προηγμένες μεθόδους χρηματοοικονομικής ανάλυσης που απαιτούν σχετικό υπόβαθρο γνώσεων. Η μέθοδος της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής βοηθά να ληφθούν αποφάσεις όταν έχει ήδη προσδιοριστεί αν η ενίσχυση είναι οικονομικά συμφέρουσα και το ερώτημα είναι ποιο επίπεδο ενίσχυσης πρέπει να επιλεγεί. Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό του αρχικού κόστους και του κόστους κύκλου ζωής, κατά τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής ή τον χρονικό ορίζοντα της ενίσχυσης. Σε αυτήν

την προσέγγιση, η βέλτιστη λύση είναι αυτή που συνεπάγεται το ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής.

Συνοψίζοντας, η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί προκειμένου να ενισχυθεί σεισμικά μια κατασκευή που παρουσιάζει αυξημένη σεισμική τρωτότητα ή μια ομάδα αυτών, ακολουθεί την εξής πορεία:

Πρώτο μέλημα του μηχανικού είναι να προσδιορίσει την υφιστάμενη κατάσταση της κατασκευής, όσον αφορά την αντοχή της και τη φέρουσα ικανότητά της σε σεισμικές δράσεις αλλά και κάθε άλλου τύπου φορτία. Αυτή η διαδικασία λέγεται αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών και μπορεί να γίνει ποικιλοτρόπως. Πρέπει να γίνεται και ανάλυση της κατασκευής.

Εφόσον γίνει η αποτίμηση, αξιολογηθούν τα αποτελέσματά της και βρεθούν τα «αδύναμα» σημεία της κατασκευής, ο μηχανικός πρέπει να προτείνει λύσεις που να είναι τεχνικά εφικτές. Προκειμένου να γίνει αυτό πρέπει να γνωρίζει τις στρατηγικές, τις μεθόδους και τις διάφορες τεχνικές ενίσχυσης των κατασκευών.

Η απόφαση για την πιο συμφέρουσα οικονομικά λύση θα ληφθεί με βάση τις μεθόδους ανάλυσης οφέλους-κόστους και ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής που προαναφέρθηκαν.

Στη συνέχεια γίνεται ο σχεδιασμός της εφαρμογής της επιλεγείσας λύσης και η εκτέλεση της.

Τέλος γίνεται και πάλι ανάλυση για να ελεγχθεί αν η λύση που εφαρμόστηκε πέτυχε πλήρως το σκοπό της ή σε ποιο βαθμό το έκανε.

Στην παρούσα εργασία ακολουθείται η παραπάνω διαδικασία για τα κτίρια του Δήμου Λεμεσού.

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας εξηγεί το φαινόμενο του σεισμού, παραθέτει άλλες σχετικές πληροφορίες, εξηγεί τι είναι μέγεθος και τι ένταση σεισμού και παρουσιάζει κόσμη που προκλήθηκαν από μεγάλους σεισμούς.

Το δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας περιλαμβάνει πληροφορίες για τις διαθέσιμες μεθόδους ενίσχυσης των υφιστάμενων κατασκευών και εξηγεί πως μπορούν να εφαρμοστούν και σε ποιές περιπτώσεις.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει πληροφορίες για τις μεθόδους ανάλυσης κόστους οφέλους και ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής και εξηγεί γενικά πως εφαρμόζονται για την ορθή λήψη απόφασης σχετικά με το αν πρέπει να ενισχυθεί μια κατασκευή και σε ποιο βαθμό.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει πληροφορίες για τη σεισμικότητα της Κύπρου, για τις σεισμικές ζώνες στις οποίες έχει χωριστεί και για τις κατηγορίες των κτιρίων στο Δήμο Λεμεσού. Επίσης παρουσιάζει τη μεθοδολογία που προτείνεται για την ορθολογιστική λήψη απόφασης για την ενίσχυση των κτιρίων στο Δήμο Λεμεσού, (η οποία περιλαμβάνει καμπύλες τρωτότητας που σχεδιάστηκαν στο λογισμικό matlab), καθώς και τα αποτελέσματα της.

Το πέμπτο κεφάλαιο προτείνει στρατηγικές και λύσεις με βάση τα αποτελέσματα.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη.

1 ΣΕΙΣΜΟΣ

Το διαχρονικά πολυσυζητημένο από τους πρωτόγονους μέχρι τους σύγχρονους ανθρώπους φαινόμενο του σεισμού είναι αυτό που προκαλεί το πρόβλημα ασφάλειας και κόστους. Αν δεν υπήρχε αυτό οι κατασκευές θα αντιμετώπιζαν πολύ μικρότερα προβλήματα ασφάλειας, θα κόστιζαν λιγότερο, θα είχαν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και δεν θα γινόταν αντικείμενο προς έρευνα η αντισεισμική ενίσχυση των κατασκευών και το κατά πόσο αυτή είναι συμφέρουσα. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες βασικές και απαραίτητες πληροφορίες για τους σεισμούς και πιο συγκεκριμένα για το πώς κατατάσσονται ανάλογα με το βάθος τους και την πηγή γένεσής τους, για τα ρήγματα καθώς και για το μέγεθος και την ένταση τους. Ακόμη παρουσιάζονται κόστη που προκλήθηκαν από μεγάλους σεισμούς.

1.1 Σεισμός

Σύμφωνα με τον Πενέλη και Κάππο (Πενέλης Γ.Γ και Κάππος Α.Ι., 1990) «Σεισμοί είναι εδαφικές δονήσεις που οφείλονται κυρίως στη θραύση ή την ξαφνική μετακίνηση κατά μήκος ενός υφιστάμενου ρήγματος στο στερεό φλοιό της Γής». Υπάρχουν διάφορα είδη σεισμών και στην παρούσα εργασία κατατάσσονται ανάλογα με το εστιακό τους βάθος και την πηγή γένεσής τους. Οι σεισμοί κατατάσσονται με βάση το εστιακό τους βάθος σε:

- Επιφανειακούς (με εστιακό βάθος < 70 km)
- Μέσου βάθους (με εστιακό βάθος κυμαινόμενο από 70 ως 300 km)
- Βαθιούς(με εστιακό βάθος >300 km)

Οι σεισμοί μπορούν ανάλογα με την πηγή γένεσής τους να καταταχθούν σε:

- Συνοριακούς (προκαλούνται από τις συγκρούσεις των λιθосφαιρικών πλακών, από την καταστροφή των πλακών καθώς βυθίζονται σε ζώνη καταβύθισης και από τις αποκλίσεις μεταξύ των πλακών κατά μήκος των ωκεάνιων κορυφογραμμών)
- Σεισμούς από εκρήξεις
- Ηφαιστειογενείς σεισμούς

- Σεισμούς από καταρρεύσεις
- Σεισμούς από υδατοφράκτες
- Κρυογενείς σεισμούς (συμβαίνουν με την απότομη πτώση της θερμοκρασίας λόγω της αύξησης του συγκρατημένου στο έδαφος όγκου του νερού λόγω της πήξης του)
- Τεχνητούς σεισμούς



Εικόνα 1.1 Παγκόσμια κίνηση των τεκτονικών πλακών (ιστοχώρος NASA)

1.2 Ρήγματα

Ρήγματα, σύμφωνα με τους γεωλόγους ονομάζονται οι απότομες αλλαγές στη δομή των πετρωμάτων. Η παρουσία ρήγματος σημαίνει ότι κατά το παρελθόν έχει παρουσιαστεί κίνηση κατά μήκος του. Αυτή η κίνηση είτε θα ήταν αργή ολίσθηση μη συνοδευόμενη από δόνηση του εδάφους, είτε θα ήταν απότομη, που σημαίνει ότι έγινε σεισμός. Το μήκος των ρηγμάτων ποικίλει και μπορεί να είναι από λίγα μέτρα ως πολλά χιλιόμετρα. Κίνηση κατά μήκος των ρηγμάτων ενδέχεται να παρουσιαστεί μόνο στα ενεργά. Η κίνηση μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφη. Τα ρήγματα χωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- Ρήγματα ολίσθησης κατά παράταξη (η κίνηση γίνεται παράλληλα με την παράταξη του ρήγματος)

Αυτά διαχωρίζονται περαιτέρω σε δεξιόστροφα και αριστερόστροφα ρήγματα ολίσθησης κατά παράταξη.

- Ρήγματα ολίσθησης κατά κλίση (η κίνηση γίνεται παράλληλα με τη φορά κλίσης τους ρήγματος)

Αυτά διαχωρίζονται περαιτέρω σε κανονικά και ανάστροφα ρήγματα ολίσθησης κατά κλίση.

- Ρήγματα πλάγιας ολίσθησης (συνδυασμός των δύο παραπάνω)

Αυτά μπορεί να είναι δεξιόστροφα κανονικά ή ανάστροφα και αριστερόστροφα κανονικά ή ανάστροφα.

1.3 Μέγεθος και ένταση σεισμού

Το μέγεθος του σεισμού φανερώνει το πόσο μεγάλος είναι ένας σεισμός και μετράται με την κλίμακα Richter. Είναι μια ποσοτική κλίμακα που μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε κατοικημένες όσο και σε ακατοίκητες περιοχές. Αρχικά ο Richter εισήγαγε την κλίμακα τοπικού μεγέθους (M_L), η οποία αποτελούσε το λογάριθμο με βάση το δέκα του μέγιστου πλάτους του σεισμικού κύματος που καταγραφόταν σε ένα σειсмоγράφο Wood- Anderson 100 Km από το επίκεντρο του σεισμού. Αργότερα εφευρέθηκαν και οι κλίμακες: Επιφανειακό μέγεθος (M_s), Χωρικό μέγεθος (m_b), Μέγεθος διάρκειας (M_D), Μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w). Το μέγεθος ενός σεισμού έχει ανώτατο όριο, το οποίο καθορίζεται από την αντοχή των πετρωμάτων του εξωτερικού φλοιού της Γής.

Ένταση είναι η έκταση των καταστροφών που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, και μετριέται με βάση την τροποποιημένη κλίμακα Mercalli, η οποία κυμαίνεται από το I έως το XII. Η ένταση καθορίζεται από τις επιπτώσεις της δόνησης στους ανθρώπους, στα κτίρια, στις γεωλογικές δομές κ.α. Έτσι γίνεται αντιληπτό πως η κλίμακα της έντασης είναι υποκειμενική, βασίζεται στις κοινωνικές και κατασκευαστικές συνθήκες κάθε χώρας και χρειάζεται αναθεώρηση από καιρό σε καιρό.

1.4 Κόστη που προέκυψαν από μεγάλους σεισμούς

Πίνακας 1.1 Κόστη μεγάλων σεισμών

Σεισμός	Κόστος
Σεισμός, περιοχή Σιτσουάν, Κίνα, 2008	147 δις. δολάρια
Μεγάλος Σεισμός του Κόμπε / Όσακα, Ιαπωνία, 1995	144 δις. δολάρια
Σεισμός Ιαπωνία, 2011	310 δις δολάρια
Σεισμός Χιλής, 2010	30 δις δολάρια
Σεισμός Ινδικού Ωκεανού, 2004	4,4 δις. δολάρια
Σεισμός, Ισμίτ, Τουρκία 1999	26 δις. δολάρια

Πηγή: Ιστοχώρος Ημερησία online και ιστοχώρος naftemporiki.gr

Δεδομένου λοιπόν ότι το φυσικό και αναπόφευκτο φαινόμενο του σεισμού προκαλεί μεγάλα προβλήματα στις κατασκευές, θέτοντας ζήτημα ασφάλειας και οικονομικό, καθίσταται αναγκαία η αντισεισμική ενίσχυση των κατασκευών.

2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο μηχανικός προκειμένου να προτείνει εφικτές λύσεις για τη αντισεισμική ενίσχυση μιας κατασκευής, πρέπει να είναι καλός γνώστης των διαθέσιμων μεθόδων και τεχνικών ενίσχυσης, ώστε να μπορεί να κρίνει ποιες είναι κατάλληλες για την κάθε περίπτωση και πως μπορούν να εφαρμοστούν. Οι βασικές τεχνικές γνώσεις που πρέπει να έχει αφορούν στις στάθμες επιτελεστικότητας, στις μεθόδους ανάλυσης κατασκευών, στις γενικές στρατηγικές ενίσχυσης και στην περιγραφή των μεθόδων και τεχνικών εφαρμογής.

2.1 Στάθμες επιτελεστικότητας

Σύμφωνα με τον Σπυράκο (Σπυράκος 2004) «Στάθμη επιτελεστικότητας ονομάζεται η επιθυμητή συμπεριφορά της κατασκευής για την αντίστοιχη σεισμική δράση σχεδιασμού». Είναι αναγκαίο να καθορίζεται η στάθμη επιτελεστικότητας, ώστε με δεδομένη αυτή ο μηχανικός συνεργαζόμενος με τον Κύριο του έργου να επιλέξει τη βέλτιστη λύση. Με τις στάθμες επιτελεστικότητας μπορούν να ικανοποιηθούν κοινωνικές και οικονομικές ανάγκες για δεδομένους σεισμούς σχεδιασμού. Τόσο ο ΚΑΝΕΠΕ (Κανονισμός Επεμβάσεων) όσο και ο Ευρωκώδικας 8 ορίζουν τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.

Ο ΚΑΝΕΠΕ ορίζει τρεις στάθμες επιτελεστικότητας οι οποίες είναι:

- Άμεση χρήση μετά το σεισμό
- Προστασία ζωής
- Οιονεί κατάρρευση

Σύμφωνα με τη στάθμη επιτελεστικότητας «άμεση χρήση μετά το σεισμό» είναι αναμενόμενο πως οι λειτουργίες του κτιρίου, τουλάχιστον οι βασικές δε θα διακοπούν μετά το σεισμό. Ενδέχεται να παρουσιαστούν τριχοειδείς ρωγμές (καμπτικού τύπου) στο φέροντα οργανισμό.

Σύμφωνα με τη στάθμη επιτελεστικότητας «προστασία ζωής» αναμένεται ότι θα παρουσιαστούν βλάβες επισκευάσιμες στο φέροντα οργανισμό και δεν θα υπάρξει θάνατος ή σοβαρός τραυματισμός λόγω των βλαβών.

Σύμφωνα με τη στάθμη επιτελεστικότητας «οιονεί κατάρρευση» είναι αναμενόμενο πως κατά το σεισμό σχεδιασμού θα συμβούν στο φέροντα οργανισμό σοβαρές βλάβες, μη επισκευάσιμες που μπορεί να επιφέρουν τραυματισμό ή θάνατο και αντιμετωπίζεται ενδεχόμενο κατάρρευσης.

Πίνακας 2.1 Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	Άμεση χρήση μετά τον σεισμό	Προστασία ζωής	Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Πηγή: ΚΑΝΕΠΕ

Κατά τον Ευροκώδικα 8-Μέρος 3 οι τρεις στάθμες επιτελεστικότητας είναι:

- Περιορισμός βλαβών
- Σημαντικές βλάβες
- Οιονεί κατάρρευση

Κατά τον «περιορισμό βλαβών», ο φέρον οργανισμός του κτιρίου παρουσιάζει μικρές βλάβες που δε χρειάζονται επισκευή και τα στοιχεία του διατηρούν την αντοχή τους καθώς δεν έχουν μπει σημαντικά στην ανελαστική περιοχή τους.

Κατά την κατάσταση «σημαντικές βλάβες», αναμένεται να προκληθούν αρκετές ζημιές στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου, όμως αυτός θα διατηρήσει σημαντικό μέρος της δυσκαμψίας και της αντοχής του έναντι οριζόντιων φορτίων, θα μπορεί να αντέξει μέτριου μεγέθους μετασεισμούς και τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία μπορούν να φέρουν τα κατακόρυφα φορτία.

Κατά την κατάσταση «οιονεί κατάρρευση», προκαλούνται από τον αντίστοιχο σεισμό βαριές βλάβες στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου, έχει μικρή απομένουσα δυσκαμψία και αντοχή σε οριζόντιες δράσεις, πράγμα που σημαίνει ότι το κτίριο ίσως να μην μπορεί να αντέξει άλλο σεισμό, όμως έχει την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Τα περισσότερα μη φέροντα στοιχεία έχουν καταρρεύσει και γενικότερα το κτίριο δεν απέχει πολύ από την κατάρρευση.

2.2 Ανάλυση πριν και μετά την επέμβαση

Είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί ανάλυση της κατασκευής για να υπολογιστούν τα εντατικά μεγέθη και οι παραμορφώσεις των στοιχείων του φέροντος οργανισμού, πριν και μετά την επέμβαση. Πριν την επέμβαση η ανάλυση βοηθά στη λήψη αποφάσεων για ενδεχόμενη ενίσχυση. Μετά την επέμβαση η ανάλυση στοχεύει να εξακριβώσει αν επετεύχθη η επιδιωκόμενη συμπεριφορά της κατασκευής και οι στόχοι που είχαν τεθεί από τον κύριο του έργου ή την υπεύθυνη δημόσια αρχή για περιπτώσεις δημοσίων έργων. Με βάση τα εντατικά μεγέθη και τις παραμορφώσεις που προκύπτουν από την ανάλυση με μία από τις συνιστώμενες μεθόδους, γίνονται οι αντίστοιχοι έλεγχοι ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

2.2.1 Μέθοδοι ανάλυσης

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι:

- Ελαστική στατική
- Ελαστική δυναμική
- Ανελαστική στατική
- Ανελαστική δυναμική

2.3 Στρατηγικές ενίσχυσης

Ο όρος στρατηγικές ενίσχυσης αναφέρεται στους γενικούς στόχους ενίσχυσης της σεισμικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής. Μπορεί να είναι τόσο τεχνικής όσο και διαχειριστικής φύσης και το εύρος των τεχνικών τους είναι μεγάλο.

Οι τεχνικής φύσης στρατηγικές περιλαμβάνουν τεχνικής φύσης επεμβάσεις όπως αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του κτιρίου, μείωση της σεισμικής απαίτησης, αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης, διόρθωση κρίσιμων ανεπαρκειών και μη κανονικοτήτων και βελτίωση του φορέα με τοπικές επεμβάσεις.

Οι διαχειριστικής φύσης στρατηγικές περιλαμβάνουν την πιθανή αλλαγή χρήσης, την προοδευτική εφαρμογή των επεμβάσεων, την απόφαση για λήψη προσωρινών μέτρων ενίσχυσης, την απόφαση για μερική ή ολική καθαίρεση (πχ ορισμένων ορόφων), την απόφαση για μονολιθική μεταφορά της κατασκευής σε άλλη θέση και την απόφαση για καμία επέμβαση.

Πολλές φορές η καλύτερη λύση για ένα κτίριο είναι αποτέλεσμα συνδυασμού των δύο παραπάνω τύπων στρατηγικών. Είναι λοιπόν επιθυμητή η επισήμανση από το Μηχανικό των διαχειριστικών στρατηγικών στον Κύριο του έργου ώστε να επιλέγεται η καταλληλότερη στρατηγική.

Ανάλογα με την επιδιωκόμενη συμπεριφορά της κατασκευής υπάρχουν οι εξής τεχνικής φύσης στρατηγικές αντισεισμικής ενίσχυσης:

- Αύξηση της δυσκαμψίας του κτιρίου
- Αύξηση της αντοχής του κτιρίου
- Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης των μελών της κατασκευής
- Διόρθωση κρίσιμων ανεπαρκειών και μη-κανονικοτήτων
- Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής(π.χ. σεισμική μόνωση)

2.3.1 Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του κτιρίου

Η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής συνήθως γίνονται ταυτόχρονα αφού οι περισσότεροι μέθοδοι που αυξάνουν την αντοχή μιας κατασκευής έχουν σαν αποτέλεσμα και την αύξηση της δυσκαμψίας (πχ προσθήκη τοιχωμάτων ή πλαισίων). Αυτό δεν ισχύει για τα τοπικά μέτρα ενίσχυσης που αυξάνουν την αντοχή δομικών στοιχείων με αμελητέα επιρροή στη δυσκαμψία του κτιρίου. Είναι η πιο διαδεδομένη στρατηγική. Με την αύξηση της δυσκαμψίας μειώνεται η απαίτηση σε μετακίνηση, ενώ με την αύξηση της αντοχής, η κατασκευή αντέχει σε μεγαλύτερη σεισμική δύναμη χωρίς να προκαλούνται βλάβες.

2.3.2 Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης

Αυτή είναι μια νέα μέθοδος η οποία αποσκοπεί στην αύξηση της ικανότητας των δομικών στοιχείων που φέρουν φορτία να διατηρούν την αντοχή τους για μεγάλες παραμορφώσεις. Οι κυριότερες μέθοδοι για αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης είναι:

- Επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης σε υφιστάμενα στοιχεία
- Τοπική απομείωση της δυσκαμψίας
- Τροποποίηση στοιχείων, κυρίως κατακόρυφων, του φέροντος οργανισμού ώστε να μεταβληθούν οι προβλεπόμενοι μηχανισμοί αστοχίας.
- Παροχή επιπλέον στήριξης σε περιοχές που αστοχούν λόγω υπερβολικών μετακινήσεων.

2.3.3 Διόρθωση κρίσιμων ανεπαρειών και μη κανονικοτήτων

Αυτή η στρατηγική αποσκοπεί στην άρση αυτών των χαρακτηριστικών της κατασκευής που μειώνουν την αντισεισμική της ικανότητα. Αυτά μπορεί να είναι η ύπαρξη αρμών στο δομικό σύστημα της κατασκευής, βλαμμένα δομικά στοιχεία κ.α.

2.3.4 Μείωση της σεισμικής απαίτησης

Αυτή η στρατηγική αποσκοπεί στο να μειωθούν οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις και οι παραμορφώσεις λόγω του σεισμού. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει είτε να μειωθεί η μάζα της κατασκευής, είτε να εγκατασταθούν συστήματα σεισμικής μόνωσης ή/και απορρόφησης ενέργειας. Εφόσον μειωθεί η μάζα, μειώνονται οι αδρανειακές δυνάμεις της κατασκευής και η απαίτησή της σε μετακίνηση. Εφόσον εγκατασταθούν συστήματα σεισμικής μόνωσης ή/και απορρόφησης ενέργειας παρέχεται αυξημένη προστασία στο φέροντα οργανισμό της κατασκευής και στα περιεχόμενά του, αλλά αυτού του είδους τα συστήματα συνεπάγονται μεγάλο κόστος. Γι αυτό είναι προτιμότερο να εφαρμόζονται σε κτίρια αυξημένης σπουδαιότητας με ευαίσθητο εξοπλισμό ή σε κτίρια των οποίων η λειτουργία είναι απαραίτητη μετά το σεισμό. Τέτοια μπορεί να είναι νοσοκομεία, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και τηλεπικοινωνιακά κέντρα.

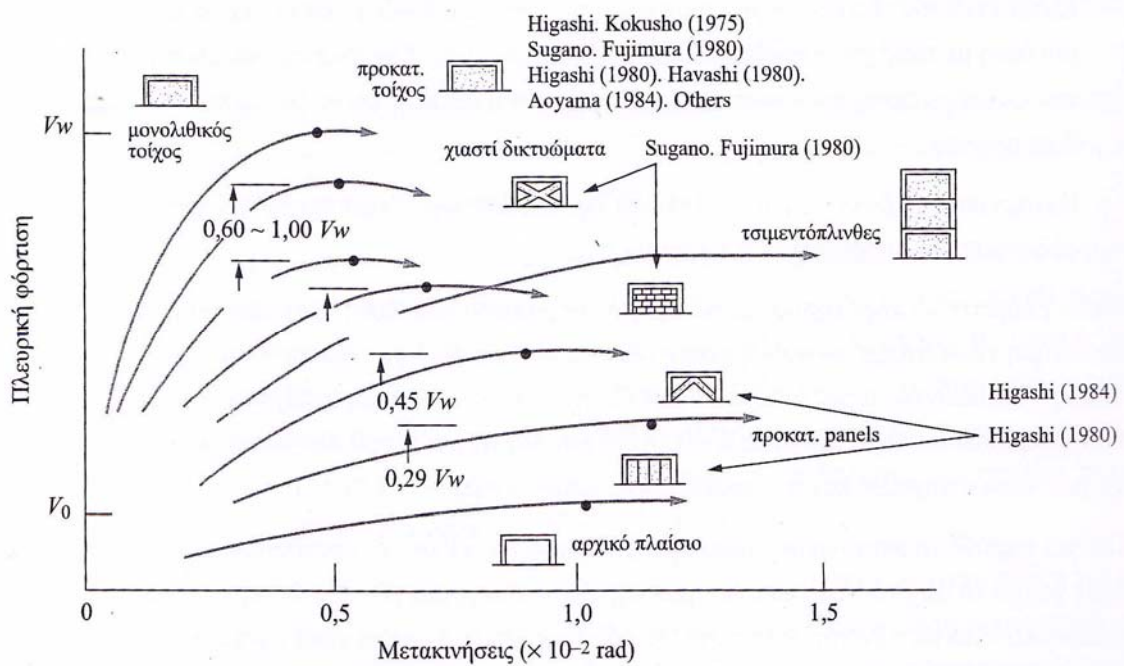
2.4 Συστήματα επεμβάσεων

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, οι μέθοδοι αντισεισμικής ενίσχυσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο ως εξής:

- Εφόσον ο στόχος είναι η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής, η αποτελεσματικότερη μέθοδος είναι η προσθήκη τοιχωμάτων εντός πλαισίων του φορέα. Έπεται η μέθοδος της προσθήκης δικτυωτών συνδέσμων, η μέθοδος της προσθήκης τοιχωμάτων κατ' επέκταση υφιστάμενων υποστυλωμάτων και η χρήση σύνθετων υλικών.
- Εφόσον ο στόχος είναι η αύξηση της πλαστιμότητας, τότε οι πιο ενδεδειγμένη μέθοδος είναι αυτή της κατασκευής μανδύων σε επιλεγμένα υποστυλώματα, καθώς και της χρήσης σύνθετων υλικών.
- Εφόσον ο στόχος είναι η ταυτόχρονη αύξηση των παραπάνω, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι μέθοδοι αντισεισμικής ενίσχυσης λαμβάνοντας υπόψη τον επιθυμητό βαθμό αύξησης του μεγέθους καθενός από τα

παραπάνω χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση που οι απαιτούμενες αυξήσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές και για τα τρία χαρακτηριστικά, πρέπει να γίνει προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων.

Είναι άξιο επισήμανσης πως πρέπει να επιλέγονται οι κατάλληλοι τύποι επέμβασης με γνώμονα μεταξύ άλλων τις επιπτώσεις που θα έχει κάθε είδους επέμβαση στη θεμελίωση του κτιρίου, καθώς και το ότι συχνά η βέλτιστη οικονομοτεχνικά λύση προκύπτει από ένα συνδυασμό μεθόδων ή επιμέρους τεχνικών.



