ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HAZUS

Πτυχιακή εργασία του Τεχνίτη Γεώργιου

Αθήνα, Φεβρουάριος 2007

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HAZUS

Πτυχιακή εργασία του Τεχνίτη Γεώργιου
Επιβλέπων : Παρχαρίδης Ισαακ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2007

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα **3**

Περίληψη **5**

Summary **5**

Πρόλογος **6**

1. Εισαγωγή **9**

1.1 Αντικείμενο μελέτης 10
1.2 Σεισμική Διακινδύνευση 11
1.2.1 Σεισμική τρωτότητα 11
1.2.2 Σεισμικός κίνδυνος 16
1.3 Γενική μεθοδολογία 17

2. Μέθοδος αποτίμησης σεισμικών απωλειών **24**

2.1 Εισαγωγή 24
2.2 Στάδια της μεθόδου 24
2.2.1 Το λογισμικό HAZUS 27
2.2.1.1 Περιγραφή του λογισμικού 27
2.2.1.2 Επίπεδα ανάλυσης 29
2.2.2 Κατηγοριοποίηση 30
2.2.3 Αβεβαιότητες 32
2.3 Αποτίμηση σεισμικών απωλειών 33
2.3.1 Γενικά 33
2.3.2 Σεισμικός κίνδυνος 33
2.3.2.1 Δόνηση εδάφους 34
2.3.2.2 Αστοχία εδάφους 36
2.3.3 Προσδιορισμός παραμέτρων διέγερσης εδάφους 37
2.3.3.1 Προσδιοριστική μέθοδος 37
2.3.3.2 Χάρτες σεισμικού κινδύνου χρήστη 40
2.3.4 Άμεσες φυσικές απώλειες κτιρίων 41
2.3.4.1 Δομικές βλάβες λόγω δόνησης εδάφους 42
2.3.4.2 Καμπύλες τρωτότητας 43
2.4 Εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης 49

3. Προσομοίωση περιοχής μελέτης **51**

3.1 Εισαγωγικά 51
3.2 Επιλογή περιοχής μελέτης 52
3.3 Δεδομένα περιοχής μελέτης 53
3.3.1 Προσαρμογή στη δομή του προγράμματος 55
3.3.1.1 Απογραφικά στοιχεία 56
3.3.1.2 Δομικά χαρακτηριστικά κτιρίων 62
3.3.2 Αναγωγή μητρώων πιθανότητας βλάβης σε καμπύλες τρωτότητας 64
3.3.2.1 Μητρώα πιθανότητας βλάβης 64
3.3.3 Χαρακτηριστικά κτιρίων περιοχής μελέτης 67

4. Σεισμικά σενάρια και εκτίμηση απωλειών **72**

4.1 Επιλογή παραμέτρων ανάλυσης 72
4.2 Σεισμικά σενάρια εφαρμογών 72
4.3 Αποτελέσματα σεισμικών σεναρίων 75

5. Συμπεράσματα **87**

5.1 Γενικά Συμπεράσματα 87

5.2 Απλοποιήσεις, περιορισμοί, παραδοχές και συμπεράσματα κατά την εφαρμογή του πιλοτικού προγράμματος. 89
Παράρτημα Α 94

Δεδομένα από τον ελλαδικό χώρο 94
Παράρτημα Β 102

I. Περιγραφή δομικών τύπων κτιρίων HAZUS 103
II Συντελεστής αναμενόμενης ανελαστικής συμπεριφοράς κτιρίων (K) 108
Παράρτημα Γ 109

(I) Καμπύλες φασματικής ικανότητας των κτιρίων του HAZUS 110
(II) Καμπύλες τρωτότητας των κτιρίων του HAZUS 114
(III) Μητρώα πιθανότητας βλάβης 118
(III) Καμπύλες τρωτότητας των τύπων κτιρίων του ερευνητικού προγράμματος του ΟΑΣΠ 131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 138

Περίληψη

Η πρόβλεψη του βαθμού απωλειών, των στοιχείων υπό διακινδύνευση, στις επιδράσεις μια σεισμικής διέγερσης, είναι ένα από τα βασικά αντικείμενα έρευνας σήμερα.

Οι επιπτώσεις ενός σεισμικού συμβάντος σε ανθρωπογενές περιβάλλον ποικίλουν και το εγχείρημα καθίσταται πολύ-επίπεδο. Σ' αυτήν την εφαρμογή προσεγγίζονται αποκλειστικά οι άμεσες δομικές, και κατ' επέκταση οικονομικές, απώλειες ενός σεισμικού σεναρίου.

Η συλλογιστική της μεθόδου εκτίμησης σεισμικών απωλειών, βασίζεται στην παραδοχή ότι η Σεισμική Διακινδύνευση εξαρτάται από την Τρωτότητα και τον Σεισμικό Κίνδυνο. Την μέθοδο αυτή μετέρχεται και ενσωματώνει το πρόγραμμα HAZUS της FEMA (πολιτικής προστασίας της Αμερικής), ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε να εκτελεί σεισμικά σενάρια εκτιμώντας και προσδιορίζοντας τόσο χωρικά όσο και ποσοτικά τις εν δυνάμει βλάβες.

Στη παρουσίαση αυτή γίνεται μια προσπάθεια εφαρμογής του λογισμικού στην περιοχή του Δήμου Κηφισιάς. Αρχικός προσανατολισμός ήταν η εισαγωγή αυτούσιας της περιοχής και η προσομοίωση σεισμικών σεναρίων πάνω σε αυτή ωστόσο περιορισμοί και αποκλίσεις παρουσιαστήκαν, δεδομένου του ότι το HAZUS έχει σχεδιασθεί αποκλειστικά για χρήση εντός της Αμερικανικής Επικράτειας - τουλάχιστον σε ό,τι αφορά μέχρι και την τελευταία του έκδοση. Αυτό που τελικά επετεύχθει, ήταν η όσο το δυνατόν πιστότερη προσαρμογή των συνθηκών τυχαίας ενυπάρχουσας περιοχής του προγράμματος στα ελληνικά δεδομένα και η επιλογή ρεαλιστικών σεισμικών σεναρίων για την αποτίμηση απωλειών.

Με γνώμονα την πλειάδα αβεβαιοτήτων που εσωκλείουν οι απαιτούμενες επιστημονικές έννοιες καθώς και τις -κατά βάση- απλοποιήσεις/ομαδοποιήσεις που μετέρχεται η μεθοδολογία του λογισμικού, καθίσταται προφανές πως πρόκειται για ένα εργαλείο και όχι για μια αυτόνομη μεθοδολογία προβλέψεων. Η μεθοδική χρήση και τα αποτελέσματα αυτού ωστόσο, δύνανται να υποβοηθήσουν ποικιλοτρόπως διαφορετικές ομάδες λήψεων αποφάσεων και έρευνας (Πολιτική Προστασία, ομάδες διαχείρισης κρίσεων, Μηχανικούς κ.α).

Summary

The prediction of losses of an urban area after an earthquake strike is one of the basic objectives in the mitigation planning today.

The consequences of an earthquake, spotted in a metropolitan area, are a multidimensional task to cope with. In this project an attempt has been made to come up to the direct building and economic losses as well as to evaluate the seismic risk factor of the study area.

The approach attempted is based on the statement that seismic risk, of a building, depends on the seismicity of the given area and the vulnerability of the building itself. Considering that nothing can be done to predict or change the seismicity of an area, vulnerability is where the main focus should be on.

Using the HAZUS software of F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency), a small part of the greek municipality 'Kifisia' has been put under the microscope so as to calculate the earthquake risk assessment and vulnerability of the blocks, to provide with mitigation abilities the neighborhood and enhance with instant response the designated recovery planning. The amplifications and limitations where unavoidable, due to the fact that HAZUS MH R1 is oriented to be implemented strictly on American soil, though what finally came out, was the most contiguous (to the Greek reality) model possible.

Facilitating better decision-making process at a local, regional and national level is the ultimate scope of the project; thus an assessment of future earthquakes' losses is essential. Many limits and variations do exist, though many alterations took place so as to simulate, in the best way, the Greek soil and make it useful for a social - community use, aiming to be integrated in the governmental planning of tomorrow.

Πρόλογος

Η αποτίμηση της Σεισμικής Διακινδύνευσης αποτελεί την στόχευση της παρούσας εργασίας. Μια προσπάθεια η οποία, από την φύση και μόνο του αντικειμένου- φαινομένου που επιχειρεί να προσεγγίσει, εσωκλείει πολλές αβεβαιότητες. Ίσως πιο δόκιμα, το ζητούμενο να περιγραφόταν ως πρόβλεψη του βαθμού απωλειών των στοιχείων υπό διακινδύνευση· ό,τι δυνητικά δηλαδή είναι εκτεθειμένο στις επιδράσεις μια σεισμικής διέγερσης.

Οι επιπτώσεις ενός σεισμικού συμβάντος στο ανθρωπογενές περιβάλλον ποικίλλουν και το εγχείρημα καθίσταται πολυεπίπεδο. Σ' αυτήν την διπλωματική εργασία εστιάζουμε αποκλειστικά στις δομικές απώλειες ενός σεισμικού σεναρίου καθώς και στις απότοκες άμεσες οικονομικές.

Η συλλογιστική της εκτίμησης σεισμικών απωλειών βασίζεται στην παραδοχή ότι η Σεισμική Διακινδύνευση εξαρτάται από την Τρωτότητα και τον Σεισμικό Κίνδυνο. Την μέθοδο αυτή μετέρχεται και ενσωματώνει το λογισμικό πρόγραμμα HAZUS, το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε κατά την εφαρμογή μας, λογισμικό που σχεδιάστηκε να εκτελεί σεισμικά σενάρια και να προσδιορίζει χωρικά και ποσοτικά τις βλάβες.

Ο απώτερος στόχος της έρευνας αυτής της κατεύθυνσης συνοψίζεται στα μέτρα άμβλυνσης και μετριασμού των επιπτώσεων αυτής της φυσικής καταστροφής. Το ζητούμενο όμως της μείωσης της Διακινδύνευσης αν και αρχικώς παρουσιάζεται διττό, ανάγεται τρόπον τινά σε μονοσήμαντο· σ' αυτό της μείωσης της Τρωτότητας. Τούτο, καθότι ο Σεισμικός Κίνδυνος (φύσει αβέβαιος) είναι αμιγώς πιθανοτικός πλην όμως καθορίζεται συμβατικά- συναρτήσει της σεισμικότητας μιας περιοχής- σε νομικό κείμενο, ήτοι τον Αντισεισμικό Κανονισμό. Συνεπώς μόνη πρόκληση αποτελεί ο περιορισμός, κατά το δυνατόν, της Τρωτότητας του δομικού πλούτου.

Μια πρώτη προσπάθεια εφαρμογής του λογισμικού αφορά περιοχή του Δήμου Κηφισιάς. Αρχικός προσανατολισμός ήταν η εισαγωγή αυτούσιας της περιοχής και η προσομοίωση της. Εντούτοις, κάτι τέτοιο δεν κατέστη εφικτό καθώς το λογισμικό έχει σχεδιασθεί αποκλειστικά για χρήση εντός της αμερικανικής επικράτειας, τουλάχιστον ό,τι αφορά μέχρι και την τελευταία του έκδοση. Αυτό που τελικά επετεύχθη ήταν η, όσο το δυνατόν, πιστότερη προσαρμογή στις συνθήκες τυχαίας ενυπάρχουσας περιοχής του προγράμματος και η επιλογή ευλόγων σεισμικών σεναρίων για αποτίμηση των απωλειών.

Οφείλω να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Ισαάκ Παρχαρίδη, για την καταλυτική του εποπτεία , καθοδήγηση και αμέριστη ενθάρρυνση που επέδειξε για την ολοκλήρωση της εργασίας. Ευχαριστίες οφείλω επίσης, στον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, Παύλο Μαρίνο Δελλαδέτσιμα καθώς και στον Επίκουρο

Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, κ. Τρέζο Κωνσταντίνο για την συνδρομή τους στο έργο αυτό. Φυσικά ανυπολόγιστη και η συνεισφορά δεδομένων των πολιτικών μηχανικών Κου Ιωαννίδη Κωνσταντίνου, από το Υ.Α.Σ. και Κας Πανουτσοπούλου Μαρίας από τον Ο.ΑΣ.Π.

Τέλος ευχαριστώ θερμά τον φίλο και φοιτητή, Γιώργο Χριστοδουλίδη, για την συμβολή του σε θέματα στατικής και δομικής τρωτότητας, άνευ της συνδρομής των οποίων θα αδυνατούσα να φέρω εις πέρας τούτο το εγχείρημα.

Φεβρουάριος 2007,

Αθήνα

1. Εισαγωγή

Η Ελλάδα, χώρα με οξύ σεισμικό πρόβλημα, συγκεντρώνει περίπου το 2% της παγκόσμιας και το 50%(Παπαζάχος, 1997 , Ε.Κ.Π.Σ., Ο.Α.Σ.Π. , 2003) της ευρωπαϊκής εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας. Η έντονη αυτή σεισμικότητα επιφέρει στην Οικονομία μια μέση ετησία ζημιά της τάξης των 500 εκατομμυρίων ευρώ (Παπαζάχος, 1997 , Ε.Κ.Π.Σ., Ο.Α.Σ.Π. , 2003) προς αποκατάσταση των απωλειών. Οι επιμέρους, ωστόσο, επενέργειες της σεισμικής δραστηριότητας είναι ιδιαιτέρως δύσκολο να διαχωριστούν, προσδιοριστούν και αποτιμηθούν επακριβώς. Κατά συνέπεια το θεωρούμενο ως ολικό κόστος ζημιών -ετήσιο ή πραγματικό σε περίπτωση δεδομένου σεισμικού γεγονότος- αντικατοπτρίζει μια γενίκευση που πιθανόν να αποκλίνει από τις πραγματικές συνέπειες του φαινομένου. Αιτία δεν αποτελούν κατ' ανάγκην ενυπάρχουσες δυσχέρειες της καταγραφής των ζημιών αλλά η καθαυτή συλλογιστική των εκτιμήσεων. Οι ανθρώπινες απώλειες επί παραδείγματι, άμεσα συνυφασμένες με τη δομική βλάβη, ανάγονται συχνά σε οικονομικό κόστος. Τακτική εμφανώς αδόκιμη που κρίνεται εντούτοις απαραίτητη προκειμένου να χρησιμοποιείται μια κοινώς αποδεκτή και ευχερώς προσμετρήσιμη μέθοδος για τον προσδιορισμό των σεισμικών συνεπειών.

Ένας τρόπος κωδικοποίησης των σεισμικών απωλειών επιτυγχάνεται με την χρήση της έννοιας Σεισμική Διακινδύνευση (Seismic Risk). Η σεισμική διακινδύνευση αποτελεί μια έκφραση του αναμενόμενου βαθμού απωλειών όλων των υπό διακινδύνευση στοιχείων. Ο αντίκτυπος της σεισμικής φυσικής καταστροφής πέραν της μείζονος οικονομικής πτυχής, άπτεται του συνόλου της κοινωνικής δραστηριότητας καθώς οι συνελκόμενες κατά κανόνα έμμεσες επιρροές της διαστέλλουν το πρόβλημα. Η αποτίμηση συνεπώς σε όρους διακινδύνευσης επιτρέπει τον προσδιορισμό των εν γένει απωλειών (άμεσων ή έμμεσων) φέρει όμως το μειονέκτημα του δυσχερώς αξιοποιήσιμου αποτελέσματος με την μάλλον ποιοτική παρά ποσοτική απεικόνιση που παρέχει. Επιπλέον στις περιπτώσεις όπου η διακινδύνευση εκφράζει μονοσήμαντα την οικονομική επίπτωση, αδυνατεί να αποτυπώσει την χωρική διασπορά των ζημιών. Ενδεικτικά η διακινδύνευση μπορεί να χαρακτηρίσει δομικές βλάβες έργων υποδομής, οικονομικοκοινωνικές επιπτώσεις, ανθρώπινες και λειτουργικές απώλειες ή άλλες μεσοπρόθεσμες-μακροπρόθεσμες επιρροές στην ανθρώπινη δραστηριότητα.

Για την ποσοτική της έκφραση έχουν διατυπωθεί ποικίλες προτάσεις, όλες όμως έχουν γνώμονα την εξάρτηση από τον Σεισμικό Κίνδυνο (Seismic Hazard) και την Τρωτότητα (Vulnerability). Βάσει της αποδεκτής γενικευμένης έκφρασης, οι δυο παράμετροι εμπλέκουν

αφενός την πιθανότητα να συμβεί ένας σεισμός εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος, αφετέρου την ευπάθεια των δομημάτων στις σεισμικές διεγέρσεις εντός της περιοχής αυτής. Οι δυο πυλώνες στους οποίους βασίζεται η εκτίμηση της διακινδύνευσης είναι με την σειρά τους συναρτήσεις λοιπών παραμέτρων. Το ενδιαφέρον όμως συγκεντρώνει η τρωτότητα του δομικού συνόλου (building environment) καθώς δεσπόζει στις μελέτες διακινδύνευσης κατευθύνοντας το αποτέλεσμα. Χρήζει ενδελεχούς αντιμετώπισης διότι είναι το πλέον μεταβαλλόμενο κατά περιοχή και είδος κατασκευής μέγεθος ενώ συνάμα αποτελεί την μόνη συνιστώσα που επιδέχεται επέμβαση και δει μείωση · αυτονόητα ο αστάθμητος σεισμικός κίνδυνος δεν μπορεί παρά να οριστεί ως ένα κάτω όριο.

Οι κίνδυνοι που απορρέουν από την υψηλή σεισμικότητα του ελλαδικού χώρου εγείρουν πολλαπλές ανησυχίες. Αδήριτη είναι ως εκ τούτου η ανάγκη σεισμικής θωράκισης των στοιχείων που εκτίθενται στις επιρροές του φυσικού φαινομένου προς περιορισμό της διακινδύνευσης· πρωτίστως των ευπαθών υφισταμένων κατασκευών. Απαραίτητη προϋπόθεση για ανάληψη δράσης, η δημιουργία και εφαρμογή μιας κατάλληλης μεθοδολογίας αποτίμησης σεισμικών απωλειών στη βάση της οποίας θα είναι εφικτή η εφαρμογή σεισμικών σεναρίων για ιεράρχηση των πολιτικών προτεραιοτήτων του προσεισμικού και μετασεισμικού σχεδιασμού προστασίας περιοχών. Δεδομένου δε και του ασύλληπτου κόστους καθολικών ενισχύσεων του σύνολο των υφισταμένων δομημάτων, το ενδιαφέρον στρέφεται αποκλειστικά στη λογική των επιλεκτικών επεμβάσεων, βάσει υποδείξεων που θα προκύψουν από τα αποτελέσματα ανάλογων μελετών.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι στρατηγικοί στόχοι και οι κατευθυντήριες γραμμές για την μείωση των συνεπειών των φυσικών καταστροφών, όπως ορίζονται και σε σχετική αναφορά (U.N., 2005) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, συνοψίζονται σε:

Ενσωμάτωση των μέτρων πρόληψης, προετοιμασίας και μείωσης της τρωτότητας στα σχέδια ανάπτυξης περιοχών (mitigation measures).

Ενίσχυση των φορέων που μπορούν να συνεισφέρουν προς την κατεύθυνση αυτή.

Συνεργασία των εμπλεκομένων για σχεδιασμό και υλοποίηση πλάνων για παροχή άμεσης βοήθειας και ανακούφισης σε πληγείσες περιοχές.

1.1 Αντικείμενο μελέτης

Αντικείμενο μελέτης της εργασίας είναι η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης υφισταμένων κτιρίων περιοχής του ελλαδικού χώρου. Ζητούμενο η χρήση και εφαρμογή μεθοδολογίας, ικανής να αποτυπώσει κατά το δυνατόν πληρέστερα τις επιπτώσεις ενός

πιθανού σεισμικού επεισοδίου. Οι εν γένει μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης αποβλέπουν στο να παρέχουν μια πρόβλεψη των απωλειών, συνεισφέροντας στην προσπάθεια σύνταξης χαρτών περιοχών υψηλής διακινδύνευσης (risk maps). Το τελικό τους πόρισμα αποσκοπεί να αναδείξει τις πλέον σεισμικά τρωτές περιοχές με δυνατότητα αναγωγής της μεθόδου σε ευρύτερη γεωγραφική περιφέρεια.

Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί η διάφορά μεταξύ περιοχών υψηλής διακινδύνευσης και υψηλής επικινδυνότητας. Περιοχές της Ελλάδας που χαρακτηριστικά ανήκουν σε ζώνες υψηλής επικινδυνότητας όπως τα νησιά του Νοτίου Ιονίου (σχ. 1.1), δεν συγκαταλέγονται κατ' ανάγκην σε περιοχές υψηλής διακινδύνευσης όπως παρατηρείται από τα σχετικά σχήματα που ακολουθούν (πρβλ. σχ. 1.2). Στο σχήμα (1.2) παρουσιάζεται ο χάρτης αποτίμησης της μέσης εκτιμήτριας διακινδύνευσης (V_m)[1] όπως συντάχθηκε από ομάδα εργασίας του ΤΕΕ (ΤΕΕ 2002) στα πλαίσια του προγράμματος Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κτιρίων (ΑΝΤΥΚ). Παρόλη την ποιοτική απεικόνιση του σχήματος (1.2), οι περιοχές με τις μεγαλύτερες τιμές διακινδύνευσης όπως η Αθήνα ($V_m \approx 20$) και η Πάτρα ($V_m \approx 10$) βρίσκονται εκτός της ζώνης μεγαλύτερης επικινδυνότητας (ζώνη ΙΙΙ). Γεγονός που δεν αποτελεί παράδοξο δεδομένου ότι η διακινδύνευση αντικατοπτρίζει τις αναμενόμενες σεισμικές απώλειες εν αντιθέσει προς την σεισμική επικινδυνότητα που περιγράφει την ένταση ενδεχόμενου σεισμικού επεισοδίου ως προς μια παράμετρο της εδαφικής απόκρισης.

1.2 Σεισμική Διακινδύνευση

Μια αδρομερής προσέγγιση (Παπαζάχος, 1997 , ΤΕΕ, 2002) της διακινδύνευσης R εκφράζεται από το γινόμενο της τρωτότητας V και του σεισμικό κίνδυνο H:

$$R=H.V \tag{1.1}$$

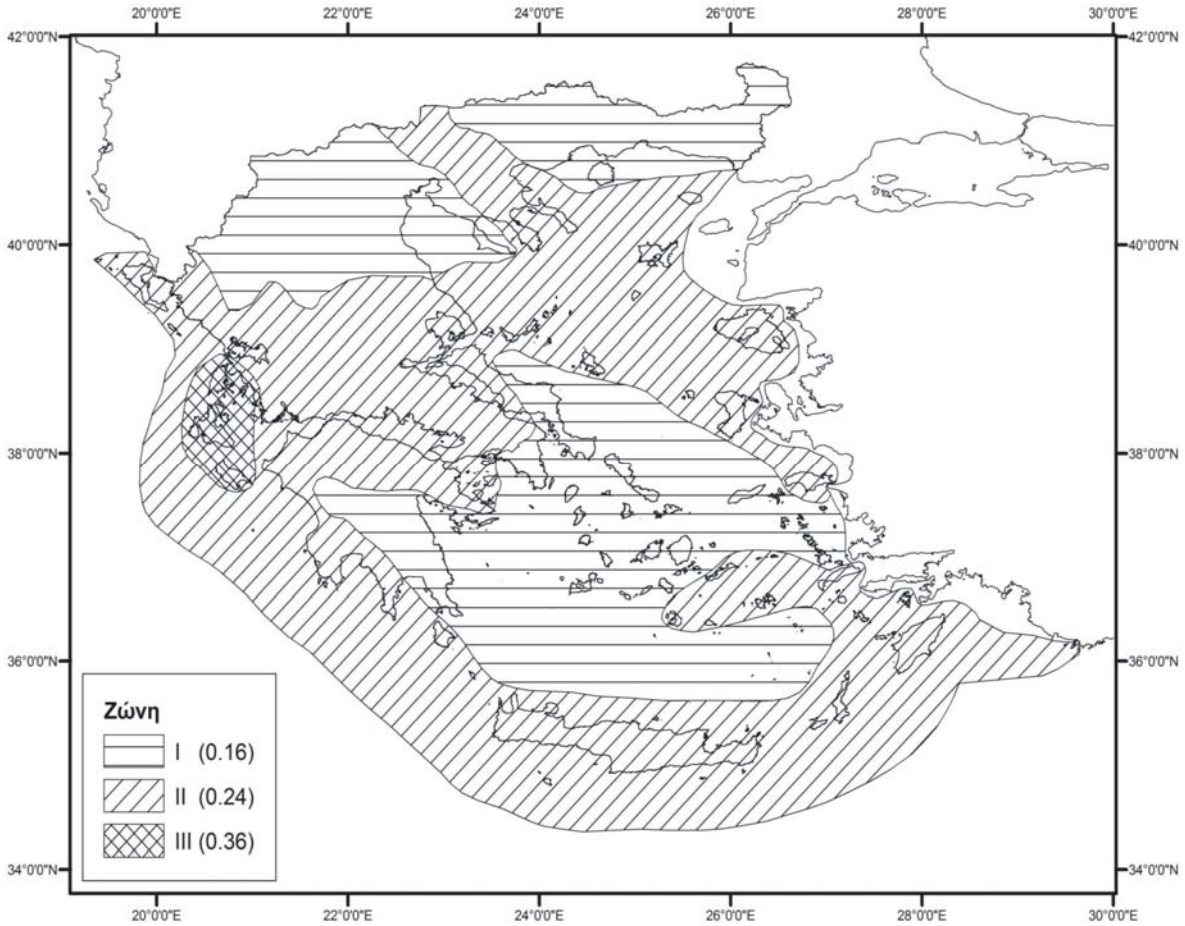
Στην παρούσα έκφραση μπορεί να εισαχθούν επιπλέον ρυθμιστικές παράμετροι της διακινδύνευσης όπως η σπουδαιότητα του εξεταζόμενου στοιχείου.