Εικόνα 2.1 Αποτελεσματικότητα διαφόρων μεθόδων ενίσχυσης (Sugano S., 1996)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι συνολικής αντισεισμικής ενίσχυσης μιας κατασκευής:

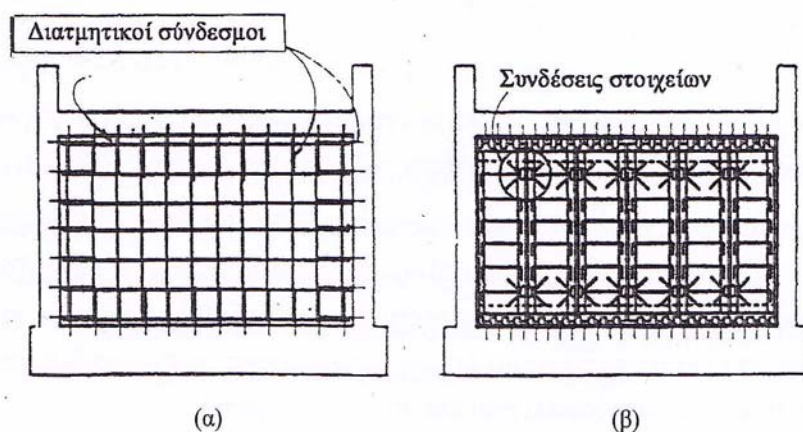
Περιγραφή μεθόδων και τεχνικών εφαρμογής

- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων
- Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων
- Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων
- Ενίσχυση της κατασκευής με τοπικές επεμβάσεις

2.4.1 Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων

Αυτή θεωρείται η καταλληλότερη μέθοδος για αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις που υπάρχει ασυμμετρία κατανομής της δυσκαμψίας καθ ύψος ή εκκεντρότητες δυσκαμψίας σε κάτοψη. Όπως είναι λογικό μεγάλο ρόλο έχει ο καθορισμός του αριθμού των τοιχωμάτων και η τοποθέτησή τους σε σωστές θέσεις. Οι τεχνικές προσθήκης τοιχωμάτων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του τοιχώματος:

- Τοιχώματα από σκυρόδεμα κατασκευασμένα στον τόπο του έργου
- Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels)
- Τοιχοποιία από συμπαγείς οπτόλιθους ή τσιμεντόλιθους



Εικόνα 2.2 Τεχνικές κατασκευής τοιχωμάτων εντός πλαισίων α) με εγχυτο σκυρόδεμα και περιμετρική σύνδεση β) με προκατασκευασμένα τοιχώματα χωρίς πλευρική σύνδεση (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

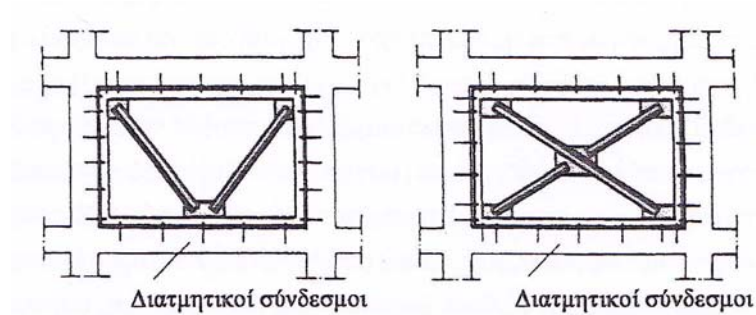
2.4.2 Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων

Με την προσθήκη δικτυωτών συνδέσμων εντός των πλαισίων του φέροντος οργανισμού μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος αυξάνεται η αντοχή, η δυσκαμψία και η πλαστιμότητά της. Συνήθως τα δικτυωτά συστήματα είναι μεταλλικά αφού ο χάλυβας μπορεί να αναλάβει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, άρα ενδείκνυται για την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας.

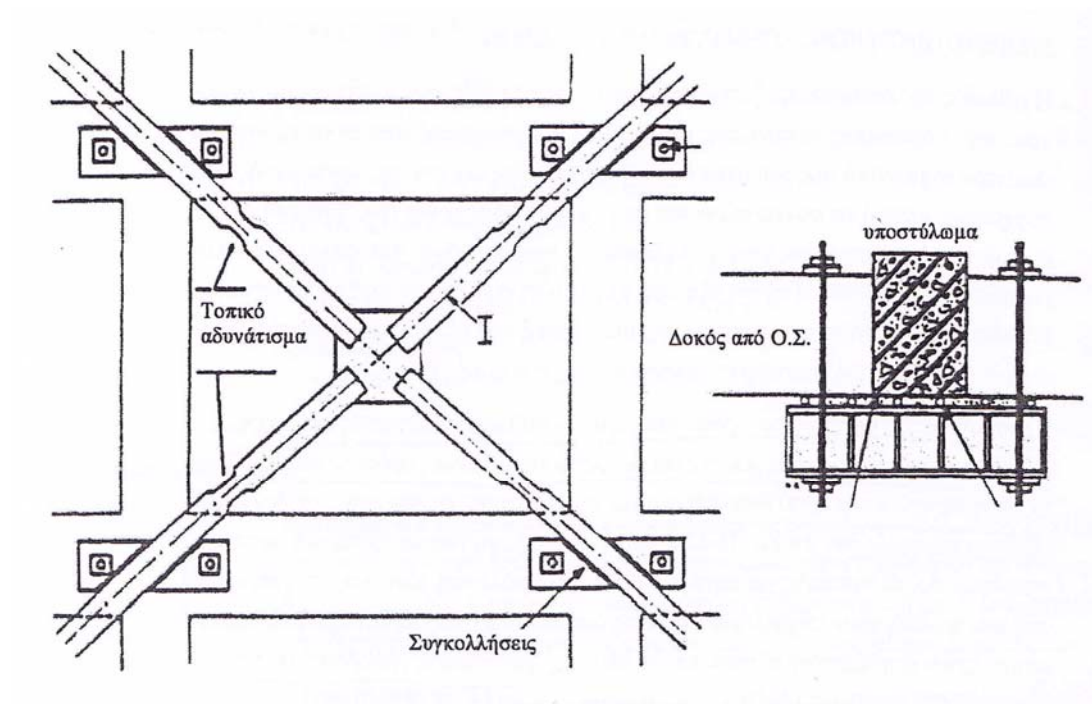
Κατηγορίες δικτυωτών συνδέσμων

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των διαγώνιων μελών τους και το ζύγωμα του φατνώματος, οι δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα
- Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα



Εικόνα 2.3 Μεταλλικά δικτυώματα εντός πλαισίων (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

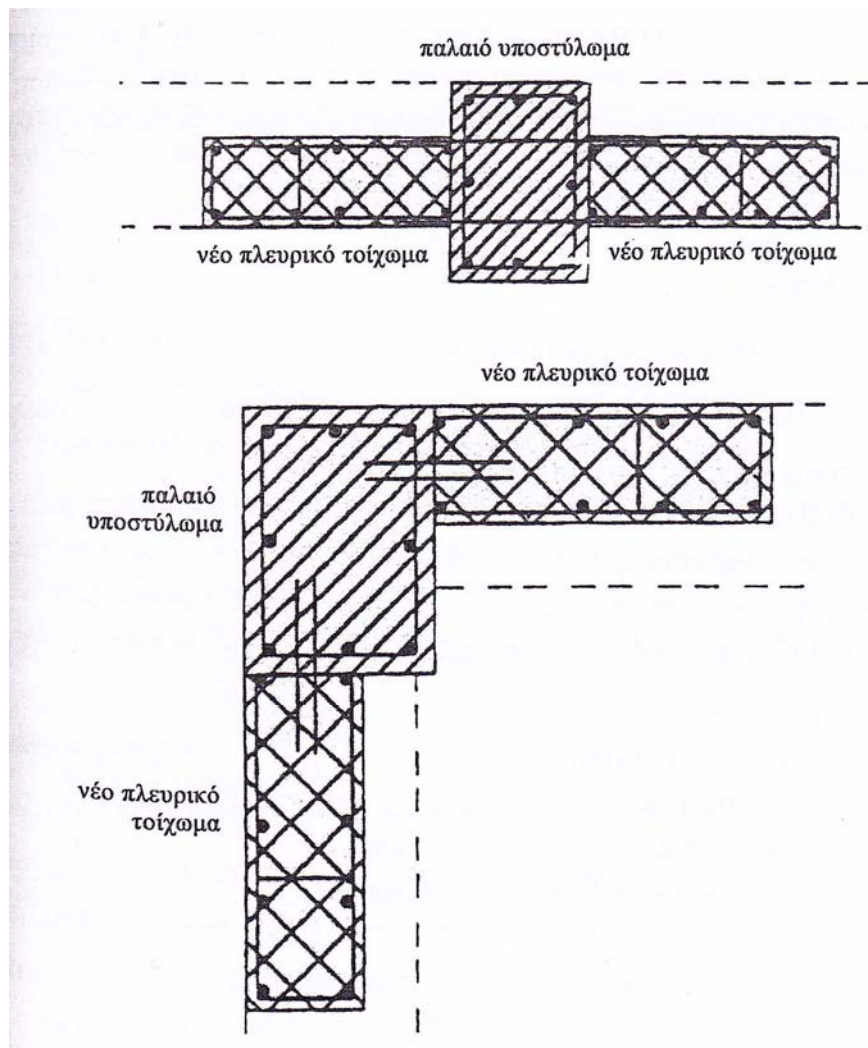


Εικόνα 2.4 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες σύνδεσης μεταλλικών δικτυωμάτων (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

2.4.3 Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων

Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται μεγάλη αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής και ηπιότερη αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της. Εφαρμόζεται σε επιλεγμένες θέσεις του φορέα και συνδυάζεται με ενίσχυση μεμονωμένων

υποστυλωμάτων με ανεπαρκή αντοχή ή/και πλαστιμότητα. Το τοίχωμα προστίθεται προς την τη διεύθυνση που απαιτείται αύξηση της αντίστασης της κατασκευής.



Εικόνα 2.5 Προσθήκη τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

2.4.4 Ενίσχυση της κατασκευής με τοπικές επεμβάσεις

Η ενίσχυση της κατασκευής με τοπικές επεμβάσεις αποσκοπεί στην ενίσχυση της κατασκευής μέσω της ενίσχυσης μεμονωμένων δομικών στοιχείων, όπως υποστυλωμάτων, δοκών, τοιχωμάτων, κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων και στοιχείων θεμελίωσης.

2.4.4.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων

Τα υποστυλώματα χρειάζονται ενίσχυση όταν πρέπει να παραλαμβάνουν φορτία μεγαλύτερα από τη διαθέσιμη αντοχή τους. Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες των

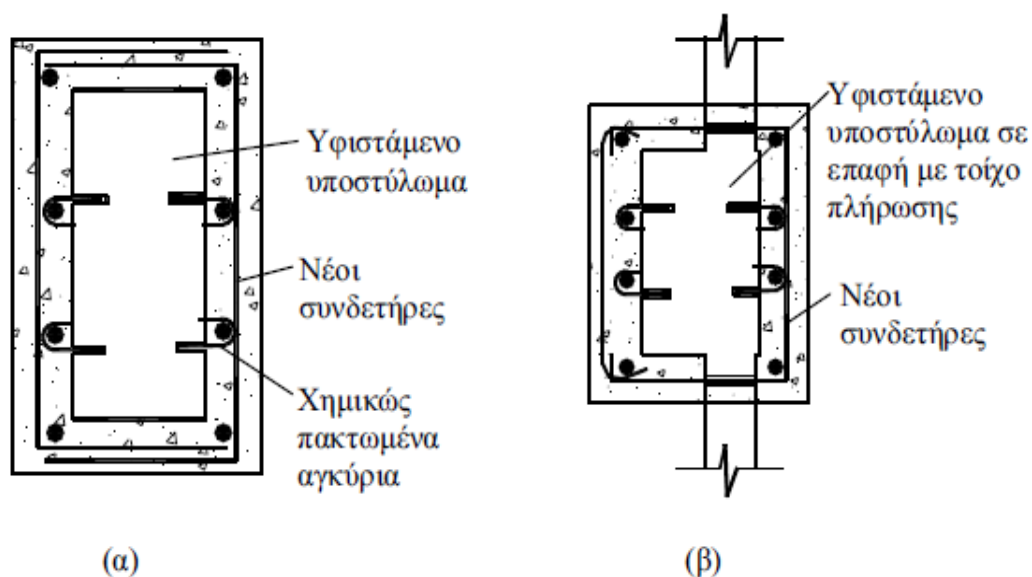
μεθόδων ενίσχυσης και διακρίνονται με βάση το αν χρειάζεται αύξηση της διατομής του στοιχείου.

1. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με αύξηση της διατομής
2. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιξη

1. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με αύξηση της διατομής

Αυτή η μέθοδος ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων συνεπάγεται την κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος και είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη σε περιπτώσεις που εμφανίζεται ανεπάρκεια χαρακτηριστικών όπως η αντοχή, η δυσκαμψία και η πλαστιμότητα. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η διατήρηση της εξωτερικής αρχιτεκτονικής του κτιρίου, η αύξηση του βαθμού πυροπροστασίας, η μείωση της λυγηρότητας καθώς και η αύξηση της δυσκαμψίας της διατομής. Τα πιο διαδεδομένα είδη μανδύων ανάλογα με το είδος σκυροδέματος που χρησιμοποιείται είναι:

- Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα
- Μανδύες από εκτοξευμένο σκυρόδεμα
- Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα
- Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα

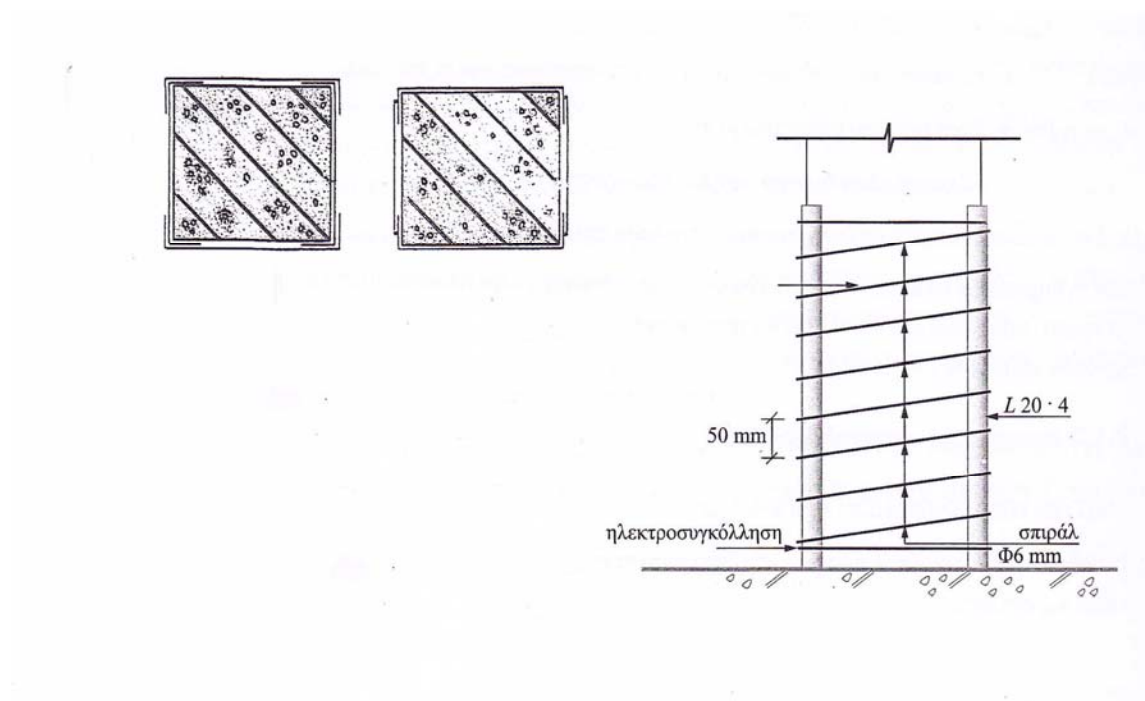


Εικόνα 2.6 Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. α) Εσωτερικό μεμονωμένο υποστύλωμα β) Περιμετρικό υποστύλωμα σε επαφή με τοίχωμα (Σπυράκος 2004)

2. Ενίσχυση των υποστυλωμάτων με περίσφιξη

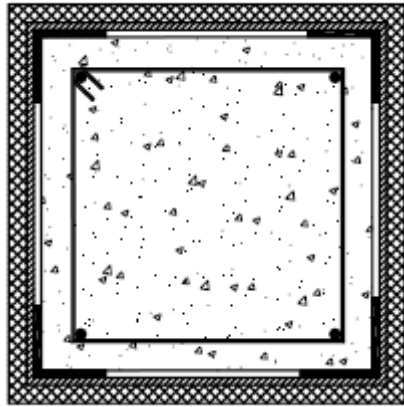
Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με εξωτερική περίσφιξη προσφέρεται όταν:

- Πρέπει να αυξηθεί η πλαστιμότητα του υποστυλώματος.
- Πρέπει να αυξηθεί η διατμητική αντοχή του υποστυλώματος.
- Όταν είναι επαρκής μια αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέχρι 30% το πολύ.
- Όταν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών του υποστυλώματος



Εικόνα 2.7 Περίσφιξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα (αριστερά), περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό (δεξιά) (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

Οι κυριότερες μέθοδοι επιβολής της περίσφιξης είναι με την τεχνική του μεταλλικού κλωβού και με μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή.



Εικόνα 2.8 Εφαρμογή της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού για ενίσχυση υποστυλώματος με επιβολή εξωτερικής περίσφιξης (Σπυράκος 2004)

2.4.4.2 Ενίσχυση δοκών

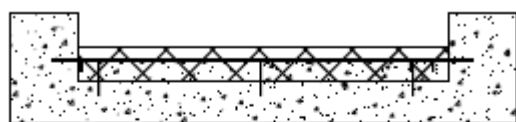
Η τεχνική η οποία επιλέγεται προκειμένου να ενισχυθεί μια δοκός, εξαρτάται άμεσα από το στόχο που καλείται να επιτύχει. Συνήθως ενισχύονται οι δοκοί που εμφανίζουν ανεπαρκή καμπτική ή και διατμητική αντοχή με βάση τις απαιτήσεις και τα κριτήρια σχεδιασμού της επιλεγείσας στάθμης επιτελεστικότητας καθώς και όταν προβλέπεται αύξηση των φορτίων που καλείται να αναλάβει λόγω αλλαγής χρήσης του κτιρίου. Οι τεχνικές με τις οποίες μπορεί να ενισχυθεί μία δοκός είναι:

- Ενίσχυση σε κάμψη με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος
- Ενίσχυση με προσθήκη νέων μεταλλικών μελών
- Ενίσχυση με μείωση του ανοίγματος της δοκού
- Ενίσχυση με προσθήκη επικολλητών χαλύβδινων ελασμάτων
- Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση
- Ενίσχυση δοκών με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

2.4.4.3 Ενίσχυση τοιχωμάτων

Τα τοιχώματα μπορούν να ενισχυθούν με τις ίδιες τεχνικές που ενισχύονται και τα υποστυλώματα, δηλαδή με αύξηση της διατομής τους μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος και με εξωτερική περίσφιξη. Η κατασκευή μανδύα είναι συνηθέστερη και σκοπεύει κατά κύριο λόγο στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του τοιχώματος.

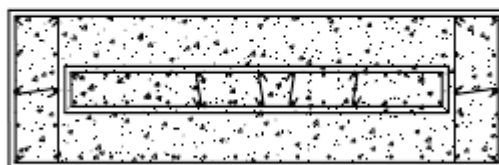
Η περίσφιγξη στα τοιχώματα είναι πολύ λιγότερο διαδεδομένη απ' ό,τι στα υποστύλωματα. Αυτό συμβαίνει διότι το ορθογώνιο σχήμα των τοιχωμάτων μειώνει την αποδοτικότητα της περίσφιγξης.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 2.9 Ενίσχυση τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής τους. α) Διατμητική ενίσχυση β) Καμπτική ενίσχυση γ) Διατμητική και καμπτική ενίσχυση με κλειστό μανδύα (Σπυράκος 2004)

2.4.4.4 Ενίσχυση κόμβων δοκών-υποστύλωματων

Η ενίσχυση των κόμβων δοκών-υποστύλωματων συνηθίζεται να γίνεται είτε με μανδύα σκυροδέματος, είτε με χρήση χιαστί κολάρων είτε με χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή.

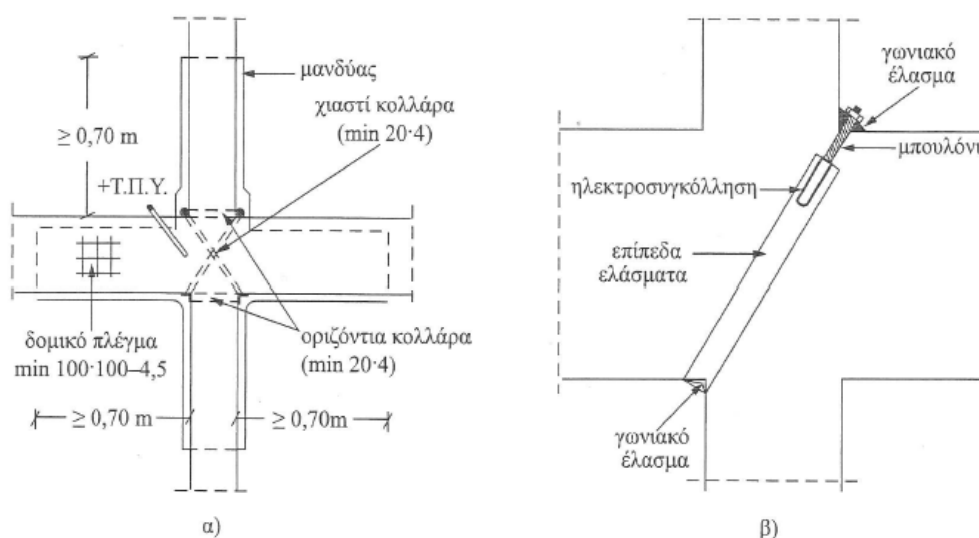
Ενίσχυση κόμβων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Οι ενίσχυση των κόμβων με μανδύες αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο ενίσχυσής τους. Συνήθως αποτελεί συνέχεια του μανδύα που έχει χρησιμοποιηθεί για

την ενίσχυση του υποστυλώματος, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και τοπικά μόνο στο σημείο του κόμβου.

Ενίσχυση κόμβων με την τεχνική των χιαστί κολάρων

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής δε συνίσταται για κόμβους που συντρέχουν τέσσερις δοκοί διότι η διέλευση των χιαστί διαγωνίων θα γίνει με διάτρηση των εγκάρσιων δοκών και η διατομή των κολάρων θα μετατραπεί σε κυκλική. Οπότε η τεχνική αυτή δεν εφαρμόζεται σε τέτοιες περιπτώσεις.



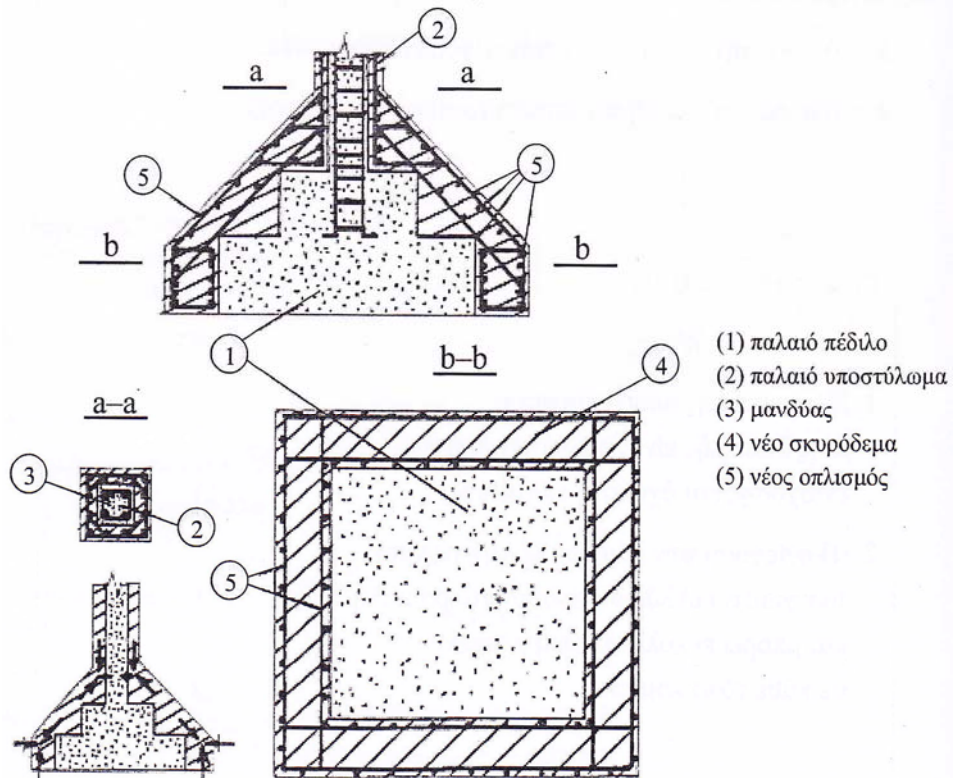
Εικόνα 2.10 Ενίσχυση με χιαστί κολάρα α) γενική διάταξη β) λεπτομέρεια εφαρμογής (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

Ενίσχυση κόμβων με την τεχνική των επικολλητών φύλλων

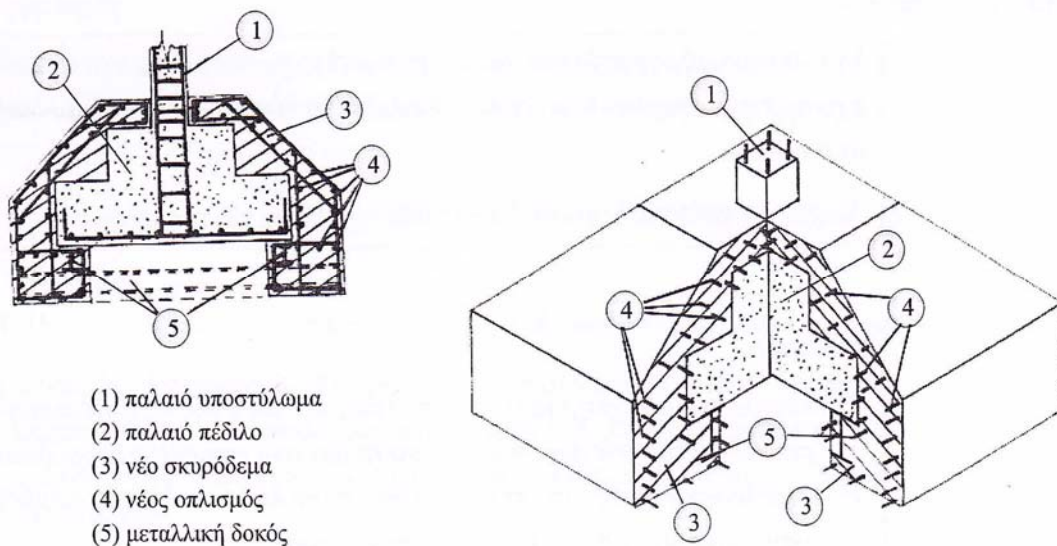
Αυτή η τεχνική έχει σημαντική συνεισφορά στη ενίσχυση του κόμβου, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs). Τα επικολλητά φύλλα προεκτείνονται εκατέρωθεν του κόμβου τόσο στις συντρέχουσες δοκούς όσο και στα υποστυλώματα.

2.4.4.5 Ενίσχυση στοιχείων θεμελίωσης

Συνήθως η ενίσχυση των θεμελιώσεων αφορά θέματα εδαφομηχανικής που εφαρμόζονται με επεμβάσεις στο έδαφος θεμελίωσης. Όμως υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτείται να γίνει αύξηση της επιφάνειας βάσης των πέδινων ή των πεδιλοδοκών.



Εικόνα 2.11 Ενίσχυση πεδίων με την τεχνική των μανδύων, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (Φαρδής, Δρίτσος 2003)



Εικόνα 2.12 Ενίσχυση πεδίων όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (Φαρδής, Δρίτσος 2003)

Ο μηχανικός οφείλει να γνωρίζει τις παραπάνω βασικές μεθόδους ενίσχυσης καθώς και τον τρόπο και τις περιπτώσεις στις οποίες μπορεί η κάθε μια τους να εφαρμοστεί. Έχοντας το τεχνικό υπόβαθρο μπορεί να κρίνει ποιες είναι τεχνικά εφικτές σε κάθε περίπτωση που απαιτείται ενίσχυση και έτσι να προτείνει εναλλακτικές λύσεις. Όμως για να επιλέξει την πιο συμφέρουσα από οικονομική σκοπιά λύση πρέπει να προβεί σε οικονομικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν την εφαρμογή των μεθόδων ανάλυση οφέλους-κόστους και ανάλυση κόστους κύκλου ζωής.

3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΦΕΛΟΥΣ-ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

3.1 Ανάλυση οφέλους-κόστους

Η ανάλυση οφέλους-κόστους είναι μια διαδικασία που βοηθά στη λήψη αποφάσεων που έχουν επίδραση στην κοινωνία. Στην ανάλυση οφέλους-κόστους η ενδεχόμενη ενδυνάμωση της αντοχής του κτιρίου απέναντι σε σεισμό εξετάζεται ως οικονομική επένδυση και για αυτό είναι σκόπιμη μόνο εφόσον τα αναμενόμενα οφέλη είναι περισσότερα από το κόστος της επένδυσης, δηλαδή, ο λόγος οφέλους-κόστους είναι μεγαλύτερος της μονάδας ή η διαφορά τους είναι μεγαλύτερη του μηδενός. Η μέθοδος έχει πέντε βασικά βήματα και για να εφαρμοστεί χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό με πολύ καλές γνώσεις οικονομικών.

3.1.1 Βήμα 1: Ποιο είναι το προς επίλυση πρόβλημα;

Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται οι δύο συνιστώσες του προβλήματος, που είναι η σεισμική επικινδυνότητα και η τρωτότητα των κατασκευών. Ακόμη προσδιορίζονται από τον μηχανικό οι εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν λαμβάνοντας υπόψη πάντα το ποιος είναι ο πελάτης, δηλαδή το δημόσιο ή ιδιώτης.

Σεισμική επικινδυνότητα:

Η σεισμική επικινδυνότητα περιλαμβάνει τυχαίους παράγοντες όπως το μέγεθος, η συχνότητα της διέγερσης και το επίκεντρο. Συνήθως στα μεγάλα έργα χρησιμοποιούνται σχέσεις που συσχετίζουν την συχνότητα της διέγερσης του σεισμού με μία δεδομένη μακροσεισμική ένταση I_{MM} (Modified Mercalli Intensity)

Σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

$$\log N = 2.55 - 0.61 I_{MM} \text{ (Παπαϊωάννου 2004)}$$

Για πιο λεπτομερή αποτελέσματα:

$$\log N = 4.79 - 0.92 I_{MM} \text{ (Παπαϊωάννου 2004)}$$

$$\log N = 5.02 - 1.01 I_{MM} \text{ (Κάππος 1995)}$$

Και οι τρεις σχέσεις δίνουν την ετήσια πιθανότητα να γίνει σεισμός με την παραδοχή ότι τα σεισμικά συμβάντα ακολουθούν την κατανομή του Poisson. Δίνουν αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα για σεισμούς με ένταση μεγαλύτερη από VIII.

Σεισμική τρωτότητα των κατασκευών:

Γενικά μια κατασκευή χαρακτηρίζεται ως τρωτή όταν δεν έχει κατασκευαστεί με αντισεισμικό σχεδιασμό. Αυτό κατά κύριο λόγο συνέβη στις παλαιότερες κατασκευές διότι τότε οι γνώσεις επί του θέματος ήταν αρκετά περιορισμένες. Στην Ελλάδα ο αντισεισμικός κανονισμός εισήχθη το 1984, ενώ στην Κύπρο το 1992.

Εναλλακτικές λύσεις:

Οι εναλλακτικές λύσεις προσδιορίζονται από το μηχανικό, ο οποίος πρέπει να είναι πολύ καλός γνώστης των τεχνικών ενίσχυσης. Πάντα μια εναλλακτική είναι η διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης. Από εκεί και πέρα μπορούν να καθοριστούν και οι άλλες με βάση τον επιδιωκόμενο στόχο και επίπεδο ενίσχυσης. Μπορούν για παράδειγμα να τοποθετηθούν τοιχώματα για ανάληψη των οριζόντιων δράσεων του σεισμού, σε όλες τις διευθύνσεις ώστε να εξασφαλιστεί η ανάληψη των οριζόντιων φορτίων (100% ενίσχυση) ή στις μισές (50% ενίσχυση).

Ο πελάτης:

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη το ποιος είναι ο πελάτης. Αν ο πελάτης είναι το κράτος, θα ενδιαφέρεται να μάθει αν είναι προς το συμφέρον του να ενισχύσει τα κτίρια μιας περιοχής ώστε να έχουν περιορισμένες ζημιές σε περίπτωση σεισμού, και αν είναι, σε ποιο επίπεδο. Αν ο πελάτης είναι ιδιώτης θα επιδιώκει να μάθει σε ποιο επίπεδο τον συμφέρει περισσότερο να ενισχύσει το κτίριο του.

3.1.2 Βήμα 2: Κόστος κάθε εναλλακτικής μεθόδου

Το κόστος κάθε εναλλακτικής μεθόδου μπορεί να ευρεθεί και να δοθεί στον Κύριο του έργου για να πάρει τις αποφάσεις του, από την κατασκευάστρια εταιρεία. Πρέπει να συνυπολογιστούν τα κόστη των εργασιών, των υλικών, του ανθρώπινου δυναμικού κ.α. Είναι αναμενόμενο και λογικό πως το κόστος ενίσχυσης θα αυξάνεται όσο θα αυξάνεται και το επίπεδο ενίσχυσης.

3.1.3 Βήμα 3: Οφέλη κάθε εναλλακτικής λύσης

Προσδιορίζεται η ζημία στο κτίριο από σεισμούς με διαφορετική μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (Peak Ground Acceleration-PGA) και με διαφορετική περίοδο επαναφοράς για κάθε εναλλακτική λύση. Επίσης υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται όπως το κόστος τυχόν απομάκρυνσης των κατοίκων του κτιρίου λόγω ζημιών, ψυχολογικά τραύματα και αλλά ψυχολογικά θέματα λόγω της νέας κατοικίας

ή θρησκευτικοί παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη σε μια ολοκληρωμένη μελέτη οφέλους-κόστους.

Το πιο σημαντικό ίσως κομμάτι είναι το βήμα 3. Για να διεκπεραιωθεί αυτό είναι απαραίτητη η κατασκευή των καμπυλών τρωτότητας του εκάστοτε εξεταζόμενου κτιρίου, οι οποίες παρουσιάζουν την πιθανότητα να υπάρξουν διάφορα επίπεδα ζημιών σε συνάρτηση με την κίνηση του εδάφους.

Για την περιγραφή της κίνησης του εδάφους χρησιμοποιείται ευρέως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration-PGA) παρόλο που δεν είναι ο καταλληλότερος τρόπος περιγραφής της κίνησης του, αφού δεν λαμβάνει υπόψη τη συχνότητα και τη διάρκεια της κίνησης του εδάφους.

3.1.3.1 Μέθοδοι εκτίμησης τρωτότητας

Οι κυριότερες μέθοδοι για εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας είναι:

- Εμπειρικές (βασίζονται σε παρατηρήσεις)
- Κρίση του ειδικού
- Αναλυτικές (βασίζονται σε απλοποιημένη ή εξειδικευμένη ανάλυση)

Εμπειρικές

Αυτές οι μέθοδοι υπολογίζουν τις καμπύλες τρωτότητας με βάση δεδομένα ζημιών από ιστορικούς σεισμούς. Αυτές οι καμπύλες μπορούν να χαρακτηριστούν αξιόπιστες εφόσον επαναλαμβάνονται πανομοιότυπα σεισμικά γεγονότα. Επίσης έχουν μικρό αριθμό δεδομένων που βασίζεται σε τοπικά χαρακτηριστικά. Οι εμπειρικές εκτιμήσεις ενέχουν μεγάλο ρίσκο αφού συχνά υποτιμούν το σεισμό.

Παρόλο που η επιθεώρηση μετά το σεισμό είναι η καλύτερη μέθοδος για να καθοριστούν οι εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας και είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστεί, σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί η μέθοδος, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Υπάρχουν πολύ λίγα δεδομένα για μη-κανονικές κατασκευές
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κτίρια μόνο από τις επηρεαζόμενες περιοχές και για αυτό μπορούν να παραχθούν καμπύλες για περιορισμένες κατηγορίες κτιρίων
- Σχετικά λίγα κτίρια έχουν εκτεθεί σε πολύ μεγάλες σεισμικές δυνάμεις και για πολλά από αυτά δεν υπάρχουν επαρκεί δεδομένα για την επιθεώρηση που

ακολούθησε του σεισμού. Υπάρχει δυσκολία να αναπτυχθεί ένα ρεαλιστικό σενάριο για σεισμούς που οδήγησαν σε κατάρρευση.

- Υπάρχει αβεβαιότητα στον καθορισμό της σεισμικής έντασης
- Υπάρχει αβεβαιότητα λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας των δεδομένων ζημίας.

Κρίση του ειδικού

Αυτή η μέθοδος είναι μία αποτελεσματική εναλλακτική στην εμπειρική τεχνική, αφού επηρεάζεται λιγότερο από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Το βασικό της μειονέκτημα είναι η υποκειμενικότητά της. Η γνώμη του ειδικού και οι αβεβαιότητες που επιφέρει, επιδεινώνονται από τις έτσι και αλλιώς δεδομένες αβεβαιότητες της απόδοσης του κτιρίου.

Αναλυτικές

Υπάρχουν οι απλές και οι λεπτομερείς αναλυτικές μέθοδοι. Η βασική διαφορά απαντάται στο τρόπο που εξετάζουν το σχεδιασμό του κτιρίου. Οι απλές μέθοδοι δεν απαιτούν ανάλυση της κατασκευής αλλά βασίζονται σε απλές εξισώσεις για να υπολογίσουν τη φέρουσα ικανότητα του. Αντίθετα, στις αναλυτικές μεθόδους η φέρουσα ικανότητα υπολογίζεται από ανάλυση της κατασκευής.

Απλές αναλυτικές μέθοδοι

Μια απλή αναλυτική διαδικασία προτάθηκε πρόσφατα από τον Calvi (1999) και βασίζεται στο λόγο μεταξύ της ικανότητας μετακίνησης ενός κτιρίου και της απαίτησης μετακίνησης από ένα σεισμό όπως καθορίζεται από το αντίστοιχο φάσμα απόκρισης. Θεωρήθηκαν τέσσερις οριακές καταστάσεις (LS) που κυμαίνονται από ελαφριά ζημιά ως κατάρρευση. Έχουν καθοριστεί ελάχιστα και μέγιστα όρια για το κάθε επίπεδο ζημίας. Κάθε κτίριο εξομοιώνεται με μονοβάθμιο ταλαντωτή.

Μια πιο πλήρης προσπάθεια να παραχθούν απλές αναλυτικές μεθόδους, έγινε από το Εθνικό Ινστιτούτο της Επιστήμης των Κατασκευών, δηλαδή το National Institute of Building Science (NIBS) που ιδρύθηκε από τη FEMA (1997). Το πρόγραμμα είχε ως αποτέλεσμα ένα διαδραστικό λογισμικό για την εκτίμηση του κινδύνου το οποίο αναφέρεται ως HAZUS 99 (NIBS, 1999). Θεωρεί 36 τύπους κτιρίων και τέσσερα επίπεδα ζημιών. Ελαφριού μεγέθους, μέτριου, εκτεταμένου και ολοκληρωτική ζημιά. Για κάθε τύπο κτιρίου τα κατώτατα όρια και η διακύμανση των επιπέδων της ζημίας

ορίζονται χρησιμοποιώντας φάσματα μετατόπισης ως παραμέτρους σεισμικού κινδύνου.

Λεπτομερείς αναλυτικές διαδικασίες

Οι λεπτομερείς αναλυτικές διαδικασίες είναι πιο πλήρεις και απαιτητικές. Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται πιο λεπτομερής πληροφορία, όπως σε κτίρια υψηλής σημασίας ή σε κτίρια για τα οποία δεν υπάρχουν εμπειρικά δεδομένα. Γενικά αυτές οι μέθοδοι βασίζονται:

- Στον προσδιορισμό του σεισμικού κινδύνου.
- Στο σχεδιασμό της κατασκευής και στην ανάλυση για τον προσδιορισμό της απόκρισης της κατασκευής.
- Στη συσχέτιση της απόκρισης της κατασκευής με τη ζημιά.

3.1.3.2 Οικονομικά δεδομένα

Τα οικονομικά δεδομένα είναι πρωταρχικής σημασίας για την αξιοπιστία του αποτελέσματος της κάθε μεθοδολογίας λήψης αποφάσεων, όμως είναι δύσκολο να αποκτηθούν. Υπάρχουν στατιστικές υπηρεσίες που καταγράφουν διάφορα οικονομικά δεδομένα σε κάθε περιοχή και με βάση αυτά εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα. Πάντα πρέπει να χρησιμοποιούνται παράμετροι αντιπροσωπευτικοί της περιοχής που εξετάζεται.

Εφόσον υπολογιστεί το επίπεδο των ζημιών από τις καμπύλες τρωτότητας για κάθε περίπτωση σεισμού και για κάθε εναλλακτική λύση, υπολογίζεται το κόστος που θα έχουν αυτές οι ζημιές για κάθε περίπτωση. Αυτό το κόστος έχει να κάνει με ένα ευρύτατο φάσμα παραμέτρων των οποίων ο υπολογισμός είναι περίπλοκος και συχνά ενέχει απλοποιητικές παραδοχές. Μπορεί να είναι η ζημιά που θα προκληθεί στα κτίρια από τον σεισμό ή τα χαμένα έσοδα για τον ιδιοκτήτη από ενοίκια. Ακόμη μπορεί να είναι κόστος λόγω αλλαγής τοποθεσίας ,λόγω καταστροφής των αντικειμένων που βρίσκονταν μέσα στο κτίριο, χαμένα έσοδα λόγω διακοπής της λειτουργίας επιχείρησης ή κόστος από ανθρώπινες απώλειες λόγω κατάρρευσης του κτιρίου.

Το κόστος λόγω ανθρώπινων απωλειών είναι πάρα πολύ σημαντικό πρώτα από όλα αν το δει κάποιος από ανθρώπινη και ευαισθητοποιημένη σκοπιά, αλλά και δεύτερον

από οικονομική. Η αξία της ανθρώπινης ζωής δεν έχει μία συγκεκριμένη τιμή σε όλο τον κόσμο. Εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που έχουν να κάνουν με το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο της κάθε χώρας. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α. κυμαίνεται από 1 έως 5 εκατομμύρια δολάρια, την ίδια ώρα που στην Ελλάδα είναι μεταξύ 50.000 και 500.000 ευρώ, σύμφωνα με τους Κάμπο και Δημητρακόπουλο. (Κάμπος, Δημητρακόπουλος 2007).

Όλοι οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της μεθόδου και πρέπει να ληφθούν υπόψη, πρέπει να εκφράζονται σε νομισματικές μονάδες. Υπάρχουν ακόμα κάποιοι παράγοντες, (αναφέρονται στη συνέχεια) που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αφού είναι σχετικοί με τον υπολογισμό των οφελών των εναλλακτικών λύσεων.

3.1.3.3 Χρονικός ορίζοντας

Παρόλο που ένα κτίριο μπορεί να αναμένεται να έχει διάρκεια ζωής 50 χρόνια αν η περιοχή δεν αντιμετωπίζει σοβαρούς σεισμούς, αξίζει να υπολογιστεί το κατά πόσο συμφέρει η κάθε εναλλακτική λύση χρησιμοποιώντας μικρότερους χρονικούς ορίζοντες. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για αυτό. Παραδείγματος χάριν αν το κτίριο κατεδαφιστεί σε λίγα χρόνια και κτιστεί άλλο (ειδικά για παλαιές κατασκευές).

3.1.3.4 Προεξοφλητικό επιτόκιο

Το προεξοφλητικό επιτόκιο χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το κόστος (απώλειες) από μελλοντικούς σεισμούς σε παρούσα νομισματική αξία. Όσο αυτό το ποσοστό μειώνεται, τα μελλοντικά πλεονεκτήματα αυξάνονται ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τα ποσοστά του οφέλους-κόστους.

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή είναι:

$$PV=(1/(1+r)^t)A_t \quad (1)$$

Όπου PV=παρούσα αξία

r =προεξοφλητικό επιτόκιο

t=χρόνος(αριθμός έτους)

A_t= ποσότητα οφέλους ή κόστους στον χρόνο t

(σημειώσεις μαθήματος: «Αντοχή στο χρόνο και Διαχείριση Επικινδυνότητας Έργων Υποδομής»)

Τώρα μπορούν να υπολογιστούν τα αναμενόμενα ετήσια οφέλη με μεθόδους οι οποίες κατηγοριοποιούνται με βάση το αν θεωρούν ότι η ετήσια πιθανότητα να γίνουν σεισμοί στο μέλλον είναι σταθερές ή όχι (Takahashi et al.2004) ή με βάση το αν η αποδοτικότητα της ενίσχυσης είναι ανεξάρτητη του χρόνου ή όχι. (Frangopol et al. 2001, Nuti και Vanzi, 2002). Αν αυτές οι πιθανότητες είναι σταθερές κάθε χρόνο (ανεξάρτητες του χρόνου), τότε τα μελλοντικά οφέλη είναι και αυτά σταθερά με το χρόνο. Αυτή είναι η παραδοχή της ανάλυσης-οφέλους κόστους σύμφωνα με το FEMA(1992).

Τα αναμενόμενα ετήσια οφέλη (B_0), τα οποία είναι σταθερά με το χρόνο υπολογίζονται και στη συνέχεια εκτιμώνται τα οφέλη κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα (B_t), σε παρούσα νομισματική αξία, σύμφωνα με τη σχέση (Κάππος Δημητρακόπουλος, 2007):

$$B_0 = \sum_{j=VI}^{XI} N_j R_j C_j , B_t = B_0 \frac{1 - (1 + \lambda)^{-t}}{\lambda}$$

(1)

Όπου:

N_j είναι ο αριθμός των αναμενομένων σεισμών ετησίως όπως δίνεται από τους τύπους της σεισμικής επικινδυνότητας.

R_j είναι η αποδοτικότητα της ενίσχυσης

C_j είναι οι ολικές απώλειες

Και τα τρία για σεισμική ένταση j . Ο χρονικός ορίζοντας είναι το t και το λ είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο.

3.1.4 Βήμα 4: Υπολογισμός της ελκυστικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης

Όταν φτάνει κανείς σε αυτό το στάδιο, έχουν ήδη υπολογιστεί το ολικό κόστος και τα αναμενόμενα οφέλη. Πλέον η οικονομική αποδοτικότητα για κάθε εναλλακτική λύση προσεισμικής ενίσχυσης ενός κτιρίου ή οικοδομικού συγκροτήματος μπορεί να προσδιοριστεί σε όρους της καθαρής παρούσας αξίας.(Net present value-NPV)

Εφόσον η διαφορά των τιμών του ολικού οφέλους και του ολικού κόστους είναι μεγαλύτερη του μηδενός ή ο λόγος τους είναι μεγαλύτερος της μονάδας, τότε η προτεινόμενη λύση έχει λόγο να πραγματοποιηθεί αφού μπορεί να αποδώσει οικονομικά και είναι βιώσιμη.

Επίσης σύμφωνα με τους Κάππο και Δημητρακόπουλο (Κάππος, Δημητρακόπουλος 2007), ο λόγος όφελος/κόστος εκφράζεται ως η παρούσα αξία των οφελών (σε νομισματικούς όρους)(B_t) προστιθέμενο με τον αριθμό των θανάτων που αποφεύγονται λόγω της ενίσχυσης(V_{DA}), προς το ολικό κόστος της ενίσχυσης (R_C) από το οποίο αφαιρείται η διασωθείσα αξία του κτιρίου(V_S), όπως φαίνεται παρακάτω:

$$B/C = \frac{B_t + V_{DA}}{R_C - V_S}$$

(2)

3.1.5 Βήμα 5: Επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής λύσης

Εφόσον γνωρίζει κανείς τις τιμές του συνολικού οφέλους και συνολικού κόστους για την κάθε εναλλακτική λύση, είναι λογικό πως η καλύτερη λύση είναι αυτή με τη μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία (NPV). Απαραίτητη προϋπόθεση, είναι βέβαια οι συγκρινόμενες τιμές να έχουν μετατραπεί ώστε να απευθύνονται στον ίδιο χρόνο (πχ παρόν) με χρήση του προεξοφλητικού επιτοκίου.

3.2 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής

Χρησιμοποιείται ως εργαλείο που μας βοηθά να λάβουμε αποφάσεις όταν έχει ήδη προσδιοριστεί αν η ενίσχυση είναι οικονομικά συμφέρουσα και το ερώτημα που μας απασχολεί είναι ποιο επίπεδο ενίσχυσης πρέπει να επιλεγεί. Με την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής προσδιορίζεται το βέλτιστο επίπεδο ενίσχυσης. Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό του αρχικού κόστους και του κόστους ζωής κατά τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής(Wen και Kang 2001; Frangopol et al. 2001; Liu et al.2003) ή το χρονικό ορίζοντα της ενίσχυσης. Σε αυτή την προσέγγιση η βέλτιστη λύση είναι αυτή που συνεπάγεται το ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής. Η αναλυτική έκφραση του ΑΚΚΖ σε ένα χρονικό ορίζοντα t για ένα κίνδυνο με διάνυσμα σχεδιασμού X δίνεται από τον τύπο του Wen και Kang (Wen και Kang 2001):

$$E[C(t, X)] = C_0 + (C_1P_1 + C_2P_2 + \dots + C_kP_k) \frac{N}{\lambda} \times (1 - e^{-\lambda t}) + \frac{C_m}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

(3)

Όπου σε περίπτωση που απευθύνεται στο παρόν, το επίπεδο ενίσχυσης R_L χρησιμοποιείται ως μεταβλητή σχεδιασμού X , ο ένας κίνδυνος είναι ο σεισμικός κίνδυνος και ο χρονικός ορίζοντας είναι ο ορίζοντας για τον οποίο σχεδιάζεται η ενίσχυση. Το σύμβολο $E[]$ δηλώνει πως το κόστος $C(t, X)$ είναι μια αναμενόμενη τιμή, C_0 είναι το αρχικό κόστος για νέο ή ενισχυμένο κτίριο, C_k είναι το κόστος για επίπεδο ζημίας K σε παρούσα νομισματική αξία, P_k είναι η πιθανότητα να προκληθεί ζημιά επιπέδου K κατά το χρόνο φόρτισης, λ είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο, N είναι ο συνολικός αριθμός των επιπέδων ζημίας που λαμβάνονται υπόψη και C_m είναι το ετήσιο κόστος λειτουργίας και διατήρησης.

Πρέπει να αναφερθεί σχετικά με την παραπάνω εξίσωση ότι είναι εφαρμόσιμη όταν ο σεισμικός κίνδυνος θεωρείται ότι ακολουθεί την κατανομή Poisson με N σεισμικά συμβάντα ανά χρόνο και με αντίσταση της κατασκευής ανεξάρτητη του χρόνου. Επίσης η πιθανότητα να προκληθεί ζημιά επιπέδου P_k και η αποδοτικότητα της ενίσχυσης θεωρούνται ανεξάρτητα του χρόνου, οπότε η χρήση της εξίσωσης είναι θεμιτή. Ακόμη με τη χρήση της παραπάνω εξίσωσης γίνεται η παραδοχή ότι η κατασκευή επιδιορθώνεται πλήρως, στην αρχική της κατάσταση ύστερα από κάθε σεισμικό συμβάν. Εφόσον $C_k = \bar{C} D_{CI,k}$, δίνεται ο τύπος του Κάππου και Δημητρακόπουλου (Κάππος, Δημητρακόπουλος 2007)

$$(C_1P_1 + C_2P_2 + \dots + C_kP_k) = \bar{C} \cdot D_{CI,1} \cdot P_1 + \bar{C} \cdot D_{CI,2} \cdot P_2 + \dots + \bar{C} \cdot D_{CI,k} \cdot P_k \\ = \bar{C} \cdot D_{mv}$$

(5)

Λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση 5 και αγνοώντας το κόστος διατήρησης, η εξίσωση 4 γίνεται (Κάππος, Δημητρακόπουλος 2007):

$$E[C(t, R_L)] = C_0 + \bar{C} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \sum_{j=VI}^{XI} N_j \cdot D_{mv,j},$$

(4)

Πλεονεκτήματα που προσφέρει η μέθοδος Ανάλυσης Κόστους του Κύκλου Ζωής:

1. Καλύτερη ενημέρωση για τις αποφάσεις
2. Βελτιωμένες στρατηγικές ενίσχυσης
3. Λαμβάνει υπόψη το κόστος του χρήστη
4. Υποστήριξη για ξεπέρασμα των περιορισμών του πρώτου κόστους
5. Εκθέτει περιοχές αβεβαιότητας και ποσοτικοποιεί το ρίσκο

Περιορισμοί της ΑΚΚΖ:

Δεν μπορεί να συγκρίνει εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού, οι οποίες έχουν διαφορετικά οφέλη (πχ ανακατασκευή δρόμου με ανακατασκευή δρόμου με πλάτωμα)

Δεν μπορεί να απαντήσει από μόνη της στο ερώτημα αν μια επένδυση αξίζει να αγοραστεί (π.χ. το έργο έχει $NPV > 0$)

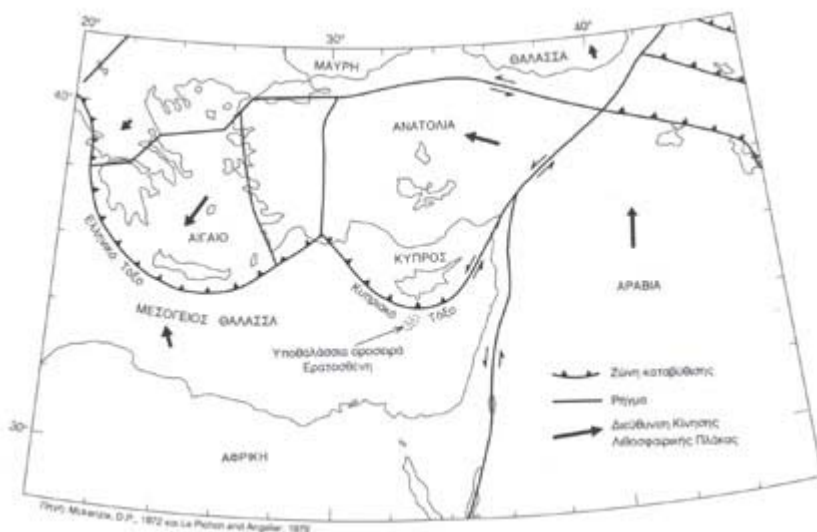
Στο δεύτερο και στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε εν συντομία το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το αν πρέπει να ενισχυθούν οι κατασκευές, σε ποιο βαθμό και με ποιο τρόπο. Αυτή η διαδικασία θα εφαρμοστεί στο Δήμο Λεμεσού στο επόμενο κεφάλαιο.

4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΔΗΜΟΥ ΛΕΜΕΣΟΥ ΜΕΣΩ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Γνωρίζοντας πλέον τις μεθόδους ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών και τις μεθοδολογίες που προτείνονται από τις οικονομικές μεθόδους ανάλυση οφέλους-κόστους και ανάλυση κόστους κύκλου ζωής για τη λήψη αποφάσεων, μπορεί να εξεταστεί το πρόβλημα της ενίσχυσης των κτιρίων του Δήμου Λεμεσού. Το πρόβλημα έχει δύο βασικές συνιστώσες. Αυτές είναι η έντονη σεισμική δραστηριότητα γενικά της Κύπρου, αλλά και ειδικότερα της Λεμεσού και η σεισμική τρωτότητα των κτιρίων του Δήμου Λεμεσού. Ο συνδυασμός αυτός θέτει ζήτημα ασφάλειας για τους κατοίκους του Δήμου, αλλά και ζήτημα οικονομικό σε περίπτωση που γίνει σεισμός και επιφέρει ζημιές. Κρίνεται σκόπιμο λοιπόν σε αυτό το κεφάλαιο να εξηγηθεί το πρόβλημα και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη διερεύνηση του, μέσω της μεθόδου ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής κατά την οποία εκτός των άλλων σχεδιάστηκαν καμπύλες τρωτότητας για συγκεκριμένες κατηγορίες κτιρίων του Δήμου.

4.1 Η σεισμικότητα της Κύπρου

Η Κύπρος βρίσκεται στη σειсмоγόνο ζώνη των Άλπεων- Ιμαλαΐων. Σε αυτήν εκλύεται το 15% της σεισμικής ενέργειας παγκοσμίως. Η σεισμικότητα της Κύπρου οφείλεται κυρίως στο «Κυπριακό τόξο» που αποτελεί είτε το τεκτονικό όριο μεταξύ της ευρασιατικής και της αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας στην ανατολική μεσόγειο είτε μια ευρύτερη ζώνη καταβύθισης. Αυτό βρίσκεται στη θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά της Κύπρου σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη. Όμως κάποιοι επιστήμονες το τοποθετούν κατά μήκος του βορείου άκρου της οροσειράς του Τροόδους. (Kenyon και Belderson, 1976 McKeinze, 1976; Ambraseys και Adams, 1992).