1.2.1 Σεισμική τρωτότητα

Στην ακριβή εκτίμηση της τρωτότητας στηρίζεται η αποδοτικότητα της μεθόδου. Η Διεθνής Κοινότητα (U.N., 2005) ορίζει ως τρωτότητα τις συνθήκες εκείνες που καθορίζονται από φυσικά, οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά αίτια και αυξάνουν την ευπάθεια ενός στοιχείου έναντι των επιπτώσεων ενός κινδύνου. Ως Σεισμική Τρωτότητα V νοείται η προδιάθεση του στοιχείου να υποστεί βλάβη όταν αυτό υποβάλλεται σε σεισμική ένταση.

[1] Αποτελεί μια μέση τιμή διακινδύνευσης ανεξαρτήτως τύπου κτιρίου από στοιχεία που συνελέγησαν από το σύνολο της χώρας. Ποσοτική παράμετρο αποτέλεσε το συνολικό εμβαδό των κτιρίων.

Ποσοτικά εκφράζεται ως η πιθανότητα για δεδομένη σεισμική ένταση I, το στοιχείο να υποστεί μια ορισμένη βλάβη D,



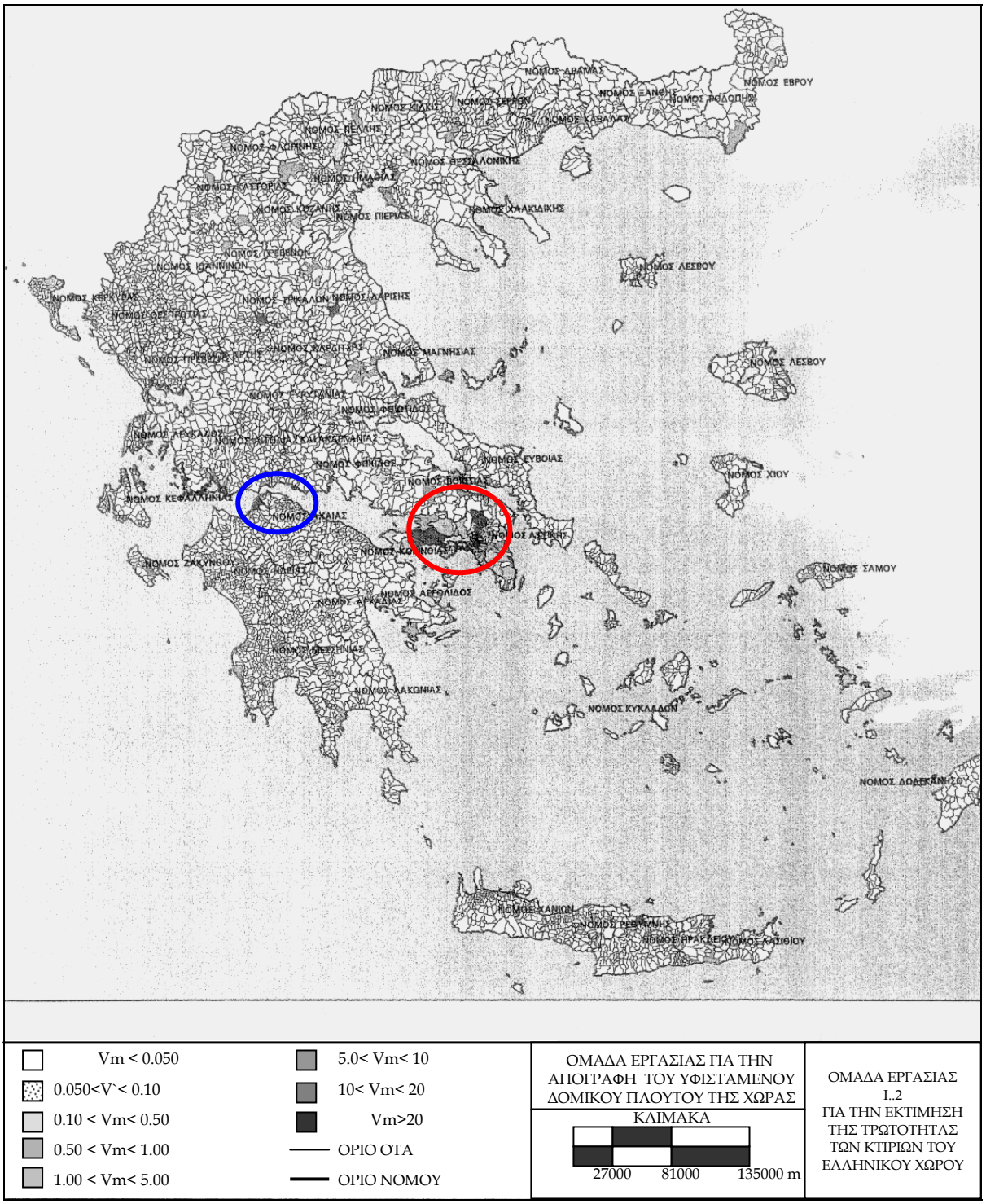
Σχήμα 1-1:Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΕΑΚ 2000)

$$V=P[D/I] \tag{1.2}$$

άρα το φάσμα τιμών βρίσκεται μεταξύ 0 (μηδενική απώλεια) και 1 (πλήρης απώλεια). Ειδικότερα, η σεισμική τρωτότητα των κατασκευών που αφορά στην προκείμενη, συνιστά μια ένδειξη σεισμικής επάρκειας· δηλώνει θεωρητικά το πηλίκο (Καρύδης, 1996)της διαφοράς απαιτούμενης και διατιθέμενης αντισεισμικότητας ως προς την απαιτούμενη αντισεισμικότητα.

Η τρωτότητα των κατασκευών διακρίνεται περαιτέρω σε δομική και μη δομική. Μια πρώτη επιφανειακή προσέγγιση της τρωτότητας φωτογραφίζει την δομική ως την πλέον σοβαρή αιτία απωλειών. Ωστόσο η μη δομική τρωτότητα είναι ικανή να προκαλέσει εξίσου σημαντικές ζημιές ειδικά στα μικρότερης έντασης επεισόδια, δεδομένου της καταλυτικής επίδρασης επί της ανθρώπινης ψυχολογικής συμπεριφοράς. Απλές δονήσεις ή και

πραγματικές αστοχίες μη δομικών στοιχείων (π.χ υαλοπίνακες) επιφέρουν πέραν του σημαντικού κόστους αντικατάστασης, σοβαρούς τραυματισμούς ή ακόμη θανάτους (καρδιακές ανακοπές) λόγω του πανικού που καταβάλει τους ενοίκους κατά τη διάρκεια του επεισοδίου.



Σχήμα 1-2: Μέση εκτιμήτρια Διακινδύνευσης στον Ελλαδικό χώρο (Ομάδα εργασίας Ι.2 (ΤΕΕ, 2002))

Η σεισμική ανεπάρκεια των υφισταμένων κτιρίων, άρα και η προδιάθεσή να υποστούν βλάβη, αποτελεί ξεχωριστό αντικείμενο μελέτης. Για την αποτίμηση της τρωτότητας, όπου έχουν προταθεί και εφαρμοστεί ποικίλες τακτικές, πρώτο μέλημα είναι ο εντοπισμός των χαρακτηριστικών που επιδρούν αρνητικά στην φέρουσα ικανότητα των κτιρίων. Μια επί τόπου αυτοψία (ταχύς οπτικός έλεγχος), που συνιστά την απλούστερη μέθοδο για βαθμονόμηση των κτιρίων σύμφωνα με την τρωτότητα τους, οφείλει να αναζητήσει και καταγράψει τα παθογενή χαρακτηριστικά που παρατίθενται ενδεικτικά στους πίνακες (1.1) και (1.2):

Πίνακας 1-1: Κύρια τρωτά δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων στην Ελλάδα (Ομάδα εργασίας Ι.2(ΤΕΕ,2002[1]))

➢ Ύψος κτιρίου	• αριθμός ορόφων • ύπαρξη υπογείου
➢ Κατακόρυφα φέροντα στοιχεία	• μεταξύ τους απόσταση • επιφάνεια φερόντων τοίχων
➢ Προβλήματα πατωμάτων-στέγης	• εύκαμπτα, ταλαντούμενα δάπεδα • μη διαφραγματική λειτουργία • ελλιπής στατική λειτουργία στέγης
➢ Κακή ποιότητα δόμησης	• σύνδεση εγκάρσιων τοίχων • διάβρωση υλικών • ανυπαρξία ενισχυμένων ζωνών
➢ Στρεπτικά ευαίσθητος όροφος	
➢ Προβλήματα στην κάτοψη	• ακανονικότητα στην κάτοψη • πρόβολοι εκτός κάτοψης • αλλαγή υλικών φερόντων στοιχείων στην κάτοψη
➢ Ακανονικότητα καθ' ύψος	• ασυνέχεια δυσκαμψίας/μάζας • πιλοτή • παρουσία μερικού μεσορόφου • εύκαμπτος όροφος • στροφή λόγω εκκεντροτήτων • αλλαγή φερόντων στοιχείων καθ' ύψος
➢ Προβλήματα θεμελίων	• υποσκαφή • Εύκαμπτα θεμέλια • ρωγμές λόγω καθιζήσεων
➢ Κοντά υποστυλώματα-δοκοί	
➢ Δυσμενής σχέση με τα γειτονικά κτίρια	• σε συνεχές σύστημα, εύκαμπτο εμβόλιμο • σύγκρουση με γειτονικά στην πλάκα και στα κατακόρυφα φέροντα • συνεχές- γωνιακό

Πέραν του ταχέος οπτικού ελέγχου κατά τον οποίο βαρύνοντα ρόλο έχει η κρίση του μηχανικού που τον ασκεί, χρησιμοποιούνται περαιτέρω αναλυτικές μέθοδοι (ΤΕΕ, 2002) για τον προσδιορισμό της τρωτότητας. Τέτοιες είναι μελέτες που συγκρίνουν την φέρουσα ικανότητα του υφιστάμενου κτιρίου με την αντίστοιχη απαιτούμενη από ισχύοντες κανονισμούς καθώς και εμπειρικές-στατιστικές μέθοδοι που αντιπαραβάλλουν παρατηρημένη σεισμική απόκριση του εξεταζόμενου κτιρίου με καταγεγραμμένα στοιχεία

από μεγαλύτερο πληθυσμό κτιρίων αντίστοιχης μορφής. Με σειρά αύξουσας ακρίβειας έπονται μέθοδοι απλοποιημένων αναλυτικών σχέσεων που συσχετίζουν την συμπεριφορά της κατασκευής με παραμέτρους της σεισμικής απόκρισης του εδάφους θέτοντας ως απαίτηση κάποιες ελάχιστες τιμές και τέλος και επιστημονικά αρτιότερες, σύγχρονες υβριδικές μέθοδοι το αποτέλεσμα των οποίων αντιπροσωπεύει ένα συνονθύλευμα εμπειρικών παρατηρήσεων, ενδελεχών στατικών αναλύσεων και κρίσης ειδικού.

Πίνακας 1-2: Τρωτά μη δομικά χαρακτηριστικά (FEMA, 2003)
(αναλυτικότερα βλ. παράρτημα Α: πιν. Α-5)

➢ Αρχιτεκτονικά στοιχεία	• τοιχοπληρώσεις και διαχωριστικοί τοίχοι • μεσοτοιχίες • προεξέχοντα στοιχεία και στηθαία • επιχρίσματα, επενδύσεις και τελειώματα • σοφίτες • κουφώματα, πλαίσια κουφωμάτων
➢ Μηχανολογικά και ηλεκτρικά	• μηχανικά/μηχανολογικά εξαρτήματα • σωληνώσεις • ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις/ φωτιστικά • ανελκυστήρες • διαδρόμοι εξαερισμού
➢ Κινητός εξοπλισμός	• Βιβλιοθήκες / εξοπλισμός γραφείου • ηλεκτρονικοί υπολογιστές /συστήματα επικοινωνίας • ηλεκτρονικοί υπολογιστές • διακοσμητικά αντικείμενα, αντικείμενα αξίας

Πρέπει να επισημανθεί όσον αφορά ειδικά την δομική τρωτότητα πως τα χαρακτηριστικά που παρατίθενται στον πίνακα (1.1) είναι μερικά μόνο γνωρίσματα «εγγενούς» τρωτότητας· τα παθογενή δηλαδή στοιχεία ενός δομήματος που η παρουσία τους και μόνο στον φέροντα οργανισμό μειώνει την αντοχή της κατασκευής λόγω της συμπεριφοράς τους κατά τις ανακυκλιζόμενες καταπονήσεις (πιλοτή, κοντά υποστυλώματα). Σε περιοχές δε υψηλής επικινδυνότητας η ευπάθεια αυτή καθίσταται οξύτερη καθώς οι σεισμικές καταπονήσεις αναμένονται εντονότερες. Η αντισεισμικότητα του κτιρίου υποβαθμίζεται περαιτέρω από επίκτητες αλλοιώσεις και επεμβάσεις που συντελούνται κατά την διάρκεια ζωής του δομήματος (βλ. πίνακα 1.3). Επιπλέον, στις μελέτες διακινδύνευσης όπου η αντισεισμικότητα οφείλει να ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις των κανονισμών, το πρόβλημα της σεισμικής ανεπάρκειας των παλαιών κτιρίων εμφανίζεται

ακόμη μεγαλύτερο. Κτίριο, επί παραδείγματι, που κατασκευάστηκε στο παρελθόν σύμφωνα με τους τεχνικά υποδεέστερους ισχύοντες κανονισμούς, στην ευνοϊκότερη των περιπτώσεων, το γεγονός συνιστά ένα φύσει μειονέκτημα.

Πίνακας 1-3 : «Επίκτητα» τρωτά χαρακτηριστικά (Ομάδα εργασίας Ι.2 (ΤΕΕ, 2002))

➢ Ιστορικό κτιρίου	• σεισμόπληκτο • βομβόπληκτο • πλημμυροπαθές • ρωγμές από θερμοκρασιακές συστοδιαστολές • διάβρωση
➢ Επιπτώσεις λόγω χρήσης	• επιβαρυντική χρήση, μείξη χρήσεων • αύξηση σπουδαιότητας • υπεράριθμοι ένοικοι • επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό

1.2.2 Σεισμικός κίνδυνος

Η δεύτερη κύρια συνιστώσα προσδιορισμού της διακινδύνευσης σύμφωνα και με την σχέση (1.1) αφορά τον κίνδυνο. Στον κλάδο των φυσικών καταστροφών ως κίνδυνος (U.N. 2004) περιγράφεται οποιοδήποτε φυσικό γεγονός, φαινόμενο ή ανθρώπινη ενέργεια δύναται να προξενήσει βλάβη στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Ο σεισμικός κίνδυνος (σεισμικό επεισόδιο), το φυσικό φαινόμενο που αφορά, αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να συμβεί ένα σεισμικό γεγονός ίσο η μεγαλύτερο από το αναμενόμενο εντός ορισμένης χρονικής περιόδου το οποίο θα διεγείρει την περιοχή μελέτης. Ο σεισμός προκαλείται από διατάραξη της ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων (Καρύδης, 1996) (ή ηφαιστειακών εκρήξεων σπανιότερα), φαινόμενο που όμως δεν έχει επεξηγηθεί πλήρως επιστημονικά και για τα ακριβή γενεσιουργά αίτια δεν διατίθενται αιτιατές ερμηνείες. Η ερμηνεία του φαινομένου δυσχεραίνεται ακόμα περισσότερο καθώς το παρατηρούμενο αποτέλεσμα αλλοιώνεται δραματικά από το μέσο διάδοσης, τον τρόπο διασποράς των σεισμικών κυμάτων καθώς και τη δομή του υπεδάφους (τοπικές εδαφικές συνθήκες). Η πρόγνωση δε του φαινομένου στις μέρες μας συνιστά ένα αρκετά αμφιλεγόμενο[2] ζήτημα, κυρίως ως προς την χρησιμότητα του πορίσματος του.

Αντιθέτως είναι αποδεκτή μία θεώρηση της πιθανής κίνησης της επιφάνειας του εδάφους, βασισμένη σε μακροχρόνιες παρατηρήσεις σεισμικών γεγονότων. Σε συνδυασμό με τα γεωτεκτονικά δεδομένα μιας περιοχής, τα στοιχεία επαρκούν για να εμπεριστατώσουν μέσω στατιστικής επεξεργασίας εμπειρικές (απλοποιητικές) σχέσεις υπολογισμού της

[2] Περισσότερο κοινωνικά παρά επιστημονικά τα αίτια

σεισμικότητας. Η σεισμικότητα είναι μια γενική περιγραφή της σεισμικής δραστηριότητας που ορίζει την εμφάνιση και διανομή των σεισμών χωρικά και χρονικά ή εναλλακτικά σε όρους ενέργειας, την εκλυόμενη ως προς την επιφάνεια και τον χρόνο.

Με όσα αναφέρονται μέχρι αυτό το σημείο, η διακινδύνευση εκφράζει ένα ποσοστό της απώλειας επί του ακεραίου συνόλου ενός στοιχείου. Προκειμένου να περιγράψει ποσοτικά την απώλεια οποιουδήποτε στοιχείου πρέπει απαραίτητα να συμπεριληφθεί στη σχέση (1.1) το συνολικό φυσικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει (exposure). Για ότι αφορά το κτιριακό απόθεμα τέτοιο μέγεθος μπορεί να είναι το συνολικό εμβαδό ή συνολικός όγκος.

Οι δύο συνιστώσες της διακινδύνευσης που σχολιάζονται ακροθιγώς στις προηγούμενες παραγράφους εισάγουν έμμεσα στη σχέση την δυνατότητα εφαρμογής σεισμικών σεναρίων διακινδύνευσης. Σεισμικά σενάρια εκπονούνται με εύλογη υπόθεση του σεισμικού κίνδυνου για μια περιοχή μελέτης βάσει των οποίων επιχειρείται η αποτίμηση των αναμενομένων απωλειών. Εξόχως σημαντικό είναι το γεγονός ότι η θεωρούμενη μέση τιμή της τρωτότητα κάποιας κατηγορίας κτιρίων, που κατά περίσταση λαμβάνεται υπ' όψιν, φέρει ήδη το στοιχείο σεναρίου δεδομένου του ότι έχει προκύψει για συγκεκριμένο βαθμό επικινδυνότητας. Τούτο χρήζει ιδιαίτερης μνείας καθώς είναι θεμιτό η τρωτότητα να ανταποκρίνεται στην επικινδυνότητα και στην συμπεριφορά των κτιρίων της περιοχής μελέτης ή να προσαρμόζεται αναλόγως. Το κώλυμα παρακάμπτεται όταν οι τιμές της τρωτότητας προέρχονται από μεγάλη βάση δεδομένων (στοιχεία από πολλές περιοχές), παραμένει όμως θεμιτό η προσομοίωση τυχαίας περιοχής να χρησιμοποιεί τοπικά μεγέθη και συνθήκες.

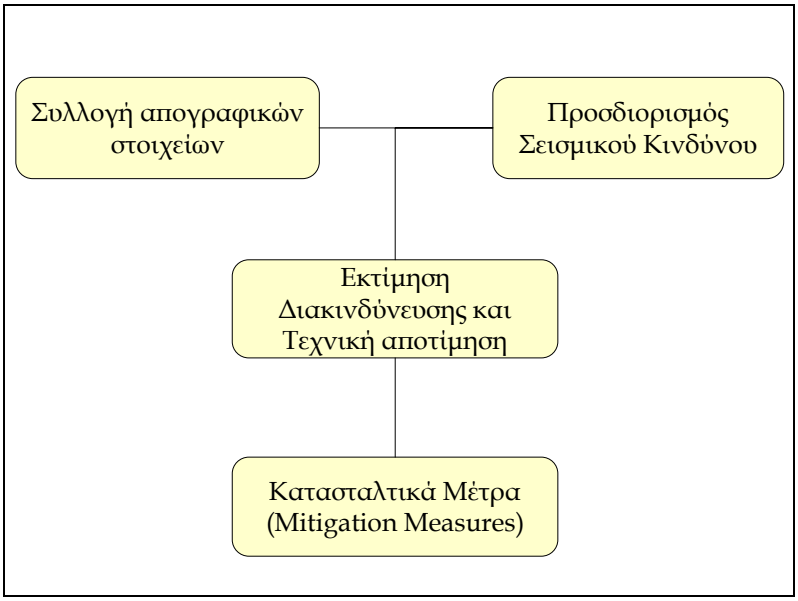
1.3 Γενική μεθοδολογία

Οι μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης είναι πολυδιάστατα εγχειρήματα. Ενδεικτικά μια άρτια ομάδα εργασίας, σύμφωνα με την αμερικανική ομοσπονδιακή υπηρεσία διαχείρισης εκτάκτων αναγκών (FEMA, 2003) συγκροτείται από ένα ευρύ φάσμα ειδικοτήτων: γεωλόγους, γεωτεχνικούς και δομοστατικούς μηχανικούς, αρχιτέκτονες-πολεοδόμους, οικονομολόγους, ειδικούς στη διαχείριση κρίσεων (σώματα ασφάλειας), αντιπροσώπους της εξεταζόμενης περιφέρειας ή ακόμα και κοινωνιολόγους για μακροπρόθεσμο σχεδιασμό. Καθώς δε το πόρισμα τέτοιων μελετών αναμένεται να απευθύνονται σε εξίσου ανομοιόμορφο σύνολο, το αποτέλεσμα οφείλει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο σαφές ως προς τις ενδείξεις και υποδείξεις παρά λεπτομερές ως προς τις τεχνικές του πτυχές.

Για την επιτυχή έκβαση της προσπάθειας είναι ιδιαιτέρως σημαντικό οι πληροφορίες και τα δεδομένα που προσκομίζονται από κάθε επαγγελματική ομάδα να είναι σε συμβατή

μεταξύ τους μορφή για να μην απαιτείται επιπλέον επεξεργασία για την χρήση τους. Απόρροια της ανάμειξη πλειάδας παραμέτρων είναι και ο υψηλός συντελεστής ανακρίβειας που αναπόφευκτα υπεισέρχεται. Η διακλαδική φύση του αντικειμένου καθιστά σχεδόν αδύνατο τον περιορισμό στο ελάχιστο των πηγών ανακριβειών, εφικτή είναι όμως η αντιμετώπιση τους. Το πρόβλημα αμβλύνεται σημαντικά με την εν γένει κατάτμηση της περιοχής μελέτης σε μικρότερες περιοχές ευθύνης για κάθε ομάδα εργασίας. Επί τούτου, θα ήταν παραλογισμός σε αντιδιαστολή να εκπονούνται μελέτες για μεμονωμένα στοιχεία ή για εκτάσεις γης σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου. Παρακάμπτοντας εδώ τις ειδικές περιπτώσεις όπου το ζητούμενο είναι ακριβώς η εξειδίκευση για μείζονος σημασίας έργα υποδομής, κοινός προσανατολισμός των μελετών είναι η προσαρμογή της μελέτης στις συνθήκες της περιοχής με χρήση μέσων γνωρισμάτων κάθε αντιπροσωπευτικής ομάδας στοιχείων.

Τα βασικά βήματα αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης έχουν διαγραμματικά ως εξής (βλ. σχήμα 1-3):



Σχήμα 1-3: Βήματα αποτίμησης και αντιμετώπισης σεισμικών απωλειών (FEMA, 2003)

i. Απογραφή των υπό διακινδύνευση στοιχείων.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η απώλεια πρέπει να είναι γνωστή η αντικειμενική αξία που είναι εκτεθειμένη σε κίνδυνο (exposure). Μόνιμοι περιοριστικοί παράγοντες της αποτίμησης της διακινδύνευσης είναι το κόστος απογραφής και η ποιότητα των δεδομένων. Η συλλογή και η καταγραφή της πληροφορίας σε βάση δεδομένων αποτελεί συνάμα την πλέον χρονοβόρα διαδικασία της μελέτης. Οι σύγχρονες μελέτες τείνουν να καταχωρούν τα περισυνελεγμένα στοιχεία (inventory) σε λογισμικές πλατφόρμες γεωγραφικών συστημάτων πληροφορίας (Geographical Information Systems), δημιουργώντας έτσι τράπεζες πληροφορίας για κάθε

περιφέρεια όπου ανά πάσα στιγμή κανείς μπορεί να ανατρέξει για να αναζητήσει, προσθέσει ή τροποποιήσει δεδομένα. Στην Ελλάδα η Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ) είναι σε θέσει να διαθέσει πολλά από τα απαραίτητα στοιχεία, ενδέχεται όμως για εξειδικευμένες και λεπτομερείς μελέτες να αναζητηθούν στοιχεία από την Τοπική Αυτοδιοίκηση. Επιπλέον θεμιτή είναι η συνεισφορά από οιονδήποτε φορέα διατηρεί ανανεωμένα αρχεία (Εφορεία, Αστυνομία κ.λ.π).

Επιγραμματικά τα στοιχεία απογραφής που ενδιαφέρουν τις μελέτες διακινδύνευσης ακολουθούν στον πίνακα (1.4)

Πίνακας 1-4: Απαιτούμενα απογραφικά στοιχεία (FEMA, 2003)

• Δημογραφικά δεδομένα	• Κατανομή πληθυσμού • Κατανομή εισοδήματος • Ηλικία, ασχολία, εθνικότητα
• Γενικό Κτιριακό Απόθεμα	• Αριθμός κτιρίων και ορόφων • Συνολικό εμβαδό κτιρίων • Επιμέρους δομικά χαρακτηριστικά
• Εγκαταστάσεις υψηλής σπουδαιότητας	• Νοσοκομεία • Σχολεία • Στρατιωτικές εγκαταστάσεις • Διοικητικά κτίρια • Δημόσιες Υπηρεσίες • Κτίρια Υπηρεσιών Ασφαλείας
• Συγκοινωνιακή Υποδομή	• Οδικό δίκτυο, γέφυρες, σήραγγες • Σιδηροδρομικό Δίκτυο • Αεροδρόμια-Λιμάνια
• Δίκτυα	• Ηλεκτρισμός • Ύδρευσης-Άρδευσης • Επικοινωνιών και Ενέργειας • Αγωγοί λυμάτων, φυσικού αερίου, καυσίμων
• Εγκαταστάσεις επικίνδυνου δυναμικού	• Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί • Πυρηνικοί σταθμοί

Κομβικό σημείο του προκαταρτικού σχεδιασμού των μελετών είναι η κατανομή (classification) των στοιχείων απογραφής σε γενικές κατηγορίες. Ο τρόπος ταξινόμησης υποδεικνύεται από τα ίδια τα γνωρίσματα των κατασκευών και δει από την συχνότητα με την οποία απαντώνται. Μέσω της τυποποίησης επιδιώκεται επιτάχυνση της όλης διαδικασίας

αφενός γιατί μειώνεται σημαντικά ο όγκος των δεδομένων (πχ τέσσερα κτίρια με κοινά χαρακτηριστικά αποτελούν 4 μονάδες της ίδιας κατηγορίας αντί τεσσάρων διαφορετικών υποδιαιρέσεων) αφετέρου -και μακράν σημαντικότερο- διότι είναι αδιανόητο να εξετάζονται ξεχωριστά οι ιδιότητες κάθε κτιρίου. Προκύπτει δηλαδή ένας πεπερασμένος αριθμός τύπων κτιρίων με γνωστές τις μέσες ιδιότητες και η συνέχεια επαφίεται στην κρίση του μελετητή για το διαχωρισμό και την ταξινόμηση των δεδομένων που έχει στην διάθεσή του. Η τακτική αυτή εισάγει περαιτέρω ανακρίβεια στο αποτέλεσμα για αυτό είναι επιτακτική η βέλτιστη επιλογή γενικών κατηγοριών. Όσον αφορά τον δομικό τύπο κτιρίων που ανταποκρίνεται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα, καταρτίστηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) ο πίνακας (1.5).