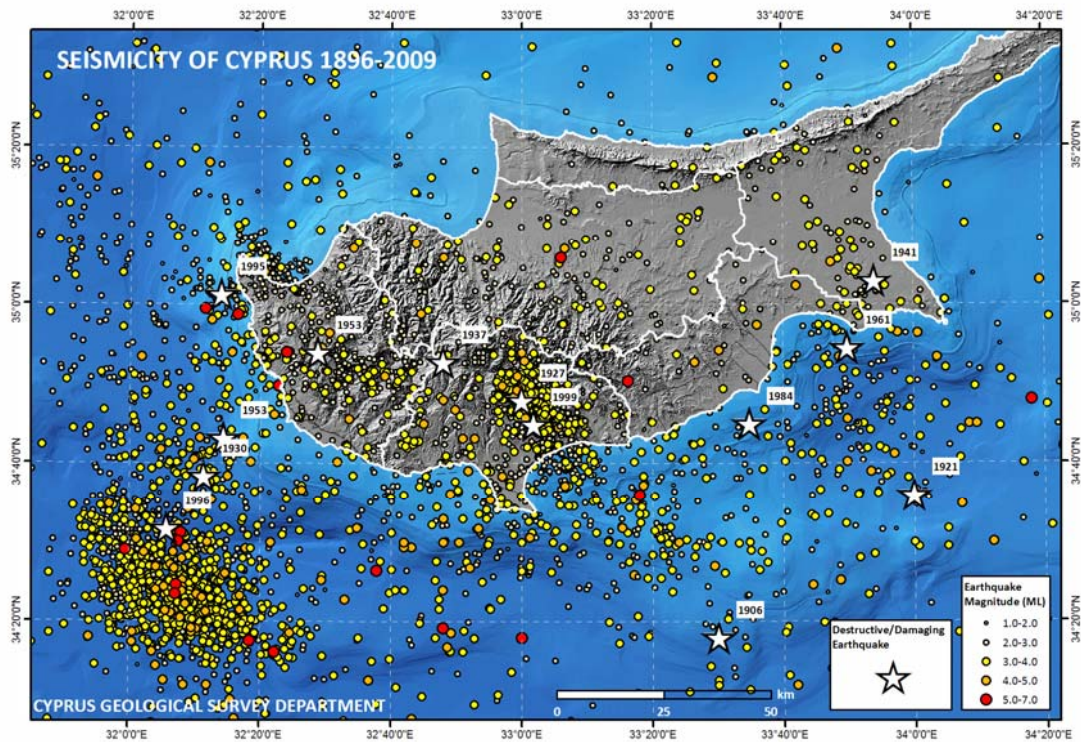
Εικόνα 4.1 Τεκτονικός χάρτης ανατολικής μεσογείου (Ιστοχώρος Εκπαιδευτικού Εργαλείου Κυπριακής Γεωλογικής Κληρονομιάς)

4.2 Η σεισμικότητα της Κύπρου στην ιστορία

Ιστορικές αναφορές και αρχαιολογικά ευρήματα μαρτυρούν πως η Κύπρος έχει πληγεί κατά το παρελθόν από πολλούς ισχυρούς σεισμούς. Υπάρχουν στοιχεία ότι πάνω από 16 σεισμοί με ένταση τουλάχιστον VIII στην τροποποιημένη κλίμακα Mercalli έγιναν μεταξύ 26 π.Χ. και 1900 μ.Χ. και είχαν ως αποτέλεσμα την πρόκληση μεγάλων καταστροφών.

Από το 1896 μέχρι το 2004 έγιναν αισθητοί στο νησί περισσότεροι από 400 σεισμοί με επίκεντρο κοντά στην Κύπρο. Ζημιές προκάλεσαν οι 14 και μερικοί είχαν θύματα. Οι πλέον καταστροφικοί ήταν οι σεισμοί των ετών 1941, 1953, 1995, 1996 και 1999.

Η μελέτη των σεισμικών γεγονότων στην Κύπρο δείχνει πως δεν ακολουθούν κανονική χρονική κατανομή. Υπάρχουν περίοδοι κατά τις οποίες δεν παρατηρούνται πολλοί σεισμοί και περίοδοι με σεισμική δραστηριότητα ιδιαίτερα έντονη. Από το 1995 μέχρι το 1999 παρατηρήθηκε αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας με ισχυρούς σεισμούς μεγέθους 5, 6, 6,5 βαθμών της κλίμακας Richter.



Εικόνα 4.2 Η σεισμικότητα της Κύπρου (Ιστοχώρος Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων, Κυπριακή Δημοκρατία)

Πίνακας 4.1 Σεισμοί στην Κύπρο στην ιστορία

Χρονολογία	Μέγιστη Ένταση - Περιοχή	Μέγεθος	Επίκεντρο
180 π.Χ.	Κύπρος(VII), Καταστρεπτικός	-----	Δυτικά της Κύπρου
26 π.Χ.	Πάφος (VII), Αίγυπτος (IV), Καταστρεπτικός	ML 7,3	ΝΔ της Πάφου
15 π.Χ.	Πάφος (IX), Κούριον (IX), σε άλλες πόλεις της Κύπρου (VIII), Καταστρεπτικός	ML 6,8	ΝΔ της Πάφου
6 μ.Χ.	Πάφος (VII), Αμαθούντα (V), Ζημιογόνος	-----	ΒΔ της Κύπρου
76 μ.Χ.	Σαλαμίνα (X), Πάφος (IX), Λάρνακα (IX). Ισχυρό κύμα Τσουνάμι, Καταστροφικός	ML 7,0	ΝΑ της Κύπρου
332 μ.Χ.	Σαλαμίνα (VII), Καταστρεπτικός	ML 6,4	Ανατολ. της Κύπρου
342 μ.Χ.	Πάφος (X-), ΝΔ ακτές (VIII+). Ισχυρό κύμα Τσουνάμι, Καταστροφικός	ML 6,9	ΝΔ ακτή της Κύπρου
367 μ.Χ.	Κούριο (VII), Ακρωτήρι (VII), Νοτ.ακτές της Κύπρου (VIII), Καταστρεπτικός	ML 6,7	ΝΔ της Κύπρου
394 μ.Χ.	Πάφος (VII), Σαλαμίνα (VII), Ζημιογόνος	-----	Ανατολ. της Κύπρου
19 /5/ 1144	Πάφος (VII), Περιφερειακός σεισμός, Καταστρεπτικός	-----	Περιφερ. σεισμός
1183	Πάφος (VIII), ΒΒΑ της Πάφου (IX), τοπικός σεισμός, Καταστρεπτικός	ML 6,0	Πλησίον της Πάφου
1202-3	Κύπρος (VI), Ζημιογόνος	-----	ΝΔ της Κύπρου
3/5/1222	Πάφος(IX), Λεμεσός (VIII), Λευκωσία (VII). Ισχυρό κύμα Τσουνάμι, Καταστρεπτικός	ML 6,6	ΝΔ της Κύπρου
3/5/1481	Πάφος (VI), Λευκωσία (V), Ζημιογόνος	-----	ΒΔ της Κύπρου
1267	Λευκωσία (VI), Ζημιογόνος	-----	;
18/12/1481	Πάφος (V), Ζημιογόνος	-----	ΒΔ της Κύπρου
25/4/1491	Μεσαορία (IX), Λευκωσία (VIII), Λεμεσός (VII), Αμμόχωστος (VI), Πάφος (V), Καταστρεπτικός	ML 6,7	Κύπρος
1546	Λευκωσία, Αμμόχωστος (VI), Ζημιογόνος	-----	ΝΑ της Κύπρου

25/4/1567	Λεμεσός (VII), Λευκωσία, Αμμόχωστος (VI), Ζημιόγνος	-----	Νοτ. της Κύπρου
1567, Δεκ.	Πάφος, Επαρχία Πάφου (VI), Ζημιόγνος	-----	Τοπικός σεισμός
28/1/1577	Κούριο, Λεμεσός(VI), Λευκωσία, Σαλαμίνα (V), Ζημιόγνος	-----	Νοτ. της Κύπρου
10/12/1718	Μεσσαρία (IX) , Λευκωσία (VIII), Καταστρεπτικός	ML 6,0	Τοπικός σεισμός
1735, Δεκ.	Αμμόχωστος (VIII), Καταστρεπτικός	ML 6,5	Θαλ. περιοχή Αμμοχώστου
1741	Αμμόχωστος (VI), Ζημιόγνος	-----	Τοπικός σεισμός
17/1/1756	Λευκωσία, Μεσσαρία (V), Ζημιόγνος	-----	;
29/6/1896	Ακρωτήρι (VIII), Λεμεσός(VII), Κερύνεια (V), Καταστρεπτικός	MS 6,5	Θαλ.περιοχή 40χλμ Ν της Λεμεσού B34.30 A33.00
5/1/1900	Μεσσαρία (V-VI), μικρές ζημιές	MS 5,7	Θαλ.περιοχή 138 χλμ ΝΑ της Λάρνακας B34.00 A34.50
23/2/1906	Λεμεσός (VII), Κολόσι μικρές ζημιές. Αισθητός σε όλο το νησί.	MS 5,3	Θαλ.περιοχή 80 χλμ ΝΑ της Λεμεσού B34.30 A33.50
18/2/1924	Αμμόχωστος (V-VI), μικρές ζημιές.	MS 6,0	Θαλ.περιοχή 55 χλμ ΝΑ της Αμμ/του B34.80 A34.30
13/12/1927	Μικρές ζημιές στη Λεμεσό (V), Κοιλάνι, Πέρα Πεδί, Μονόγρι	MS 5,0	Λεμεσός B34.80 A33.00
9/5/1930	Ζημιές στην πόλη της Πάφου (VII) και τη γύρω περιοχή.	MS 5,4	Θαλ.περιοχή 34 χλμ ΝΔ της Πάφου B34.64 A32.19
26/6/1937	Ζημιές στην ΝΔυτική Κύπρο (VII), Πάχνα, Όμοδος, Άρσος, Πλάτρες, Σαλαμιού).	MS 4,7	B34.88 A32.80
20/1/1941	Καταστρεπτικός σεισμός στην επαρχία Αμμ/στου, κυρίως στο Παραλίμνι (VIII), όπου 24 άτομα τραυματίστηκαν και πολλές οικοδομές κατέρρευσαν. Περιορισμένες ζημιές στις επαρχίες Λευκωσίας, Λάρνακας και Κερύνειας	MS 5,9	Αμμόχωστος B35.17 A33.65
10/9/1953	Σοβαρές καταστροφές στην επαρχία Πάφου (VIII) με 63 νεκρούς, 200 τραυματίες και 4000 άστεγους. Πολλά σπίτια κατέρρευσαν σε 158 χωριά. Τον κύριο σεισμό ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί, ορισμένοι από τους οποίους προκάλεσαν επιπρόσθετες ζημιές	MS 6,1	Πάφος B34.80 A32.78
15/9/1961	Πολλές ζημιές, κυρίως ρωγμές, σε οικίες στη Λάρνακα (VII) και τη γύρω περιοχή μέχρι το Παραλίμνι και την Αμμόχωστο	MS 5,7	Κόλπος της Λάρνακας B34.91 A33.83
28/3/1984	Μικρές ζημιές στην πόλη και επαρχία της Λάρνακας (VI), όπου έγινε ιδιαίτερα αισθητός	MS 4,5	B34.75 A33.58
23/2/1995	Καταστρεπτικός σεισμός στην επαρχία Πάφου με 2 νεκρούς. Αρκετά σπίτια κατέρρευσαν στα χωριά Πάνω Αρδές και Μηλιού (VIII). Ζημιές προκλήθηκαν επίσης στα χωριά Περιστέρων, Στενή, Γιαλιό, Αργάκα, Πωμός, Πύργος, Λεύκα, Νέο Χωριό, Λατσιά και Πόλη Χρυσοχούς	MS 5,7	Θαλ.περιοχή 30 χλμ ΒΔ της Πάφου B35.1 A32.3
9/10/1996	Πολύ ισχυρός σεισμός στο Νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου. Προκάλεσε πανικό στους κατοίκους της Πάφου και της Λεμεσού (VIII), καθώς και σε ενοίκους πολυώροφων κτιρίων στη Λευκωσία, Λάρνακα και Παραλίμνι. Δύο άτομα έχασαν τη ζωή τους από δευτερογενή αίτια και είκοσι τραυματίστηκαν ελαφρά. Προκλήθηκαν περιορισμένες ζημιές, κυρίως στην Πάφο και Λεμεσό	MS 6,5	Θαλ.περιοχή 50χλμ ΝΔ της Πάφου και 75χλμ ΝΔ της Λεμεσού B34.42 A32.13
11/8/1999	Ισχυρός σεισμός με επίκεντρο κοντά στο χωριό Γεράσα (VII). Προκάλεσε ζημιές σε κτίρια στη Λεμεσό και σε χωριά βόρεια της πόλης. Έγινε αισθητός σε όλη την Κύπρο. Τραυματίστηκαν ελαφρά 40 άτομα, κυρίως από πανικό. Ακολούθησε μεγάλος αριθμός μετασεισμών	MS 5,6	Γεράσα B34.75 A33.03

Πηγή: Ιστοχώρος Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων, Κυπριακή Δημοκρατία)

Εφόσον μελετήθηκε η σεισμικότητα της Κύπρου τόσο στο μακρινό όσο και στο κοντινό παρελθόν οι επιστήμονες προχώρησαν στο χωρισμό του νησιού σε σεισμικές ζώνες.

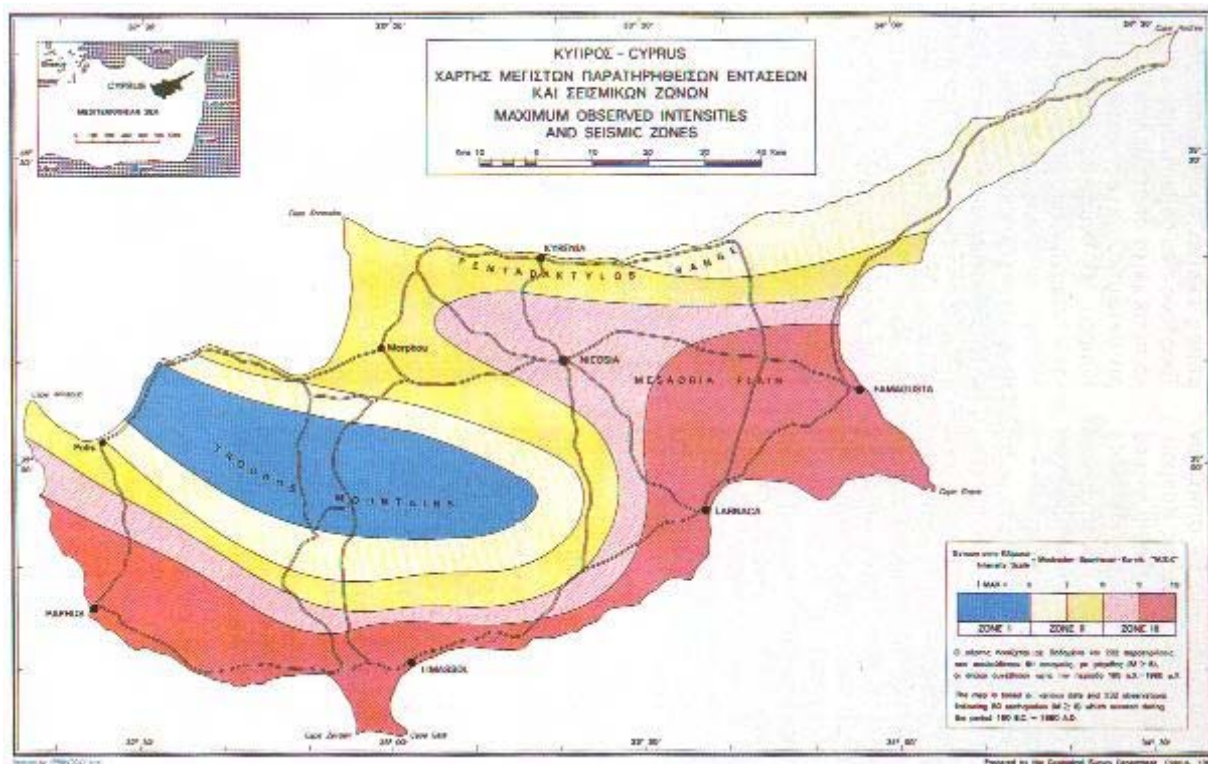
4.3 Σεισμικές ζώνες στην Κύπρο

Η μελέτη της σεισμικότητας της Κύπρου που βασίζεται στα σεισμικά γεγονότα που συνέβησαν στο νησί τα τελευταία 2000 χρόνια επιτρέπουν την εξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων:

- Η πιο σεισμογενής περιοχή της Κύπρου είναι η νότια ακτογραμμή που εκτείνεται από την Πάφο στην Αμμόχωστο μέσω Λεμεσού και Λάρνακας.
- Η περιοχή με τη δεύτερη μεγαλύτερη σεισμικότητα περιλαμβάνει τη Μεσαορία, την Καρπασία και την επαρχία Κερύνιας.
- Η περιοχή του Τροόδους παρουσιάζει τη μικρότερη σεισμικότητα από όλες τις υπόλοιπες περιοχές του νησιού.

Ο σεισμικός κίνδυνος έχει άμεση σχέση με τη γεωλογία του εδάφους. Περιοχές με σκληρούς βράχους όπως αυτές του Τροόδους, έχουν μικρότερο σεισμικό κίνδυνο ενώ περιοχές με χαλαρά εδάφη υψηλότερο. Αυτός είναι ο λόγος που στο Τρόοδος παρουσιάζεται ο χαμηλότερος σεισμικός κίνδυνος.

Η ζώνη υψηλής σεισμικότητας της νότιας ακτής σχετίζεται με το Κυπριακό τόξο. Η πρώτη προσπάθεια να διαχωριστεί το νησί σε σεισμικές ζώνες καθοριζόμενες από την κλίμακα μέτρησης έντασης Mercalli, έγινε το 1983. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σημαντικά περιορισμένα και τα ιστορικά δεδομένα ήταν ανακριβή και μη ολοκληρωμένα. Έτσι προέκυψε ένας αρκετά γενικός χάρτης σεισμικού κινδύνου που χωρίζει το νησί σε τρεις ζώνες και φαίνεται παρακάτω.

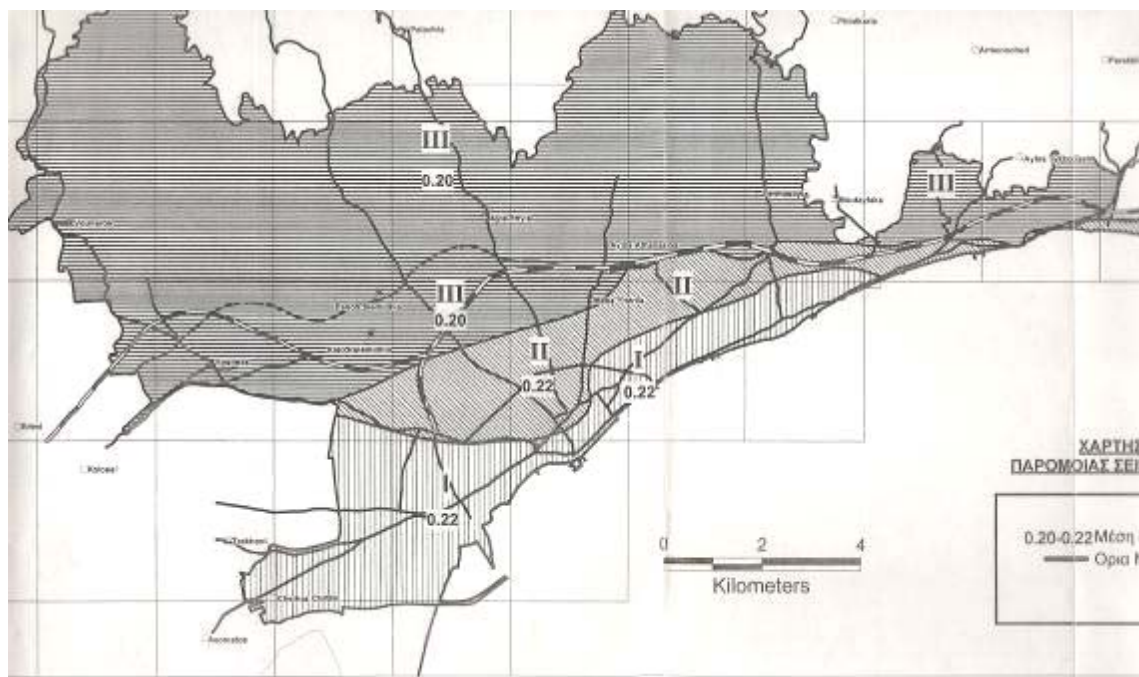


Εικόνα 4.3 Χάρτης Σεισμικών ζωνών Κύπρου (Ιστοχώρος Εκπαιδευτικού Εργαλείου Κυπριακής Γεωλογικής Κληρονομιάς)

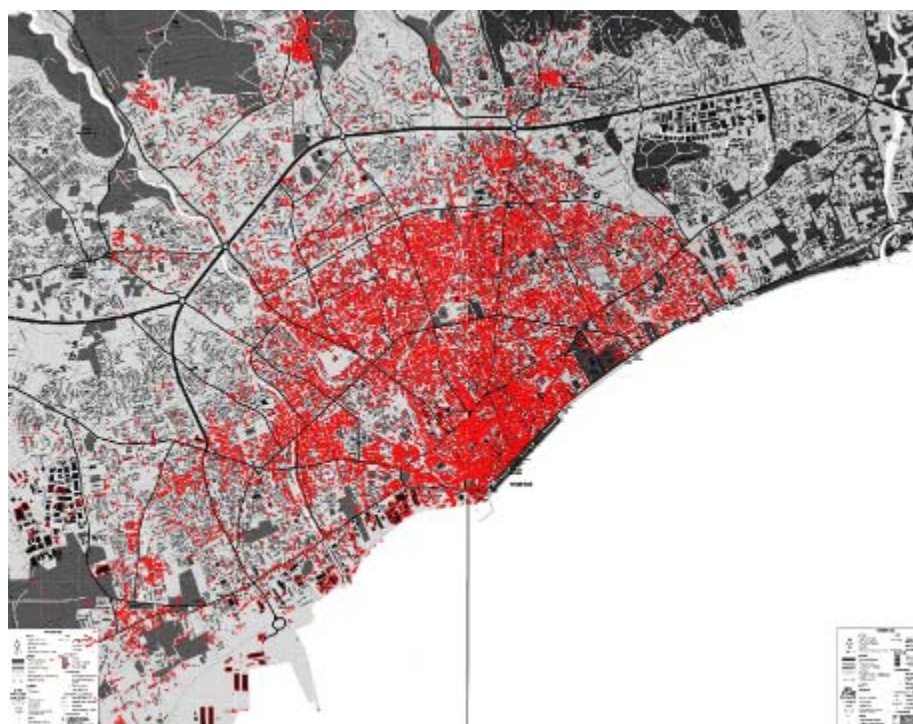
Όμως ο διαχωρισμός των περιοχών με βάση τον κίνδυνο που αντιμετωπίζουν από τους σεισμούς, δεν σταματά εδώ.

Γίνονται περαιτέρω διαχωρισμοί σε μικρότερες ζώνες για να υπάρχουν πιο ακριβή και λεπτομερή στοιχεία για την σεισμικότητα των επιμέρους περιοχών των σεισμικών ζωνών που προαναφέρθηκαν και με βάση αυτά να σχεδιάζονται αντισεισμικές κατασκευές σε κάθε περιοχή της Κύπρου. Μία από αυτές είναι η μικροζωνική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Λεμεσού(2000). Με βάση αυτή μπορούν να επιλεγθούν τα κατάλληλα φάσματα απόκρισης για το Δήμο Λεμεσού και να καθοριστεί η μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση.

Από τη μικροζωνική μελέτη και με βάση τα αποτελέσματα γεωτρήσεων που έγιναν για να εξεταστεί το υπέδαφος, κρίθηκε ότι η επαρχία Λεμεσού μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις εδαφολογικές ζώνες (I, II, III), από τις οποίες οι ζώνες I και II περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων του δήμου Λεμεσού (πέραν του 85%). Η ζώνη I εκτείνεται κατά μήκος του παραλιακού μετώπου και μέχρι 2km βόρεια αυτού, ενώ η ζώνη II καλύπτει τον κεντρικό πυρήνα του Δήμου.



Εικόνα 4.4 Χάρτης μικροζωνών με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους (Μικροζωνική μελέτη).



Εικόνα 4.5 Διασπορά των κατοικιών στο Δήμο Λεμεσού (Δήμος Λεμεσού, 2009)

Βρέθηκε λοιπόν ότι το έδαφος στο παραλιακό μέτωπο παρουσιάζει διαφορές από το έδαφος στον υπόλοιπο Δήμο, πράγμα που σημαίνει πως είναι καλό να επιλέγονται διαφορετικά

φάσματα απόκρισης για τα κτίρια του παραλιακού μετώπου (στην πλειοψηφία τους είναι πέραν των 6 ορόφων) και για τα κτίρια του πυρήνα του δήμου Λεμεσού.

Πιο συγκεκριμένα βρέθηκε ότι το έδαφος στο παραλιακό μέτωπο μαλακότερο απ ότι στον υπόλοιπο δήμο. Αυτό υποδηλώνει πως στη ζώνη I αναμένεται μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση για τα ψηλά κτίρια, κάτι που παρατηρείται σε τέτοια κτίρια όταν είναι θεμελιωμένα σε μαλακά εδάφη.

Τελικά από την εργασία της Κυθρεώτη (2001) προτάθηκε η τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, $PGA=0.25g$ για τη Λεμεσό και καθιερώθηκε λόγω της μικροζωνικής μελέτης. Πλέον χρησιμοποιείται και θεωρείται ασφαλής τόσο για τη ζώνη II όσο και για τη ζώνη I που έχει μεγαλύτερη ευπάθεια, παρόλο που ο υφιστάμενος Κυπριακός αντισεισμικός κώδικας προνοεί $PGA=0.15g$.

4.4 Σεισμική τρωτότητα υφιστάμενων κατασκευών

Στην Κύπρο εισήχθη αντισεισμικός σχεδιασμός το 1992. Πιο πριν υπήρχαν οι κανονισμοί CP 110 και BS 8110, όμως σε καμία περίπτωση δεν επαρκούσαν ως προς τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Οι κατασκευές που κατασκευάστηκαν πριν από τη σύσταση του κανονισμού του 1992 δεν είναι σχεδιασμένες για να παραλαμβάνουν σωστά τα οριζόντια φορτία, αλλά μόνο τα κατακόρυφα. Συνεπώς, τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδόν ποτέ δεν είχαν ένα σαφώς ορισμένο δομικό σύστημα ανάληψης των οριζόντιων δυνάμεων και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Τα κτίρια που κατασκευάστηκαν μετά τη σύσταση των κανονισμών παρουσιάζουν σαφώς βελτιωμένη αντισεισμική προστασία. Εισήχθησαν τότε όλα τα κύρια χαρακτηριστικά των σύγχρονων κανονισμών όπως ο ικανοτικός σχεδιασμός υποστυλωμάτων σε κάμψη, η κατασκευαστική διαμόρφωση, οι λεπτομέρειες όπλισης μελών για λόγους τοπικής πλαστιμότητας, ο έλεγχος των βλαβών στον οργανισμό πλήρωσης κλπ. Αυτές οι αλλαγές ήρθαν σε μία χρονική περίοδο που οι πολίτες είχαν συνειδητοποιήσει τη σοβαρότητα του σεισμικού κινδύνου. Το αποτέλεσμα ήταν η σεισμική αντοχή των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν μετά τη σύσταση των κανονισμών να είναι αισθητά μεγαλύτερη, κατά μέσο όρο.