Πίνακας 1-5: Δομικοί τύποι κτιρίων της ελληνικής επικράτειας (ΟΑΣΠ, 2000)

	ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΟΣ1	Κτίριο με πλαισιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ ’59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ ’54)
	ΟΣ2	Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (υποστυλώματα-τοιχώματα)	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ ’59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ ’54)
	ΟΣ3	Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (υποστυλώματα και τοιχώματα επαρκή ώστε να απαλλάσεται του Α/Σ υπολογισμού)	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ ’59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ ’54)
	ΟΣ4	Κτίριο με πλαισιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	Α/Σ ’59 με πρόσθετα άρθρα 1985 Κ/Σ ‘54
	ΟΣ5	Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (υποστυλώματα-τοιχώματα)	Α/Σ ’59 με πρόσθετα άρθρα 1985 Κ/Σ ‘54
	ΟΣ6	Κτίριο με πλαισιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	Α/Σ: ΝΕΑΚ Κ/Σ: ΝΕΚΟΣ
	ΟΣ7	Κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (υποστυλώματα-τοιχώματα)	Α/Σ: ΝΕΑΚ Κ/Σ: ΝΕΚΟΣ
ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΠΟΣ1	Κτίρια με προκατασκευασμένο πλαισιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	ΠΟΣ2	Κτίρια με προκατασκευασμένα τοιχώματα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	
ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	ΑΤ	Κτίρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, κυρίως λοιθοδομή (αργοί ή ημιλαξευτοί λίθοι) χωρίς διαζώματα ή διαφράγματα, με ξύλινη στέγη	
	ΔΤ	Κτίρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, κυρίως λοιθοδομή (αργοί ή ημιλαξευτοί λίθοι) με διαζώματα και διαφράγματα από ΟΣ	
	ΟΤ	Κτίρια με φέρουσα οπλισμένη τοιχοποιία, κυρίως από σύγχρονου τύπου τοιχοσώματα με διάσπαρτο οπλισμό (οριζοντίως και κατακορύφως) με διαφράγματα και ίσως πρόσθετα διαζώματα από ΟΣ	
	ΕΤ	Κτίρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, επισκευασμένα και ενισχυμένα με διαζώματα, διαφράγματα και κατάλληλα συνδεδεμένους και θεμελιωμένους ελαφρούς μανδύες από ΟΣ, μονόπλευρους και αμφίπλευρους	
	Σημείωση: 1. Ως διαζώματα νοούνται οριζόντια <u>και</u> κατακόρυφα στοιχεία από ΟΣ, με ισχυρές συνδέσεις με τους τοίχους και με ισχυρούς κόμβους στις συναντήσεις τους, σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις και κανονιστικές απιατήσεις/διατάξεις για διαζωματική/περισφιγμένη τοιχοποιία 2. Ως διαζώματα νοούνται ελαφρές συνεχείς πλάκες από ΟΣ, με ισχυρές συνδέσεις με τους τοίχους και με το πλέγμα των οριζοντίων και κατακορύφων διαζωμάτων, χωρίς μεγάλες τρύπες		

ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	ΧΛ1α	Μονώροφα βιομηχανικά κτίρια	Α/Σ 1959, DIN 1050 (‘η άλλος ξένος κανονισμός)
	ΧΛ1β		ΝΕΑΚ Ευρωκώδικας 3
	ΧΛ2α	Πολυώροφα μεταλλικά κτίρια ως χωρικά πλαίσια ή/και με κατακόρυφους μεταλλικούς συνδέσμους	Α/Σ 1959, DIN 1050 (‘η άλλος ξένος κανονισμός)
	Χλ2β		ΝΕΑΚ Ευρωκώδικας 3
	Παρατήρηση: Για τα μεταλλικά κτίρια με τοιχώματα ή/και πυρήνες από σκυρόδεμα ισχύουν τα αντίστοιχα των τοιχωματικών κτιρίων από σκυρόδεμα		

Στις μελέτες διακινδύνευσης γενικού κτιριακού αποθέματος είναι επιθυμητή μια επιπλέον ομαδοποίηση των απογραφικών δεδομένων με κριτήριο την χρήση (occupancy) του κτιρίου. Τούτο διότι συχνά το ύψος των οικονομικών απωλειών ενός σεισμού που οφείλεται σε μη δομικές βλάβες αποδίδεται καλύτερα συναρτήσει της κατηγορίας χρήσης του δομήματος. Κατά την περίπτωση δηλαδή που όμοια κτίρια υποστούν ίδια δομική βλάβη, το κόστος αποκατάστασης του ενός με τον ακριβότερο εξοπλισμό (πρβλ. τράπεζα-αποθήκη) διαφέρει σημαντικά από το έτερο· διάκριση που δεν μπορεί να περιγράψει η ταξινόμηση σύμφωνα με τον δομικό τύπο.

ii. Προσδιορισμός Σεισμικού Κινδύνου.

Η σεισμικότητα καθώς και οι αιτίες γένεσης των σεισμών σε σεισμικά ενεργές περιοχές είναι συχνά φαινόμενα μερικώς μόνο κατανοητά. Ως εκ τούτου ο σεισμικός κίνδυνος ορίζεται ως κάτω όριο ενώ για τον προσδιορισμό του απαιτούνται σεισμοτεκτονικές πληροφορίες και στοιχεία για παραμέτρους πιθανής εστίας περί την εξεταζόμενη περιοχή.

iii. Εκτίμηση επιπτώσεων φυσικού κινδύνου

Πριν από την εφαρμογή αλγορίθμων υπολογισμού, πρέπει να κατανοηθεί εις βάθος ο αντίκτυπος (βραχυπρόθεσμος-μακροπρόθεσμος) της φυσικής καταστροφής. Οι πραγματικές απώλειες, μακράν απέχουν από ό,τι είναι οπτικά αντιληπτό τις πρώτες ώρες που έπονται ενός σεισμικού επεισοδίου˙ αποτελούν ποσοστό του συνόλου των συνεπειών. Πτυχές του σεισμικού προβλήματος όπως η κοινωνική τρωτότητα, αναδύονται εκ των υστέρων καθώς η καθολική επίδραση στις πληγείσες περιοχές αυξάνεται εκθετικά με το πέρας του χρόνου. Συχνά η καταπόνηση μιας περιοχής επιφέρει αναπόφευκτα αλλοιώσεις στις όμορες της. Το βήμα αυτό είναι αναπόσπαστο τμήμα της μεθόδου, αναμένεται όμως να προηγείται κατά πολύ της απόφασης εκπόνησης της μελέτης καθώς απαιτεί ενδελεχή εξέταση του τρόπου συσχέτισης των αναγκών που δημιουργεί ένα σφοδρό σεισμικό επεισόδιο σε πλειγήσα περιοχή (πχ. έμμεσες οικονομικές απώλειες εξαιτίας πρόσκαιρης ή και οριστικής διακοπής λειτουργίας βιομηχανικής μονάδας-εργαζόμενοι, συσχετιζόμενες οικονομικές δραστηριότητες)

iv. Εφαρμογή μεθόδου ποσοτικού προσδιορισμού της διακινδύνευσης

Η καθεαυτή αποτίμηση της διακινδύνευσης βάσει σεναρίων. Απαιτείται μια ολοκληρωμένη μέθοδος καθώς και ένα ορθολογικό εργαλείο που να ενσωματώνει όλα όσα πιο πάνω αναφέρονται και να δύναται να ποσοτικοποιήσει και προσδιορίσει χωρικά τις αναμενόμενες βλάβες. Ένα προτεινόμενο εργαλείο είναι το λογισμικό HAZUS που χρησιμοποιήθηκε για στις εφαρμογές που ακολουθούν.

v. Κατασταλτικά μέτρα (mitigation measures).

Το προσδοκόμενο αποτέλεσμα ξεφεύγει φυσικά από μια απλή παράθεση υπολογισμών. Απώτερος στόχος είναι η επικουρία της μεθόδου στην σεισμική θωράκιση της Πολιτείας. Η Πολιτεία οφείλει να θέσει τις προτεραιότητες των αναγκών που απορρέουν από τον σεισμικό κίνδυνο και να αναπτύξει μηχανισμούς ανταπόκρισης για την περίπτωση σεισμικού επεισοδίου, προνοώντας να βρίσκεται σε θέση να παράσχει βοήθεια ειδικά κατά το πρώτο κρίσιμο εικοσιτετράωρο ενός επεισοδίου. Χρέος της είναι επίσης να ενημερώσει το κοινό που κατοικεί σε περιοχές ψηλής διακινδύνευσης μειώνοντας έτσι πολλές από τις παράπλευρες επιπτώσεις ενός σεισμού. Ότι ενδιαφέρει από καθαρά τεχνικής οπτικής Μηχανικού είναι η αντισεισμική ενίσχυση του υφιστάμενου τρωτού δομικού πλούτου

Υπερθεματίζοντας τα όσα σχολιάζονται σ' αυτό το κεφάλαιο, κανείς πρέπει να αναγνωρίσει τις σοβαρές πηγές αβεβαιότητας που ενυπάρχουν στην όλη προσπάθεια. Πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν το γεγονός της απόκλισης από την πραγματική τιμή των μεγεθών που εμπλέκονται στους υπολογισμούς. Δεν είναι απίθανες οι περιπτώσεις όπου η εκτίμηση διαφέρει έως και τάξεις μεγέθους · αντιπροσωπευτικότερο παράδειγμα ο σεισμικός κίνδυνος όπως καταδεικνύουν ιστορικά προηγούμενα3. Μη ανιχνεύσιμα ελαττώματα ομάδας υφισταμένων κτιρίων ή ακόμα σοβαρότερα, μη χαρτογραφημένα ρήγματα (Γκαζέτας 2002)είναι σε θέση σε ενδεχόμενο επεισόδιο να επιφέρουν απώλειες πολύ διαφορετικές από τις προβλεπόμενες. Άλλωστε, ειδικά για τον ελλαδικό χώρο, οι ενόργανες μετρήσεις για τους σεισμούς είναι μάλλον πρόσφατες (τελευταία ογδοηκονταετία) άρα και περιορισμένης αξιοπιστίας ενώ οι μελέτες για την τρωτότητα βρίσκονται σε αρχικό στάδιο. Συνεπώς με γνώμονα την ατελή, κατά γενική παραδοχή, τρέχουσα γνώση στα γνωστικά αυτά πεδία, βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει μόνο ως μέση τιμή από εφαρμογές ποικίλων σεναρίων για την ίδια υπόθεση εργασίας. Κατ' επέκταση η προ-αποτίμηση των απωλειών δεν μπορεί να αποτελέσει αυστηρώς την βάση προσεισμικού-μετασεισμικού σχεδιασμού μιας περιοχής αλλά να ληφθεί υπόψη ως μια εμπεριστατωμένη ένδειξη.

[3] Χαρακτηριστική η περίπτωση της πόλης Κόμπε στην Ιαπωνία όπου παρόλες τις προηγούμενες ενδείξεις, στο σεισμό του 95΄ καταγράφηκαν διαφορετικές εδαφικές επιταχύνσεις διαπλάσεις από τις αναμενόμενες.

2. Μέθοδος αποτίμησης σεισμικών απωλειών

2.1 Εισαγωγή

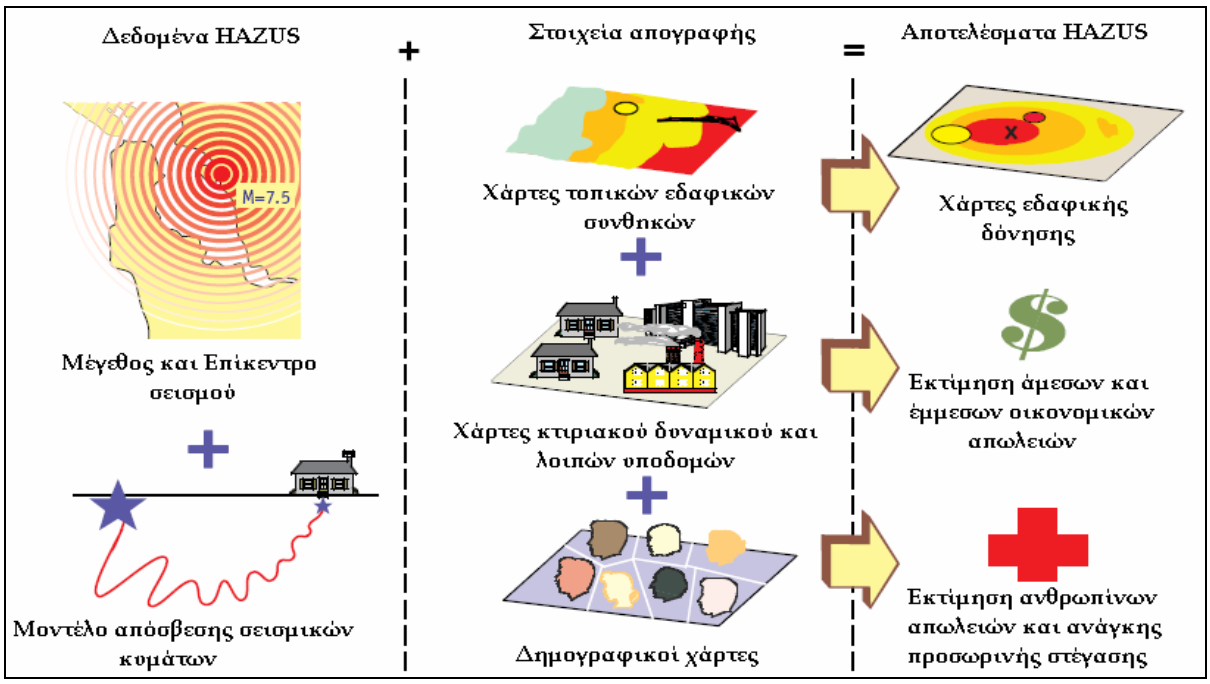
Το πρόβλημα της εκτίμησης και προ-αποτίμησης σεισμικών βλαβών έργων υποδομής (κυρίως κτιρίων) σε ευρύτερη γεωγραφική περιοχή λόγω μελλοντικού σεισμού έχει προσελκύσει την τελευταία εικοσαετία το ενδιαφέρον των ιθυνόντων στις σεισμικά ενεργές περιοχές ανεπτυγμένων χωρών. Χώρες όπως οι ΗΠΑ, Ιαπωνία, Νέα Ζηλανδία και εσχάτως ορισμένες μεσογειακές και βαλκανικές μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα στρέφουν το ενδιαφέρον τους σε μια προσπάθεια προσδιορισμού πιθανών απωλειών λόγω σεισμικού επεισοδίου.

Κοινός άξονας των μεθόδων είναι ο έλεγχος της ικανότητας απόκρισης των δομημάτων σε πιθανές σεισμικές καταπονήσεις, ανάλογες τις σεισμικότητας της περιοχής. Μερικές από τις χώρες αυτές (ΤΕΕ, 2002) (κυρίως Ιαπωνία, ΗΠΑ και Ιταλία) έχουν αναπτύξει μεθόδους αποτίμησης της τρωτότητας των κατασκευών και κατέληξαν σε ολοκληρωμένες προτάσεις προσδιορισμού της σεισμικής διακινδύνευσης. Στην παρούσα εργασία μας απασχολεί η προτεινόμενη από το αμερικανικό ομοσπονδιακό γραφείο διαχείρισης εκτάκτων αναγκών μέθοδος (Federal Emergency Management Agency-FEMA), που υιοθετηθεί την μεθοδολογία του ινστιτούτου κτιριακών επιστημών (National Institute of Building Sciences-NIBS) των ΗΠΑ.

2.2 Στάδια της μεθόδου

Η συλλογιστική της αποτίμησης παρουσιάζεται στο σχήμα (2-1) και συνοψίζεται στα εξής:

- Επιλέγεται το γεωγραφικό διαμέρισμα μελέτης, έκτασης ανάλογης του φορέα που ασκεί τον έλεγχο (κοινότητα, δήμος, πόλη, νομός).
- Συγκεντρώνονται τα απογραφικά δεδομένα της περιοχής (βλ. πίνακα 1-4)
- Προσδιορίζεται το μέγεθος και το επίκεντρο του σεισμικού σεναρίου. Η επιλογή συνάδει με το επίπεδο του σεισμικού κινδύνου, την σεισμικότητα και τις παραμέτρους πιθανής εστίας σεισμού της ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής.
- Εφαρμόζονται τα σεισμικά σενάρια και υπολογίζεται η ισχύς και η χωρική κατανομή του εδαφικού κραδασμού
- Βάσει των αλγορίθμων υπολογισμού, εκτιμώνται οι αναμενόμενες βλάβες των υπό διακινδύνευση στοιχείων της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2-1: Εκτίμηση σεισμικών απωλειών σύμφωνα με τη μέθοδο (Buika, 2000)

Οι άμεσες και έμμεσες συνέπειες των σεισμικών επεισοδίων επί του φυσικού και ανθροπωγενούς περιβάλλοντος είναι υπεράριθμες και η μέθοδος φιλοδοξεί να παρέχει προβλέψεις σε πλειάδα από αυτές (βλ. πίνακα 2-2). Προς τυποποίηση των αλγορίθμων υπολογισμού, η μέθοδος ενσωματώθηκε σε λογισμικό πρόγραμμα και οδήγησε στην δημιουργία ενός ολοκληρωμένου εργαλείου εκτίμησης σεισμικών απωλειών ˙ του HAZUS. Με τη χρήση του λογισμικού επιτυγχάνεται η προσομοίωση σεισμικών σεναρίων ενώ οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν μόνο τις παραμέτρους που θα τους απασχολήσουν στις μελέτες τους επιλέγοντας έτσι και το επίπεδο πολυπλοκότητας της εργασίας. Καθότι στην παρούσα εργασία εξετάζουμε αποκλειστικά τις δομικές βλάβες του γενικού κτιριακού αποθέματος (συνήθη κτίρια) οι αναφορές που ακολουθούν σχετικά με την προτεινόμενη μέθοδο και τις αντίστοιχες υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος αφορούν στην πλειονότητά τους το προαναφερθέν υπό διακινδύνευση στοιχείο.

Πίνακας 2-2: Ελάχιστες απαιτήσεις δεδομένων για εκτίμηση σεισμικών απωλειών (FEMA, 2003)

Επιθυμητό εξαγόμενο αποτέλεσμα	**Απαραίτητα δεδομένα**
Δυνητικός εδαφικός κίνδυνος (Potential Earth Science Hazards)	
Ένταση δόνησης εδάφους για το σεισμικό σενάριο	Προσδιορισμός σεναρίου, νόμος απόσβεσης και χάρτες εδαφικών συνθηκών
Μόνιμες μετατοπίσεις εδάφους	Χάρτες ευεπίφορων εδαφών σε ρευστοποίηση και ολίσθηση
Πιθανότητα ρευστοποίησης	Χάρτης ευεπίφορων σε ρευστοποίηση εδαφών
Πιθανότητα ολίσθησης	Χάρτης ευεπίφορων σε ολίσθηση εδαφών
Γενικό κτιριακό απόθεμα (General Building Stock)	

Βλάβες στο γενικό κτιριακό απόθεμα κατά τύπο και χρήση	Συνολικό εμβαδό ορόφων κάθε κατηγορίας χρήσης για κάθε απογραφικό χωρίο, σχέσεις μεταξύ χρήσης και τύπων κτιρίων
Κατασκευές υψηλής σπουδαιότητας (Essential Facilities)	
Βλάβες και λειτουργική κατάσταση των υποδομών υψηλής σπουδαιότητας	Τοποθεσία και τύπος κτιρίου κάθε υποδομής
Απώλεια κλινών και αναμενόμενος χρόνος ανάκτησης	Αριθμός κλινών (κρεβατιών) κάθε νοσοκομείου
Κατασκευές επικίνδυνου δυναμικού (High Potential Loss Facilities)	
Χάρτες με κατασκευές επικίνδυνου δυναμικού	Τοποθεσία και τύπος κάθε κατασκευής
Βλάβες και απώλειες στρατιωτικών εγκαταστάσεων	Τοποθεσία, τύποι κτιρίων και αξία στρατιωτικών εγκαταστάσεων
Δίκτυα Συγκοινωνιών (Transportation Lifelines)	
Βλάβες στο συγκοινωνιακό δίκτυο	Τοποθεσία και είδος των επί μέρους στοιχείων
Χρόνοι αποκατάστασης των επί μέρους στοιχείων του δικτύου	Εκτίμηση χρόνου αποκατάστασης για κάθε στάθμη βλάβης
Δίκτυα παροχών (Utility Lifelines)	
Βλάβες στα Δίκτυα παροχών	Τοποθεσία και τύποι των επί μέρους στοιχείων
Χρόνοι αποκατάστασης των επί μέρους στοιχείων	Εκτίμηση χρόνου αποκατάστασης για κάθε στάθμη βλάβης
Συνεπαγόμενες φυσικές απώλειες (Induced Physical Damage)	
Στοιχεία ευπαθή σε πλημμύρες	Χάρτες πλημμυρών
Αριθμός ανάφλεξης πυρκαγιών και ποσοστό καμένης έκτασης για κάθε απογραφική μονάδα-έκταση	Γενικό κτιριακό απόθεμα, μέση ταχύτητα πυρόσβεσης, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
Χάρτες με τις κατασκευές που περιέχουν επικίνδυνα υλικά	Απογραφικά δεδομένα των κατασκευών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
Τύπος και βάρος συντριμμάτων	Γενικό κτιριακό απόθεμα και εκτιμήσεις τύπου και βάρους συντριμμάτων ανά μονάδα εμβαδού δόμησης
Άμεσες κοινωνικές απώλειες (Direct Social Losses)	
Αριθμός εκτοπισμένων νοικοκυριών	Αριθμός νοικοκυριών για κάθε απογραφική μονάδα
Πληθυσμός που χρειάζεται προσωρινό κατάλυμα	Πληθυσμός: εθνικότητα, ηλικία εισόδημα
Ανθρώπινες απώλειες-τεσσάρων επιπέδων-για τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές εντός εικοσιτετραώρου	Κατανομή πληθυσμού για τρεις χρονικές περιόδους εντός εικοσοτετραώρου
Οικονομικές απώλειες (Economic Losses)	
Κόστος επισκευής ή αντικατάστασης δομικών και μη δομικών στοιχειών	Κόστος επισκευής-αντικατάστασης ανά μονάδα επιφάνειας για κάθε δομικό τύπο και κατηγορία χρήσης για όλες τις στάθμες βλάβης
Απώλεια περιεχομένων (εξοπλισμοί κ.α)	Αξία περιεχομένων ως ποσοστό της αξίας αντικατάστασης ανά κατηγορία χρήσης
Απώλεια περιεχομένων (εξοπλισμοί κ.α)	Αξία περιεχομένων ως ποσοστό της αξίας αντικατάστασης ανά κατηγορία χρήσης
Επιχειρηματικές απώλειες	Ετήσιος κύκλος εργασιών (σε $) ανά μονάδα επιφάνειας
Κόστος μετεστέγασης-μετοίκησης	Κόστος ενοικίασης για κάθε κατηγορία χρήσης ανά μονάδα επιφάνειας
Απώλεια εισοδήματος επιχειρήσεων	Εισόδημα ανά μονάδα επιφάνειας για κάθε κατηγορία χρήσης
Απώλεια μισθών	Μισθοί ανά μονάδα επιφάνειας για κάθε κατηγορία χρήσης

Απώλεια εισοδήματος ενοικίων	Ύψος ενοικίου μηνός ανά μονάδα επιφάνειας για κάθε κατηγορία χρήσης
Κόστος βλάβης επί μέρους στοιχείων των συγκοινωνιών	Κόστος επισκευής/αντικατάστασης
Κόστος βλάβης δικτύων	Κόστος επισκευής/αντικατάστασης
Έμμεσες οικονομικές απώλειες (Indirect Economic Losses)	
Μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις	Δείκτες ανεργίας

2.2.1 Το λογισμικό HAZUS

Η έρευνα για την δημιουργία του HAZUS ξεκίνησε το 1993 (ΤΕΕ, 2002) με την πρώτη έκδοση να ολοκληρώνεται το 1997, φτάνοντας σήμερα στην τελευταία έκδοση του προγράμματος (Ιανουάριος 2005) να περιλαμβάνει εκτός του σεισμού άλλες δυο φυσικές καταστροφές: πλημμύρες και τυφώνες. Είχαν προηγηθεί ιδιωτικές προσπάθειες με χρηματοδότηση ασφαλιστικών εταιριών που ενδιαφέρονταν να γνωρίζουν το μέγεθος της διακινδύνευσης περιοχών προς ρύθμιση των ασφαλίστρων τους. Πέραν όμως του υψηλού τους κόστους, ο κώδικας και ο τρόπος εξαγωγής αποτελεσμάτων ήταν απόκρυφος για τους ευνόητους ανταγωνιστικούς λόγους˙ παρατίθετο απλώς ένα συνοπτικό εγχειρίδιο χρήσης με τις γενικές παραδοχές των αλγορίθμων. Οι χρήστες υποχρεώνονταν στην λογική των μαύρων κουτιών (black boxes) καθώς εισήγαγαν απλά τα δεδομένα και παρελάμβαναν αποτελέσματα, τα οποία συχνά απέκλιναν σημαντικά μεταξύ τους. Σε αντιδιαστολή το HAZUS διατίθεται δωρεάν σε κάθε ενδιαφερόμενο και συνοδεύεται από λεπτομερέστατα εγχειρίδια χρήσεως και τεχνικής.