Ο σεισμικός κίνδυνος προέρχεται κυρίως από τα παλαιά κτίρια και το συνολικό κόστος ενίσχυσης είναι τόσο μεγάλο, που η πολιτεία δεν ασχολείται με το πρόβλημα και περιμένει

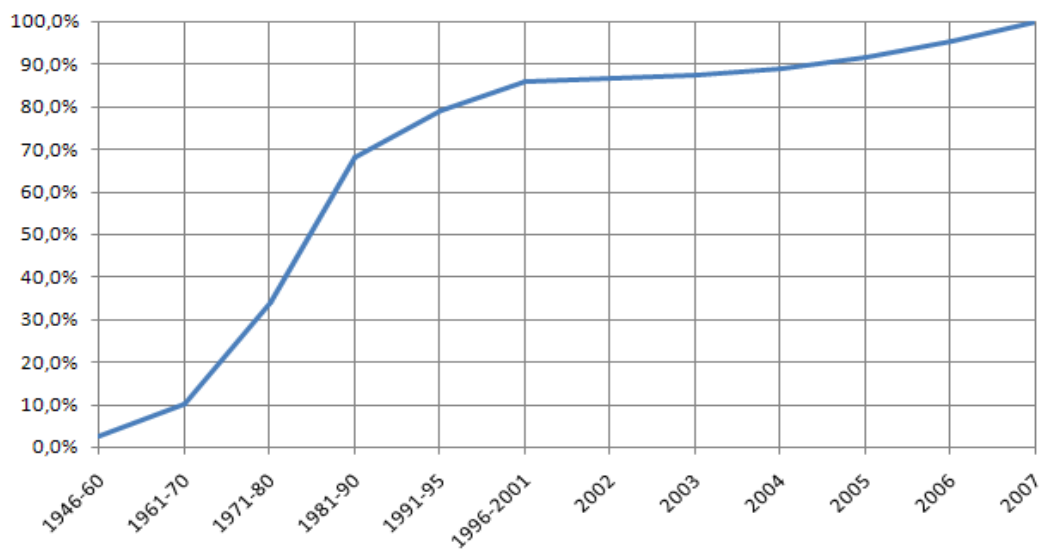
ότι θα λυθεί λόγω της φυσικής φθοράς των κτιρίων. Αυτή η στάση μπορεί να είναι βέλτιστη από κοινωνικοοικονομική σκοπιά εφόσον η μέση περίοδος επανάλληψης μέτριων ως ισχυρών σεισμών είναι μικρότερη από την αναμενόμενη απομένουσα διάρκεια ζωής των παλαιών κατασκευών. Επίσης ο μέσος πολίτης δεν μπορεί να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες μόνος του διότι το κόστος ενίσχυσης είναι αρκετά μεγάλο και δεν θα μπορεί να ανταπεξέλθει οικονομικά.

Έτσι η σεισμική ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών δεν εφαρμόζεται ευρέως. Κυρίως εφαρμόζεται σε κατασκευές με μεγάλη σπουδαιότητα όπως νοσοκομεία σχολεία ή δημόσια κτίρια που πρέπει οπωσδήποτε να λειτουργούν πλήρως μετά το σεισμό.

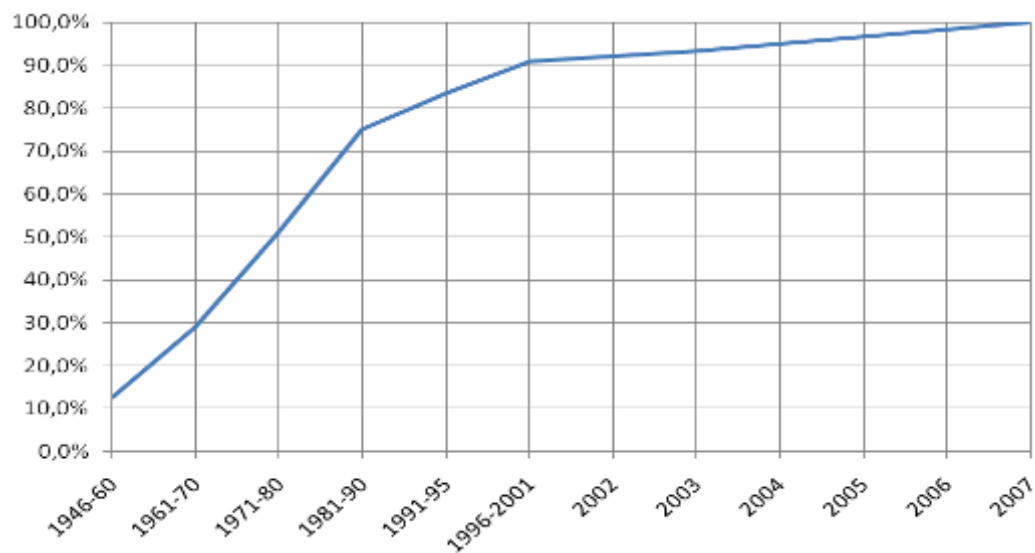
4.5 Κατηγοριοποίηση των υφιστάμενων κτιρίων του Δήμου Λεμεσού

Σύμφωνα με τη μελέτη του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου με τίτλο : «Σεισμική Τρωτότητα και Ενίσχυση Υφιστάμενων Ιδιωτικής Χρήσης κτιρίων» και πιο συγκεκριμένα στη δέση εργασίας 3, παραδοτέο 7 (Χρυσοστόμου et al., 2011α) προέκυψε πλήθος στοιχείων που οδηγούν στην κατηγοριοποίηση των κτιρίων στη Λεμεσό.

Προέκυψε πως το 70% των διαμερισμάτων και το 75% των οικιών κατασκευάστηκαν πριν το 1990 και κατά συνέπεια η κατασκευή τους δεν έγινε με βάση αντισεισμικό σχεδιασμό. Επίσης τις δεκαετίες του 70 και 80 υπήρξε η μεγαλύτερη κατασκευαστική δραστηριότητα κατοικιών (οικιών και διαμερισμάτων) στο Δήμο. Συνεπώς το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων στο δήμο έχει κατασκευαστεί χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό όποτε είναι αρκετά ευάλωτα σε σεισμό και υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο να παρουσιάσουν εκτεταμένες ζημιές σε περίπτωση μεγάλου σεισμού.

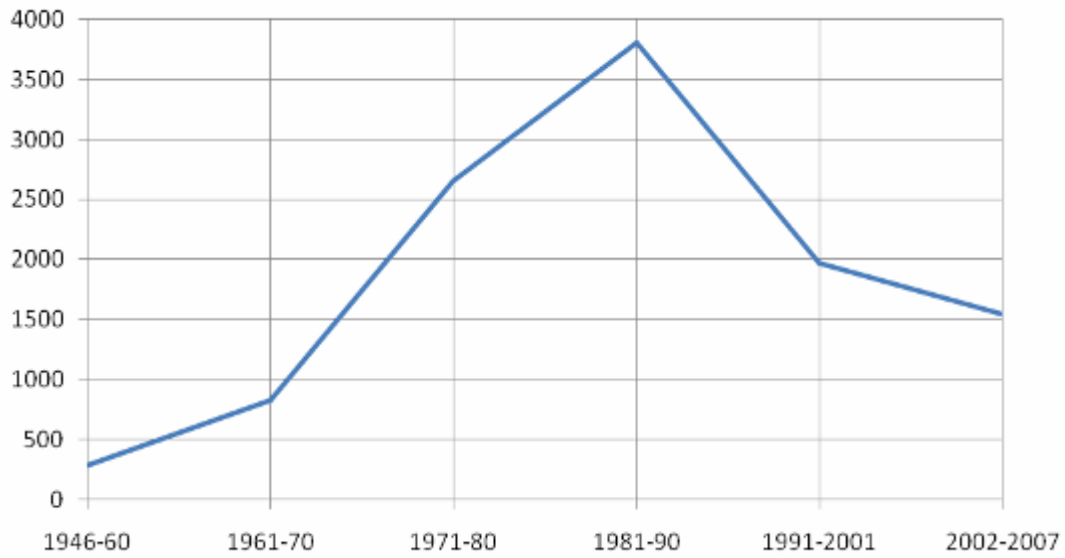


(α)

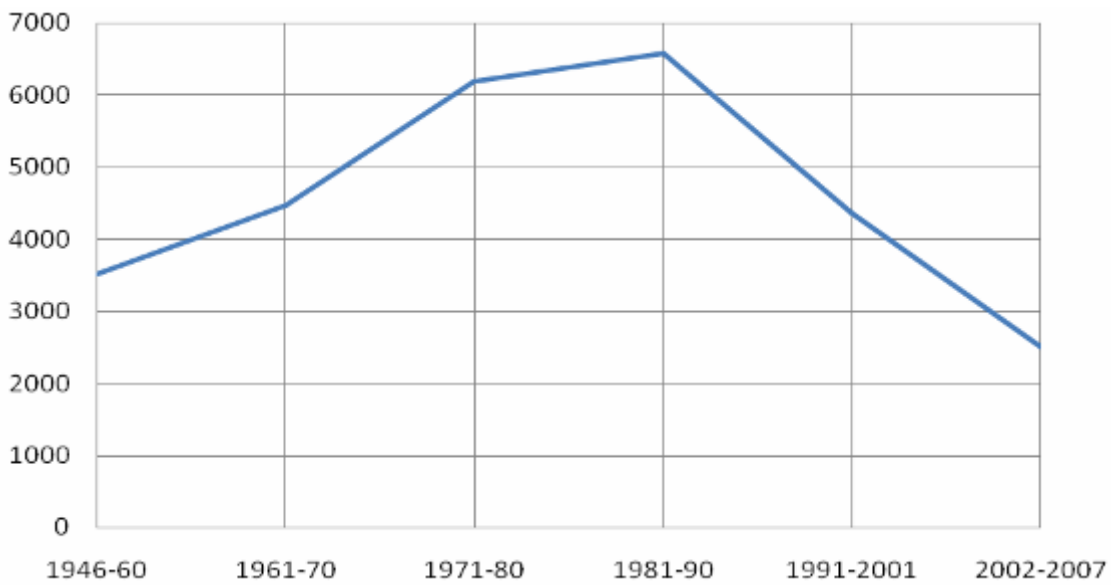


(β)

Εικόνα 4.6 Αθροιστικός αριθμός (α) διαμερισμάτων και (β) οικιών στο Δήμο Λεμεσού ανά χρονική περίοδο (Χρυσοστόμου et al., 2011α)



(α)



(β)

Εικόνα 4.7 Κατανομή αριθμού (α) διαμερισμάτων και (β) οικιών ανά χρονική περίοδο (Χρυσοστόμου et al., 2011α)

Επίσης από την ίδια έρευνα προέκυψε ότι οι διώροφες οικίες αποτελούν το μεγαλύτερο αριθμό κατοικιών και αποτελούν περίπου το 60% του συνόλου των οικιών και πολυκατοικιών στο Δήμο Λεμεσού (περίπου 14000). Παρόλο που αυτή η κατηγορία κτιρίων δεν έχει παρουσιάσει ιδιαίτερες ζημιές σε πρόσφατους σεισμούς στην Κύπρο θεωρείται πιθανό πως στο μέλλον θα παρουσιάσει, λόγω της χαμηλής ποιότητας υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή τους (λόγω των οποίων επισπεύδονται χημικές διαδικασίες όπως η ενανθράκωση και η οξειδωση που οδηγούν στη μείωση της αντοχής τους) καθώς και λόγω της μέχρι τώρα καταπόνησης τους από σεισμούς που έγιναν. Επίσης, το ότι αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοικιών στο Δήμο σημαίνει ότι ζημιές σε αυτά θα επηρεάσουν μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού και θα έχουν μεγάλο κόστος επιδιόρθωσης. Έτσι καθίσταται επιβεβλημένος ο έλεγχος για δυνατότητα επιδιόρθωσης ή ενίσχυσης της συγκεκριμένης κατηγορίας.

Από τις πολυκατοικίες, οι περισσότερες ζημιές αναμένεται να παρουσιαστούν στις ψηλές, όπως έχει γίνει και κατά το παρελθόν. Παρουσιάζουν συχνά αυξημένη ευκαμψία λόγω μειωμένης καμπτικής και διατμητικής αντοχής των υποστυλωμάτων τους που είναι δυνατό να προκαλέσει ζημιές.

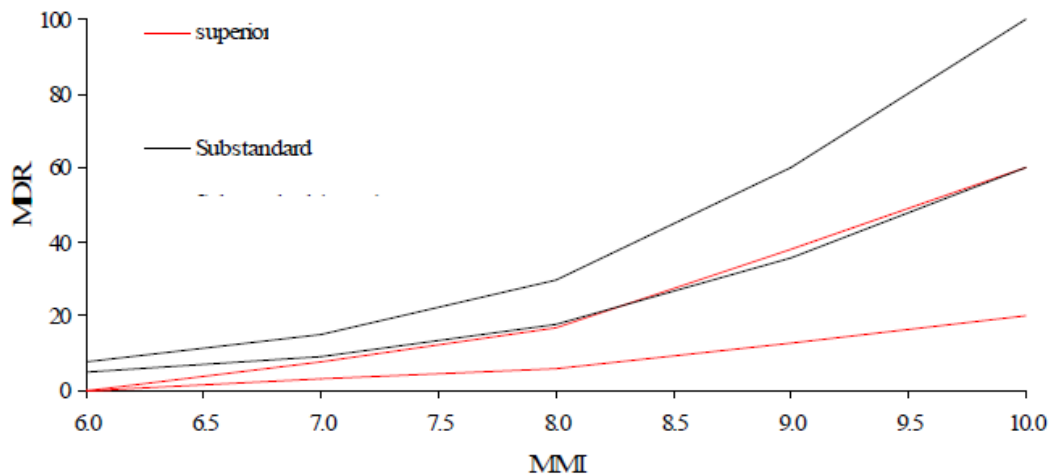
Συμπεραίνεται λοιπόν ότι:

- Οι ψηλές πολυκατοικίες είναι πιθανό να παρουσιάσουν τις μεγαλύτερες ζημιές.
- Η επιδιόρθωση των διώροφων οικιών, θα έχει πολύ υψηλό κόστος και θα επηρεαστεί μεγάλο μέρος του πληθυσμού, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, παρόλο που δεν αναμένεται να παρουσιάσουν σοβαρές ζημιές.

Για αυτό και στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται αυτές οι δύο κατηγορίες κτιρίων (κτίρια με αριθμό ορόφων ≤ 2 και από 6 ως 8) προκειμένου να προταθεί μεθοδολογία για την ορθολογιστική λήψη απόφασης για την ενίσχυση κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες.

Για να επιτευχθεί το παραπάνω έπρεπε να κατασκευαστούν οι καμπύλες τρωτότητας που αντιπροσωπεύουν τις προαναφερθείσες κατηγορίες κτιρίων. Οι καμπύλες τρωτότητας, στοιχεία για τις οποίες δίνονται και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για το μηχανικό μιας και συνδέονται με τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου, όπως τον υπολογισμό των αναμενόμενων απωλειών σε μελλοντικούς σεισμούς, τον καθορισμό προτεραιοτήτων ενίσχυσης κτιρίων και τη σεισμική ασφάλιση.

Για την Κύπρο, έγινε προσπάθεια από τον Schnabel (1987) να παραγάγει καμπύλες τρωτότητας βασισμένες σε δεδομένα ζημιών, περιοχών που παρουσιάζουν παρόμοια σεισμική συμπεριφορά με αυτήν της Κύπρου.



Εικόνα 4.8 Καμπύλες τρωτότητας για την Κύπρο (Schnabel, 1987)

4.6 Πρόταση μεθοδολογίας για την ορθολογιστική λήψη απόφασης για την ενίσχυση κτιρίων στο Δήμο Λεμεσού

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η νήσος της Κύπρου είναι μία ιδιαίτερα σεισμογενής περιοχή, με την πόλη της Λεμεσού η οποία βρίσκεται αρκετά κοντά στο Κυπριακό τόξο να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη σεισμική δραστηριότητα από όλες τις περιοχές του νησιού. Αυτές οι παρατηρήσεις σε συνδυασμό με το γεγονός ότι περίπου το 70% των κατοικιών στο Δήμο Λεμεσού κτίστηκαν πριν το 1990, που σημαίνει ότι κτίστηκαν χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό, άρα παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία στις σεισμικές δράσεις θέτουν οπωσδήποτε θέμα ασφάλειας του πληθυσμού του Δήμου αλλά και κόστους για την πολιτεία και τους πολίτες σε περίπτωση σεισμού.

Ακόμη, βρέθηκε ότι τα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος που είναι χαμηλότερα των 2 ορόφων αν και δεν έχουν παρουσιάσει μέχρι τώρα εκτεταμένες ζημιές από τους προηγούμενους σεισμούς αναμένεται ότι στο μέλλον θα παρουσιάσουν και λόγω του μεγάλου αριθμού τους θα επηρεάσουν μεγάλο μέρος του πληθυσμού και θα έχουν μεγάλο κόστος ζημιών. Αυτά τα κτίρια σύμφωνα με στοιχεία του Δήμου είναι 14000.

Επιπροσθέτως , βρέθηκε πως τα πιο τρωτά κτίρια, τα οποία αναμένεται να παρουσιάσουν εκτεταμένες ζημιές άρα είναι επικίνδυνα για την ασφάλεια των πολιτών και θα έχουν μεγάλο κόστος ζημιών και ενίσχυσης είναι αυτά που έχουν περισσότερους από 6 ορόφους (βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο παραλιακό μέτωπο που χαρακτηρίζεται από τα πιο ευπαθή εδάφη στο Δήμο). Ο αριθμός αυτών είναι 200 σύμφωνα με στοιχεία του Δήμου.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστούν στην παρούσα εργασία αυτές οι δύο κατηγορίες κτιρίων ως προς το κόστος ζημίας που θα επιφέρουν συγκεκριμένης μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σεισμοί, ανάλογα με το επίπεδο ενίσχυσης των κτιρίων. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή καμπυλών τρωτότητας που δίνουν το ποσοστό ζημίας που αναμένεται ότι θα έχει η κάθε κατηγορία των κτιρίων συναρτήσει του PGA καθώς και με τη χάραξη καμπυλών που συνδέουν το κόστος των ζημιών λόγω του εκάστοτε σεισμού, με το ποσοστό ενίσχυσης. Επίσης διερευνάται η σχέση μεταξύ κόστους λόγω ζημιών και κόστους ενίσχυσης των κατασκευών ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα μεγέθη της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης(PGA) τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των κτιρίων στις τέσσερις μεγαλύτερες πόλεις της Κύπρου.

Πίνακας 4.2 Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού για τις 4 μεγαλύτερες πόλεις της Κύπρου

Πόλη	10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια	10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια	10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια
Λευκωσία	0.20g	0.15g	0.10g
Λεμεσός	0.25g	0.175g	0.125g
Λάρνακα	0.20g	0.15g	0.10g
Πάφος	0.25g	0.175g	0.125g

Για την πόλη της Λεμεσού στην οποία επικεντρώνεται η παρούσα εργασία τα σχεδιαστικά μεγέθη PGA είναι 0,25g για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια, 0,175g για σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 20 χρόνια και 0,125g για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια.

4.6.1 Καμπύλες τρωτότητας

Το ποσοστό ζημιάς που θα προκληθεί σε κάθε κτίριο σε σχέση με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) μπορεί να υπολογιστεί από τις καμπύλες τρωτότητας. Οι αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας σχεδιάστηκαν με χρήση του λογισμικού matlab και χρησιμοποιώντας τις εξής εντολές:

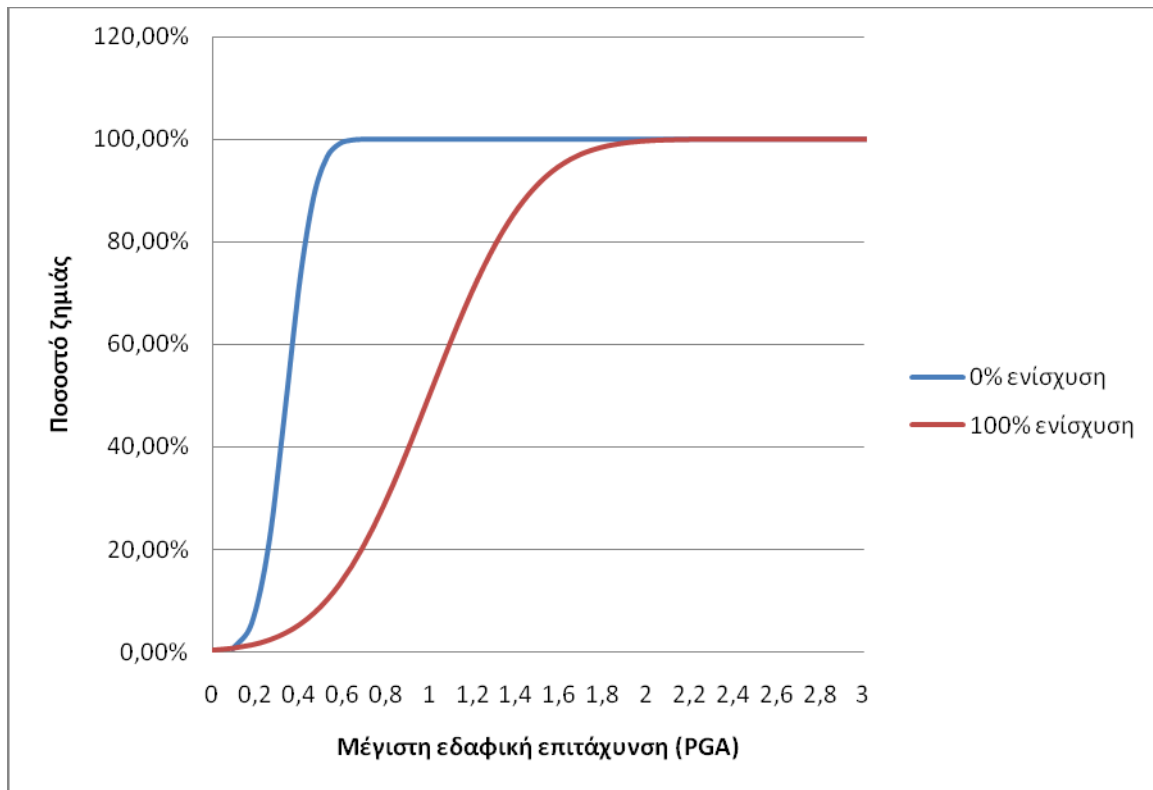
1. $x=(1:0.1:100)$ που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας σειράς αριθμών από το 1 ως το 100 με βήμα 0,1 (δυστυχώς χρησιμοποιείται η εντολή $v=\text{transpose}(x)$ για να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σε μία κατακόρυφη στήλη)
2. $p=\text{logncdf}(x, \text{μέση τιμή}, \text{τυπική απόκλιση})$ η οποία δίνει τη ζημία που θα έχει το κάθε κτίριο με βάση το x και στατιστικά χαρακτηριστικά. (δυστυχώς χρησιμοποιείται η εντολή $z=\text{transpose}(p)$ για να αποδοθούν τα αποτελέσματα σε μια κατακόρυφη στήλη)

Στη συνέχεια οι ακολουθίες αριθμών x και p μεταφέρθηκαν στο πρόγραμμα Microsoft Excel και δημιουργήθηκε γραφική παράσταση με τετμημένη το $\ln(x)$ (που αντιστοιχεί στη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA)) και τεταγμένη το p (που αντιστοιχεί στη ζημιά).

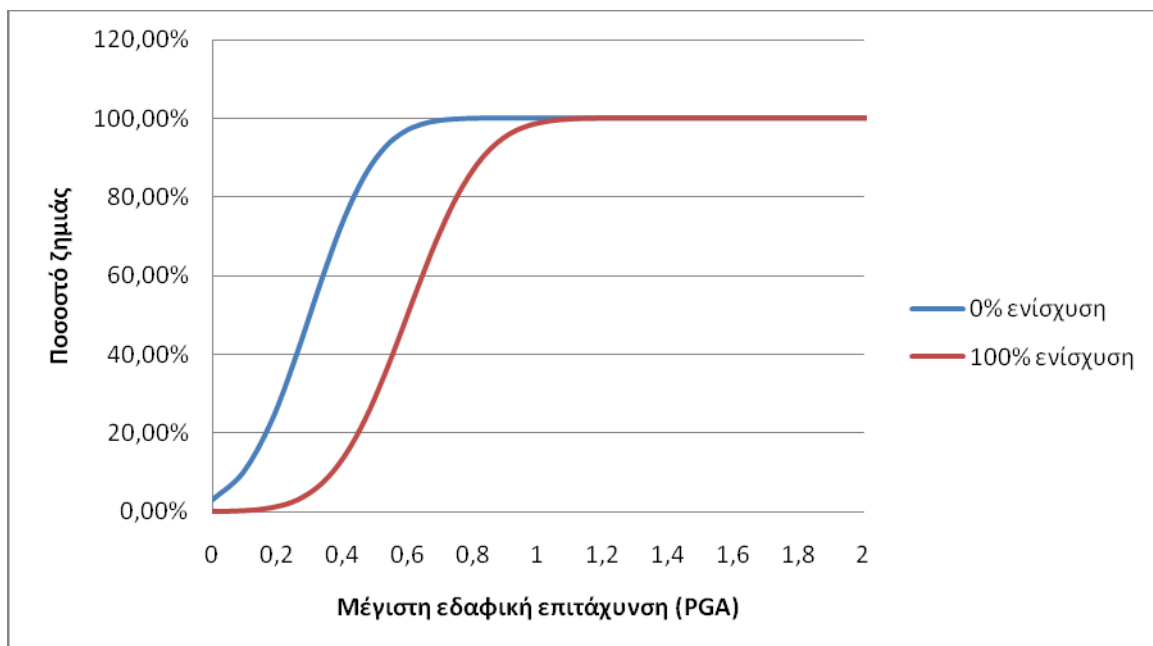
Πίνακας 4.3 Οι στατιστικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις εντολές στο λογισμικό matlab

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Για κτίρια < 2 ορόφων, με 0% ενίσχυση (παλαιά)	0.27	0.11
Για κτίρια < 2 ορόφων με 100% ενίσχυση (καινούρια)	1.00	0.37
Για κτίρια > 6 ορόφων με 0% ενίσχυση (παλαιά)	0.30	0.16
Για κτίρια > 6 ορόφων με 100% ενίσχυση (καινούρια)	0.60	0.18

Έτσι σχεδιάστηκαν οι καμπύλες τρωτότητας για τις άνω κατηγορίες κτιρίων:



Εικόνα 4.9 Καμπύλες τρωτότητας για κτίρια με αριθμό ορόφων ≤ 2



Εικόνα 4.10 Καμπύλες τρωτότητας για κτίρια με αριθμό ορόφων 6-8

Στις καμπύλες τρωτότητας παραπάνω φαίνεται το ποσοστό ζημιάς που θα έχουν τα χαμηλότερα από διώροφα και τα ψηλότερα από εξαώροφα κτίρια, τόσο αυτά που έχουν κατασκευαστεί με βάση αντισεισμικό σχεδιασμό (δηλαδή μετά το 1992), τα οποία θεωρούνται 100% ενισχυμένα, όσο και αυτά που έχουν κατασκευαστεί χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό (0% ενίσχυση), σε συνάρτηση με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που θα προκαλέσει ο σεισμός. Είναι καλό να επικεντρώνεται κανείς στις τιμές 0,25g 0,175g και 0,125g που είναι τιμές χαρακτηριστικές για τη Λεμεσό, για σεισμούς με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε χρονική περίοδο 50, 20 και 10 χρόνια αντίστοιχα.

Για να βρεθούν τα ποσοστά των ζημιών που προκαλούν οι προαναφερόμενες εδαφικές επιταχύνσεις σε κτίρια με στάθμες ενίσχυσης μεταξύ του 0% και του 100% έγινε γραμμική παρεμβολή στο διάστημα που ορίζεται από τη διαφορά των τεταγμένων των δύο καμπυλών που φαίνονται παραπάνω, για τετμημένες 0,25 , 0,175 και 0,125 που είναι τα σημεία ενδιαφέροντος. Έτσι προέκυψαν τα ποσοστά των ζημιών που αναμένονται για σεισμούς που θα προκαλέσουν τις προαναφερόμενες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις.