2.2.1.1 Περιγραφή του λογισμικού

Όπως προϊδεάζει η ονομασία του -Hazards US, το HAZUS προορίζεται για αποκλειστική χρήση εντός της αμερικανικής επικράτειας. Πρόκειται για αυτόνομο λογισμικό το οποίο φέρει τον κώδικα με τους μαθηματικούς αλγορίθμους για τους υπολογισμούς, χρειάζεται όμως ως υπόβαθρο για να λειτουργήσει ένα λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (Geographical Information System- GIS). Το HAZUS αντλεί πληροφορίες για το κτιριακό δυναμικό, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, κοινωνικοοικονομικά δεδομένα και λοιπά συναφή στοιχεία της περιοχής μελέτης (βλ. πίνακα 1-4) από το λογισμικό GIS και ακολούθως εκτελεί υπολογισμούς κατά τους αλγορίθμους που φέρει στον κώδικά του. Οι χρήστες ανασύρουν τις γεωγραφικές περιοχές μελέτης από την βάση δεδομένων του προγράμματος (εσωκλείονται πλήρη στοιχεία για το σύνολο της αμερικανικής επικράτειας) συνέλκοντας έτσι την σχετική πληροφορία στην οποία είναι εφικτή οιαδήποτε τροποποίηση πλην της αλλαγής των προκαθορισμένων χωρικών-γεωγραφικών συνόρων. Το λογισμικό δεν υποστηρίζει ούτε επιτρέπει την εισαγωγή (αυτούσιας) ή την δημιουργία νέας γεωγραφικής περιοχής. Το γεγονός αυτό περιορίζει ουσιαστικά την εφαρμογή του HAZUS στις περιοχές εντός συνόρων της αμερικανικής επικράτειας.

Πίνακας 2-3: Εξαγόμενα αποτελέσματα (output) του HAZUS για σεισμικό σενάριο (FEMA, 2003)

Χαρακτηρισμός βλαβών του γενικού κτιριακού αποθέματος • Πιθανότητα δομικής και μη δομικής βλάβης για κάθε απογραφική μονάδα, τύπο κτιρίου και κατηγορία χρήσης **Συγκοινωνιακά και κοινής ωφελείας Δίκτυα** • Για τα επί μέρους στοιχεία των Δικτύων που λαμβάνονται υπόψη: πιθανότητες βλάβης, κόστος επισκευής ή αντικατάστασης και αναμενόμενη λειτουργική κατάσταση για διάφορα χρονικά διαστήματα, μετασεισμικά • Δίκτυα νερού: αναμενόμενος αριθμός διαρροών και θραύσης • Δίκτυα ρεύματος: εκτίμηση αναμενόμενου διαστήματος διακοπής λειτουργίας **Υποδομές υψηλής σπουδαιότητας** • Πιθανότητες βλάβης • Πιθανότητες απώλειας λειτουργικότητας • Απώλεια κλινών σε Νοσοκομεία **Υποδομές Επικίνδυνου Δυναμικού** • Επισήμανση παρουσίας φραγμάτων • Επισήμανση παρουσίας πυρηνικών σταθμών • Πιθανότητα βλάβης και κόστος επισκευής στρατιωτικών εγκαταστάσεων* • Επισήμανση παρουσίας λοιπών υποδομών **Συντρίμμια** • Σύνολο όγκου συντριμμάτων κατά τύπο κτιρίου	**Πυρκαγιά επακόλουθη σεισμού** • Αριθμός ανάφλεξης πυρκαγιών για κάθε απογραφική μονάδα • Ποσοστό καμένης περιοχής για κάθε απογραφική μονάδα **Πλημμυροπαθείς περιοχές** • Πληθυσμός εκτεθειμένος σε πλημμύρα και αξία γενικού κτιριακού αποθέματος υπό διακινδύνευση **Περιοχές με επικίνδυνα υλικά** • Επισήμανση περιοχών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά **Κοινωνικές απώλειες** • Αριθμός εκτοπισμένων νοικοκυριών • Αριθμός πληθυσμού που χρειάζεται προσωρινό κατάλυμα • Ανθρώπινες απώλειες-τεσσάρων επιπέδων- για τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές εντός εικοσιτετραώρου **Οικονομικές απώλειες λόγω γενικού κτιριακού αποθέματος** • Δομικό και μη δομικό κόστος επισκευής ή αντικατάστασης • Απώλεια περιεχομένων (εξοπλισμός κ.α) • Απώλεια εμπορικών αγαθών • Κόστος μετοίκισης • Απώλεια εμπορικού εισοδήματος • Απώλεια μισθών • Απώλεια ενοικίασης κατοικίας **Έμμεσες οικονομικές απώλειες** Μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις στην περιοχή

Στόχος των σχεδιαστών του προγράμματος ήταν το HAZUS να καταστεί ένα ορθολογιστικό εργαλείο στην διάθεση των επαγγελματικών ομάδων που εργάζονται προς την κατεύθυνση άμβλυνσης των επιπτώσεων του σεισμικού φαινομένου. Τα πορίσματα ενδιαφέρουν άμεσα: ιατρικές υπηρεσίες, νοσοκομειακές μονάδες, φορείς τοπικής

αυτοδιοίκησης και διαχείρισης καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης καθώς και σώματα ασφαλείας (Πυροσβεστική, Αστυνομία) προκειμένου να προετοιμάσουν την άμεση ανταπόκρισή τους σε περιοχές αυξημένης διακινδύνευσης ή να κατανείμουν αναλόγως τις δυνάμεις τους σε πιθανές πλειγήσες περιοχές στις οποίες αναμένεται να προκύψει η μεγαλύτερη ανάγκη παροχής βοήθειας ειδικά κατά το πρώτο εικοσιτετράωρο του επεισοδίου. Τα αποτελέσματα (βλ. πίνακα 2-3)αφορούν επίσης Μηχανικούς καθότι τέτοιες μελέτες αναδεικνύουν τις περισσότερο σεισμικά τρωτές περιοχές (ή ομάδες στοιχείων) που χρήζουν άμεσης αντισεισμικής θωράκισης.

Εκκινώντας το πρόγραμμα στον υπολογιστή, ο χρήστης εισέρχεται αυτομάτως στην επιφάνεια εργασίας του GIS από όπου είναι διαθέσιμα όλα τα υπολογιστικά εργαλεία του HAZUS. Η χρήση λογισμικού GIS ως υποβάθρου για το HAZUS εξασφαλίζει, πέραν της εποπτικής εικόνας της περιοχής και της ευκολίας διαχείρισης των δεδομένων της, την δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων με την χωρική διασπορά των αναμενόμενων απωλειών.

2.2.1.2 Επίπεδα ανάλυσης

Η εκτίμηση των απωλειών στο πρόγραμμα γίνεται σε τρία διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης. Με σειρά αύξουσας ακρίβειας:

- Επίπεδο 1

Χρησιμοποιούνται τα ήδη υπάρχοντα (default) δεδομένα της περιοχής μελέτης για μια πρώτη προσέγγιση όπου το κόστος και ο χρόνος της ανάλυσης προέχουν σε βαρύτητα. Αποτελούν μια μάλλον ανακριβή προσέγγιση καθώς τα ενσωματωμένα αρχεία του προγράμματος είναι ως επί το πλείστον ελλιπή.

- Επίπεδο 2

Εισάγονται αξιόπιστα στοιχεία για τα κτίρια της περιοχής, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τα δίκτυα των παροχών και των συγκοινωνιών. Και σε αυτό το επίπεδο, τα χαρακτηριστικά των παραμέτρων της περιοχής αντικατοπτρίζουν τις μέσες τιμές των κατηγοριών των υπό διακινδύνευση στοιχειών. Το αποτέλεσμα αναμένεται περισσότερο ακριβές, τουλάχιστον ότι αφορά τα ποσοστά βλάβης κάθε κατηγορίας, το κόστος και ο απαιτούμενος χρόνος όμως αυξάνονται εκθετικά. Αναλόγως της πληρότητας των διαθέσιμων αρχείων μιας γεωγραφικής έκτασης, το εγχείρημα δευτέρου επιπέδου ενδέχεται να διαρκέσει έως μερικούς μήνες.

- Επίπεδο 3

Το τρίτο επίπεδο ανάλυσης εφαρμόζεται σε περιορισμένες περιπτώσεις μείζονος ενδιαφέροντος. Γίνεται εξειδικευμένη προσέγγιση για συγκεκριμένες κατασκευές υψηλής

σπουδαιότητας κατά την οποία χρησιμοποιούνται τα καθεαυτά χαρακτηριστικά. Εδώ συνήθως εξετάζονται κτίρια κοινωφελούς χρήσης (Σχολεία, Νοσοκομεία), περιοχές παρακείμενες σε γνωστά ενεργά ρήγματα ή με δυσμενείς εδαφικές επιρροές. Για ολοκληρωμένες αναλύσεις είναι αναγκαία η συνδρομή ειδικών (μηχανικών, γεωλόγων) και υπολογισμοί εκτός του προγράμματος. Η συλλογή και η μορφοποίηση των σχετικών εισερχομένων του προγράμματος συνήθως απαιτεί μερικά χρόνια.

2.2.2 Κατηγοριοποίηση

Εξόχως σημαντική για την ακριβή αποτίμηση της διακινδύνευσης είναι η κατηγοριοποίηση των εξεταζόμενων στοιχείων και ο διαχωρισμός τους σύμφωνα με τα γενικά τους χαρακτηριστικά. Για την περίπτωση του γενικού κτιριακού αποθέματος επιδιώκεται η ταξινόμηση των δεδομένων που προκύπτουν από τις απογραφές σε προ-προσδιορισμένες κατηγορίες των οποίων η σεισμική συμπεριφορά είναι γνωστή (προμελετημένη)˙ οι κατηγορίες αυτές αντιπροσωπεύουν τα μέσα γνωρίσματα των κτιρίων κάθε κατηγορίας και περιοχής. Ελέγχοντας την σεισμική επάρκεια των αντιπροσωπευτικών τύπων κτιρίων στις σεισμικές απαιτήσεις ενός σεναρίου προκύπτει άμεσα μια ικανοποιητική εικόνα των βλαβών της εξεταζόμενης περιοχής, δεδομένου και του απαγορευτικού κόστους ξεχωριστής μελέτης κάθε υφιστάμενης κατασκευής.

Καθόσον σπανίως διατίθενται πλήρη αρχεία μιας περιοχής που να ικανοποιούν την απαιτούμενη κατηγοριοποίηση (ύψος κτιρίου, αριθμός ορόφων, είδος φέροντος οργανισμού, κατηγορία χρήσης), η μέθοδος που εξετάζεται χρησιμοποιεί ποσοστώσεις (occupancy schemes) που αφορούν ξεχωριστά κάθε γεωγραφικό διαμέρισμα. Γίνονται εκτιμήσεις ή συχνά παραδοχές για το ποσοστό του συνόλου κτιρίων το υλικό των οποίων είναι από ένα συγκεκριμένο υλικό, ανήκει σε συγκεκριμένη κατηγορία χρήσης ή διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό ορόφων.

Προκειμένου να ταξινομηθούν τα κτίρια στις γενικές κατηγορίες που χρησιμοποιεί η προτεινόμενη μέθοδος , λήφθησαν υπ' όψιν οι εξής παράγοντες:

- Κατηγορία χρήσης κτιρίου (βλ. πίνακα 2-4)
- Δομικές παράμετροι που επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα και την απόκριση της κατασκευής (βλ. πίνακα 2-5)
    - κύριος φέρον οργανισμός
    - ύψος κτιρίου
    - αντισεισμικότητα

- Μη δομικά στοιχεία που επηρεάζουν τη μη δομική αστοχία
- Κατασκευαστικές τεχνικές κατά περιοχή
- Μεταβολές των δομικών γνωρισμάτων εντός της κατηγορίας

Πίνακας2- 4: Κατηγορίες χρήσεις κτιρίων σύμφωνα με την μέθοδο (FEMA, 2003)

Σήμανση	**Κατηγορία χρήσης**	**Ενδεικτική Περιγραφή**
	Οικιστική	
RES1	Μονοκατοικίες	Οικία
RES2	Λυόμενες κατοικίες	Λυόμενη κατοικία
RES3	Πολυκατοικές	Διαμέρισμα/ Συνιδιοκτησία
	RES3A διπλή κατοικία RES3B 3-4μονάδες RES3C 5-9 μονάδες RES3D 10-19 μονάδες	
	RES3E 20-49 μονάδες RES3F 50+ μονάδες	
RES4	Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχεία/Μοτέλ
RES5	Ξενώνες/Εστίες	Κοινής χρήσης (στρατώνες, εστίες) φυλακές
RES6	Οίκοι φιλοξενίας	
	Εμπορική	
COM1	Λιανικό εμπόριο	Κατάστημα
COM2	Γενικό εμπόριο	Αποθήκες
COM3	Αυτοεργοδοτούμενοι	Συνεργεία/καταστήματα
COM4	Επαγγελματικές/Τεχνικές υπηρεσίες	Γραφεία
COM5	Τράπεζες	
COM6	Νοσοκομεία	
COM7	Ιατρεία/Κλινικές	
COM8	Ψυχαγωγία/Διασκέδαση	Εστιατόριο/ Μπαρ
COM9	Θέατρα	Θέατρα
COM10	Χώροι στάθμευσης	
	Βιομηχανική	
IND1	Βαριά	Εργοστάσια
IND2	Βιοτεχνίες	Εργοστάσια
IND3	Τρόφιμα/Φάρμακα/ Χημικά	Εργοστάσια
IND4	Μέταλλα/Μεταλλεύματα	Εργοστάσια
IND5	Υψηλής τεχνολογίας	Εργοστάσια
IND6	Κατασκευές	Γραφεία
	Αγροτική	
AGR1	Αγροτική	
	Θρησκευτική /Μη κερδοφόρα	
REL1	Εκκλησίες/Μη κερδοφόρα	
	Κυβερνητική / Δημόσια	
GOV1	Γενικές Υπηρεσίες	Γραφεία
GOV2	Αμέσου ανταπόκρισης	Αστυνομία/Πυροσβεστική
	Εκπαίδευση	
EDU1	Λύκεια	
EDU2	Κολλέγια/Πανεπιστήμια	

Πίνακας 2-5: Δομικοί τύποι κτιρίων μεθόδου[4] (FEMA, 2003)

α/α	Σήμανση	Περιγραφή	Ύψος			
			Εύρος		Τυπικό	
			Όνομα	Όροφοι	Όροφοι	Πόδια
1	W1	Ξύλο, ελαφρύς Φ/Ο (≤ 5,000 sq.ft.)		1 - 2	1	14
2	W2	Ξύλο, Εμπορικό και Βιομηχανικό(> 5,000 sq. ft.)		όλα	2	24
3	S1L	Μεταλλική κατασκευή, πλαισιακό δομικό σύστημα	Χαμηλά	1 - 3	2	24
4	S1M		Μέσου	4 - 7	5	60
5	S1H		Υψηλά	8+	13	156
6	S2L	Μεταλλική κατασκευή, ενισχυμένο δομικό σύστημα	Χαμηλά	1 - 3	2	24
7	S2M		Μέσου	4 - 7	5	60
8	S2H		Υψηλά	8+	13	156
9	S3	Μεταλλική ελαφριά κατασκευή		όλα	1	15
10	S4L	Μεταλλική κατασκευή με επί τόπου συνδεόμενα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος	Χαμηλά	1 - 3	2	24
11	S4M		Μέσου	4 - 7	5	60
12	S4H		Υψηλά	8+	13	156
13	S5L	Μεταλλική κατασκευή με άοπλη τοιχοπλήρωση	Χαμηλά	1 - 3	2	24
14	S5M		Μέσου	4 - 7	5	60
15	S5H		Υψηλά	8+	13	156
16	C1L	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα	Χαμηλά	1 - 3	2	20
17	C1M		Μέσου	4 - 7	5	50
18	C1H		Υψηλά	8+	12	120
19	C2L	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα (τοιχία)	Χαμηλά	1 - 3	2	20
20	C2M		Μέσου	4 - 7	5	50
21	C2H		Υψηλά	8+	12	120
22	C3L	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα με τοιχοπληρώσεις	Χαμηλά	1 - 3	2	20
23	C3M		Μέσου	4 - 7	5	50
24	C3H		Υψηλά	8+	12	120
25	PC1	Προκατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα με επί τόπου συνδεόμενα τοιχώματα		όλα	1	15
26	PC2L	Προκατασκευή από οπλισμένα πλαίσια σκυροδέματος	Χαμηλά	1-3	2	20
27	PC2M		Μέσου	4-7	5	50
28	PC2H		Υψηλά	8+	12	120
29	RM1L	Οπλισμένη φέρουσα τοιχοποιία με ξύλινα ή μεταλλικά διαφράγματα	Χαμηλά	1-3	2	20
30	RM2M		Μέσου	4+	5	50
31	RM2L	Οπλισμένη φέρουσα τοιχοποιία με προκατασκευασμένα διαφράγματα από σκυρόδεμα	Χαμηλά	1 - 3	2	20
32	RM2M		Μέσου	4 - 7	5	50
33	RM2H		Υψηλά	8+	12	120
34	URML	Αόπλη φέρουσα τοιχοποιία	Χαμηλά	1 - 2	1	15
35	URMM		Μέσου	3+	3	35
36	MH	Λυόμενες Κατοικίες		όλα	1	10

2.2.3 Αβεβαιότητες

Ακόμα και με χρήση των επιστημονικά αρτιότερων μεθόδων εκτίμησης των απωλειών το αποτέλεσμα τέτοιων μελετών δεν μπορεί παρά να θεωρηθεί ως μια ένδειξη του τι μελλοντικά θα υποστεί μια περιοχή. Κύρια αιτία αβεβαιοτήτων συνιστά η επιλογή και η φύση του

[4]Σημειώνονται οι κατηγορίες κτιρίων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις εφαρμογές που έγιναν ενώ αναλυτική περιγραφή των δομικών γνωρισμάτων των τύπων κτιρίων παρατίθεται στο παράρτημα Β

σεναρίου. Συχνά η σεισμικότητα ή ακόμα ειδικότερα το γεωλογικό υπόβαθρο μιας περιοχής είναι μερικώς μόνο κατανοητά. Επιπλέον η χρήση αντιπροσωπευτικών τύπων των στοιχείων περιορίζει σημαντικά την αποτύπωση της περιοχής αμά τη εισαγωγεί των δεδομένων στο πρόγραμμα και την κατανομή τους σε αυτές. Πολλών κτιρίων η σεισμική απόκριση ή μορφή ενδέχεται να διαφέρει σημαντικά από αυτήν της κατηγορίας στην οποία εντάσσεται. Το πρόβλημα καθίσταται εντονότερο στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η ανομοιομορφία των στοιχείων είναι πιο έκδηλη-η περίπτωση των συγκοινωνιακών δικτύων όπου κάθε κατασκευή διαθέτει τα δικά της ξεχωριστά γνωρίσματα.

2.3 Αποτίμηση σεισμικών απωλειών

2.3.1 Γενικά

Η μέθοδος εκτίμησης σεισμικών απωλειών έχει περιγραφεί ποιοτικά στην παράγραφο 1.3. Το HAZUS ενσωματώνει σειρά μαθηματικών αλγορίθμων˙ αρχικά προσδιορίζεται ο σεισμικός κίνδυνος και μέσω του φάσματος απαίτησης (spectrum demand) του σεναρίου προκύπτουν οι απαιτούμενες μετακινήσεις των κατασκευών που μεταφράζονται σε ποσοστά βλάβης με τη βοήθεια των καμπύλων τρωτότητας ή θραυστότητας (fragility curves). Οι καμπύλες τρωτότητας είναι το τμήμα της μεθοδολογίας που κατευθύνει το τελικό αποτέλεσμα. Συνιστούν την πλέον ευαίσθητη παράμετρο καθώς, λόγω της μορφής τους, ελάχιστη διαφορά στην τιμή της μετακίνησης της κατασκευής δίνει σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα.

Σημαντικό προτέρημα της μεθόδου είναι ότι ξεφεύγει από την χρήση της μακροσεισμικής έντασης (MMI) για προσδιορισμό του σεισμικού κινδύνου αλλά και της διακινδύνευσης εν γένει. Η μακροσεισμική ένταση (Καρύδης, 1996)δεν αντικατοπτρίζει αμιγώς την απόκριση του εδάφους ή την σφοδρότητα του επεισοδίου αλλά την έκταση των βλαβών, απόρροια της οποίας συχνά είναι η ανεπάρκεια των κατασκευών. Η υποκειμενική μακροσεισμική ένταση αντικαθίσταται από πραγματικές παραμέτρους κίνησης του εδάφους: μετακίνηση, ταχύτητα, επιτάχυνση ενώ τα λοιπά χαρακτηριστικά του κραδασμού (εύρος συχνοτήτων, δεσπόζουσα περίοδος, διάρκεια δονήσεως) υπεισέρχονται στους υπολογισμούς εμμέσως.

2.3.2 Σεισμικός κίνδυνος

Ο σεισμικός κίνδυνος αναφέρεται συνοπτικά ως δυνητικός εδαφικός κίνδυνος (Potential Earth Science Hazards-PESH). Ο δυνητικός εδαφικός κίνδυνος περιλαμβάνει την κίνηση του εδάφους, την αστοχία (ρευστοποίηση, ολίσθηση, επιφανειακή εμφάνιση ρήγματος) καθώς

και τσουνάμι ή/και κύματα από λιμνάζοντα νερά. Κατά την εφαρμογή της παρούσας εργασίας οι κίνδυνοι από την αστοχία του εδάφους δεν συμπεριλήφθηκαν (ελήφθησαν ως μηδενικής πιθανότητας) διότι δεν διατίθεντο τα απαιτούμενα στοιχεία για την εξεταζόμενη περιοχή. Συνεπώς, πέραν των σχετικών συνοπτικών αναφορών για λόγους πληρότητας της παρουσίασης του προγράμματος, ο κίνδυνος αφορά αποκλειστικά την κίνηση του εδάφους.

2.3.2.1 Δόνηση εδάφους

Η διέγερση εδάφους περιγράφεται από τις μέγιστες εδαφικές τιμές της επιτάχυνσης και της ταχύτητας καθώς και από την φασματική απόκριση βάσει φάσματος τυποποιημένης μορφής. Η χωρική κατανομή και διασπορά του εδαφικού κραδασμού στο λογισμικό- και κατ' επέκτασην τα σεισμικά σενάρια, προσδιορίζονται με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Προσδιοριστικός-αιτιοκρατικός (deterministic)˙ χρήση νόμων απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων
- Πιθανοτικός[5] (probabilistic)˙ χρήση χαρτών με παραμέτρους απόκρισης εδάφους για διάφορες χρονικές περιόδους επαναφοράς
- Λοιποί προσδιοριστικοί και πιθανοτικοί τρόποι με τους οποίους επιτρέπεται στον χρήστη να εισαγάγει τις παραμέτρους που αντιστοιχούν καλύτερα στην μελέτη

Κατά την προσδιοριστική μέθοδο, για δεδομένο μέγεθος σεισμικού επεισοδίου, επιλέγεται ένας εκ των 12 νόμων απόσβεσης (attenuation laws) που διατίθενται και αντιστοιχούν σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές των ΗΠΑ. Κατά τον πιθανοτικό τρόπο προσδιορισμού της διέγερσης του εδάφους ακολουθείται παρόμοια τακτική όπου αντί των νόμων απόσβεσης, χρησιμοποιούνται χάρτες με ισότιμες καμπύλες (contour maps) των παραμέτρων απόκρισης του εδάφους. Οι χάρτες, που συνοδεύουν το λογισμικό, παρέχουν δεδομένα με πιθανότητες υπέρβασης 39% έως 2% και περιόδους επαναφοράς 100 και 2500 χρόνια αντιστοίχως. Οι προαναφερθείσες μέθοδοι αποδίδουν μόνο όταν η περιοχή μελέτης βρίσκεται εντός των συνόρων της αμερικανικής επικράτειας-άλλωστε το λογισμικό σε αυτό αποσκοπούσε. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός πως δεν προνοείται (ή επιτρέπεται) η τροποποίηση των νόμων απόσβεσης -τουλάχιστον άνευ της συγκατάθεσης των σχεδιαστών. Προκειμένου να προσομοιωθούν περιοχές που δεν εμπίπτουν στο φάσμα εφαρμογής των σχέσεων απόσβεσης επιλέγεται ο τρίτος τρόπος καθορισμού των παραμέτρων της κίνησης του εδάφους. Μέσω της μεθόδου αυτής έγινε και η εφαρμογή στην παρούσα εργασία σύμφωνα με την οποία ο χρήστης εισάγει χάρτες με τις τιμές των παραμέτρων κίνησης (PGA, PGV, Sa).

[5] Οι χάρτες δημιουργήθηκαν από το αμερικανικό γεωλογικό ινστιτούτο (USGS) και περιέχονται στο HAZUS

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το υπό διακινδύνευση στοιχείο είναι το γενικό κτιριακό απόθεμα η μέθοδος δεν εμπλέκει στους υπολογισμούς όλες τις παραμέτρους κίνησης εδάφους. Σύμφωνα με την ακολουθουμένη μέθοδο της φασματικής ικανότητας (Capacity Spectrum Method) αρκούν μόνο οι τιμές της φασματικής επιτάχυνσης (Sa) για τις περιόδους των 0,3 και 1,0 δευτερολέπτων προκειμένου να μορφωθεί το ελαστικό φάσμα σεισμικής απαίτησης (απόσβεσης 5%) του σεναρίου. Όταν τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επαρκούν για τον προσδιορισμό τους (τρίτη μέθοδος καθορισμού της κίνησης εδάφους), οι τιμές της φασματικής επιτάχυνσης απορρέουν από τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα. Για μια πιο εποπτική εικόνα της συμμετοχής των διαφόρων μεγεθών στην εν γένει μέθοδο παρατίθεται ο πίνακας (2-5). Σημειώνεται ότι δεν περιλαμβάνει όλες τις περιπτώσεις, μόνο τις κυριότερες, συμβάλει όμως προς μια ολοκληρωμένη αντίληψη του τρόπου λειτουργίας του λογισμικού.

Για λόγους μείωσης του υπολογιστικού φόρτου, η σεισμική απαίτηση ενός σεναρίου για εκτίμηση σεισμικών απωλειών του γενικού κτιριακού αποθέματος υπολογίζεται στο κεντροειδές του απογραφικού χωρίου (census tract). Αυτά τα χωρία γης αποτελούν την μικρότερη-μοναδιαία-γεωγραφική υποδιαίρεση του προγράμματος και αντιστοιχούν σε έκταση γης η οποία φιλοξενεί 2500~8000 κατοίκους ενώ όλη η πληροφορία θεωρείται συγκεντρωμένη στο σημείο αυτό. Αυτό απορρέει από την δομή των λογισμικών GIS που συνδέουν όλα τα αρχεία μιας περιοχής (σε μορφή πινάκων) με ένα σημείο (κεντροειδές) του πολυγώνου-σχήματος που παριστά οπτικά οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή.

Το κεντοειδές ή μέσο κέντρο ενός πολυγώνου είναι το γεωμετρικό κέντρο βάρους του. Η σεισμική απαίτηση δεν αναμένεται να διαφέρει κατά πολύ εντός ενός τέτοιου χωρίου γης καθώς στις πλείστες των περιπτώσεων πρόκειται για σχετικά μικρές αποστάσεις (της τάξης του μισού τετραγωνικού χιλιομέτρου για πυκνοδομημένες περιοχές) σε σύγκριση με την απόσταση από το σεισμικό επίκεντρο. Προς μετριασμό της απόκλισης αυτής , το πρόγραμμα υπολογίζει και παρουσιάζει την καθολική εικόνα της διασποράς της σεισμικής έντασης (σε όρους παραμέτρων κίνησης εδάφους) για το σύνολο της περιοχής μελέτης. Αξίζει να επισημανθεί πως ακόμα και με χρήση του κεντροειδούς, ο πραγματικός απαιτούμενος χρόνος για μια ανάλυση στον υπολογιστή κυμαίνεται από δέκα λεπτά (για μερικά census tracts) μέχρι ώρες για ευρύτερες γεωγραφικές περιφέρειες (πόλεις).

Πίνακας 2-6 Συνοπτικά οι παράμετροι κίνησης του εδάφους και η συμμετοχή τους στους αλγορίθμους

Παράμετρος κίνησης	**Συμμετοχή στους υπολογισμούς**
Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση	• Μόρφωση ελαστικού φάσματος

(**PGA**)	• Προσδιορισμός φασματικών μεγεθών και συντελεστών ενίσχυσης εδάφους • Εκτίμηση απωλειών κτιρίων υψηλής σπουδαιότητας • Υπολογισμός πιθανοτήτων ρευστοποίησης • Εκτίμηση μη δομικών αστοχιών στοιχείων τρωτών σε επιταχύνσεις (μηχανικοί εξοπλισμοί) • Εκτίμηση απωλειών δικτύων, συγκοινωνιών, εγκαταστάσεων επικίνδυνου δυναμικού
Φασματική επιτάχυνση (**Sa**)	• Μόρφωση ελαστικού φάσματος • Εκτίμηση απωλειών γενικού κτιριακού αποθέματος • Εκτίμηση απωλειών δικτύων, συγκοινωνιών, εγκαταστάσεων επικίνδυνου δυναμικού
Μέγιστη εδαφική ταχύτητα (**PGV**)	• Προσδιορισμός φασματικών μεγεθών και συντελεστών ενίσχυσης εδάφους • Εκτίμηση απωλειών δικτύων, συγκοινωνιών, εγκαταστάσεων επικίνδυνου δυναμικού
Φασματική ταχύτητα (**Sv**)	• Μόρφωση ελαστικού φάσματος
Μόνιμη μετακίνηση εδάφους (**PGD**)	• Υπολογισμός πιθανοτήτων ρευστοποίησης • Εκτίμηση απωλειών δικτύων, συγκοινωνιών, εγκαταστάσεων επικίνδυνου δυναμικού
Φασματική μετακίνηση (**Sd**)	• Προσδιορισμός στάθμης βλάβης (μέσω των καμπύλων τρωτότητας) για το γενικό κτιριακό απόθεμα και τις εγκαταστάσεις υψηλής σπουδαιότητας και κινδύνου • Εκτίμηση μη δομικών αστοχιών στοιχείων τρωτών σε μετακινήσεις (τοιχοπληρώσεις)

2.3.2.2 Αστοχία εδάφους

Το φαινόμενο παρατηρείται μόνο σε περιοχές με εδαφικά χαρακτηριστικά (βλ. πίνακα 2-6) τέτοια που ευνοούν αστοχία εδάφου. Αποτέλεσμα της αστοχίας του εδάφους είναι οι μόνιμες παραμορφώσεις που προκαλούνται από ρευστοποίηση, ολίσθηση ή επιφανειακή εμφάνιση ρήγματος. Η ρευστοποίηση αναμένεται να επιφέρει οριζόντια εδαφική εξάπλωση και εδαφική συμπύκνωση (καθίζηση) ενώ η ολίσθηση μόνιμες μετατοπίσεις κυρίως εδαφών με υψομετρικές διαφορές (πρανή)˙ σπανιότερα παρατηρείται εμφάνιση ρήγματος στην επιφάνεια (σε ισχυρά σεισμικά επεισόδια) που επίσης προκαλεί μόνιμες μετατοπίσεις του εδάφους. Οι αστοχίες εδάφους συνδέονται με τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα και τη συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών σε δυναμικές καταπονήσεις ως συνάρτηση των χαρακτηριστικών της διέγερσης. Με παράμετρο την μόνιμη εδαφική παραμόρφωση, το λογισμικό υπολογίζει μέσω εμπειρικών καμπύλων

τρωτότητας, την πιθανότητα βλάβης των κτιρίων από αυτήν. Καθότι η αστοχία εδάφους δεν αποτελεί σύνηθες φαινόμενο σε σεισμικά επεισόδια ενώ ακόμα δυσκολότερα επηρεάζει τα συνήθη κτίρια, στην σχετική εργασία εξετάστηκαν αποκλειστικά βλάβες λόγω δόνησης του εδάφους (επίσης δεν διατίθεντο σχετικές πληροφορίες) . Απλά επισημαίνεται πως η εν γένει αποτίμηση των βλαβών του κτιριακού αποθέματος (για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες αναμένεται αστοχία εδάφους) προκύπτει από ένα συνδυασμό απωλειών που οφείλονται τόσο στην δόνηση όσο και στην αστοχία του εδάφους.

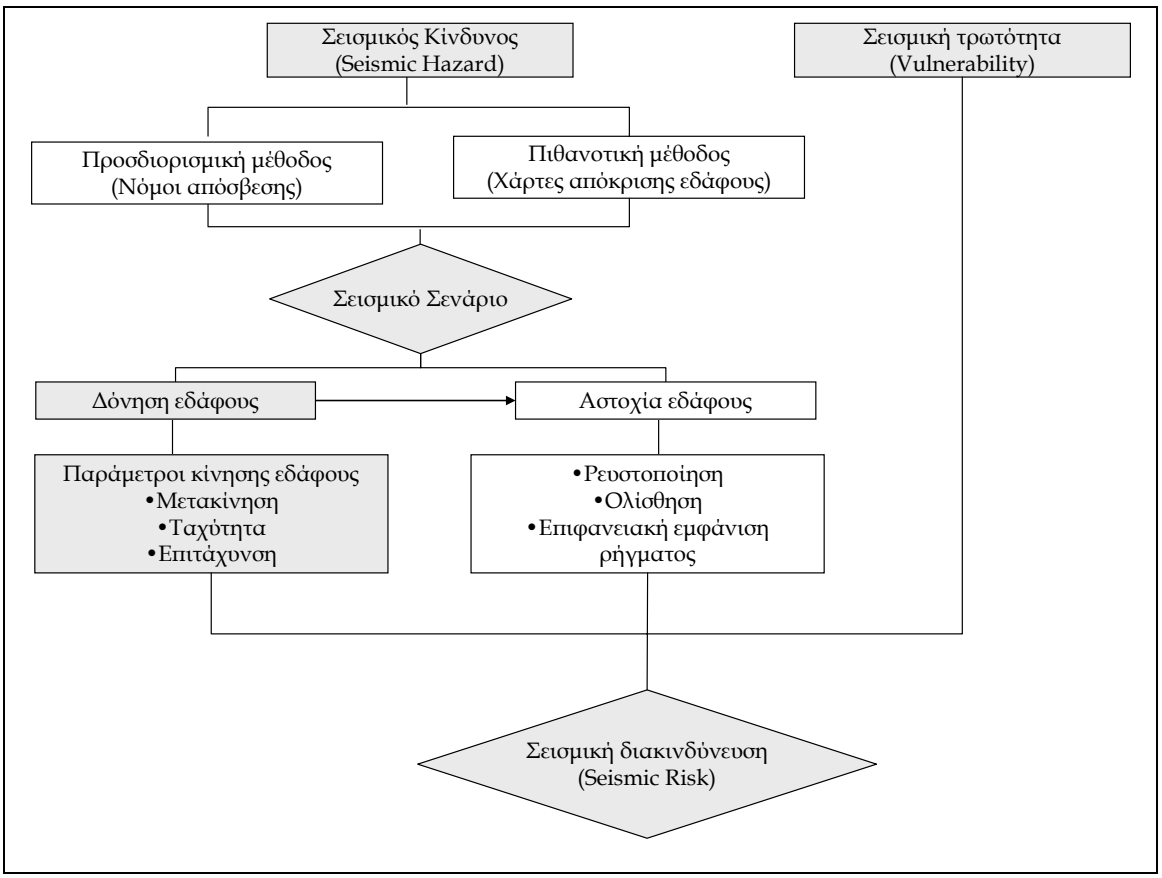
2.3.3 Προσδιορισμός παραμέτρων διέγερσης εδάφους

2.3.3.1 Προσδιοριστική μέθοδος

Αυτό που ενδιαφέρει στην επιλογή του σεισμικού σεναρίου είναι η εκτίμηση της σεισμικής απαίτησης της περιοχής μελέτης. Ο καθορισμός των χαρακτηριστικών της εδαφικής διέγερσης μπορεί να γίνει με οποιονδήποτε από τους τρεις προτεινόμενους τρόπους (§2.3.2.1), οφείλει όμως να ανταποκρίνεται στο επίπεδο του σεισμικού κινδύνου της περιοχής. Ο αλγόριθμος που ακολουθείται μετά την μόρφωση του φάσματος σεισμικής απαίτησης είναι ο ίδιος και στις τρεις περιπτώσεις, περισσότερο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει η προσδιοριστική (deterministic) μέθοδος για αυτό και θα σχολιαστεί εκτενώς (βλ. σχήμα 2-2).

Η περίπτωση της αστοχίας του εδάφους ως άμεσης επίπτωσης της σεισμικής δόνησης εξετάζεται ξεχωριστά στην μέθοδο του λογισμικού. Για τις μελέτες που αφορούν αποκλειστικά το κτιριακό δυναμικό η επιρροή της αστοχίας του εδάφους θεωρείται αμελητέα όταν πρόκειται για μικρές μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις (συγκρινόμενη με την ζημιά από την σεισμική δόνηση) αλλά λαμβάνεται υπ' οψιν στις περιπτώσεις, όπου σύμφωνα με τους υπολογισμούς, οι βλάβες λόγω της αστοχίας του εδάφους προκύπτουν εκτεταμένες.

Για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και για μια εύλογη επιλογή σεισμικού σεναρίου είναι απαραίτητο να είναι γνωστά δεδομένα σχετικά με την μορφολογία του εδαφικού/γεωλογικού υποβάθρου της έκτασης μελέτης αλλά και της εν γένει σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής. Το λογισμικό διαθέτει εκτεταμένη βάση δεδομένων από όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ως σενάριο κάποιο από τα καταγεγραμμένα ιστορικά επεισόδια(για έλεγχο των αποτελεσμάτων του προγράμματος) ή ένα αυθαίρετο σεισμικό



Σχήμα 2-2: Συνοπτικά η προτεινόμενη μέθοδος αποτίμησης της διακινδύνευσης

επίκεντρο επί των χαρτογραφημένων ρηγμάτων (για όλη την αμερικανική επικράτεια) που είναι επίσης καταχωρημένα στην βάση δεδομένων. Διαφορετικά για μια ακριβή μελέτη που θα ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες της περιοχής πρέπει να είναι διαθέσιμα του στοιχεία των πινάκων (2-6, 2-7).

Προκειμένου να υπολογιστούν οι τιμές της μέγιστης εδαφικής και της φασματικής (Sa) επιτάχυνσης (PGA) κατά την ντετερμινιστική μέθοδο, ο χρήστης καθορίζει τα χαρακτηριστικά ενός πιθανού μελλοντικού σεισμού περί την εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 2-76: Απαιτούμενα δεδομένα υπεδάφους της περιοχής μελέτης (Ομάδα εργασίας Ι.2 (ΤΕΕ 2002)

➢ Γεωλογικά/Γεωτεχνικά (δυναμικά) χαρακτηριστικά	• τοπικές εδαφικές συνθήκες • εδάφη μεγάλης ενίσχυσης κραδασμού • ύψος υδροφόρου ορίζοντα • προδιάθεση ρευστοποίησης/κατολίσθησης
➢ Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά	• ρήγματα και τεκτονική των πετρωμάτων • παράμετροι εστίας (εστιακό βάθος, μέγεθος) • παράμετροι διαδρομής σεισμικών κυμάτων (απόσβεση- γεωμετρική μείωση)
➢ Επιρροή τοπογραφίας	• υψομετρικές διαφορές

Επιλέγοντας την θέση του σεισμικού επικέντρου-άρα και την επίκεντρη απόσταση της περιοχής περιοχής (συντεταγμένες Φ, λ με χρήση του GIS), το λογισμικό μπορεί να εκτιμήσει την εξασθένιση της σεισμικής δόνησης που συντελείται καθώς τα σεισμικά κύματα διαδίδονται εντός του εδαφικού μέσου από την πηγή μέχρι το σημείο της παρατήρησης. Η πτώση της σεισμικής ενέργειας οφείλεται (Καρύδης, 1996) αφενός στην γεωμετρική διασπορά των σεισμικών κυμάτων, αφετέρου στην απόσβεση των υψηλών συχνοτήτων της διέγερσης από τους εδαφικούς σχηματισμούς. Η γεωμετρική διασπορά των κυμάτων εξαρτάται άμεσα από την μορφή του ρήγματος (πλάτος ρήγματος, μήκος διάρρηξης), το εστιακό βάθος, την γωνία βύθισης/ολίσθησης, τον μηχανισμό διάρρηξης και την διεύθυνση μετάδοσης του κραδασμού˙ καθώς το κύμα διαδίδεται, το μέτωπο του κυματισμού αυξάνει συνεπώς η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας μειώνεται. Τα μεγέθη αυτά επιλέγονται από τον χρήστη με γνώμονα τα σεισμοτεκτονικά δεδομένα της περιοχής, το μήκος διάρρηξης όμως -καθότι είναι συνάρτηση του μεγέθους του σεισμού, υπολογίζεται με την εμπειρική σχέση (βλ. πίνακα 2-8 ,σχήμα 2-3):

Wells & Coppersmith (1994):

$$\log_{10}(L) = a + b \times M \tag{2.1}$$

όπου L το μήκος διάρρηξης (km)

M το μέγεθος ροπής του σεισμού

ενώ οι συντελεστές a, b έχουν τιμές

Πίνακας2-8: Τιμές συντελεστών σχέσης μήκους διαρρήξεως (σχ. 2.1) (FEMA, 2003)

Είδος διάρρηξης	**Είδος ρήγματος**	**a**	**b**
Επιφανειακή	Οριζόντια διάρρηξη	-3.55	0.74
	Ανάστροφη διάρρηξη	-2.86	0.63
	Όλοι οι τύποι	-3.22	0.69
Βαθειά	Οριζόντια διάρρηξη	-2.57	0.62
	Ανάστροφη διάρρηξη	-2.42	0.58
	Όλοι οι τύποι	-2.44	0.59

Κατ' αντιστοιχίαν της σχέσης (2.1), για τον ελληνικό χώρο είναι διαθέσιμες ανάλογες σχέσεις υπολογισμού των διαστάσεων του ρήγματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί της σχέσης (2.1)˙ το HAZUS επιτρέπει αυτήν την επέμβαση.

(Παπαζάχος, 1989) :

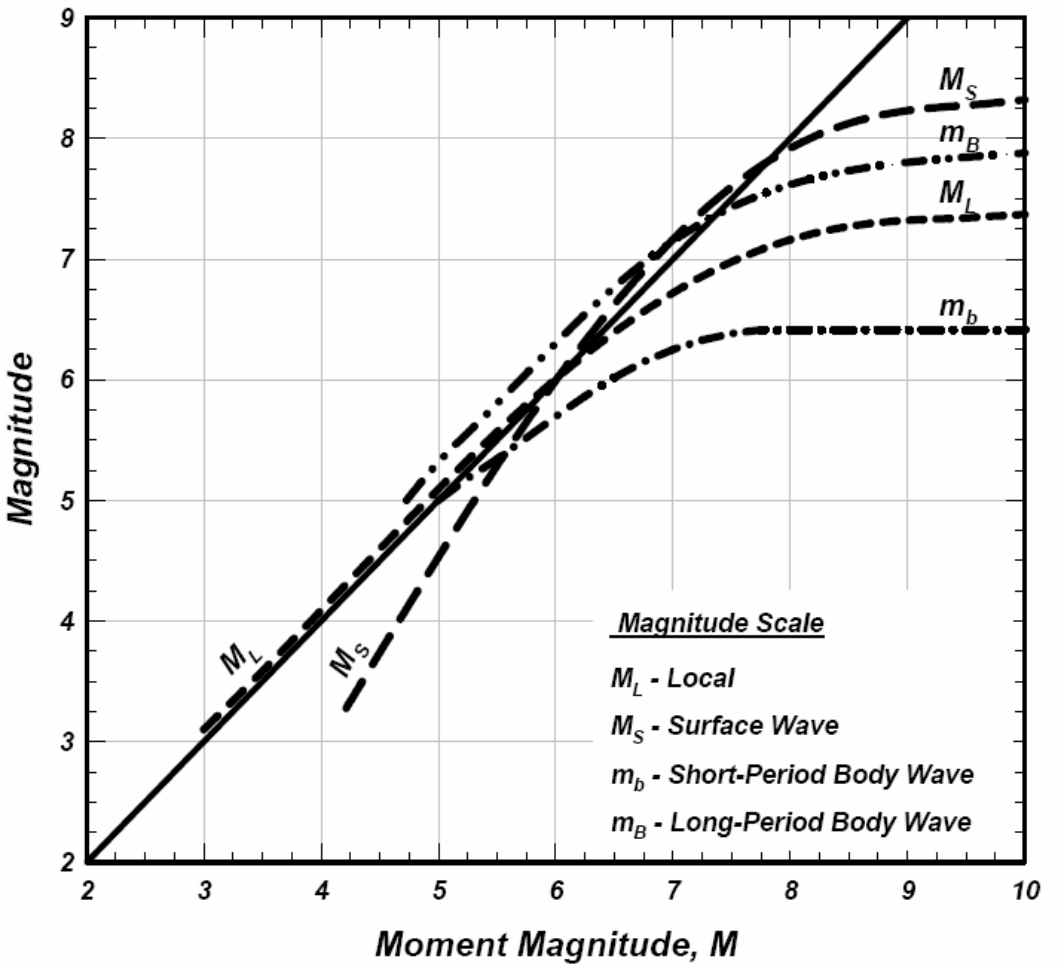
$$\log_{10}(L) = 0{,}51 M_s - 1{,}85 \tag{2.2}$$

$$\log_{10}(W) = 0{,}19 M_s - 0{,}13 \tag{2.3}$$

Όπου (2.2) L το μήκος διάρρηξης (km)

M_s το επιφανειακό μέγεθος σεισμού

(2.3) W το πλάτος του ρήγματος



Σχήμα 2-3 Εμπειρικές και θεωρητικές εκτιμήσεις μεταξύ σεισμικών μεγεθών (Heaton et. al 1982)

2.3.3.2 Χάρτες σεισμικού κινδύνου χρήστη

Το HAZUS επιτρέπει στον χρήστη να εισαγάγει, για τις περιπτώσεις στις οποίες η προσδιοριστική και η πιθανοτική μέθοδος αδυνατούν να περιγράψουν τις συνθήκες μελέτης, χάρτες με τιμές της μέγιστης εδαφικής και φασματικής επιτάχυνσης. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ως τελικές για το σεισμικό σενάριο ˙ δεν ενισχύονται ούτε αμβλύνονται περαιτέρω. Οφείλουν συνεπώς οι χάρτες να συμπεριλάβουν την επιρροή της τοπικής εδαφικής ενίσχυσης εξ' αρχής ενώ όταν μόνη διαθέσιμη τιμή είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ο χρήστης καλείται να προσδιορίσει τις φασματικές τιμές μέσω συντελεστών ενίσχυσης που προτείνει η μέθοδος (κατ' αντιστοιχία του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης του ΕΑΚ, βο=2,5).

2.3.4 Άμεσες φυσικές απώλειες κτιρίων

Οι βλάβες του γενικού κτιριακού αποθέματος συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στις μελέτες αποτίμησης της διακινδύνευσης. Για την περιγραφή της έκτασης των ζημιών ορίζονται πέντε επίπεδα βλάβης. Το αποτέλεσμα εκφράζεται μέσω της πιθανότητας μια ομάδα κτιρίων να υποστεί βλάβη που αντιστοιχεί σε μια από τις πέντε προκαθορισμένες στάθμες-καμία βλάβη, ελαφριές, μέτριες, εκτεταμένες, πλήρης. Επισημαίνεται πως το πέμπτο επίπεδο βλάβης δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη κατάρρευση του κτιρίου˙ θεωρείται, αυτό που και πρακτικά συμβαίνει, ότι μόνο ένα ποσοστό των κτιρίων που υφίστανται βλάβες πέμπτου επιπέδου καταρρέουν. Ενδεικτικά, για τις κατηγορίες του HAZUS, το ποσοστό των κτιρίων τύπου C1L (οπλισμένο σκυρόδεμα με πλαισιακό δομικό σύστημα, 1-3 ορόφων) που καταρρέουν όταν υποστούν βλάβες που χαρακτηρίζονται ως ολικές είναι 13%.

Για τον προσδιορισμό των βλαβών, η μέθοδος χρησιμοποιεί τις καμπύλες φασματικής ικανότητας (capacity curves-push over curves) και τις καμπύλες τρωτότητας (fragility curves) των κτιρίων ενώ η σεισμική απαίτηση προκύπτει από το φάσμα απαίτησης του σεναρίου. Οι καμπύλες φασματικής ικανότητας ορίζουν την μέγιστη δυνατή απόκριση της κατασκευής ενώ οι καμπύλες τρωτότητας την πιθανότητα να φτάσει ή να υπερβεί η κατασκευή μια στάθμη βλάβης για δεδομένη απόκριση. Για τις τριάντα έξι κατηγορίες κτιρίων του πίνακα (2-4) διατίθενται οι καμπύλες φασματικής ικανότητας για τρία διαφορετικά επίπεδα αντισεισμικού σχεδιασμού (design level) και τρεις ποιότητες κατασκευής (building quality) καθώς και οι αντίστοιχες καμπύλες τρωτότητας. Ο χρήστης καλείται να κατατάξει τα κτίρια της περιοχής μελέτης του σε αυτές τις κατηγορίες, τα χαρακτηριστικά των οποίων είναι σε θέση να τροποποιήσει.

Οι ζημιές στα κτίρια οφείλονται κυρίως στην δόνηση και σπανιότερα στην αστοχία του εδάφους. Η αστοχία εδάφους χαρακτηρίζεται από την μόνιμη παραμόρφωση του (permanent ground deformation PGD) και η πιθανότητα να υποστούν βλάβη τα κτίρια από αυτήν υπολογίζεται επίσης με καμπύλες τρωτότητας. Καθότι ο συσχετισμός μεταξύ μόνιμης παραμόρφωσης εδάφους και βλάβης των κτιρίων δεν περιγράφεται ευθέως από κάποια συνάρτηση, οι καμπύλες τρωτότητας που χρησιμοποιούνται είναι εμπειρικές.

Λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας που παρουσιάζουν οι δομικοί τύποι των κτιρίων, κυρίως της οικιστικής χρήσης, το αποτέλεσμα αυτών των μελετών προτιμότερο είναι να λαμβάνεται υπόψη ως πρόβλεψη των βλαβών παρά ως ένδειξη ˙ το αποτέλεσμα είναι περισσότερο αξιόπιστο όσο αυξάνει το πλήθος των κτιρίων της μελέτης. Μετά από ένα σεισμικό επεισόδιο παρατηρούνται απώλειες τόσο των δομικών όσο και των μη δομικών στοιχείων των κατασκευών. Η ακολουθούμενη μέθοδος διαχωρίζει τις δομικές και τις μη

δομικές βλάβες ενώ γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός για τις μη δομικές μεταξύ των στοιχείων που είναι ευπαθή στις μετακινήσεις (drift sensitive-τοιχοπληρώσεις) και στην επιτάχυνση (acceleration sensitive-μηχανολογικοί εξοπλισμοί). Για κάθε είδος βλάβης διατίθενται ξεχωριστές καμπύλες τρωτότητας.

Οι περιγραφές των δομικών τύπων και των δομικών επιπέδων βλάβης των κτιρίων του προγράμματος παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα Β (Ι) και ενδιαφέρουν καθότι, όπως θα σχολιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο, αρκετά από τα δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν για να συμπληρώσουν όσα στοιχεία δεν ήταν διαθέσιμα κατά την εφαρμογή που έγινε στην περιοχή μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί πως σε περιπτώσεις κατά τις οποίες διάφορα δομικά στοιχεία καλύπτονται από επικαλύψεις ή δεν είναι ορατά, οι βλάβες σε αυτά εκτιμώνται σύμφωνα με τις ζημιές των μη δομικών στοιχείων που τα περιβάλλουν.