Είναι άξιο αναφοράς σε αυτό το σημείο, ότι χρησιμοποιείται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) ως το επίπεδο του σεισμικού κινδύνου, και όχι η σεισμική ένταση, λόγω της καλύτερης σύνδεσης που έχει το πρώτο με το μέγεθος του σεισμού.

4.6.2 Κόστος λόγω ζημιών

Σε αυτό το στάδιο, έχουν ήδη βρεθεί τα ποσοστά των ζημιών που θα προκαλέσουν οι σεισμοί με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50, 20, 10 χρόνια ανάλογα με το ποσοστό ενίσχυσης στις δύο κατηγορίες κτιρίων, και ζητείται το αντίστοιχο κόστος. Σε αυτήν την εργασία θεωρήθηκε ότι το κόστος θα βρίσκεται απλά πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό της ζημιάς με την αξία του κτιρίου. Θεωρήθηκαν οι τιμές:

- 200.000 € για τα κτίρια που έχουν αριθμό ορόφων ≤ 2 .
- 1.300.000 € για τα κτίρια με αριθμό ορόφων ≥ 6 και ≤ 8 .

Αυτές οι τιμές είναι ενδεικτικές και δε σημαίνει ότι ανταποκρίνονται πλήρως στην πραγματικότητα. Χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της εργασίας, της οποίας άλλωστε ο σκοπός είναι η πρόταση μεθοδολογίας για την επίλυση του προβλήματος που παρουσιάζει και όχι αυτή καθαυτή η λύση του.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έγινε η παραδοχή ότι το μόνο κόστος που θα προκύψει λόγω των σεισμών είναι το κόστος των ζημιών στα κτίρια. Χάριν απλότητας και ευκολίας αγνοήθηκαν άλλα κόστη όπως το κόστος ανθρώπινης απώλειας σε περίπτωση κατάρρευσης, η μείωση εσόδων που θα προκύψει λόγω της μη καταβολής των ενοικίων, το κόστος που θα υπάρξει σε περίπτωση μεταστέγασης των κατοίκων, το κόστος λόγω της απώλειας των αντικειμένων, η απώλεια εσόδων αν στο κτίριο λειτουργούσε επιχείρηση ή βιομηχανία κ.α.

Με βάση λοιπόν τις παραπάνω διαδικασίες προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Για κτίρια ≤ 2 ορόφων(χαμηλά):

Πίνακας 4.4 Κόστος λόγω ζημιών (χαμηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια (PGA=0,25g)

Ενίσχυση (%)	Ζημία(%)	Κόστος ζημίας (€)	Κόστος για 14.000 κτίρια του Δήμου (€)
0%	42	84.000	1.176.000.000
10%	38,031	76.062	1.064.868.000
20%	34,062	68.124	953.736.000
30%	30,093	60.186	842.604.000
40%	26,124	52.248	731.472.000
50%	22,155	44.310	620.340.000
60%	18,186	36.372	509.208.000
70%	14,217	28.434	398.076.000
80%	10,248	20.496	286.944.000
90%	6,279	12.558	175.812.000
100%	2,31	4.620	64.680.000

Πίνακας 4.5 Κόστος λόγω ζημιών (χαμηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια (PGA=0,175g)

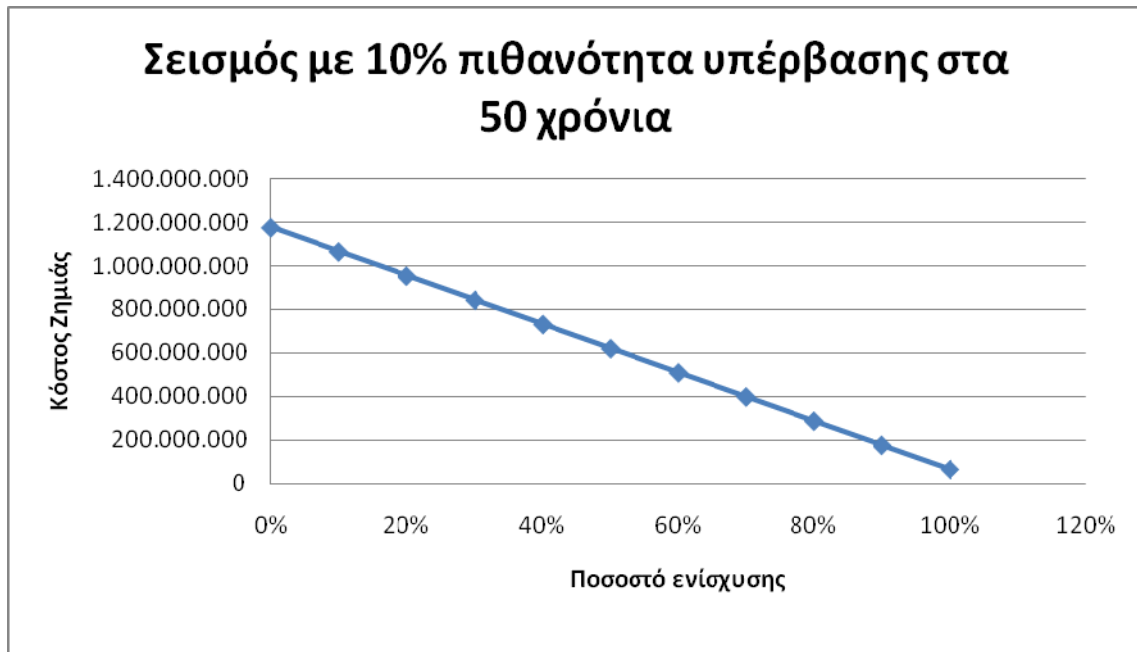
Ενίσχυση (%)	Ζημία(%)	Κόστος ζημίας (€)	Κόστος για τα 14.000 κτίρια του Δήμου (€)
0%	21,27	42.540	595.560.000
10%	19,279	38.558	539.812.000
20%	17,288	34.576	484.064.000
30%	15,297	30.594	428.316.000
40%	13,306	26.612	372.568.000
50%	11,315	22.630	316.820.000
60%	9,324	18.648	261.072.000
70%	7,333	14.666	205.324.000
80%	5,342	10.684	149.576.000
90%	3,351	6.702	9.382.8000
100%	1,36	2.720	38.080.000

Πίνακας 4.6 Κόστος λόγω ζημιών (χαμηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια (PGA=0,125g)

Ενίσχυση (%)	Ζημία(%)	Κόστος ζημίας (€)	Κόστος για τα 14.000 κτίρια του Δήμου (€)
0%	14	28.000	392.000.000
10%	12,69324	25.386,48	355.410.720
20%	11,38648	22.772,96	318.821.440
30%	10,07972	20.159,44	282.232.160
40%	8,77296	17.545,92	245.642.880
50%	7,4662	14.932,4	209.053.600
60%	6,15944	12.318,88	172.464.320
70%	4,85268	9.705,36	135.875.040
80%	3,54592	7.091,84	99.285.760
90%	2,23916	4.478,32	62.696.480
100%	0,9324	1.864,8	26.107.200

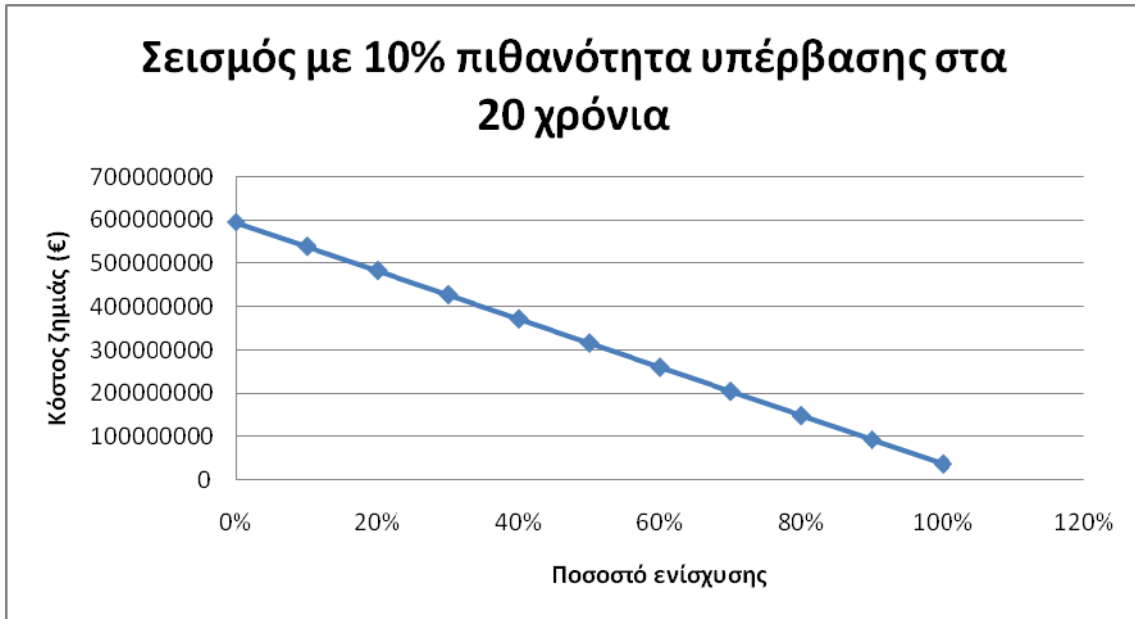
Παρακάτω παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις κόστους-ποσοστού ενίσχυσης για τα 14.000 κτίρια του Δήμου που είναι χαμηλότερα των 2 ορόφων:

θεωρώντας ότι θα γίνει ένας σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια με $PGA=0,25g$. Κόστος των 14.000 κτιρίων συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσής τους:



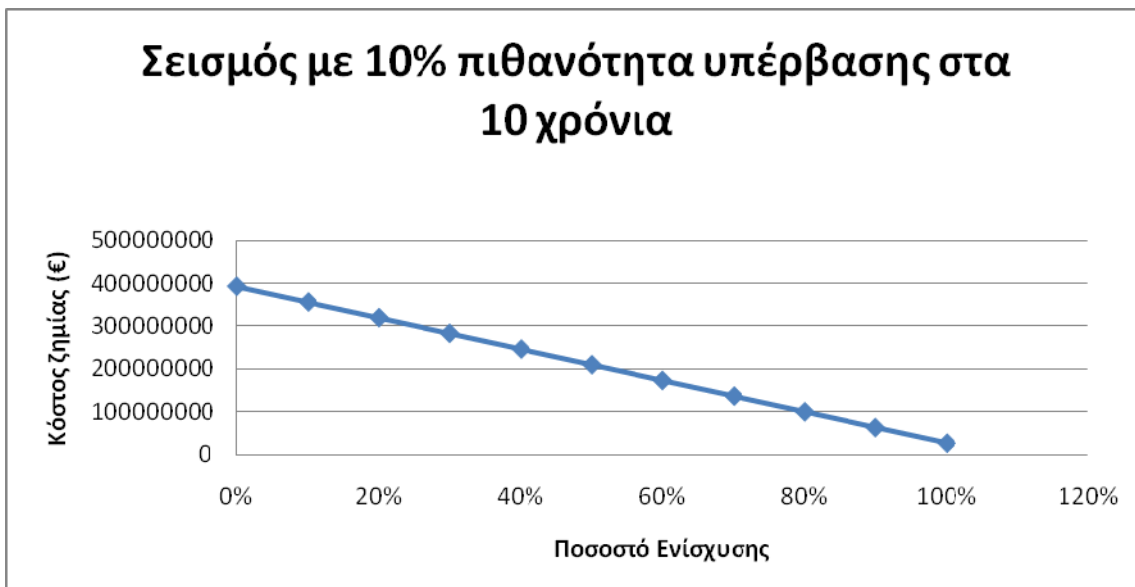
Εικόνα 4.11 Κόστος ζημιάς για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια ($PGA=0,25g$)

Θεωρώντας ότι θα γίνει ένας σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 20 χρόνια με $PGA=0,175g$. Κόστος ζημιάς των 14000 κτιρίων συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους:



Εικόνα 4.12 Κόστος ζημιάς για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια ($PGA=0,175g$)

θεωρώντας ότι θα γίνει ένας σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 10 χρόνια με $PGA=0,125g$. Το κόστος των ζημιών για τα 14.000 κτίρια συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους είναι:



Εικόνα 4.13 Κόστος ζημιάς για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια ($PGA=0,125g$)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι εξετάζεται ο κάθε σεισμός ξεχωριστά και τα κόστη που μπορεί να προκύψουν από τον κάθε ένα δεν συνυπολογίζονται. Θεωρείται δηλαδή ότι οι ζημιές από κάθε σεισμό επισκευάζονται αμέσως και όταν συμβεί ο επόμενος το κόστος θα προσδιορίζεται με βάση την αρχική αξία του κτιρίου με τον τρόπο που προαναφέρθηκε (πολλαπλασιάζοντας το ποσοτό ζημιάς με την αξία του). Δεν θεωρείται ότι μειώνεται η αξία του επειδή μπορεί να έχει περάσει αρκετούς σεισμούς, άρα να έχει υποστεί φθορά απο αυτούς. Άλλη προσέγγιση που έχει το ίδιο αποτέλεσμα είναι να θεωρήσει κανείς ότι γίνεται ένας από τους παραπάνω σεισμούς κατά τη διάρκεια της απομένουσας ζωής του εκάστοτε κτιρίου.

Για κτίρια 6 ως 8 ορόφων(ψηλά):

Πίνακας 4.7 Κόστος λόγω ζημιών (ψηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια (PGA=0,25g)

Ενίσχυση (%)	Ζημία (%)	Κόστος ζημιάς (€)	Κόστος για τα 200 κτίρια του Δήμου (€)
0%	40,7	529.100	105.820.000
10%	36,933	480.129	96.025.800
20%	33,166	431.158	86.231.600
30%	29,399	382.187	76.437.400
40%	25,632	333.216	66.643.200
50%	21,865	284.245	56.849.000
60%	18,098	235.274	47.054.800
70%	14,331	186.303	37.260.600
80%	10,564	137.332	27.466.400
90%	6,797	88.361	17.672.200
100%	3,03	39.390	7.878.000

Πίνακας 4.8 Κόστος λόγω ζημιών (ψηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια (PGA=0,175g)

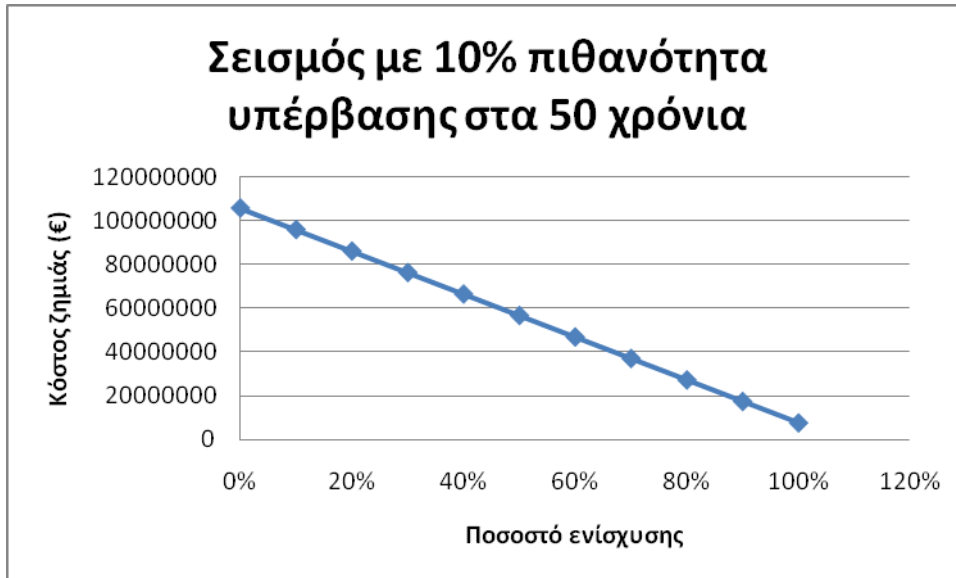
Ενίσχυση (%)	Ζημία (%)	Κόστος ζημιάς (€)	Κόστος για τα 200 κτίρια του Δήμου (€)
0%	23,1	300.300	60.060.000
10%	20,892	271.596	54.319.200
20%	18,684	242.892	48.578.400

30%	16,476	214.188	42.837.600
40%	14,268	185.484	37.096.800
50%	12,06	156.780	31.356.000
60%	9,852	128.076	25.615.200
70%	7,644	99.372	19.874.400
80%	5,436	70.668	14.133.600
90%	3,228	41.964	8.392.800
100%	1,02	13.260	2.652.000

Πίνακας 4.9 Κόστος λόγω ζημιών (ψηλών κτιρίων) συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια (PGA=0,125g)

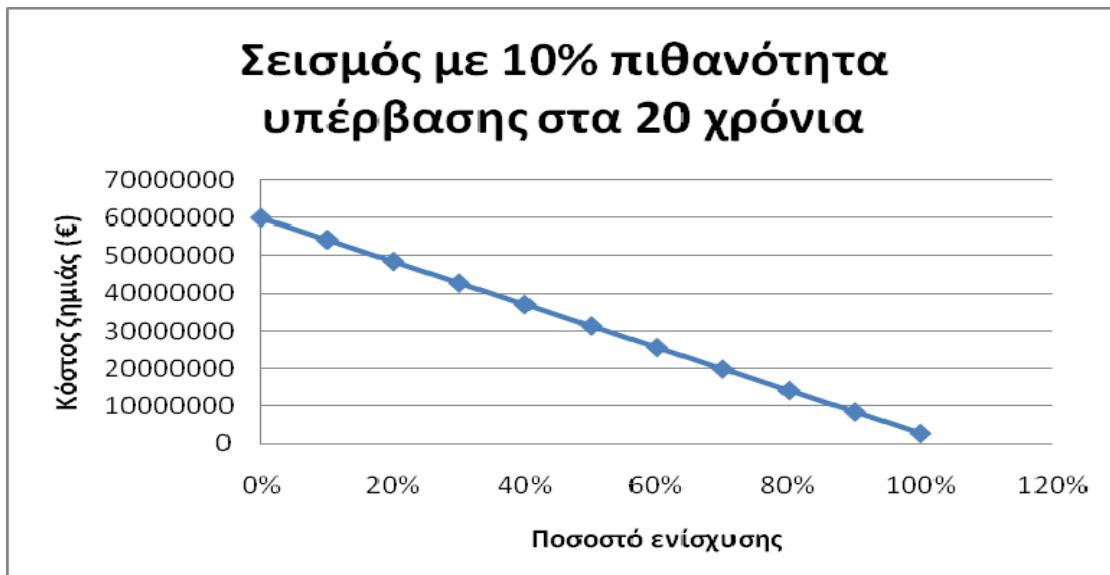
Ενίσχυση (%)	Ζημία (%)	Κόστος ζημίας (€)	Κόστος για τα 200 κτίρια του Δήμου (€)
0%	16,121	209.573	41.914.600
10%	14,6109	189.941,7	37.988.340
20%	13,1008	170.310,4	34.062.080
30%	11,5907	150.679,1	30.135.820
40%	10,0806	131.047,8	26.209.560
50%	8,5705	111.416,5	22.283.300
60%	7,0604	91.785,2	18.357.040
70%	5,5503	72.153,9	14.430.780
80%	4,0402	52.522,6	10.504.520
90%	2,5301	32.891,3	6.578.260
100%	1,02	13.260	2.652.000

Θεωρώντας ότι θα γίνει ένας σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια με $PGA=0,25g$. Το Κόστος των 200 ψηλών κτιρίων συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσής τους:



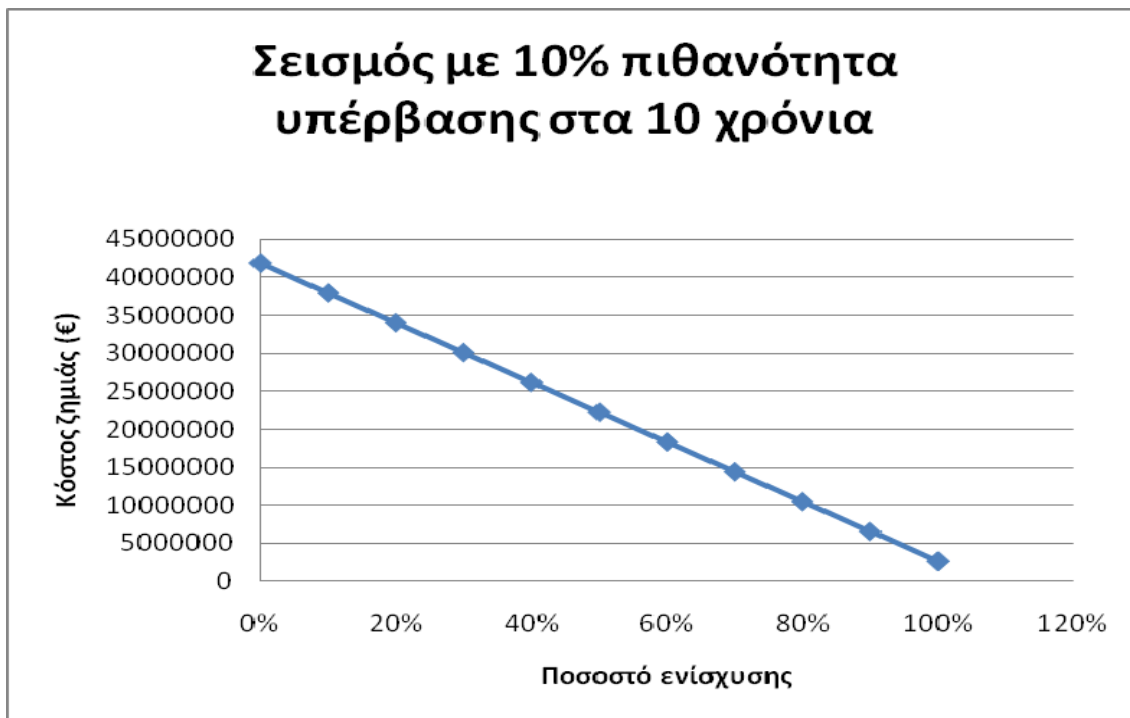
Εικόνα 4.14 Κόστος ζημιάς για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια ($PGA=0,25g$)

Θεωρώντας ότι θα γίνει ένας σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 20 χρόνια με $PGA=0,175g$. Κόστος ζημιάς των 200 ψηλών κτιρίων συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους:



Εικόνα 4.15 Κόστος ζημιάς για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια ($PGA=0,175g$)

Θεωρώντας ότι θα γίνει ένας σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 10 χρόνια με $PGA=0,125g$. Το κόστος των ζημιών για τα 200 ψηλά κτίρια συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους είναι:



Εικόνα 4.16 Κόστος ζημιάς για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια ($PGA=0,125g$)

4.6.3 Κόστος ενίσχυσης

Το κόστος πλήρους ενίσχυσης (100%) θεωρήθηκε ως ένα ποσοστό της αξίας του κτιρίου (ποσό αντικατάστασης). Κρίθηκε σωστό να είναι το 20% αυτό το ποσοστό. Δηλαδή το κόστος 100% ενίσχυσης για τα χαμηλά κτίρια είναι ίσο με το 20% των 200.000 € που είναι η αξία τους, δηλαδή 40.000 € για κάθε κτίριο και 560.000.000 € για τα 14.000 χαμηλά κτίρια. Αντίστοιχα το κόστος 100% ενίσχυσης για τα ψηλά κτίρια είναι ίσο με το 20% των 1.300.000 € που είναι η αξία τους, δηλαδή 260.000 € για κάθε κτίριο και 52.000.000 € για τα 200 ψηλά κτίρια. Τα κόστη ενίσχυσης για τις ενδιάμεσες στάθμες ενίσχυσης βρέθηκαν με αναλογία αφού θεωρήθηκε γραμμική σχέση μεταξύ τους.

Το ποσοστό 20% κρίθηκε ότι αντιπροσωπεύει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα. Στην εργασία του Κάππου και Δημητρακόπουλου (Κάππος, Δημητρακόπουλος, 2007), όπου ακολουθείται αντίστοιχη διαδικασία για την περιοχή της

Θεσσαλονίκης, θεωρήθηκε ότι μόνο το 12% της αρχικής αξίας των κτιρίων ισούται με το κόστος της 100% ενίσχυσης τους. Έτσι βρέθηκαν τα εξής αποτελέσματα:

Για τα χαμηλά κτίρια:

Πίνακας 4.10 Κόστος ενίσχυσης για τα 14000 χαμηλά κτίρια συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους

Ενίσχυση (%)	Κόστος ενίσχυσης για τα 14.000 κτίρια (€)
0%	0
10%	56.000.000
20%	112.000.000
30%	168.000.000
40%	224.000.000
50%	280.000.000
60%	336.000.000
70%	392.000.000
80%	448.000.000
90%	504.000.000
100%	560.000.000

Για τα ψηλά κτίρια:

Πίνακας 4.11 Κόστος ενίσχυσης για τα 200 ψηλά κτίρια συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης τους.

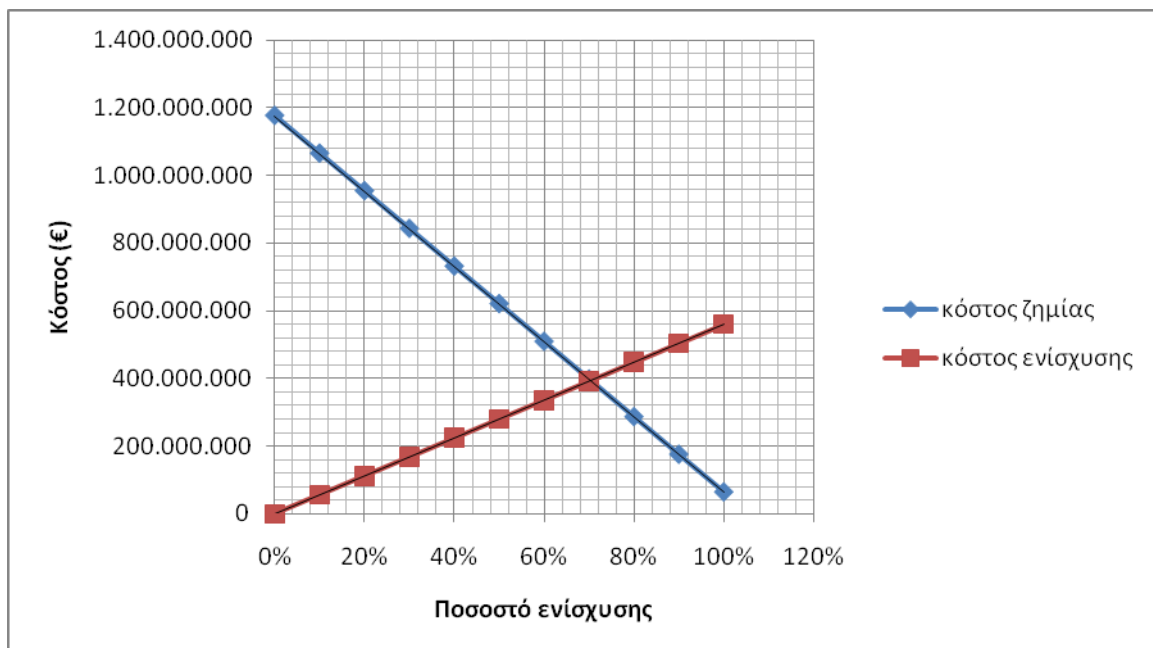
ενίσχυση (%)	Κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια (€)
0%	0
10%	5.200.000
20%	10.400.000
30%	15.600.000
40%	20.800.000
50%	26.000.000
60%	31.200.000
70%	36.400.000
80%	41.600.000
90%	46.800.000
100%	52.000.000

4.6.4 Διαγράμματα κόστους ζημιών και ενίσχυσης συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης

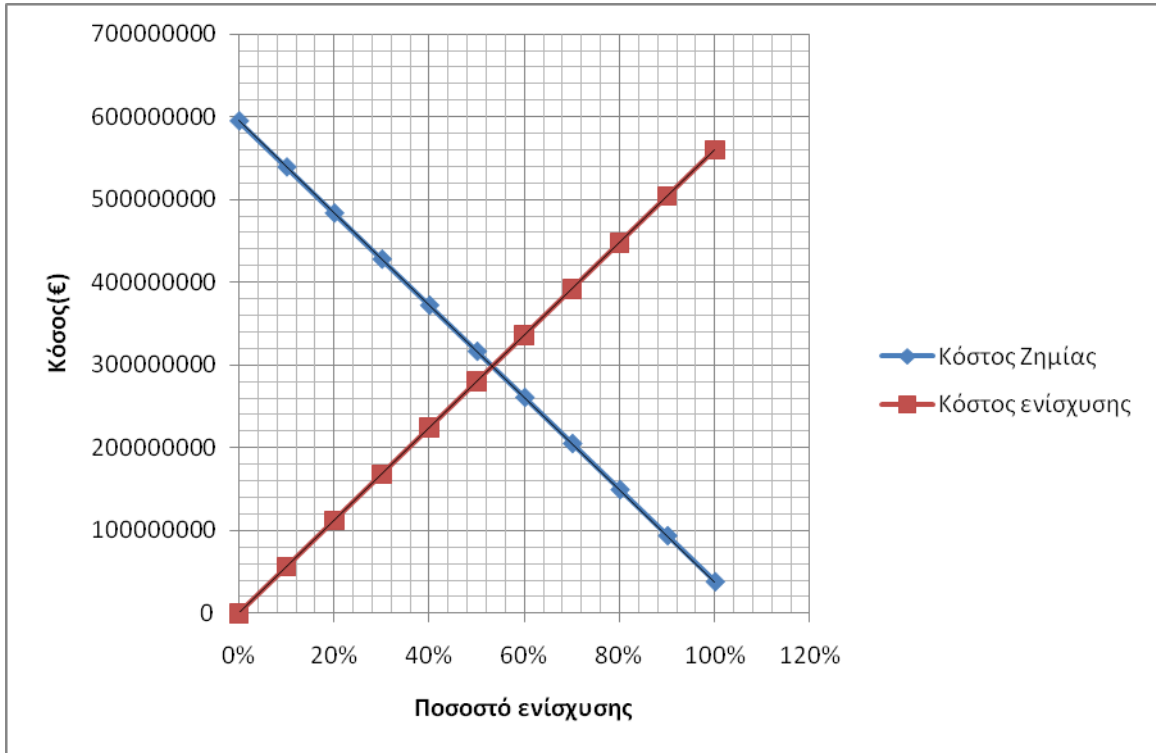
Εφόσον βρέθηκαν τα κόστη των ζημιών που θα προκύψουν από κάθε σεισμό συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης και το κόστος ενίσχυσης για κάθε κατηγορία κτιρίων, τοποθετήθηκαν σε κοινά διαγράμματα, πράγμα χρήσιμο για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε μια σημαντική παραδοχή. Θεωρείται ότι η αντισεισμική ενίσχυση γίνεται ταυτόχρονα με το σεισμό, δηλαδή όλες οι χρηματικές αξίες είναι της ίδιας περιόδου, άρα άμεσα συγκρίσιμες. Θα ήταν πιο σωστό να είχε εισαχθεί στην εργασία η έννοια του πληθωρισμού και των επιτοκίων. Τότε θα χρειαζόταν μετατροπή της αξίας των χρημάτων ώστε όλες οι ονομαστικές τιμές να αναφέρονται στην ίδια χρονική περίοδο και να είναι συγκρίσιμες. Αυτό δεν έγινε χάριν απλότητας και ευκολίας.

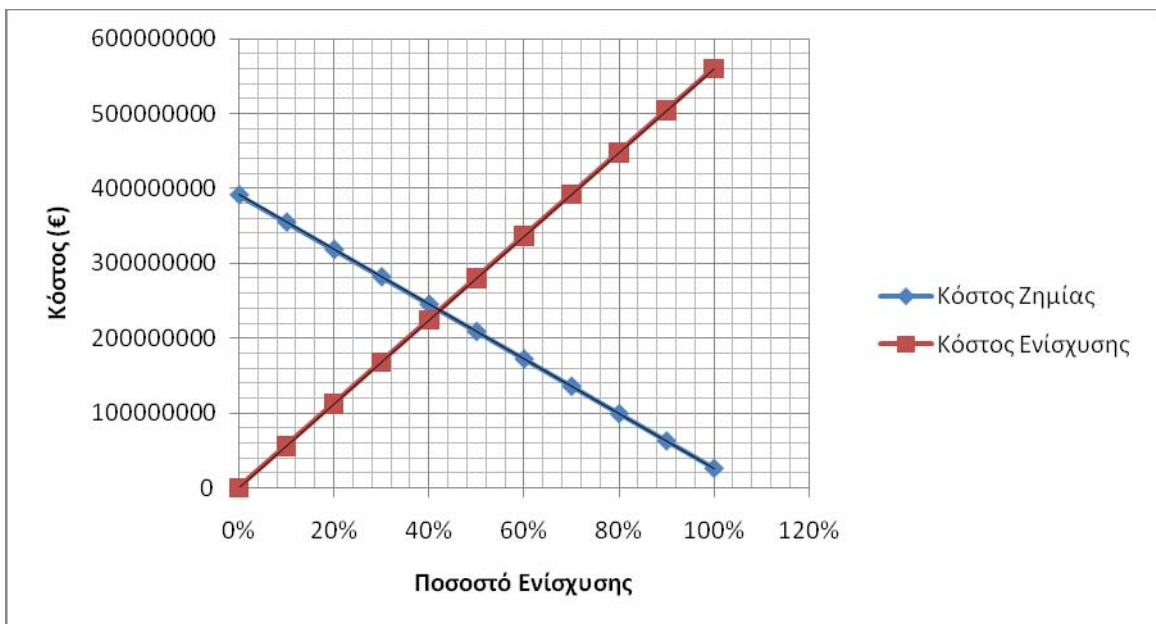
Για τα κτίρια με αριθμό ορόφων ≤ 2 :



Εικόνα 4.17 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (PGA=0,25g)

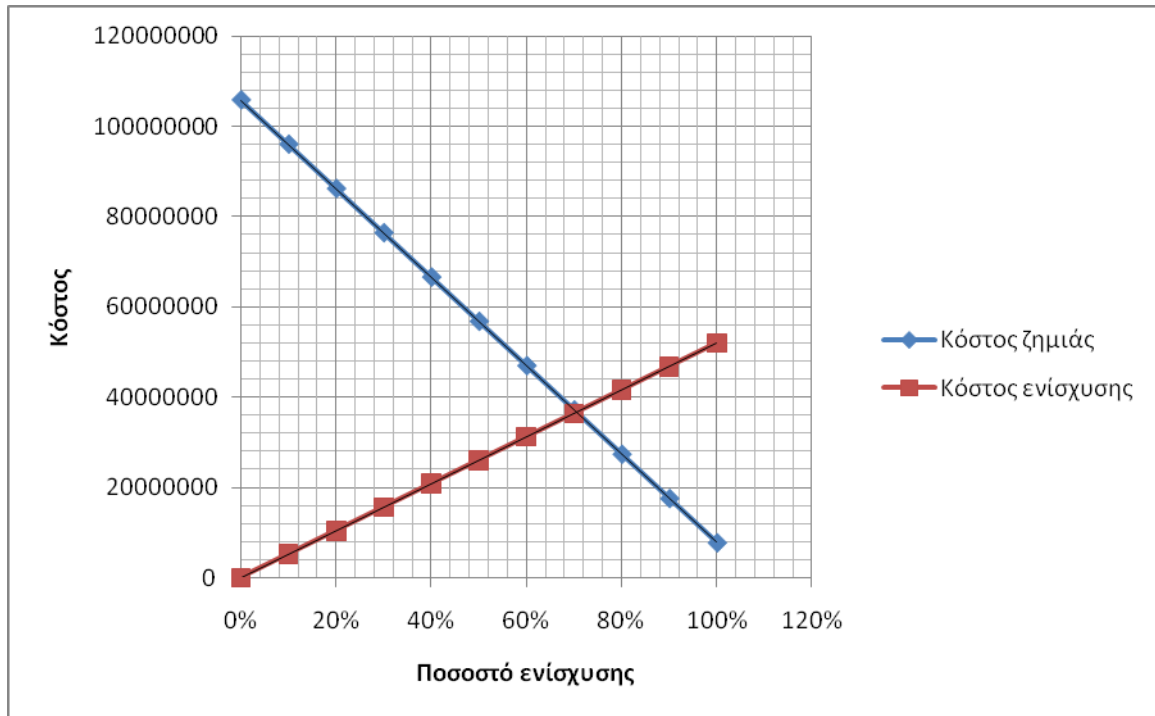


Εικόνα 4.18 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια (PGA=0,175g)

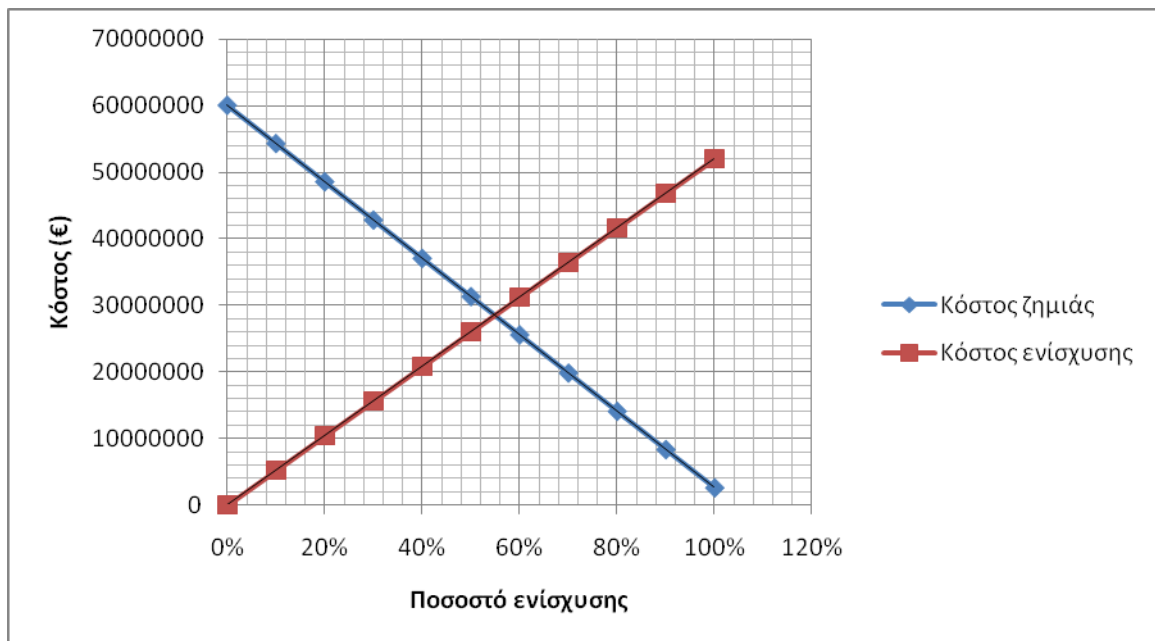


Εικόνα 4.19 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 14000 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια (PGA=0,125g)

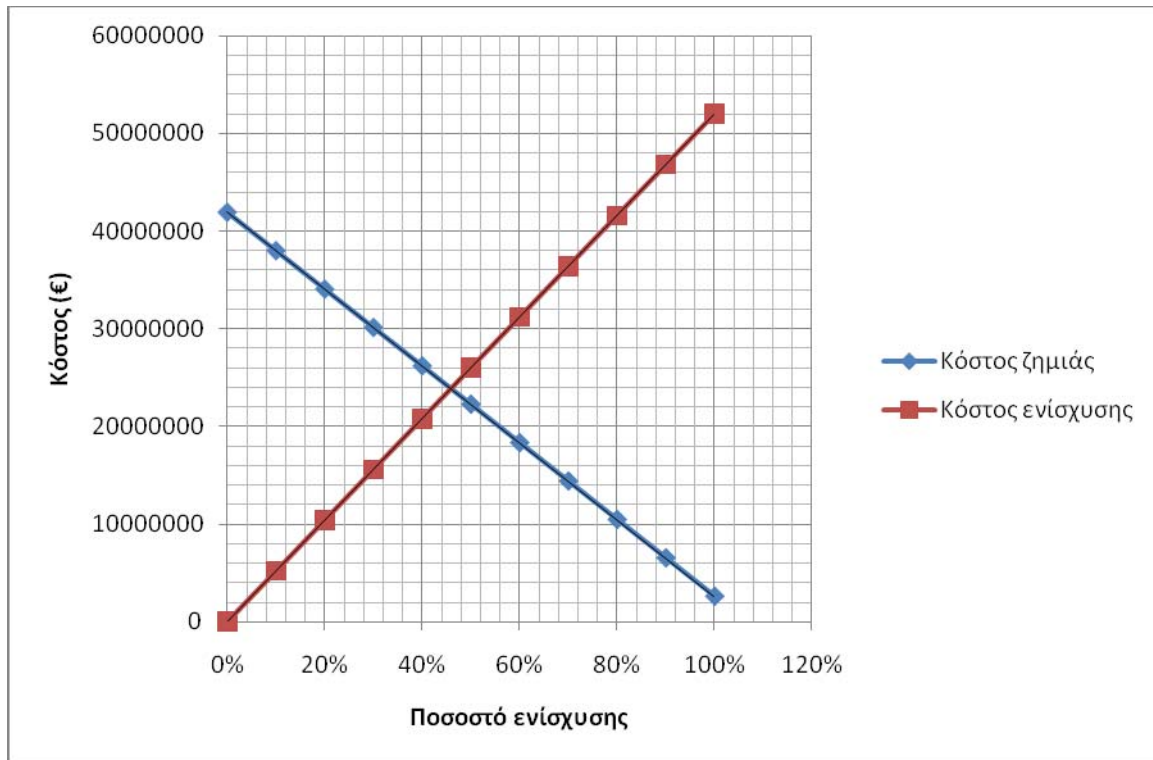
Για κτίρια με αριθμό ορόφων 6-8 :



Εικόνα 4.20 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (PGA=0,25g)



Εικόνα 4.21 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 20 χρόνια (PGA=0,175g)



Εικόνα 4.22 Κόστος ζημιάς και κόστος ενίσχυσης για τα 200 κτίρια σε συνάρτηση με το ποσοστό ενίσχυσης για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 10 χρόνια (PGA=0,125g)

5 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

Με βάση το κόστος ενίσχυσης και ζημιών που βρέθηκε και παρουσιάζεται στα παραπάνω διαγράμματα συναρτήσει του ποσοστού ενίσχυσης των κατασκευών και του αναμενόμενου σεισμού, μπορούν να γίνουν σημαντικές παρατηρήσεις, να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα και να προταθούν στρατηγικές και λύσεις στο πρόβλημα με το οποίο ασχολείται η εργασία.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω διαγραμμάτων συγκεντρώνονται σε πίνακες για να γίνει ευκολότερη η επεξεργασία τους και η συλλογή παρατηρήσεων. Επιλέχθηκαν να συγκριθούν τα κόστη ζημιών και ενίσχυσης για τις στάθμες ενίσχυσης 30%, 60%, και 90%. Η επιλογή του 30% ως ελάχιστου ποσοστού ενίσχυσης έγινε με το σκεπτικό ότι ενίσχυση μικρότερη του 30% δεν έχει νόημα από τεχνική άποψη. Οι άλλες δύο στάθμες επιλέχθηκαν με βάση την πρώτη, ώστε να είναι ισοκατανομημένο το εύρος μεταξύ των επιπέδων ενίσχυσης.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σωστό να υπενθυμιστεί ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η αλλαγή της ονομαστικής αξίας των χρημάτων στο μέλλον και όλες οι τιμές συγκρίνονται με βάση το παρόν.

Για τα 14.000 χαμηλά κτίρια (≤ 2 ορόφων):

Πίνακας 5.1 Κόστος ζημιάς, ενίσχυσης και συνολικό για στάθμες ενίσχυσης 30%, 60%, 90% για σεισμούς με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50, 20 και 10 χρόνια, για χαμηλά κτίρια

Για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια :			
	30% ενίσχυση	60% ενίσχυση	90% ενίσχυση
Κόστος ζημιάς (€)	842.604.000	509.208.000	175.812.000
Κόστος ενίσχυσης(€)	168.000.000	336.000.000	504.000.000
Συνολικό κόστος (€) (κόστος ζημιάς + κόστος ενίσχυσης)	1.010.604.000	845.208.000	679.812.000
Για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια :			

	30% ενίσχυση	60% ενίσχυση	90% ενίσχυση
Κόστος ζημιάς (€)	428.316.00	261.072.000	93.828.000
Κόστος ενίσχυσης(€)	168.000.000	336.000.000	504.000.000
Συνολικό κόστος (€) (κόστος ζημιάς + κόστος ενίσχυσης)	596.000.000	597.072.000	597.828.000
Για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια :			
	30% ενίσχυση	60% ενίσχυση	90% ενίσχυση
Κόστος ζημιάς (€)	282.232.160	172.464.320	62.696.480
Κόστος ενίσχυσης(€)	168.000.000	336.000.000	504.000.000
Συνολικό κόστος (€) (κόστος ζημιάς + κόστος ενίσχυσης)	450.232.160	508.464.320	566.696.480

Για τα 200 ψηλά κτίρια (6-8 όροφοι) :

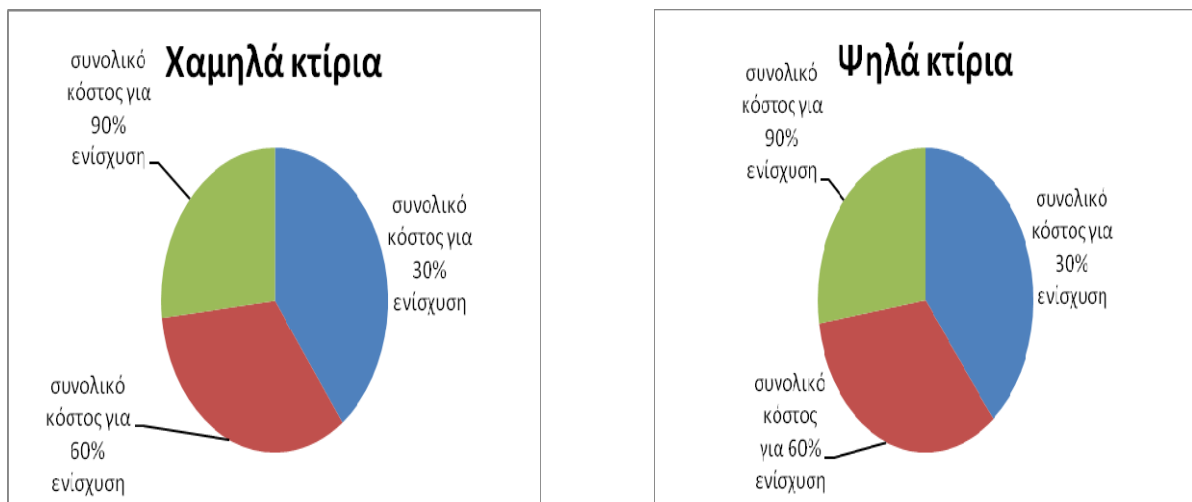
Πίνακας 5.2 Κόστος ζημιάς, ενίσχυσης και συνολικό για στάθμες ενίσχυσης 30%, 60%, 90% για σεισμούς με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50, 20 και 10 χρόνια, για ψηλά κτίρια

Για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια :			
	30% ενίσχυση	60% ενίσχυση	90% ενίσχυση
Κόστος ζημιάς (€)	76.437.400	47.054.800	17.672.200
Κόστος ενίσχυσης(€)	15.600.000	31.200.000	46.800.000
Συνολικό κόστος (€) (κόστος ζημιάς + κόστος ενίσχυσης)	92.037.400	78.254.800	64.472.200
Για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια :			
	30% ενίσχυση	60% ενίσχυση	90% ενίσχυση
Κόστος ζημιάς (€)	42.837.600	25.615.200	8.392.800
Κόστος ενίσχυσης(€)	15.600.000	31.200.000	46.800.000
Συνολικό κόστος (€) (κόστος ζημιάς + κόστος ενίσχυσης)	58.437.600	56.815.200	55.192.800
Για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια :			
	30% ενίσχυση	60% ενίσχυση	90% ενίσχυση
Κόστος ζημιάς (€)	30.135.820	18.357.040	6.578.260
Κόστος ενίσχυσης(€)	15.600.000	31.200.000	46.800.000
Συνολικό κόστος (€)	45.735.820	49.557.040	53.378.260

(κόστος ζημιάς + κόστος ενίσχυσης)			
---------------------------------------	--	--	--

5.1 Χρήσιμες παρατηρήσεις

1. Όσο περισσότερο ενισχυθούν τα κτίρια που θα ενισχυθούν για 50 χρόνια, τόσο αυτά που έχουν 2 ορόφους ή λιγότερους (χαμηλά), όσο και αυτά που είναι μεταξύ 6-8 ορόφων(ψηλά), σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός της πενηκονταετίας, τόσο μικρότερο συνολικό κόστος θα υπάρξει. (Εικόνα 5.1)



Εικόνα 5.1 Συνολικά κόστη για χαμηλά και ψηλά κτίρια για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι τα 14.000 χαμηλά κτίρια με 90% ενίσχυση έχουν συνολικό κόστος 679.812.000 € ενώ τα 60% και 30% ενισχυμένα έχουν συνολικό κόστος 845.208.000 € και 1.010.604.000 € αντίστοιχα, σε περίπτωση που συμβεί ο σεισμός. (Πίνακας 5.1)

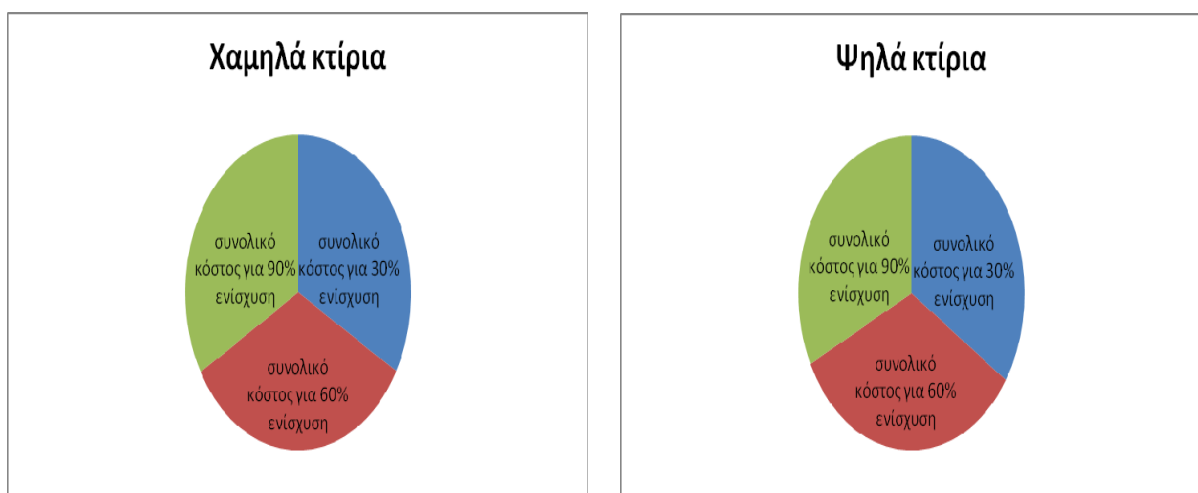
Τα 200 ψηλά κτίρια με 90% ενίσχυση έχουν συνολικό κόστος 64.472.200 € ενώ τα 60% και 30% έχουν συνολικό κόστος 78.254.800 € και 92.037.400 € αντίστοιχα, σε περίπτωση που συμβεί ο σεισμός σε 50 χρόνια. (Πίνακας 5.2)

Επίσης, αν τα κτίρια δεν ενισχυθούν (0% ενίσχυση) και γίνει ο σεισμός της πενηκονταετίας θα έχουν μεγαλύτερο κόστος από το συνολικό κόστος (κόστος ζημιών + κόστος ενίσχυσης)

που θα είχαν αν ήταν ενισχυμένα 30% ή 60% ή 90% και γινόταν ο σεισμός. Αξιοσημείωτο είναι ότι το συνολικό κόστος για 90% ενίσχυση είναι περίπου το μισό του κόστους των ζημιών για 0% ενίσχυση.

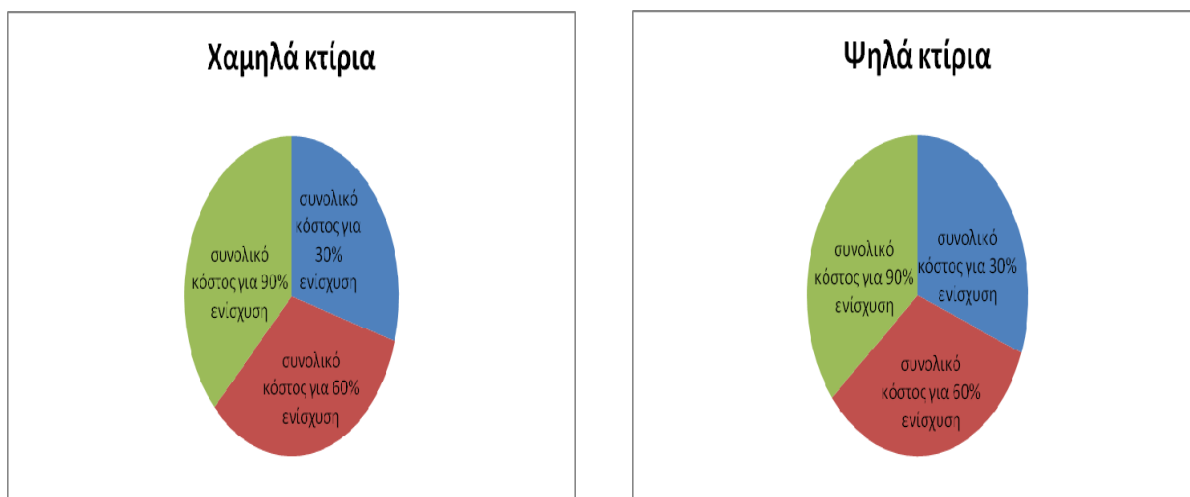
Άρα είναι επιθυμητή η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενίσχυση στα κτίρια που θα ενισχυθούν για 50 χρόνια, σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός.

2. Αν τα κτίρια ενισχυθούν για 20 χρόνια, τα χαμηλά κτίρια θα έχουν περίπου το ίδιο συνολικό κόστος (κόστος ζημιών + κόστος ενίσχυσης) για κάθε επίπεδο ενίσχυσης σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός της εικοσαετίας (Εικόνα 5.2). Ακόμη και για 0% ενίσχυση το κόστος των ζημιών είναι περίπου το ίδιο με το συνολικό κόστος για κάθε άλλο επίπεδο ενίσχυσης.(περίπου 600.000.000 €) Το ίδιο ισχύει και για τα ψηλά.(με κόστος περίπου 60.000.000 €). Αρά σε αυτήν την κατηγορία κτιρίων η απόφαση για το πόσο θα ενισχυθούν είναι καθαρά θέμα ασφάλειας των κατοίκων.



Εικόνα 5.2 Συνολικά κόστη για χαμηλά και ψηλά κτίρια για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 20 χρόνια.

3. Αν τα κτίρια ενισχυθούν για 10 χρόνια προκύπτουν εξαιρετικά ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Όσο περισσότερο ενισχύονται τα κτίρια, τόσο αυξάνει το συνολικό κόστος σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός της δεκαετίας. (Εικόνα 5.3)



Εικόνα 5.3 Συνολικά κόστη για χαμηλά και ψηλά κτίρια για σεισμό με 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 10 χρόνια.

Επίσης αν ενισχυθούν για 30% ή 60% ή 90% και γίνει ο σεισμός της δεκαετίας, τότε τόσο τα χαμηλά, όσο και τα ψηλά κτίρια θα έχουν μεγαλύτερο συνολικό κόστος, απ ότι αν δεν είχαν ενισχυθεί.