Ο προσδιορισμός των επιπέδων βλάβης των κτιρίων είναι μια ιδιαίτερη παράμετρος της όλης διαδικασίας. Ο χαρακτηρισμός μιας στάθμης βλάβης γίνεται σύμφωνα με μακροσεισμικές παρατηρήσεις (έκταση και βάθος ρωγμών, διαρροή φερόντων στοιχείων, βλάβες τοιχοπλήρωσης) ή κατά τις λογιστικές (υπολογιστικές) αναλύσεις βάσει κριτηρίων που θέτει ο μελετητής (το 50% των κατακόρυφων στοιχείων επιφέρει κατάρρευση χωρίς κατ' ανάγκη αυτό να ισχύει στην πραγματικότητα). Έτσι με περισσότερο ή λιγότερο συντηρητικά κριτήρια καθορισμού των επιπέδων βλάβης, το τελικό αποτέλεσμα μιας μελέτης διακινδύνευσης αναμένεται να διαφέρει. Κατά την προτεινόμενη μέθοδο, η παράμετρος της εδαφικής απόκρισης που χρησιμοποιείται για να υποδείξει σε ποιο επίπεδο βλάβης αντιστοιχεί η απόκριση του κτιρίου είναι η φασματική μετακίνηση. Επιτυγχάνεται συνεπώς εκτίμηση των απωλειών με χρήση πραγματικών παραμέτρων εδαφικής απόκρισης (αντί της αμφιλεγόμενης μακροσεισμικής έντασης) παραμένει όμως συνδεδεμένη με τον ποιοτικό-περιγραφικό τρόπο καθορισμού των επιπέδων βλάβης.

2.3.4.1 Δομικές βλάβες λόγω δόνησης εδάφους

Η συμπεριφορά μιας κατασκευής κατά την σεισμική διέγερση εξαρτάται από την ικανότητά της να αποκριθεί στις επιβαλλόμενες από τον σεισμό καταπονήσεις. Η ικανότητα της κατασκευής (συνιστώσα της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των επί μέρους δομικών της στοιχείων) δίνεται από την καμπύλη φασματικής ικανότητας (capacity curve) ενώ η απαιτούμενη απόκριση από το σεισμικό φάσμα απόκρισης.

Σε σφοδρά σεισμικά επεισόδια, οι κατασκευές ξεπερνούν ως επί το πλείστον τα ελαστικά τους όρια και εισέρχονται στην μετελαστική περιοχή. Η ελαστική σχεδίαση (με

προσομοίωση των σεισμικών φορτίων με οριζόντια στατικά ή οριζόντια δυναμικά αναλόγως της συμμετοχής των ιδιομορφών της κατασκευής), παρόλο που δίνει γενικώς ικανοποιητικά αποτελέσματα, αδυνατεί να περιγράψει την συμπεριφορά της κατασκευής στην μετελαστική περιοχή. Μετά την πρώτη διαρροή στην κατασκευή πραγματοποιείται ανακατανομή τάσεων και ενόσω τα οριζόντια φορτία αυξάνουν η ελαστική ανάλυση δεν μπορεί να εκτιμήσει τις επόμενες διαρροές-αυτό οφείλεται στο ότι σχεδιασμός βασίζεται στην σχέση της μετατόπισης της κορυφής του κτιρίου και την τέμνουσας βάσης. Εντός της μετελαστικής περιοχής τα οριζόντια φορτία συνεχίζουν να παραμορφώνουν την κατασκευής, η ικανότητα όμως παραλαβής οριζοντίων φορτίων της κατασκευής παραμένει σταθερή και σταδιακά μειώνεται. Έτσι και ενώ η μετατόπιση της κορυφής συνεχίζει να αυξάνει, η κατασκευή οδηγείται προς την αστοχία (επιβολή παραμορφώσεων) χωρίς η ελαστική σχεδίαση να μπορεί να παρακολουθήσει τον πραγματικό μηχανισμό αστοχίας. Σε αντιδιαστολή, οι ανελαστικές μη γραμμικές αναλύσεις περιλαμβάνουν στους υπολογισμούς την επιρροή της μειωμένης αντίστασης της κατασκευής στην μετελαστική περιοχή. Η επιβολή των φορτίων γίνεται σταδιακά (προσαυξητικά) και κάθε επόμενο βήμα φόρτισης υπολογίζει την απόκριση βάσει της μειωμένης αντοχής λόγω των διαρροών του προηγούμενου βήματος και της επίδρασης τους επί των λοιπών χαρακτηριστικών (περίοδο, δυσκαμψία).

Για την αποτίμηση της ανελαστικής συμπεριφοράς των κατασκευών χρησιμοποιούνται διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι που μετατρέπουν το ανελαστικό δυναμικό πρόβλημα σε ανελαστικό στατικό καθώς οι δυναμικές μη γραμμικές αναλύσεις είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες και χρονοβόρες. Το HAZUS ενσωματώνει στη μεθοδολογία του μια εξ' αυτών-την μέθοδο φασματικής ικανότητας (capacity spectrum response), δεν εκτελεί το ίδιο όμως καμία ανελαστική ανάλυση. Οι αναλύσεις γίνονται με χρήση κατάλληλων λογισμικών και το HAZUS χρησιμοποιεί απλά τα αποτελέσματά τους.

2.3.4.2 Καμπύλες τρωτότητας

Όπως επισημαίνεται στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η τρωτότητα μιας κατασκευής αντιστοιχεί ποιοτικά στο πηλίκο της διαφοράς απαιτούμενης και διατιθέμενης αντισεισμικότητας ως προς την απαιτούμενη αντισεισμικότητα. Η ποιοτική αυτή έκφραση σύμφωνα με την FEMA εκφράζεται ποσοτικά με τις καμπύλες τρωτότητας. Οι ζημιές των κτιρίων ακολουθούν συνάρτηση λογαριθμοκανονικής μορφής η οποία συνδέει την πιθανότητα η κατασκευή να φτάσει ή να υπερβεί μια στάθμη βλάβης, με παράμετρο της σεισμικής απαίτησης˙ στην προκείμενη την φασματική μετατόπιση (Sd).

Λογαριθμοκανονικά κατανέμεται μια τυχαία μεταβλητή της οποίας οι λογάριθμοι ακολουθούν κανονική κατανομή. Έστω μεταβλητή,

$$Y=e^{X} \tag{2.28}$$

για την οποία είναι γνωστό ότι το

$$X=\ln Y \tag{2.29}$$

ακολουθεί κανονική κατανομή

$$f_x(X)=\frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2\right], -\infty \le x \le \infty \tag{2.30}$$

Αντικαθιστώντας, παίρνουμε

$$f_y(Y)=\frac{1}{y\sigma_x\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln y-m_x}{\sigma_x}\right)^2\right], y>0 \tag{2.31}$$

Η διάμεση τιμή (median) $\breve{m}$ μιας τυχαίας μεταβλητής ορίζεται ως η τιμή για την οποία το σύνολο των τιμών συγκεντρώνει πιθανότητα $\frac{1}{2}$ να είναι μικρότερη από την διάμεση τιμή, $F(\breve{m})=0.5$. Άρα όταν $X=\ln Y$, $0.5=P[Y \le \breve{m}_y]=P[X \le \ln\breve{m}_y]=Fx(\ln\breve{m}_y)$ και $\ln\breve{m}_y=\breve{m}_x$. Αντικαθιστώντας το $\ln y-m_x \Rightarrow \ln y-\breve{m}_x=\ln y-\breve{m}_y=\ln\frac{y}{\breve{m}_y}$ στην εξίσωση (2.28) παίρνουμε τελικά την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμοκανονικής

$$f_y(Y)=\frac{1}{y\sigma_{\ln Y}\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{1}{\sigma_{\ln Y}}\ln\left(\frac{y}{\breve{m}_y}\right)^2\right]\right\} \tag{2.32}$$

Κάθε στάθμη βλάβης της κατασκευής καθορίζεται από τη διάμεση τιμή της φασματικής μετακίνησης ($\bar{S}_{d,ds}$) και από την τυπική της απόκλιση. Η πιθανότητα βλάβης της κατασκευής δίνεται από την συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της λογαριθμοκανονικής κατανομής:

$$P\left[ds/S_d\right]=\Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}}\ln\left(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}}\right)\right] \tag{2.33}$$

Όπου ds η κάθε στάθμη βλάβης

$\bar{S}_{d,ds}$ η διάμεση τιμή της φασματικής μετατόπισης

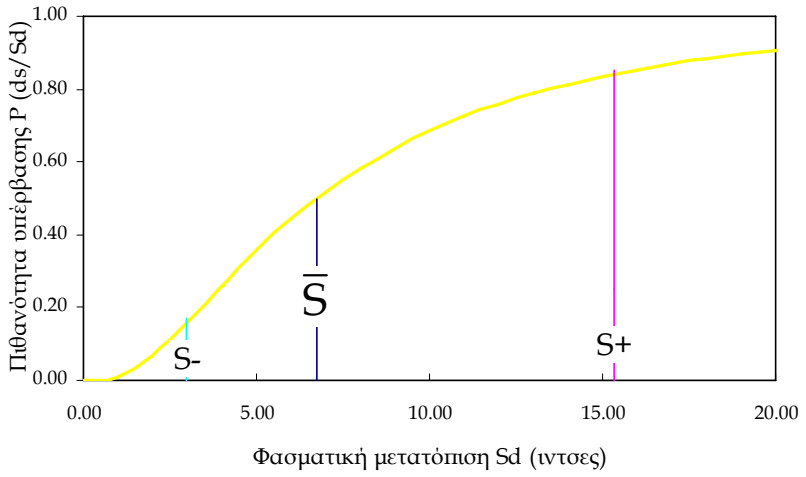
β_{ds} η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της φασματικής μετακίνησης για στάθμη βλάβης ds ($\sigma_{\ln\left(S_d\right)}$)

Φ η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της κανονικής κατανομής

Στο σχήμα (2-4) παρουσιάζεται μια τυπική μορφή καμπύλης τρωτότητας. Σημειώνονται η διάμεση τιμή (6.75) καθώς και ένα ζεύγος τιμών ± 1 τυπικής απόκλισης (0.82) της καμπύλης (βλ. πίνακα .

$$\{\Phi(-1)\} : S_d^- = S_d e^{-\beta} = 2.97$$
$$\{\Phi(0)\} : S_d = S_d e^{0} = 6.75$$
$$\{\Phi(+1)\} : S_d^+ = S_d e^{+\beta} = 15.33$$

Πίνακας 2-9



Σχήμα 2-4: Τυπική μορφή καμπύλης τρωτότητας *(FEMA, 1999)*

2.3.5 Εκτίμηση δομικών βλαβών

Το ελαστικό φάσμα απαίτησης, απόσβεσης 5%, που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.3.4 εφαρμόζεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι κατασκευές παραμένουν στην ελαστική τους περιοχή καθόλη την διάρκεια της δόνησης και έχουν ελαστική απόσβεση ίση με 5%. Οι περιπτώσεις αυτές είναι ελάχιστες καθώς πολλές κατασκευές διαθέτουν ελαστικό συντελεστή απόσβεσης διάφορο του 5%, κυρίως όμως, κατά την ανακύκλιση των σεισμικών δυνάμεων αναπτύσσουν ποσοστά απόσβεσης μεγαλύτερα από τα ελαστικά. Αυτό οφείλεται στην απόσβεση (απορρόφηση) της σεισμικής ενέργειας που προκαλούν οι μετελαστικές-μόνιμες παραμορφώσεις της κατασκευής με αποτέλεσμα η απόκριση της να εξαρτάται τελικά από την δρώσα απόσβεση. Η δρώσα απόσβεση είναι το άθροισμα της ελαστικής-ιξώδους και της υστερητικής απόσβεσης και προκειμένου το φάσμα απαίτησης να ίδιας απόσβεσης με την κατασκευή (αντικειμενική αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής), μειώνεται σύμφωνα με συντελεστές που προέκυψαν πειραματικά.

Οι συντελεστές που χρησιμοποιεί το λογισμικό για μείωση του φάσματος απαίτησης είναι κατάλληλοι για όλες της κατηγορίες εδάφους και διαφέρουν για την περιοχή του

φάσματος σταθερής φασματικής επιτάχυνσης ($S_{a0.3}$) και σταθερής φασματικής ταχύτητας ($S_{a1.0}$). Οι συντελεστές εκτιμούν την επιρροή της δρώσας απόσβεσης και δίνονται από τις:

$$R_A = 2.12/\left(3.21\text{-}0.68\ln(B_{eff})\right) \tag{2.34}$$

$$R_V = 1.65/\left(2.31\text{-}0.41\ln(B_{eff})\right) \tag{2.35}$$

ο R_A μειώνει το φάσμα στην περιοχή του $S_{a0.3}$ και ο R_B στην περιοχή του $S_{a1.0}$ ενώ η υστερητική απόσβεση δίνεται από την

$$B_{eff} = B_E + B_H \tag{2.36}$$

Η ελαστική απόσβεση B_E μεταβάλλεται με την μορφή και το υλικό της κατασκευής ($\zeta = \frac{C}{2\sqrt{km}}$) . Η υστερητική απόσβεση B_H είναι ανεξάρτητη της συχνότητας διέγερσης, εξαρτάται όμως από το πλάτος της απόκρισης της κατασκευής ˙ κατά τον κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης οι πλαστικές παραμορφώσεις της κατασκευής απορροφούν ποσοστό της σεισμικής ενέργειας (υστερητική ενέργεια). Ο βρόγχος υστέρησης της κατασκευής παρουσιάζεται στο σχήμα (2-9) και η B_H υπολογίζεται από:

$$B_H = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{So}} \tag{2.37}$$

Όπου E_D ενέργεια υστέρησης (εμβαδό βρόγχου υστέρησης)

E_{So} ελαστική ενέργεια

$$E_D = 4(A_y.D_u - D_y.A_u) \tag{2.38}$$

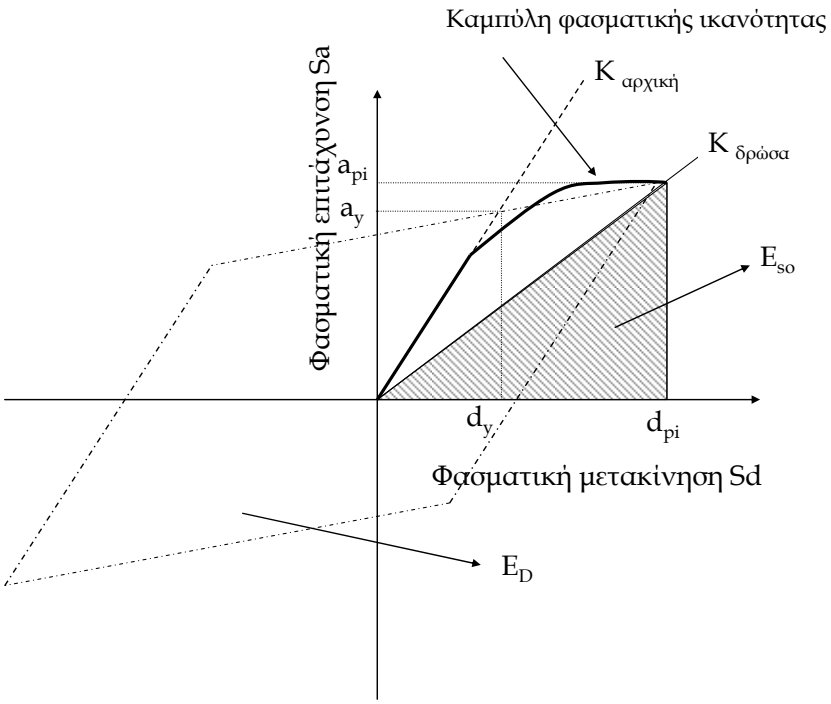
$$E_{So} = \frac{D_u.A_u}{2} \tag{2.39}$$

και $d_y a_y, d_u a_u$ μετακίνηση και επιτάχυνση διαρροής και αστοχίας αντίστοιχα .

Η υστερητική απόσβεση υπολογίζεται τελικά

$$B_H = \frac{63.7(A_y.D_u - D_y.A_u)}{D_y A_y}.K \tag{2.40}$$

εκφρασμένη ως ποσοστό επί τοις εκατό. Το K είναι ο συντελεστής αναμενόμενης ανελαστικής συμπεριφοράς του κτιρίου συναρτήσει της διάρκειας διέγερσης. Οι σεισμικές διεγέρσεις διαχωρίζονται σε ασθενείς (short, M≤5,5) σφοδρές ή διαρκείας (long, M≥ 7,5) και μέτριες στα ενδιάμεσα μεγέθη. Οι τιμές του συντελεστή K δίνονται στο παράρτημα Β (βλ. πίνακα Β-1).



Σχήμα 2-5: Βρόχος υστέρησης της κατασκευής

Οι τιμές του μειωμένου φάσματος δίνονται από:

$0 \le T < T_{AV}$ $$S_{a0.3}[T]=S_{a0.3}\Big/R_A[B_{eff}]=S_{a0.3}\Big/\left(2.12\Big/\left(3.21-0.68\ln\left(B_{eff}\right)\right)\right) \quad (2.41)$$

$T_{AV} \le T < T_{VD}$ $$S_{a1.0}[T]=\left(\frac{S_{a1.0}}{T}\right)\Big/R_V[B_{eff}]=\left(\frac{S_{a1.0}}{T}\right)\Big/\left(1.65\Big/\left(2.31-0.41\ln\left(B_{eff}\right)\right)\right) \quad (2.42)$$

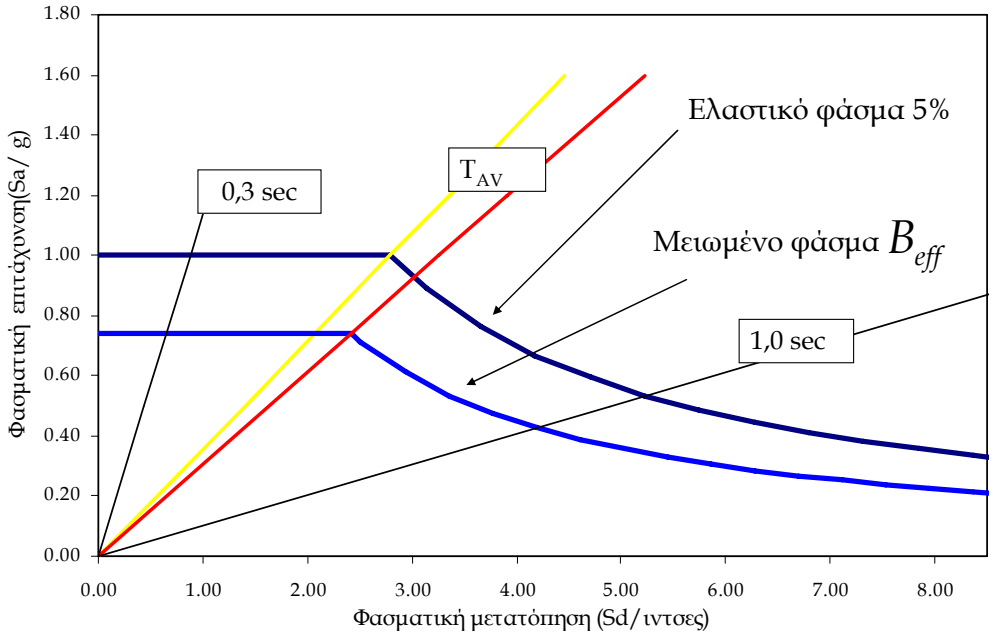
$T > T_{VD}$ $$S_A[T]=\left(\frac{S_{a1.0}\times T_{VD}}{T^2}\right)\Big/R_V[B_{TVD}]=\left(\frac{S_{a1.0}\times T_{VD}}{T^2}\right)\Big/\left(1.65\Big/\left(2.31-0.41\ln\left(B_{TVD}\right)\right)\right) \quad (2.43)$$

και η χαρακτηριστική τιμή περιόδου μετάβασης από την περιοχή της σταθερής φασματικής επιτάχυνσης στην περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας

$$T_{AVB}=T_{AVi}\left(\frac{R_A\left[B_{TAVB}\right]}{R_V\left[B_{TAVB}\right]}\right) \quad (2.44)$$

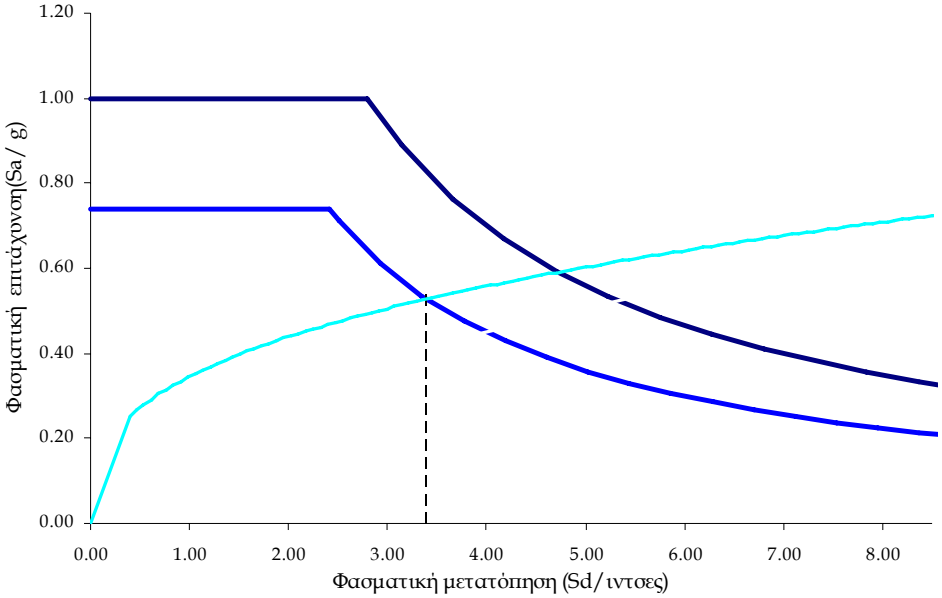
$$T_{AVB}=T_{AVi}\left(\frac{2.12\Big/\left(3.21-0.68\ln\left(B_{TAVB}\right)\right)}{1.65\Big/\left(2.31-0.41\ln\left(B_{TAVB}\right)\right)}\right)$$

Η επιρροή της δρώσας απόσβεσης στο φάσμα απαίτησης παρουσιάζεται στο σχήμα (2-10). Με δεδομένο το μειωμένο φάσμα σεισμικής απαίτησης του σεναρίου (οι συντελεστές μείωσης φάσματος διαφέρουν για κάθε κατηγορία κτιρίου) υπολογίζεται η μέγιστη απαιτούμενη μετακίνηση της κατασκευής από το σημείο τομής του φάσματος και της καμπύλης φασματικής ικανότητας της κατασκευής (βλ. σχήμα 2-5).

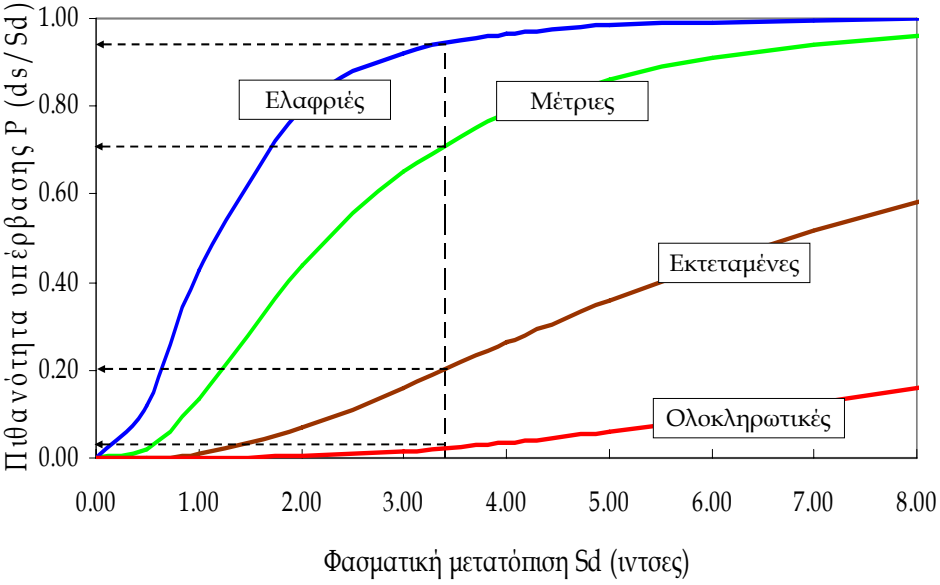


Σχήμα 2-6: Μειωμένο φάσμα απόκρισης

Στην συνέχεια εξετάζεται η βλάβη που θα υποστεί η κατασκευή από την επιβαλλόμενη μετακίνηση με τη βοήθεια των καμπύλων τρωτότητας (βλ. σχήμα 2-6,2-7). Οι καμπύλες τρωτότητας δίνουν την πιθανότητα, για την δεδομένη μετακίνηση, η κατασκευή να φτάσει ή να ξεπεράσει κάθε στάθμη βλάβης. Στην περίπτωση που οι καμπύλες του φάσματος απαίτησης και της ικανότητας της κατασκευής δεν τέμνονται, το κτίριο θεωρητικά καταρρέει. Το αποτέλεσμα εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό επί του συνόλου των κάθε τύπου κτιρίων που θα υποστούν μια δεδομένη στάθμη βλάβης (βλ. σχήμα 2-8). Το ποσοστό αυτό μεταφράζεται σε οικονομικές (δομικές) απώλειες δεδομένου του συνολικού εμβαδού των κτιρίων και του κόστους αποκατάστασής τους.