Πιο συγκεκριμένα τα χαμηλά κτίρια αν δεν ενισχυθούν και γίνει ο σεισμός θα έχουν κόστος ζημιών περίπου 400.000.000 €. Αν ενισχυθούν 30% θα έχουν συνολικό κόστος 450.232.160 €, αν ενισχυθούν 60%, θα έχουν συνολικό κόστος 508.464.320 €, ενώ αν ενισχυθούν 90% θα έχουν συνολικό κόστος 566.696.480 € (Πίνακας 5.1) Τα ψηλά κτίρια, αν δεν ενισχυθούν και γίνει ο σεισμός θα έχουν κόστος ζημιών περίπου 40.000.000 €. Αν ενισχυθούν για 30%, θα έχουν συνολικό κόστος 45.735.820 €, ενώ για 60% και 90% θα κοστίσουν 49.557.040 € και 53.378.260 € αντίστοιχα. (Πίνακας 5.2)

Αν τα κτίρια ενισχυθούν 90% για 10 χρόνια και ο σεισμός δεν γίνει, το κόστος είναι μεγαλύτερο απ ότι αν δεν ενισχυθούν καθόλου (0% ενίσχυση) και γίνει. Το κόστος για 60% και 30% ενίσχυση δεν υπερβαίνει το κόστος των ζημιών για 0% ενίσχυση.

Επίσης παρατηρείται ότι το κόστος 30% ενίσχυσης των κτιρίων για 10 χρόνια είναι αρκετά μικρότερο από το κόστος των ζημιών. Όμως για ενίσχυση 60% και 90% το κόστος της ενίσχυσης είναι μεγαλύτερο από το κόστος των αναμενόμενων ζημιών, για τα χαμηλά και για τα ψηλά κτίρια.

Γενικά, από οικονομική σκοπιά δεν έχει νόημα η ενίσχυση των κτιρίων για 10 χρόνια γιατί είναι ακριβή σε σχέση με τις ζημιές που αναμένονται και συστήνεται να εφαρμόζεται μόνο όταν θέματα ασφαλείας ή κοινωνικά την επιβάλλουν.

4. Αν τα κτίρια ενισχυθούν 90% για 50 χρόνια, έχουν μεγαλύτερο κόστος σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός της πεντηκονταετίας από ότι αν ενισχυθούν 90% για 20 χρόνια και γίνει ο σεισμός της εικοσαετίας. Αντίστοιχα αν ενισχυθούν τα κτίρια 90% για 20 χρόνια και γίνει ο σεισμός της εικοσαετίας, θα έχουν μεγαλύτερο κόστος από ότι αν ενισχυθούν 90% για 10 χρόνια και γίνει ο σεισμός της δεκαετίας. Αυτό είναι λογικό αφού τα 0,25g που αντιστοιχούν στο σεισμό των 50 χρόνων θα προκαλέσουν μεγαλύτερες ζημιές από τα 0,175g που αντιστοιχούν στο σεισμό των 20 χρόνων και αυτά με τη σειρά τους θα προκαλέσουν μεγαλύτερες ζημιές από τα 0,125g που αντιστοιχούν στο σεισμό των 10 χρόνων, ενώ τα κόστη ενίσχυσης είναι σταθερά αφού εξαρτώνται μόνο από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και το ποσοστό ενίσχυσης. Αυτό ισχύει για όλα τα επίπεδα ενίσχυσης, τόσο για τα ψηλά όσο και για τα χαμηλά κτίρια. (Πίνακες 5.1 και 5.2)

5. Είναι αξιοσημείωτο ότι για να ενισχυθούν τα χαμηλά και τα ψηλά κτίρια από 30% σε 90% δαπανούνται 3 φορές περισσότερα χρήματα, όμως από το κόστος των ζημιών εξοικονομούνται 4-5 φορές περισσότερα. (Πίνακες 5.1 και 5.2)

5.2 Λύσεις και στρατηγικές

Αναμφίβολα το κράτος πρέπει να κινηθεί προς την κατεύθυνση της μείωσης της ευθύνης του ως προς τα κτίρια που χρήζουν ενίσχυσης, ώστε σε περίπτωση που γίνει σεισμός να μην υποχρεούται να πληρώσει το κόστος των ζημιών. Αυτό πρέπει να επιτευχθεί, διότι το κράτος θα έχει τεράστια έξοδα αν κληθεί να πληρώσει και πιθανότατα δεν θα μπορεί να τα καλύψει. Τέτοια περίπτωση θα είναι καταστροφική για την Κυπριακή οικονομία και δεδομένης της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης που έχει εξελιχθεί σε μεγάλο πρόβλημα της εποχής, τα αποτελέσματα στην οικονομία ίσως είναι μη αναστρέψιμα.

Επίσης ο μέσος ιδιώτης δεν μπορεί μόνος του να καλύψει το κόστος ή ακόμα και αν μπορεί δεν είναι πρόθυμος διότι δεν είναι άρτια ενημερωμένος για τον μεγάλο κίνδυνο που ελλοχεύει.

Η μείωση της ευθύνης του κράτους μπορεί να επιτευχθεί με τρόπους όπως αυτούς που προτείνει η παρούσα εργασία και οι οποίοι κινούνται σε δύο κατευθύνσεις. Στη

δημιουργία κινήτρων ενίσχυσης για τους πολίτες και στη θέσπιση περιορισμών και υποχρεώσεων εφόσον οι πολίτες αρνούνται να τα ενισχύσουν.

5.2.1 Προτεινόμενες στρατηγικές και λύσεις με βάση τη δημιουργία κινήτρων

Μπορούν να προταθούν πολλές λύσεις που να δημιουργούν κίνητρα ενίσχυσης στους ιδιώτες. Το κράτος μπορεί να χορηγήσει στους ιδιώτες το αντίτιμο για 30% ενίσχυση για 50 χρόνια και να τους υποδείξει να την αυξήσουν στο 60% ή στο 90%. Μπορεί ακόμη να ενισχύσει τα κτίρια κατά 60% για 50 χρόνια και να προτείνει οι ιδιοκτήτες τους να τα ενισχύσουν σε επίπεδο 90%. Αντίστοιχες ενέργειες μπορεί να γίνουν για ενίσχυση εικοσαετίας ή δεκαετίας. Αυτή η χορήγηση αποτελεί ένα σοβαρό οικονομικό κίνητρο και μπορεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα εφόσον οι πολίτες είναι επαρκώς ενημερωμένοι για τον κίνδυνο που αντιμετωπίζουν οι παλαιές οικίες τους, συνεπώς και οι ίδιοι σε περίπτωση σεισμού. Ακόμη, μπορούν να δημιουργηθούν επιπλέον κίνητρα στους πολίτες ώστε να ενισχύσουν οι ίδιοι τα κτίρια τους εφόσον το κράτος τους τα ενισχύσει μέχρι κάποιο βαθμό.

Πιο συγκεκριμένα, αν το κράτος ενισχύσει τα κτίρια 30% για 10 χρόνια, μπορεί να απαιτήσει να τα ενισχύσουν οι ιδιοκτήτες σε επίπεδο 60% ή 90 % και να τα ασφαλίσουν για τα 10 χρόνια γιατί αν γίνει ο σεισμός θα έχουν μεγάλα έξοδα. Για να δώσει κίνητρο για αυτό μπορεί να προτείνει ότι θα πληρώνει τα ασφάλιστρα για 3 χρόνια αν η ενίσχυση είναι της τάξης του 60% και για 6 χρόνια, αν η ενίσχυση είναι της τάξης του 90%. Υπό συνθήκες μη ασφάλισης, η ενίσχυση για 10 χρόνια δε συμφέρει το κράτος σε καμία περίπτωση αφού στο ήδη υψηλό κόστος ενίσχυσης θα προστεθεί και το κόστος των ζημιών. Συν τοις άλλοις η καλή σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων εξασφαλίζεται μόλις για μια δεκαετία και με το πέρας της θα χρειαστούν νέες ενέργειες.

Για κτίρια που ενισχύονται για 20 χρόνια, το κράτος έχει μεγαλύτερο συμφέρον απ ότι αν ενισχυθούν για 10 χρόνια αφού το κόστος ενίσχυσης είναι το ίδιο με την προηγούμενη περίπτωση (ανάλογα με το ποσοστό ενίσχυσης), και το συνολικό κόστος σε περίπτωση σεισμού δεν είναι πολύ μεγαλύτερο, αν αναλογιστεί κανείς ότι εξασφαλίζεται ασφάλεια ως ένα βαθμό για διπλάσιο αριθμό ετών και το κόστος είναι 1,05-1,3 φορές μεγαλύτερο. Εφόσον λοιπόν το κράτος ενισχύσει τα κτίρια κατά 30% για 20 χρόνια, μπορεί να απαιτήσει από τους ιδιοκτήτες τους να τα ενισχύσουν ακόμη 30% ή 60%, ώστε να φτάσουν σε επίπεδο ενίσχυσης 60% ή 90% αντίστοιχα, προσφέροντας τα ανάλογα ανταλλάγματα. Τέτοια μπορεί να είναι η κάλυψη μέρους των ασφάλιστρων για 5 ή 10 χρόνια (δεδομένου ότι οι ιδιοκτήτες θα

υποχρεωθούν μαζί με την ενίσχυση να ασφαλίσουν τις κατασκευές τους), ή η μείωση του φόρου ακίνητης περιουσίας για την εικοσαετία ανάλογα με τα χρήματα που θα καταβάλει ο κάθε ιδιώτης. Γενικά η ενίσχυση εικοσαετίας δεν είναι η πιο συμφέρουσα για το κράτος λύση (εφόσον τα κτίρια δεν είναι ασφαλισμένα) γιατί όσο και να ενισχυθούν τα κτίρια, το κράτος θα πληρώσει περίπου τα ίδια χρήματα με το να μην ενισχυθούν.

Το να ενισχυθούν τα κτίρια σε κάποιο βαθμό ενίσχυσης για 50 χρόνια συνεπάγεται το ίδιο κόστος με το να ενισχυθούν στον ίδιο βαθμό, για 20 ή 10 χρόνια. Αυτό δε σημαίνει αυτόματα πως το να ενισχυθούν τα κτίρια σε κάποιο ποσοστό για 50 χρόνια είναι ευνοϊκότερο από το να ενισχυθούν στο αντίστοιχο ποσοστό για 20 ή 10 χρόνια, διότι στα 50 χρόνια λαμβάνεται υπόψη σεισμός με μεγαλύτερη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), που προκαλεί περισσότερες ζημιές, συνεπώς μεγαλύτερο κόστος. Όμως αν συνυπολογίσει κανείς αυτά τα κόστη, σε συνδυασμό με το ότι εξασφαλίζεται ασφάλεια για 5 φορές περισσότερα χρόνια με συνολικό κόστος μόλις 2,2 ως 1,3 φορές μεγαλύτερο απ ότι αν γίνει ενίσχυση 10ετίας και ότι εξασφαλίζεται ασφάλεια για 2,5 φορές περισσότερα χρόνια με συνολικό κόστος 1,7 ως 1,1 φορές μεγαλύτερο απ ότι αν γίνει ενίσχυση 20ετίας, μπορεί κανείς να αποφανθεί πως συμφέρει να γίνεται ενίσχυση πενήκονταετίας για όποια στάθμη ενίσχυσης και αν επιλέγεται. Αυτό σημαίνει πως το κράτος έχει συμφέρον να δίνει χορήγηση για κάποιο ποσοστό ενίσχυσης για 50 χρόνια, υποχρεώνοντας τους πολίτες να ενισχύσουν ακόμα περισσότερο. Για να εξυπηρετηθεί αυτό, μπορεί να διαμορφώνει για αυτούς ιδιαίτερα ευνοϊκές διατάξεις όπως μείωση του φόρου ακίνητης περιουσίας για κάποια χρόνια ή ευνοϊκές ρυθμίσεις στους συντελεστές δόμησης των κτιρίων τους. Τέτοιες μπορεί να είναι η κάλυψη ολόκληρου του οικοπέδου με απεριόριστη σε τετραγωνικά επέκταση, η ανύψωση όσων ορόφων δύναται να αντέξει η ενισχυμένη κατασκευή, η αύξηση του ποσοστού κάλυψης των ακάλυπτων χώρων ή των ημιυπαίθρων. Ακόμη ευνοϊκότερες διατάξεις μπορεί να αφορούν στην αλλαγή της πολεοδομικής ζώνης κατ επιλογή του ιδιοκτήτη και στην αλλαγή της άδειας χρήσης, ώστε να μπορεί να μετατρέψει το κτίριο σε οτιδήποτε θελήσει (πχ από οικία σε ελαφριά βιομηχανία).

Γίνεται εύκολα κατανοητό πως η δημιουργία κινήτρων μπορεί να γίνει και χωρίς να καταβάλει το κράτος κάποιο ποσό ως χορηγία για την ενίσχυση των κτιρίων, αλλά μόνο θεσπίζοντας ευνοϊκές διατάξεις όπως οι παραπάνω ώστε οι ιδιοκτήτες να ενισχύουν τα κτίρια τους κατ επιλογήν. Όμως με αυτόν τον τρόπο θα αποποιούταν την ευθύνη για την

κάλυψη των ζημιών σε περίπτωση σεισμού σε μικρότερο βαθμό, κατά την κοινή γνώμη, από ότι αν κατέβαλε κάποιο αντίτιμο ως χορηγία.

5.2.2 Προτεινόμενες στρατηγικές και λύσεις με βάση τη θέσπιση περιορισμών και υποχρεώσεων

Μία άλλη στρατηγική αφορά στη σύσταση υποχρεώσεων για τους πολίτες. Μπορεί κάλλιστα να συσταθεί η νομοθεσία που θα προβλέπει διαφόρων ειδών ποινές σε περίπτωση που οι πολίτες δε συμμορφωθούν με την πολιτεία και δεν ενισχύσουν τα δομήματα τους στο βαθμό που θα τους υποδειχθεί.

Όπως είναι λογικό το κράτος δε θα ζητήσει από τους πολίτες να ενισχύσουν τις κατασκευές τους καταβάλλοντας μόνοι τους το κόστος και εκβιάζοντας τους πως αν δεν το κάνουν θα υποστούν επιπτώσεις. Κάτι τέτοιο θα ήταν πολύ σκληρό, θα προκαλούσε μεγάλες αντιδράσεις και θα είχε δυσμενέστερες κοινωνικές συνέπειες. Εξάλλου το κράτος γνωρίζει ότι ο μέσος πολίτης δεν έχει την οικονομική δυνατότητα να ανταποκριθεί σε κάτι τέτοιο.

Αντί αυτού, λιγότερο σκληρό θα ήταν το κράτος να απαιτήσει από τους πολίτες να ενισχύσουν τα κτίρια της ιδιοκτησίας τους κατά ένα ποσοστό νομοθετώντας τις επιπτώσεις που θα έχουν σε περίπτωση που δεν το κάνουν, εφόσον όμως το ίδιο έχει προχωρήσει στην ενίσχυσή μέχρι κάποιο βαθμό.

Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι αποφασίζεται από την πολιτεία η 30% ενίσχυση των κτιρίων για 50 χρόνια και η υποχρέωση των ιδιωτών να προβούν σε περαιτέρω ενίσχυση για να φτάσουν τα κτίρια στο επίπεδο του 60% ή 90%. Σε περίπτωση που δεν το κάνουν μπορεί να υποχρεωθούν να πληρώνουν αυξημένο φόρο ακίνητης περιουσίας, ή απαγόρευση καθ ύψος επέκτασης, ή να μην μπορούν να πουλήσουν ή να ενοικιάσουν το κτίριο τους για 50 χρόνια ή κάποιο άλλο διάστημα. Είναι λογικό οι επιπτώσεις στους πολίτες που καλούνται να ενισχύσουν σε κάποιο βαθμό τα κτίρια τους για 50 χρόνια, αλλά δεν το κάνουν, να είναι μεγαλύτερες από αυτές που θα αντιμετωπίζουν αυτοί που καλούνται να ενισχύσουν για 20 και 10 χρόνια αφού το κράτος έχει μεγαλύτερο συμφέρον να ενισχύονται τα κτίρια για 50 χρόνια και προς αυτήν την κατεύθυνση πρέπει να κινείται.

Αντίστοιχα, για ενίσχυση 20ετίας, μπορεί να απαγορευτεί στον ιδιώτη να χτίσει άλλο όροφο χωρίς αντισεισμική μελέτη(πράγμα που προβλέπει η υφιστάμενη Κυπριακή νομοθεσία. Αν ένα υφιστάμενο κτίριο έχει χτισθεί χωρίς αντισεισμική μελέτη, μπορεί να επεκταθεί καθ

ύψος χωρίς να απαιτείται αντισεισμική μελέτη) ή να του απαγορευτεί να χτίσει άλλο όροφο γενικά.

Γενικότερα άλλοι δυσμενείς περιορισμοί μπορεί να αφορούν στην μη αλλαγή της άδειας, (π.χ. μετατροπή ενός γραφείου σε οικία), απαγορεύσεις προεκτάσεων, (π.χ. επέκταση ισογείου) στην απαγόρευση δημιουργίας γκαράζ, στην απαγόρευση οποιασδήποτε ουσιαστικής δομικής αλλαγής, (π.χ. αλλαγή της διάταξης της τοιχοποιίας) ή στην απαγόρευση αλλαγών στο κτιρίου με σκοπό την αισθητική του βελτίωση.

Οι περιοριστικού τύπου προτεινόμενες λύσεις είναι αυστηρές. Πάντως σε καμία περίπτωση αυτοί οι περιορισμοί δεν πρέπει να εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους μη συμμορφωμένους. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η οικονομική κατάσταση του κάθε ιδιοκτήτη μέσω της φορολογικής του δήλωσης και οι περιορισμοί να καθορίζονται για τον κάθε ένα ξεχωριστά συναρτήσει του εισοδήματος του. Τα πολύ μικρά εισοδήματα είναι δίκαιο να μην πλήττονται από τα παραπάνω μέτρα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Γενικά, για όποια στάθμη ενίσχυσης και αν επιλέγεται, μπορεί κανείς να αποφανθεί πως συμφέρει να γίνεται ενίσχυση πεντηκονταετίας αφού εξασφαλίζεται ασφάλεια για 5 φορές περισσότερα χρόνια με συνολικό κόστος μόλις 2,2 ως 1,3 φορές μεγαλύτερο απ ότι αν γίνει ενίσχυση 10ετίας και εξασφαλίζεται ασφάλεια για 2,5 φορές περισσότερα χρόνια με συνολικό κόστος 1,7 ως 1,1 φορές μεγαλύτερο απ ότι αν γίνει ενίσχυση 20ετίας.
- Όσο περισσότερο ενισχυθούν τα κτίρια που θα ενισχυθούν για 50 χρόνια, τόσο αυτά που έχουν 2 ορόφους ή λιγότερους (χαμηλά), όσο και αυτά που είναι μεταξύ 6-8 ορόφων(ψηλά), σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός της πεντηκονταετίας, τόσο μικρότερο συνολικό κόστος θα υπάρχει. Άρα είναι επιθυμητή η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενίσχυση στα κτίρια που θα ενισχυθούν για 50 χρόνια, σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός.
- Αν τα κτίρια ενισχυθούν για 20 χρόνια, τα κτίρια θα έχουν περίπου το ίδιο συνολικό κόστος (κόστος ζημιών + κόστος ενίσχυσης) για κάθε επίπεδο ενίσχυσης. Αρά σε αυτήν την κατηγορία η απόφαση για το πόσο θα ενισχυθούν τα κτίρια είναι καθαρά θέμα ασφάλειας των κατοίκων.
- Όσο περισσότερο ενισχύονται τα κτίρια για 10 χρόνια, τόσο αυξάνει το συνολικό κόστος σε περίπτωση που γίνει ο σεισμός της δεκαετίας. Επίσης αν ενισχυθούν για 30% ή 60% ή 90% και γίνει ο σεισμός της δεκαετίας, τότε τόσο τα χαμηλά, όσο και τα ψηλά κτίρια θα έχουν μεγαλύτερο συνολικό κόστος, απ ότι αν δεν είχαν ενισχυθεί. Γενικά, από οικονομική σκοπιά δεν έχει νόημα η ενίσχυση των κτιρίων για 10 χρόνια γιατί είναι ακριβή σε σχέση με τις ζημιές που αναμένονται και συστήνεται να εφαρμόζεται μόνο όταν θέματα ασφαλείας ή κοινωνικά την επιβάλλουν
- Όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική περίοδος για την οποία γίνεται ενίσχυση, τόσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό κόστος για την εκάστοτε στάθμη ενίσχυσης.
- Υπάρχουν πολλαπλές λύσεις για το πρόβλημα οι οποίες μπορούν να εκφραστούν είτε ως κίνητρα είτε ως περιορισμοί για τους ιδιώτες ιδιοκτήτες παλαιών κτιρίων και αφορούν κυρίως σε οικονομικές παραμέτρους και παραμέτρους δόμησης. Μπορεί να

είναι χορήγηση χρημάτων για ενίσχυση μέχρι κάποιο βαθμό, ασφαλιστικοί διακανονισμοί, αλλαγές στο φόρο ακίνητης περιουσίας, αλλαγές στη δυνατότητα επέκτασης της κατασκευής, στη δυνατότητα κάλυψης των ακάλυπτων και ημιυπαίθριων, στη δυνατότητα ανύψωσης, στην αλλαγή πολεοδομικής ζώνης και άδειας χρήσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3

Κοσμόπουλος Α. (2005) “ Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς και ενίσχυση Μη-κανονικών σε κάτοψη κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος” Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

Κυριακίδης, Ν., “Vulnerability of RC buildings and Risk Assessment for Cyprus”, Διδακτορική Διατριβή (υπό την επίβλεψη του Καθ. Κ. Πιλακούτα), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο του Sheffield, Ην. Βασίλειο (2007).

Ο.Α.Σ.Π. «Κανονισμός επεμβάσεων» (ΚΑΝΕΠΕ) 2003

Πενέλης Γ.Γ., Κάππος Α.Ι. (1990) «Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Σπυράκος Κ. (2004) “Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία”. Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα

Ταντελέ Έλια, (2011) Σημειώσεις μαθήματος: «Αντοχή στο Χρόνο και Διαχείριση Επικινδυνότητας Έργων Υποδομής» (ΠΟΜ 422), Ενότητα: «Προσεγγίσεις Κύκλων ζωής», , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Φαρδής Μ., Δρίτσος Σ. (2003) “Αποτίμηση σεισμικών Βλαβών, Επισκευές και Ενισχύσεις Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος”. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα

Χρυσοστόμου Κ.Ζ., Φαρδής Μ.Ν., Αναγνωστόπουλος Σ.Α., Ρουσής Π., Δημητρίου Θ., Ονοφρίου Τ., Κυριακίδης Ν. (2011α), «Σεισμική Τρωτότητα και Ενίσχυση Υφιστάμενων Ιδιωτικής Χρήσης Κτιρίων», Παραδοτέο 7, Τμήμα ΠΟΜΗΓΕ

Χρυσοστόμου Κ.Ζ., Φαρδής Μ.Ν., Αναγνωστόπουλος Σ.Α., Ρουσής Π., Δημητρίου Θ., Ονοφρίου Τ., Κυριακίδης Ν. (2011β), «Σεισμική Τρωτότητα και Ενίσχυση Υφιστάμενων Ιδιωτικής Χρήσης Κτιρίων», Παραδοτέο 8, Τμήμα ΠΟΜΗΓΕ

Ambraseys, N.N., Adams, R.D. “The seismicity of the Cyprus region.” , edited by Engineering Seismology ESEE Research Report, 1992.

Andrew W. Smyth, M.EERI Gulay Altay, George Deodatis, M.EERI, Mustafa Erdik, M.EERI, Guillermo Franco, Polat Gulkan, M.EERI, Howard Kunreuther, M.EERI, Hilmi Lus, Esra Mete, Nano Seeber, and Ozal Yuzuglu (2004) “Probabilistic Benefit-Cost Analysis for Earthquake Damage Mitigation: Evaluating Measures for Apartment Houses in Turkey.” Earthquake Spectra, Volume 20, No 1, pages 171-203, in press

Calvi G.M. (1999) “A displacement -based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings”, Journal of Earthquake Engineering, 3, 411-438.

FEMA (Federal Emergency Management Agency (1992) A benefit/cost model for the seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 227) Vols 1,2. VSP Associates, Sacramento, California

Frangopol DM, Kong JS, Gharaibeh ES (2001) Reliability-based life cycle management of highway bridges J. Comput. Civ Eng 15

Kappos A., Dimitrakopoulos E. (2007) “Feasibility of pre-earthquake strengthening of buildings based on cost-benefit and life-cycle analysis, with the aid of fragility curves.” Springer Science+ Business Media B.V. 2007, in press

Kappos A, Pitilakis K, Stylianidis K, Morfidis K, Asimakopoulos D (1995) Cost benefit analysis for the seismic Rehabilitation of buildings in Thessaloniki based on a hybrid method of vulnerability assessment. In 3rd international conference on seismic zonation, Vol I, Nice, France, pp 406-413

Kenyon, N.H., Belderson, R.H. “Young compressional structures of the Calabrian Hellenic and Cyprus outer ridges.” Paper presented at the International Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins, Split (Former Yugoslavia) 1976.

Kytheoti S. (2002). “Earthquake Risk Assessment & Management” Case study: Cyprus. MSc (Res).thesis, University of Sheffield, Sheffield.

Liu M, Burs SA, Wen YK (2003) Optimal seismic design of steel frame buildings based on life-cycle cost considerations. *Earthq Eng Struct Dyn* 32: 1313-1332 (<http://dx.doi.org.10.1002/eqe.273>)

Mckenzie, D. “Can plate tectonics describe continental deformation?” Paper presented at the International Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins, Split (Former Yugoslavia) 1976.

Nuti C, Vanzi I(2002) Optimization of Seismic Retrofitting the case study of a hospital in Italy. In 12th European conference on Earthquake Engineering, Elsevier. Science Ltd, London

Papaioannou CA (2004) Seismic hazard scenarios-probabilistic assessment of the seismic hazard report for WPO2 of the project SRM-LIFE (Scientist in charge K.Pitilakis), ITSAK, Thessaloniki (in Greek)

Schnabel W.E. (1987) The Accumulation of potential in Cyprus. Paper presented at the Number 13: Earthquake risk and insurance - e.g. in Cyprus. Nicosia, Cyprus.

Sugano S. 1996. “ State-of-the-Art in Techniques for Rehabilitation of Buildings in Japan”, CD Proc. Of the 11th World Conference in Earthquake Engineering, Paper no. 2175

Takakashi Y, Kiureghian A, Ang AHS (2004) Life cycle cost analysis based on a renewal model of earthquake occurrences. Earth Eng Struct Dyn 33:859-880

Wen YK, Kang YJ (2001) Minimum building life cycle cost design criteria. I : methodology. J Struct Eng, ASCE 127(3)

Διαδικτυακές πηγές:

Κυπριακή Δημοκρατία, Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, Διεύθυνση Δημοσίων Συμβάσεων, 2007 “ΟΔΗΓΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΨΗ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΥΜΒΑΣΕΩΝ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΟΦΕΛΟΥΣ.

«http://www.publicprocurementguides.treasury.gov.cy/OHS-GR/HTML/index.html?1_5_1_2_cost_benefit_analysis.htm» (15/02/11)

Ιστόχώρος NASA «<http://cddis.nasa.gov/926/slrrecto.html>»

Ιστόχώρος ημερησία online (22/3/2011) “Οι πιο ακριβές φυσικές καταστροφές στη σύγχρονη ιστορία”

«<http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=12337&subid=2&pubid=104739163>» (20/04/2011)

Ιστόχώρος naftemporiki.gr (24/3/2011) “Ιαπωνία: στα \$310 δις το κόστος του σεισμού”

«<http://www.naftemporiki.gr/video/video.asp?id=35633>» (20/04/2011)

Μονάδα Περιβαλλοντικών Μελετών, Κέντρο Ερευνών και Ανάπτυξης – Intercollege (2004)
“ Ιστοχώρος Εκπαιδευτικού Εργαλείου Κυπριακής Γεωλογικής Κληρονομιάς”

«http://cyprusgeology.org/greek/images/5_S1.htm» (25/01/2011)

«http://cyprusgeology.org/greek/5_1_seismicity_gr.htm» (25/01/2011)

«http://cyprusgeology.org/greek/images/5_S7.htm» (25/01/2011)

Ιστοχώρος Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων,
Κυπριακή Δημοκρατία (2005)

«http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlHistEarthquakes_gr/dmlHistEarthquakes_gr?OpenDocument» (25/01/2011)