Σχήμα 2-74: Εκτίμηση απαιτούμενης μετακίνησης της κατασκευής

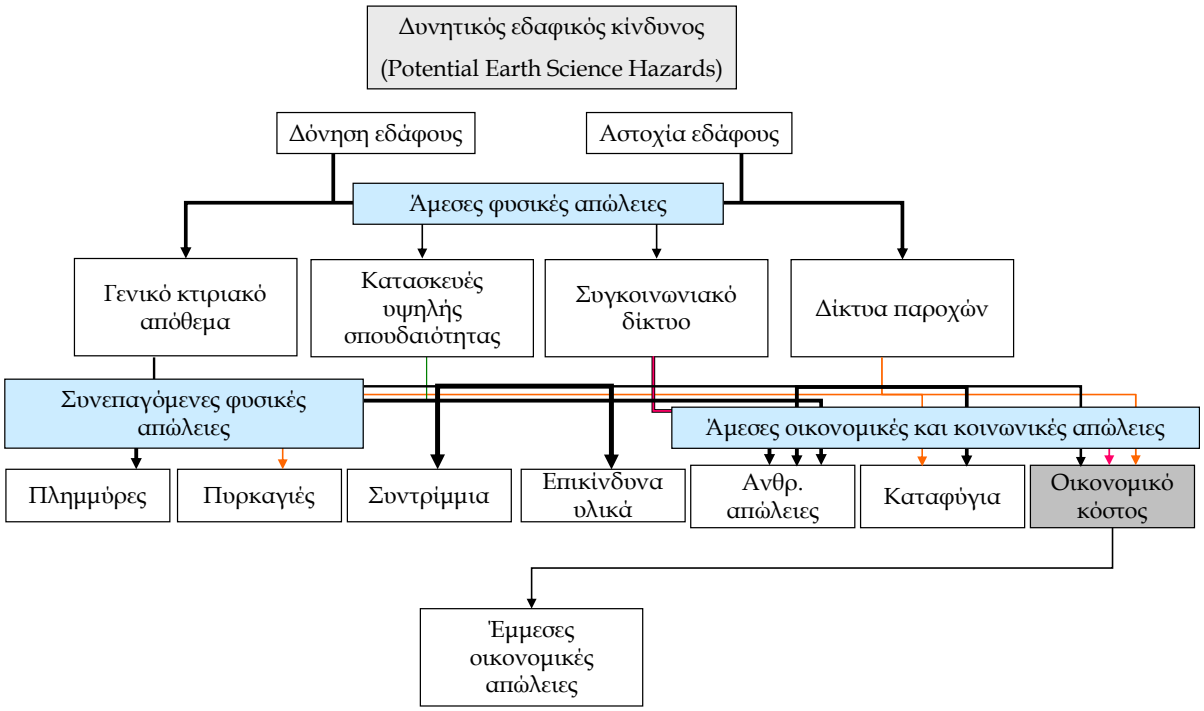


Σχήμα 2-8: Υπολογισμός πιθανοτήτων βλάβης κάθε στάθμης

2.4 Εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης

Οι δυνατότητες του λογισμικού εξασφαλίζουν στον χρήστη εκτιμήσεις της ποσοτικής και χωρικής διασποράς πλειάδας σεισμικών απωλειών. Στην παρούσα περιοριζόμαστε αποκλειστικά στις δομικές απώλειες καθώς η εμπλοκή περεταίρω παραμέτρων στην

ανάλυση απαιτεί δεδομένα που δεν είχαμε στην διάθεσή μας κατά την διάρκεια της. Η διάρθρωση εκτίμησης απωλειών παρουσιάζεται στο σχήμα (2-14).



Σχήμα 2-5:Σχέσεις μεταξύ εδαφικού κινδύνου και απωλειών κατά την μεθοδολογία του λογισμικού (FEMA, 1999)

Οι δομικές οικονομικές απώλειες και κατ' επέκταση η σεισμική διακινδύνευση για τα συνήθη κτίρια υπολογίζονται από την σχέση

$$CS_{ds,i} = BRC_i \sum_{i=1}^{33} PMBTSTR_{ds,i} * RCS_{ds,i} * FA_{ij} \tag{2.45}$$

όπου	$CS_{ds,i}$	το οικονομικό δομικό κόστος για στάθμη βλάβης i και κατηγορία χρήσης
	BRC_i	το κόστος αποκατάστασης για την κατηγορία χρήσης ανά μονάδα εμβαδού
		η πιθανότητα δομικής στάθμης βλάβης για κάθε κατηγορία χρήσης j
	$PMBTSTR_{ds,i}$	ο λόγος του δομικού κόστους επί του συνόλου κόστους αποκατάστασης
	$RCS_{ds,i}$	το εμβαδό της κατηγορίας χρήσης των κτιρίων
	FA_{ij}	

Βάσει της μεθόδου που ενσωματώνεται στο HAZUS έγινε προσπάθεια εκτίμησης σεισμικών απωλειών σε τμήμα του Δ. Κηφισιάς.

3. Προσομοίωση περιοχής μελέτης

3.1 Εισαγωγικά

Αρχικός προσανατολισμός κατά τα πρώτα βήματα της εργασίας ήταν η μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης απογεγραμμένης περιοχής της Ελλάδας μέσω της εισαγωγής αυτούσιων των αρχείων της στο HAZUS, όπως αυτά ήταν διαθέσιμα από τους αρμόδιους φορείς (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος-ΕΣΥΕ και Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος- ΤΕΕ). Όπως προέκυψε στην συνέχεια, κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο καθότι το HAZUS δεν προνοεί ούτε υποστηρίζει κάποια επιλογή εισαγωγής[6] νέας γεωγραφικής περιοχής. Το ενδιαφέρον συνεπώς μετατοπίστηκε στην λογική της τροποποίησης μιας τυχαίας περιοχής των ΗΠΑ κατά τρόπο που να προσομοιώσει την περιοχή της μελέτης.

Είναι σημαντικό για τον χρήστη του προγράμματος να αντιληφθεί πως το HAZUS είναι απλώς ένα εργαλείο υπολογισμού σεισμικών απωλειών που χρησιμοποιεί αποκλειστικά τα αριθμητικά δεδομένα που προσκομίζονται για την εκτέλεση των αλγορίθμων. Το λογισμικό GIS που χρησιμοποιεί για υπόβαθρο αποτελεί απλά την αποδοτικότερη λύση για εισαγωγή δεδομένων η οποία συνάδει με την σύγχρονη τακτική που ακολουθείται για την τήρηση αρχείων ευρύτερων γεωγραφικών περιοχών. Η εικόνα (χάρτης) της εξεταζόμενης περιοχής που βλέπει ο χρήστης στην επιφάνεια εργασίας του, δεν προσφέρει τίποτα περισσότερο από μια αντίληψη των γεωγραφικών συνόρων της περιοχής (οπτικοποίηση). Αυτό που ενδιαφέρει το HAZUS είναι η (αριθμητική) πληροφορία που συνοδεύει τον χάρτη υπό μορφή πινάκων. Το στοιχείο τούτο διευκολύνει την απόζευξη γεωγραφικής θέσης και δεδομένων περιοχής και επιτρέπει την εικονική εφαρμογή του λογισμικού σε περιοχή εκτός των γεωγραφικών συνόρων για τα οποία έχει σχεδιαστεί. Περιοριστικό ωστόσο παράγοντα συνιστούν κάποιες από τις συναρτήσεις των αλγορίθμων που δεν ανταποκρίνονται στην ελληνική (εν προκειμένω) πραγματικότητα και δεν τροποποιούνται.

Κατά τις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν έπρεπε να γίνει προσαρμογή στη μορφή και στη δομή των δεδομένων όπως αυτά γίνονται δεκτά από το πρόγραμμα. Προκειμένου να υπερκεραστεί η ασυμβατότητα των δεδομένων της περιοχής μελέτης που είχαμε στην διάθεσή μας με τη μορφή που εισάγονται στο λογισμικό, χρειάστηκε να γίνουν αρκετές παραδοχές, σε κάποια σημεία άνευ τον περιορισμό ενδείξεων, με αποτέλεσμα την απόκλιση από τις πραγματικές συνθήκες της περιοχής (ότι αφορά τα απογραφικά δεδομένα).

[6] Με την επιλογή «δημιουργία νέας περιοχής (create new region)» στο παράθυρο εκκίνησης του προγράμματος εννοείται στην ουσία εισαγωγή περιοχής της αμερικανικής επικράτειας από την βάση δεδομένων του (χάρτες και δεδομένα).

3.2 Επιλογή περιοχής μελέτης

Λόγω του μη εφικτού της εισαγωγής αυτούσιας περιοχής στο πρόγραμμα (περιοχής που απογράφηκε λεπτομερώς και διατίθενται χαρτογραφημένα τα πλήρη αρχεία της πχ. Τρίπολη), αναζητήθηκε περιοχή εντός Αττικής όπου εάν παρίστατο ανάγκη θα ήταν εύκολη η επί τόπου μετάβαση και συλλογή των ανάλογων πληροφοριών. Επιλέχθηκε τμήμα του Δήμου Κηφισιάς (Κάτω Κηφισιά) που επλήγη επίσης εκτεταμένα από τον σεισμό της Αθήνας (Πάρνηθα) του 99'. Η περιοχή παρουσιάζεται στο σχήμα (3-1)-οριοθετείται από την κόκκινη γραμμή ˙ βρίσκεται παρά την κοίτη του ποταμού Κηφισού, στα αριστερά της ανόδου της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας, κοντά στην κοινότητα της Νέας Ερυθραίας. Οι σοβαρές απώλειες που καταγράφηκαν στον σεισμό του 99' μπορούν να αποτελέσουν ένα

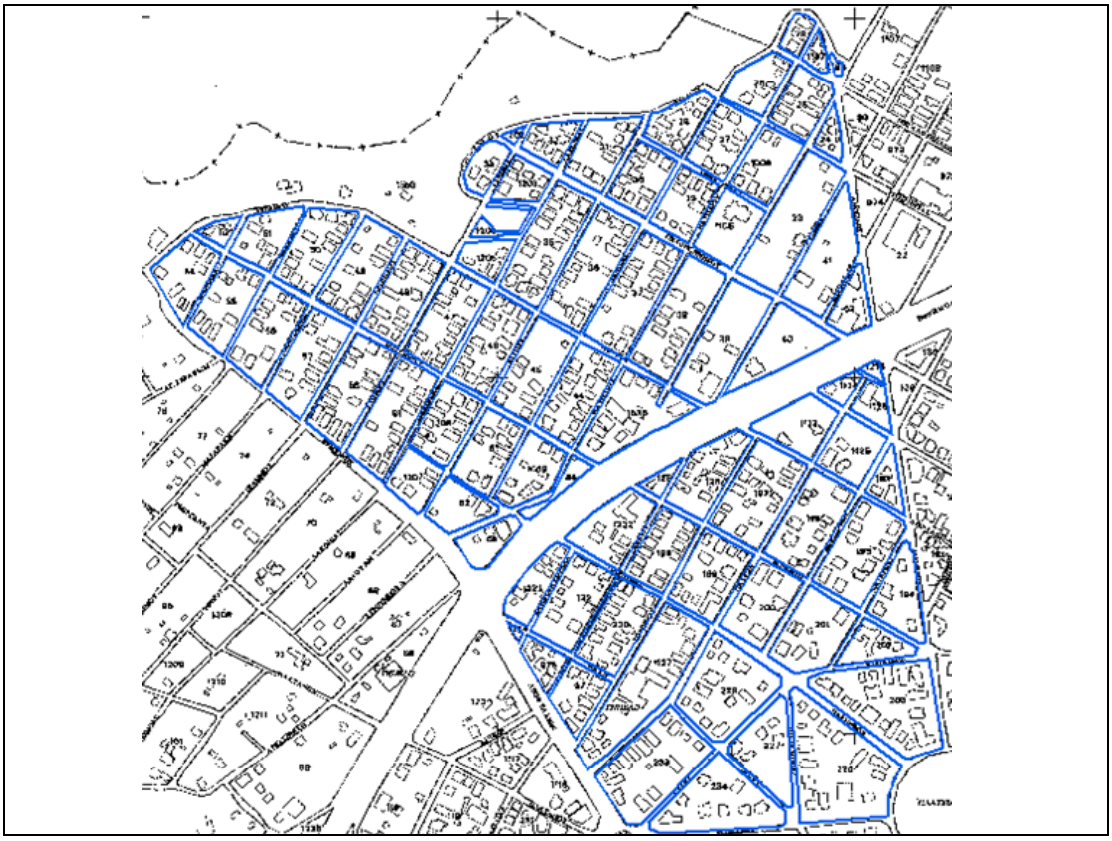
*Σχήμα 3-1: Περιοχή μελέτης (πηγή: Google Earth::*http://earth.google.com **)**

σημείο ελέγχου των αποτελεσμάτων και της αποδοτικότητας της μεθόδου του προγράμματος μέσω επαλήθευσης, για σεισμικό σενάριο όμοιο με αυτό που διήγειρε την εν λόγω περιοχή. Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής όμως, για λόγους που θα σχολιαστούν στην συνέχεια, δεν θεωρείται ότι προσέγγισε κατά πολύ τις συνθήκες εκείνες. Εντούτοις, η τακτική της σύγκρισης και της επαλήθευσης των αποτελεσμάτων είναι συνήθης σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

3.3 Δεδομένα περιοχής μελέτης

Οι ελάχιστες απαιτήσεις του λογισμικού για εκπόνηση σεισμικών σεναρίων παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.2.1 (βλ. πίνακα 2-1). Στην διάθεσή μας είχαμε τα απογραφικά δεδομένα (ΕΣΥΕ 2001) της περιοχής μελέτης από τα οποία έπρεπε να απομονωθούν αυτά που ενδιαφέρουν μια μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης κτιριακού αποθέματος. Τα στοιχεία αυτά είναι:

1. Δημογραφικά
2. Αριθμός κτιρίων και περίοδος κατασκευής
3. Δομικοί τύποι κτιρίων
4. Κατηγορίες χρήσης κτιρίων
5. Συνολικό εμβαδό ορόφων κτιρίων
6. Δομική αξία κτιρίων



Σχήμα 3-2: Τοπογραφικό της περιοχή μελέτης (ΕΣΥΕ)

Τα δεδομένα διατίθενται από την ΕΣΥΕ σε μορφή ψηφιακών πινάκων (excel) και αντιστοιχούν στο σύνολο της επικράτειας. Με την βοήθεια του τοπογραφικού της περιοχής (βλ. σχήμα 2-19) καταγράφηκαν οι κωδικοί αριθμοί των οικοδομικών τετραγώνων και στη συνέχεια συγκεντρώθηκε η απαραίτητη πληροφορία. Για την περιοχή έχουμε συγκεντρωτικά 2531 μόνιμους κατοίκους και 650 κτίρια σε ένα σύνολο 82 οικοδομικών τετραγώνων.

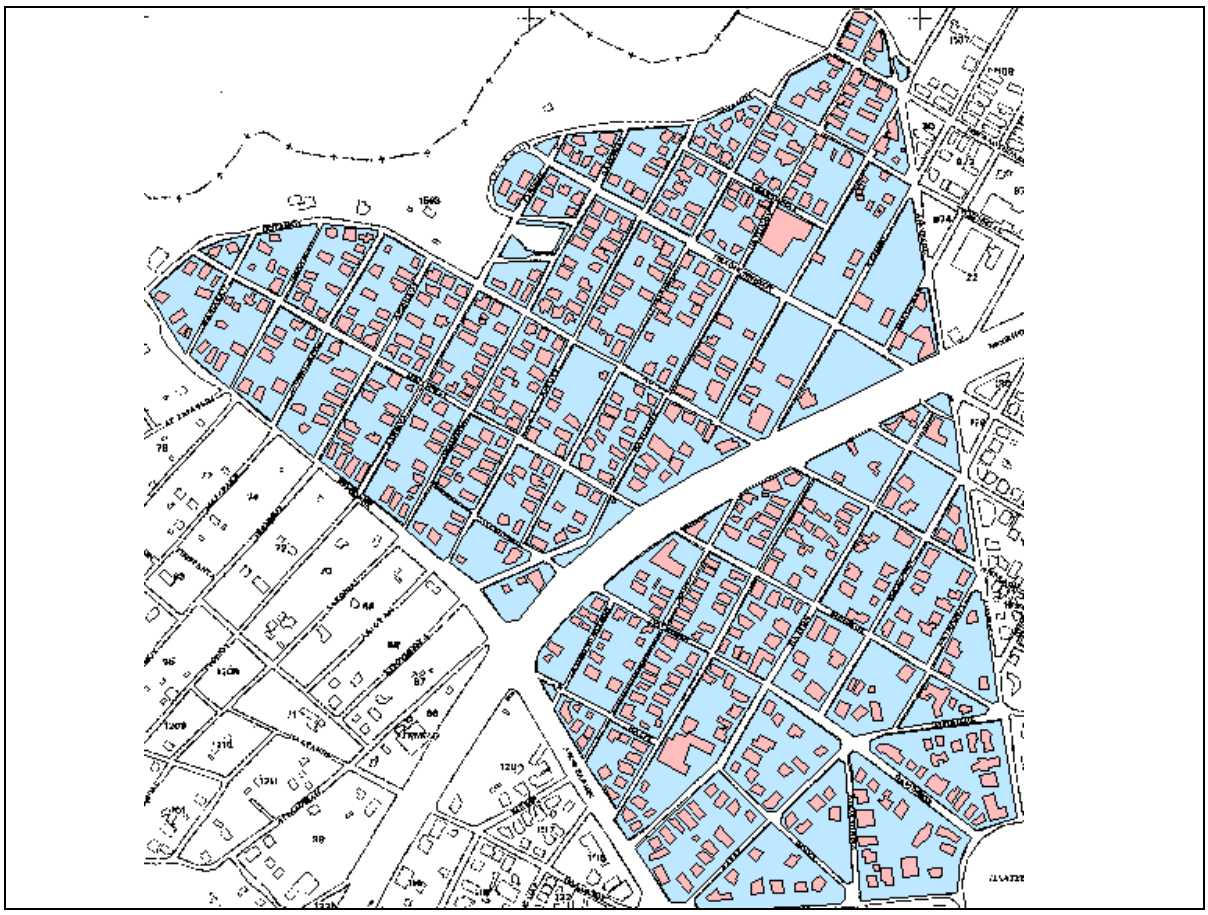
Επισημαίνεται πως από τα διαθέσιμα αρχεία υπολείπονταν δεδομένα (από κάθε κατηγορία απουσίαζαν πληροφορίες για διαφορετικά οικοδομικά τετράγωνα) γεγονός που υποβαθμίζει την ακρίβεια της μελέτης. Ωστόσο, το σημείο αυτό παρακάμπτεται καθώς η αποτίμηση των απωλειών (ειδικά στην μεθοδολογία του HAZUS) γίνεται για ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές- σημαντικά μεγαλύτερες από μερικά οικοδομικά τετράγωνα (μελέτη σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου για μεγάλες περιφέρειες θα ήταν μάλλον παραλογισμός)- οπότε ενδεχόμενες διαρροές στο σύνολο των στοιχείων αποκτούν λιγότερη σημασία.

Πίνακας 3-1:Τα χαρακτηριστικά των κτιρίων της περιοχής συγκεντρωτικά

Αριθμός ορόφων	
Μονώροφα	27.54%
Διώροφα	43.54%
Τριώροφα	24.62%
Τετραώροφα-Εξαώροφα	4.15%
Άνω των 7 ορόφων	0.15%
Χρήση	
Οικιστική	92.92%
Εμπορική	6.31%
Βιοτεχνική-Βιομηχανική	0.31%
Εκπαιδευτική	0.46%
Κτίρια ανά τύπο φέροντος οργανισμού	
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	90.31%
Τοιχοποιία (λιθοδομές-οπτοπλινθοδομές)	4.00%
Ξύλο	0.62%
Λοιπά υλικά (θεωρούμενα ως τοιχοποιία)	5.08%
Περίοδοι κατασκευής	
Προ 1960	6.00%
1961-1985	47.38%
1985-1996	25.54%
Μετά 1996	21.08%

Στα αρχεία δεν γινόταν καμία αναφορά (ή κάποια ένδειξη) για το συνολικό εμβαδό των κτιρίων που είχαν απογραφεί. Στην μεθοδολογία της FEMA για παράδειγμα, προτείνεται μια μέση τιμή εμβαδού ανά μονάδα κτιρίου για κάθε κατηγορίας χρήσης (πχ. μονοκατοικία: 140 m^2), που ανταποκρίνεται στις συνθήκες μιας γεωγραφικής περιφέρειας.

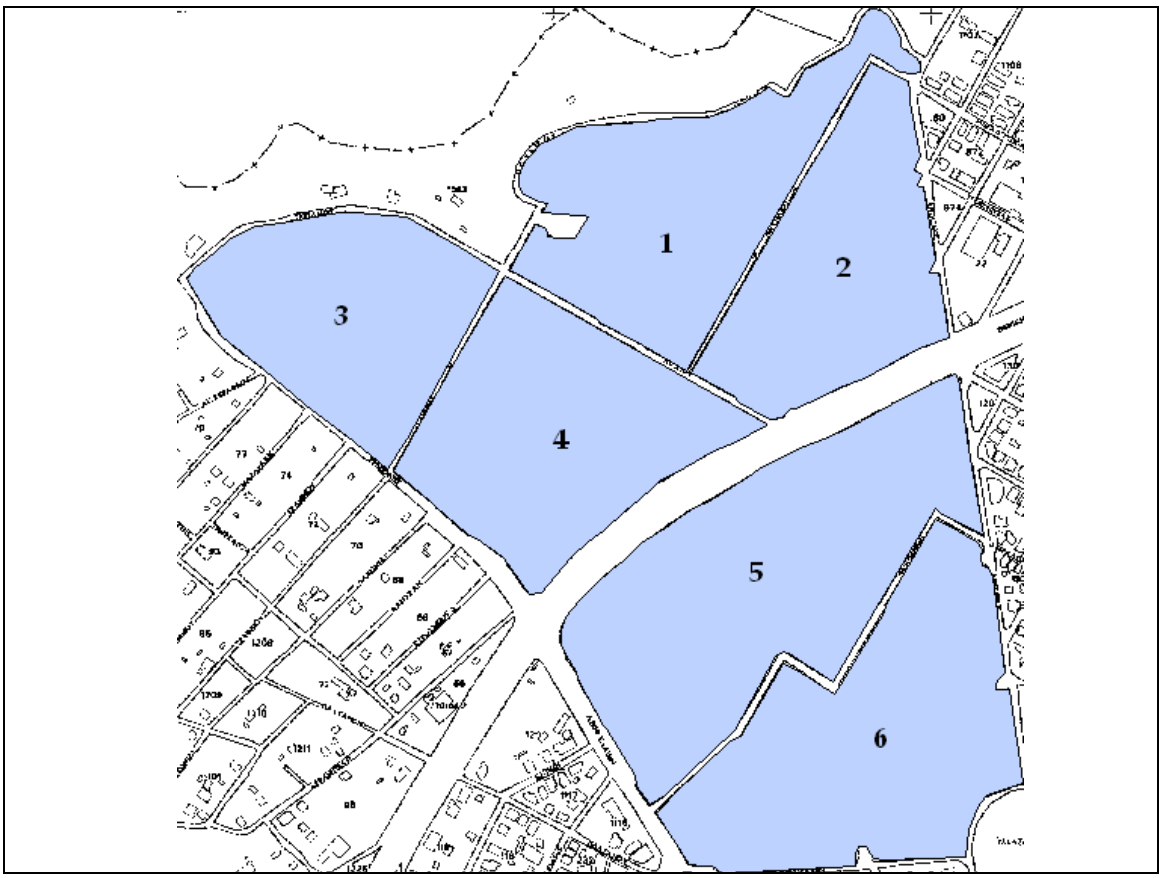
Για να εκτιμηθεί το συνολικό εμβαδό των κτιρίων του τμήματος της Κηφισιάς, σαρώθηκε ψηφιακά το τοπογραφικό προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό εμβαδό κάλυψης της περιοχής ˙ υπολογίστηκε στα 126348.30 m^2 . Με βάση την τιμή αυτή στην συνέχεια εξάχθηκε το συνολικό εμβαδό των ορόφων των κτιρίων με την μέθοδο του μέσου αριθμού ορόφων.



Σχήμα 3-3: Εμβαδό κάλυψης περιοχής μελέτης

3.3.1 Προσαρμογή στη δομή του προγράμματος

Όπως σχολιάζεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, το HAZUS χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο τρόπο διαχωρισμού και ταξινόμησης των δεδομένων του (βλ. πίνακες 2-3, 2-4). Επιπλέον υποδιαιρεί τις γεωγραφικές περιφέρειες στη μοναδιαία έκταση γης, το απογραφικό διαμέρισμα (census tract), που θεωρητικά φιλοξενεί 2500~8000 χιλιάδες κατοίκους αναλόγως πυκνότητας πληθυσμού. Αναπόφευκτα η κατηγοριοποίηση αυτή έπρεπε να γίνει και για την περιοχή μελέτης προκειμένου τα στοιχεία να εισαχθούν στο λογισμικό. Η έκταση της εξεταζόμενης περιοχής αντιστοιχούσε συνολικά σε λιγότερο από 2 μέσου μεγέθους χωρικά διαμερίσματα πυκνοκατοικημένης περιοχής. Παρόλα αυτά, επιλέχθηκε η περιοχή να διαχωριστεί σε 6 τέτοια διαμερίσματα ούτως ώστε να διευρυνθούν τα περιθώρια πειραματισμού και δοκιμών. Ο διαχωρισμός της περιοχής απεικονίζεται στο σχήμα (3-21) και σε κάθε τμήμα-πολύγωνο αντιστοιχεί αριθμός οικοδομικών τετραγώνων τα δεδομένα των οποίων συγκεντρώθηκαν στους πίνακες (3-3), (3-4).



Σχήμα 3-4: Διαχωρισμός της περιοχής σε census tracts

3.3.1.1 Απογραφικά στοιχεία

Η ΕΣΥΕ διατηρεί τα στατιστικά αρχεία των απογραφών με την μορφή που παρουσιάζονται στους πίνακες (3-3), (3-4). Για την εισαγωγή των στοιχείων και την ταξινόμησή τους σύμφωνα με τις κατηγορίες του προγράμματος έγιναν αρκετές παραδοχές. Όσον αφορά τις κατηγορίες χρήσεις των κτιρίων, τα κτίρια που διέθεταν μικτή χρήση θεωρήθηκε ότι είναι άνω των τριών ορόφων και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την κύρια τους χρήση (βλ. πίνακα 3-3). Ως προς τα δεδομένα του πίνακα (3-4), όσων κτιρίων η περίοδος κατασκευής δεν δηλώθηκε θεωρήθηκε πως κατασκευάστηκαν πριν το 1960 ενώ αυτονόητα τα υπό κατασκευή μετά το 1996. Επιπλέον, για τα κτίρια των οποίων το υλικό κατασκευής δεν δηλώθηκε, θεωρήθηκαν τοιχοποιίες μειωμένης ποιότητας κατασκευής (τα κτίρια αυτά είναι μάλλον παραπήγματα).

Η έκπληξη ήταν πως παρά την πρόσφατη απογραφή, από τα στοιχεία που συνελέγησαν και καταγράφηκαν, δεν διακρίνεται κατά πόσο κτίριο συγκεκριμένου ύψους είναι κατασκευασμένο από συγκεκριμένο υλικό αλλά ούτε και η περίοδος κατασκευής του. Αυτό που παρατίθεται στους πίνακες είναι απλώς τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα κάθε υποκατηγορίας ενός οικοδομικού τετραγώνου οπότε προκειμένου να προκύψουν τα

δεδομένα με τον επιθυμητό διαχωρισμό προχωρήσαμε σε ανασύνθεση των στοιχείων της περιοχής.

Μια ιδιαιτερότητα της μεθοδολογίας του προγράμματος είναι η σύνδεση της κατηγορίας χρήσης και του υλικού κατασκευής (occupancy mapping). Όπως σημειώνεται νωρίτερα, το ύψος των σεισμικών-οικονομικών απωλειών του κτιρίου συνδέεται περισσότερο με την χρήση παρά με τον δομικό του τύπου (σε κτίρια όμοιου δομικού τύπου, οι βλάβες αυτού με τον ακριβότερο εξοπλισμό επιφέρουν πολλαπλάσιο οικονομικό κόστος). Για τον λόγο αυτό το λογισμικό διαχωρίζει τον αριθμό των κτιρίων μιας περιοχής που ο χρήστης εισάγει, σύμφωνα με ποσοστώσεις για το υλικό κατασκευής των κτιρίων κάθε κατηγορίας χρήσης. Ενδεικτικά για τυχαία γεωγραφική περιφέρεια, το σύνολο των κτιρίων οικιστικής χρήσης, είναι δομημένο κατά 99% από ξύλο και το υπόλοιπο 1% από τοιχοποιία.

Κατ' αντιστοιχίαν του πιο πάνω διαχωρισμού έγιναν οι εξής παραδοχές για τα κτίρια της εξεταζόμενης περιοχής που οδήγησαν στην μόρφωση των πινάκων (3-5) και (3-6) (για συμβολισμό βλ. πίνακα 2-3). Η κατηγορία RES (residential) αντιπροσωπεύει τις οικίες, η COM1 (commercial) τα καταστήματα-γραφεία, η COM3 τα κτίρια που καταγράφηκαν ως λοιπών χρήσεων, το EDU1 (education) σχολεία και το IND2 (industrial) εργοστάσια-εργαστήρια.

Πίνακας 3-2: Σχέσεις κατηγορίας χρήσης και δομικού τύπου κτιρίου

RES1	Μονώροφα
RES3A	Διώροφα
RES3B	Τριώροφα
RES3C	Τετραώροφα-Εξαώροφα
RES3D	Άνω των 7 ορόφων
COM1	Μονώροφα
COM3	Τριώροφα
IND2	Διώροφα
EDU1	Διώροφα

Πίνακας 3-3: Χρήσεις ή προορισμός χρήσεων κτιρίων (αρχεία ΕΣΥΕ)

Census Tract	Σύνολο κτιρίων	Αποκλειστική χρήση						Μικτή χρήση														
									Κύρια							Δευτερεύουσα						
		Σύνολο κτιρίων αποκλειστικής χρήσης	Κατοικίες	Εργοστάσια Εργαστήρια	Σχολικά κτίρια	Καταστήματα Γραφεία	Άλλες χρήσεις	Σύνολο κτιρίων μικτής χρήσης	Κατοικίες	Εκκλησίες Μοναστήρια	Ξενοδοχεία	Εργοστάσια Εργαστήρια	Σχολικά κτίρια	Καταστήματα Γραφεία	Άλλες χρήσεις	Κατοικίες	Εκκλησίες Μοναστήρια	Ξενοδοχεία	Εργοστάσια Εργαστήρια	Σχολικά κτίρια	Καταστήματα Γραφεία	Άλλες χρήσεις
1	125	123	123	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
2	73	71	69	0	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
3	95	95	94	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	88	86	86	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
5	160	146	128	1	2	7	8	14	7	0	0	0	0	4	3	7	0	0	0	0	7	0
6	109	105	92	0	0	2	11	4	1	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	1	0

*CT: Census Tract

Πίνακας 3-4: Κτίρια κατά αριθμό ορόφων, χρονική περίοδο κατασκευής ,κύρια υλικά κατασκευής (αρχεία ΕΣΥΕ)

Census Tract	Σύνολο κτιρίων	Όροφοι κτιρίων					Χρονική περίοδος κατασκευής κτιρίου											Κύρια υλικά κατασκευής του κτιρίου						
		Μονόροφα	Αριθμός ορόφων				Προ του 1919	1919 έως 1945	1946 έως 1960	1961 έως 1970	1971 έως 1980	1981 έως 1985	1986 έως 1990	1991 έως 1995	1996 και μετά	Υπό κατασκευή	Δε δηλώθηκε	Μπετόν	Μέταλλο	Ξύλο	Τούβλα - Τσιμεντόλιθοι	Πέτρα	Άλλα υλικά	Δε δηλώθηκε
			1	2	3 - 5	6 και άνω																		
1	125	23	61	38	3	0	0	0	5	13	28	21	19	12	19	8	0	124	0	1	0	0	0	0
2	73	39	23	11	0	0	0	0	0	6	10	3	10	5	33	5	1	43	0	0	0	0	30	0
3	95	13	51	31	0	0	0	0	5	11	28	12	15	6	12	6	0	92	0	1	1	1	0	0
4	88	21	39	25	3	0	0	0	6	20	16	6	13	6	12	9	0	83	0	2	1	0	2	0
5	160	51	70	33	6	0	0	0	15	27	38	17	23	17	13	7	3	143	0	0	13	3	1	0
6	109	32	39	22	15	1	0	0	4	11	24	17	27	13	6	7	0	102	0	0	5	2	0	0

Πίνακας3- 5: Διαχωρισμός των κτιρίων της περιοχής μελέτης κατά κατηγορία χρήσης

CT	Σύνολο	RESI	COMI	INDI	EDUI	RES1I	RES3AI	RES3BI	RES3CI	RES3DI	COM1I	COM3I	IND2I	EDU1I
1	125	124	1	0	0	23	60	38	3	0	0	1	0	0
2	73	70	2	0	1	38	22	10	0	0	1	1	0	1
3	95	94	0	1	0	13	50	31	0	0	0	0	1	0
4	88	88	0	0	0	21	39	25	3	0	0	0	0	0
5	160	135	22	1	2	44	67	18	6	0	7	15	1	2
6	109	93	16	0	0	27	39	11	15	1	5	11	0	0

Πίνακας 3-6: Κατανομή των δομικών τύπων στις κατηγορίες χρήσεις

Κατηγορία χρήσης	**Υλικό κατασκευής κατά κατηγορία χρήσης**	
RES1 RES3A COM1	Τοιχοποιία	10%
	Ο/Σ	89%
	Ξύλο	1%
RES3B COM3	Τοιχοποιία	7%
	Ο/Σ	93%
RES3C RES3D	Ο/Σ	100%
EDU1	Ο/Σ	100%
IND2	Ο/Σ	100%

**Ο/Σ οπλισμένο σκυρόδεμα*

Μετά την ανασύνθεση των στοιχείων της περιοχής και την κατανομή τους σε συμβατή με το λογισμικό μορφή, υπολογίστηκε το συνολικό εμβαδό ορόφων των κτιρίων. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των μέσων αριθμών ορόφων για τον υπολογισμό του εμβαδού δόμησης, από το εμβαδό δομικής κάλυψης αφαιρέθηκε το εμβαδό κάλυψης των δυο βιοτεχνιών και των τριών σχολίων της περιοχής (εντοπίστηκαν και απομονώθηκαν). Οι δυο αυτές κατηγορίες χρήσης αφορούν διώροφα κτίρια και η συμβολή τους στο συνολικό εμβαδό δόμησης μέσω του συντελεστή ορόφων θα ήταν δυσανάλογη (παρά το αυξημένο εμβαδό κάτοψής τους). Μετά την τροποποίηση αυτή, ο μέσος αριθμός ορόφων υπολογίστηκε σε 2,105 και το συνολικό εμβαδό ορόφων της περιοχής 265914,6 m^2. Για εκτίμηση της δομικής τους αξίας θεωρήθηκε η αντιπροσωπευτική τιμή των 1500€/ m^2 για όλες τις κατηγορίες χρήσης (γεγονός που αντικειμενικά δεν ισχύει). Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες (3-7), (3-8).

Πίνακας 3-7: Εμβαδό ορόφων m^2 κτιρίων περιοχής μελέτης

CT	RES1	RES3A	RES3B	RES3C	RES3D	COM1	COM3	IND2	EDU1
1	4362.29	22759.76	21621.77	2844.97	0.00	0.00	590.07	0.00	0.00
2	7207.26	8345.25	5689.94	0.00	0.00	176.12	590.07	0.00	2287.80
3	2465.64	18966.47	17638.81	0.00	0.00	0.00	0.00	743.27	0.00
4	3982.96	14793.84	14224.85	2844.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	8345.25	25415.07	10241.89	5689.94	0.00	1232.82	8851.02	743.27	4575.61
6	5120.95	14793.84	6258.93	14224.85	1327.65	880.59	6490.75	0.00	0.00

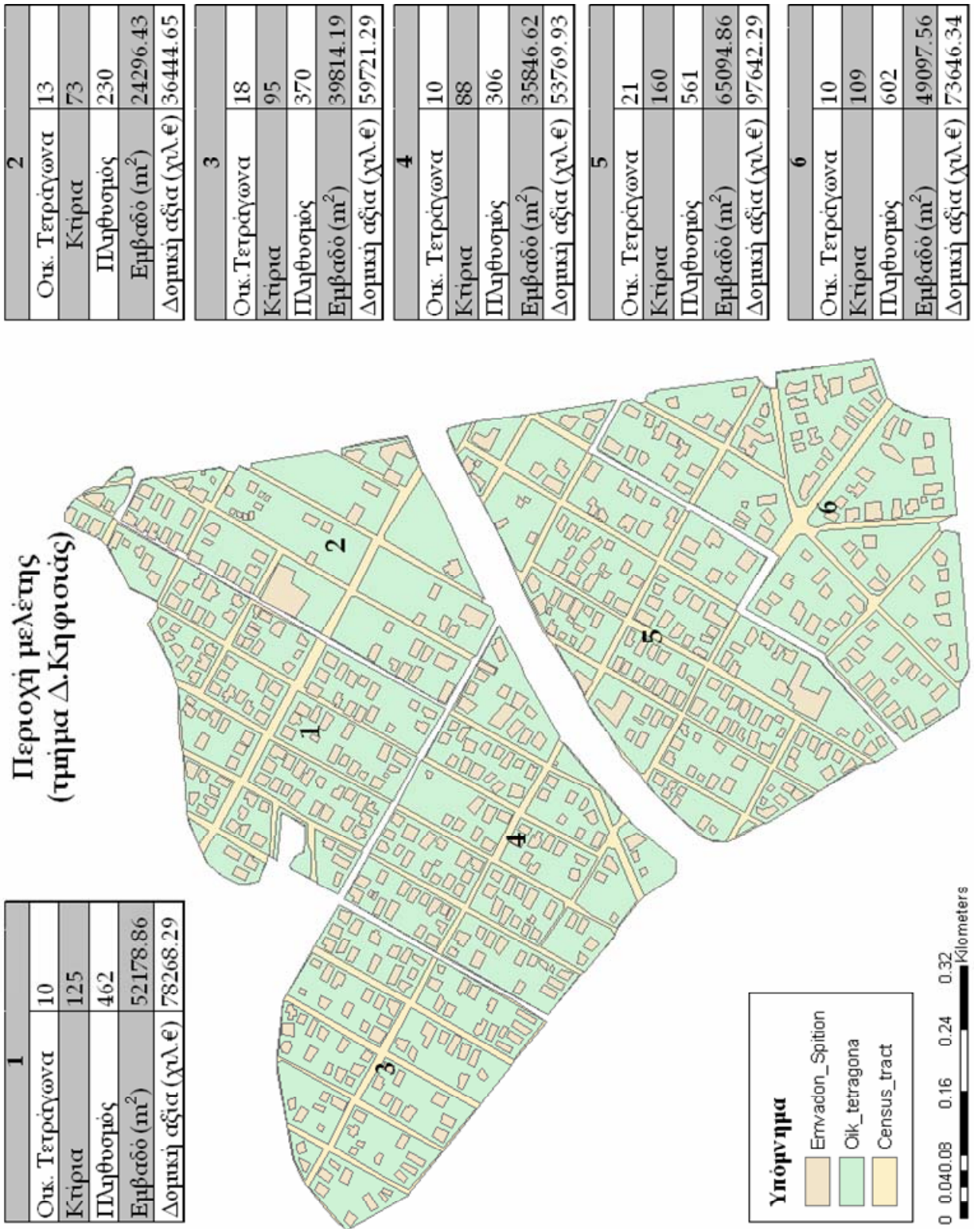
Πίνακας 3-8: Δομική αξία κτιρίων (χιλιάδες €) κτιρίων περιοχής μελέτης

CT	RES1	RES3A	RES3B	RES3C	RES3D	COM1	COM3	IND2	EDU1
1	6543.4	34139.6	32432.7	4267.5	0	0	885.1	0	0
2	10810.9	12517.9	8534.9	0	0	264.2	885.1	0	3431.7
3	3698.5	28449.7	26458.2	0	0	0	0	1114.9	0
4	5974.4	22190.8	21337.3	4267.5	0	0	0	0	0
5	12517.9	38122.6	15362.8	8534.9	0	1849.2	13276.5	1114.9	6863.4
6	7681.4	22190.8	9388.4	21337.3	1991.5	1320.9	9736.1	0	0

Σημειώνεται πως για την εισαγωγή τους στο HAZUS έγινε μετατροπή του εμβαδού σε τετραγωνικά πόδια (1 ft= 0.3048m, 1 m^2 =10,765sq.ft) και της αξίας σε δολάρια (ελήφθη ισοτιμία 1€=1,2$). Για λόγους σύγκρισης των ποσοτήτων με τα αποτελέσματα του προγράμματος, οι αντίστοιχες τιμές είναι:

Εμβαδό σε τετραγωνικά πόδια (sq.ft)									
CT	RES1	RES3A	RES3B	RES3C	RES3D	COM1	COM3	IND2	EDU1
1	46960.02	245008.82	232758.38	30626.10	0.00	0.00	6352.08	0.00	0.00
2	77586.13	89836.57	61252.20	0.00	0.00	1895.90	6352.08	0.00	24628.22
3	26542.62	204174.02	189881.84	0.00	0.00	0.00	0.00	8001.30	0.00
4	42876.54	159255.73	153130.51	30626.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	89836.57	273593.18	110253.97	61252.20	0.00	13271.31	95281.21	8001.30	49256.44
6	55126.98	159255.73	67377.43	153130.51	14292.18	9479.51	69872.89	0.00	0.00

Δομική αξία κτιρίων (χιλιάδες δολάρια)									
CT	RES1	RES3A	RES3B	RES3C	RES3D	COM1	COM3	IND2	EDU1
1	7852.12	40967.57	38919.19	5120.95	0.00	0.00	1062.12	0.00	0.00
2	12973.06	15021.44	10241.89	0.00	0.00	317.01	1062.12	0.00	4118.05
3	4438.15	34139.64	31749.87	0.00	0.00	0.00	0.00	1337.89	0.00
4	7169.32	26628.92	25604.73	5120.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	15021.44	45747.12	18435.41	10241.89	0.00	2219.08	15931.83	1337.89	8236.10
6	9217.70	26628.92	11266.08	25604.73	2389.77	1585.05	11683.34	0.00	0.00



Σχήμα 3-5: Συγκεντρωτικά τα δεδομένα της εξεταζόμενης έκτασης

3.3.1.2 Δομικά χαρακτηριστικά κτιρίων

Επόμενο βήμα για την προσομοίωση της περιοχής αποτέλεσε η αντιστοίχηση των δομικών χαρακτηριστικών των κτιρίων με τα γνωρίσματα των κατηγοριών του προγράμματος. Και σε αυτήν την περίπτωση προχωρήσαμε σε ανασύνθεση των δεδομένων του πίνακα (3-4) . Κριτήριο διαχωρισμού λήφθηκε το ύψος του κτιρίου και με παράμετρο την περίοδο κατασκευής τα κτίρια διαμοιράστηκαν σε κατηγορίες σύμφωνα με το υλικό κατασκευής (βλ. πίνακα 3-9)

Αριθμός ορόφων	Περίοδος κατασκευής
Μέχρι δυο ορόφους	προ του 1960
Τριώροφα	1960-1985
Άνω των τριών ορόφων	1985-1996
	1996 και εντεύθεν

Πίνακας 3-9

Προκειμένου όμως να προσδιοριστεί πλήρως η σεισμική επάρκεια πρέπει να είναι γνωστό το επίπεδο αντισεισμικής σχεδίασης του κτιρίου. Για τον λόγο αυτό, τα κτίρια διαχωρίζονται περαιτέρω σύμφωνα με το εκτιμώμενο επίπεδο σχεδίασης καθώς και την ποιότητα κατασκευής. Η μέθοδος που ακολουθεί το HAZUS ορίζει τρία επίπεδα σχεδίασης και τρεις ποιότητες κατασκευής (βλ. πίνακα 3-10):

Επίπεδο σχεδίασης		Ποιότητα κατασκευής	
Χαμηλό (Low)	L	Συμβατή με τους κανονισμούς (Code)	C
Μέσο (Moderate)	M	Ανώτερη (Superior)	S
Υψηλό (High)	H	Υποδεέστερη (Inferior)	I

Πίνακας 3-10

Για τα κτίρια της εξεταζόμενης περιοχής έγιναν οι εξής παραδοχές:

- τα κτίρια πριν το 85’ θεωρήθηκαν χαμηλής αντισεισμικότητας (Αντισεισμικός Κανονισμός 59’)
- τα κτίρια μεταξύ 85’ και 96’ μέσης (αναθεώρηση Α/Σ 59’ με πρόσθετα άρθρα 89’)
- τα κτίρια μετά το 96’ υψηλής (ΝΕΑΚ και ΕΑΚ2000).

Η ποιότητα κατασκευής θεωρήθηκε συμβατή με τις κανονιστικές διατάξεις για όλα τα κτίρια πλην των κτιριών με πιλοτή (θεωρήθηκαν υποδεέστερης ποιότητας καθότι σε σχέση με τα πλήρως τοιχοπληρωμένα ομοίου δομικού συστήματος κτίρια, υστερούν σημαντικά), των κτιρίων που κατασκευάστηκαν πριν το 60’ από τοιχοποιία καθώς και όσα δηλώθηκαν ως άλλα υλικά. Κτίρια με πιλοτή θεωρήθηκαν μερικά από αυτά που κατασκευάστηκαν μετά το 85 και είναι άνω των τριών ορόφων (σήμανση C4PM και C4PH) (βλ. πίνακα 3-11).

Πίνακας 3-11: Κατάταξη των κτιρίων της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα δομικά χαρακτηριστικά

α/α	Αριθμός ορόφων	Περίοδος Κατασκευής	Πλήθος Κτιρίων	Ποσόστωση	Περιγραφή	Πλήθος ανά τύπο κτιρίου	Δομικός τύπος κατά HAZUS (πιν. 2-4)	Επίπεδο σχεδιασμού	Ποιότητα κατασκευής
1	<3	προ 1960	28	68.00%	Τοιχοποιία	19	URML	L	C
2				32.00%	Άλλα υλικά (τοιχοπ.)	9	URML	L	I
2		1960-1985	219	9.00%	Άλλα υλικά (τοιχοπ.)	20	URML	L	I
3				89.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	195	C1L	L	C
4				2.00%	Ξύλο	4	W1	L	C
5		1985-1996	118	100.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	118	C1L	M	C
6		>1996	97	100.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	97	C1L	H	C
7	.=3	προ 1960	11	63.00%	Τοιχοποιία	7	URMM	L	C
8				37.00%	Άλλα υλικά (τοιχοπ.)	4	URMM	L	I
9		1960-1985	77	80.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	62	C3M	L	C
10				20.00%	Ο/Σ μικτός Φ/Ο	15	C4PH**	L	C
11		1985-1996	40	50.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	20	C3M	M	I
12				50.00%	Ο/Σ μικτός Φ/Ο	20	C4PH**	M	I
13		>1996	32	50.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	16	C3M	H	C
14				50.00%	Ο/Σ μικτός Φ/Ο	16	C4PH**	H	I
15	>3	1960-1985	12	80.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	10	C1H	L	C
16				20.00%	Ο/Σ μικτός Φ/Ο	2	C2H	L	C
17		1985-1996	8	50.00%	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	4	C3H	M	I
18				50.00%	Ο/Σ μικτός Φ/Ο	4	C4PM**	M	I
19		>1996	8	100.00%	Ο/Σ μικτός Φ/Ο	8	C4PM**	H	I

**Ο/Σ οπλισμένο σκυρόδεμα, Φ/Ο φέρων οργανισμός*

***οι κατηγορίες C4PH, C4PM δημιουργήθηκαν για να καλύψουν τους τύπους κτιρίων της περιοχής για τους οποίους το πρόγραμμα δεν διέθετε αντίστοιχες κατηγορίες*

για σκοπούς κωδικοποίησης εφεξής οι δομικοί τύποι κτιρίων συγκεκριμένου επίπεδου σχεδιασμού και ποιότητας κατασκευής αποδίδονται ως URML L/C.

Για τις δομικές συμπεριφορές των κτιρίων που απαντώνται συχνότερα στην ελληνική επικράτεια είχαμε στη διάθεσή μας αποτελέσματα ερευνητικών προγραμμάτων (ΙΤΣΑΚ 2004) αποτίμησης της τρωτότητας των κατασκευών. Τα δεδομένα έχουν την μορφή μητρώων πιθανότητας βλάβης (ΜΠΒ) και αφορούν κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος και τοιχοποιίας. Από τα στοιχεία αυτά έγινε προσπάθεια αναγωγής των καμπύλων τρωτότητας σε συμβατή μορφή με την ακολουθούμενη μέθοδο.

3.3.2 Αναγωγή μητρώων πιθανότητας βλάβης σε καμπύλες τρωτότητας

3.3.2.1 Μητρώα πιθανότητας βλάβης

Τα μητρώα σεισμικής βλάβης ή μητρώα πιθανότητας βλάβης εκφράζουν την πιθανότητα να υποστεί συγκεκριμένη βλάβη ένας τύπος κατασκευής για δεδομένη σεισμική ένταση. Τα μητρώα αναπτύχθηκαν βάσει «υβριδικής» μεθόδου που συνδυάζει τόσο αναλυτικά αποτελέσματα υπολογισμών όσο και στατιστικά δεδομένα από καταγραφές ζημιών κτιρίων πραγματικών σεισμικών επεισοδίων (Παπαδρακάκης, 1996). Συνήθως στατιστικά στοιχεία υπάρχουν για μια-δυο σεισμικές εντάσεις και το μητρώο συμπληρώνεται από αποτελέσματα δυναμικών (ανελαστικών) αναλύσεων των τύπων κτιρίων που εξετάζονται. Τα μητρώα πιθανότητας βλάβης θεωρούνται όμοια με τις καμπύλες τρωτότητας εάν γίνει δεκτό ότι η (μακρο)σεισμική ένταση I είναι γραμμική, γεγονός που δεν ισχύει αλλά χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση των περεταίρω υπολογισμών. Στα μητρώα αυτά γίνεται χρήση της τροποποιημένης έντασης Mercalli (βλ. πίνακα 3-11) ενώ για την μετατροπή της έντασης σε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

(Koliopoulos, Margaris, Klimis 1998)

$$\ln(PGA)=0.74*I+0.03 \qquad (3.1)$$

Όπου (I) η μακροσεισμική ένταση Mercalli (σε αραβικούς αριθμούς) και PGA σε cm/s

Τα μητρώα που είχαμε στην διάθεσή μας αφορούσαν 36 τύπους κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος και 3 τύπους κτιρίων τοιχοποιίας. Το σύνολο των μητρώων παρατίθεται στο παράρτημα Γ ΙΙΙ. Οι στάθμες βλάβης αντιπροσωπεύουν των απώλεια του δομήματος που προκύπτει από συσχέτιση του δομικού δείκτη βλάβης με τον δείκτη οικονομικής βλάβης του κτιρίου όπως προτείνεται από την ερευνητική ομάδα που υπολόγισε τα μητρώα. Σημειώνεται απλά πως ως κριτήριο (στις ανελαστικές αναλύσεις) αστοχίας των κτιρίων με αμιγώς πλαισιακό δομικό σύστημα θεωρήθηκε η αστοχία του 50% των κατακόρυφων στοιχείων (υποστυλωμάτων) ή 4% σχετικό βέλος ορόφου. Των κτιρίων με τοιχώματα, το κριτήριο αστοχίας των κατακόρυφων στοιχείων λήφθηκε ανάλογο των κτιρίων με πλαίσια ενώ θεωρήθηκε πως επέρχεται αστοχία λόγω σχετικού βέλους ορόφου όταν αυτό ξεπεράσει την τιμή 2%. Επισημαίνεται επίσης πως τα κριτήρια αυτά αφορούν συμβατικά κριτήρια αστοχίας υπολογιστικών αναλύσεων που συχνά δεν επαληθεύονται στην πράξη ˙ μετά από σεισμικά επεισόδια παρατηρούνται κτίρια των οποίων αρκετά υποστυλώματά έχουν αστοχήσει χωρίς αυτά να έχουν καταρρεύσει. Το στοιχείο αυτό συνδέεται στις μελέτες διακινδύνευσης με το βαθμό των ανθρωπίνων απωλειών γι' αυτό και στην προτεινόμενη μέθοδο της FEMA

δίνονται ποσοστώσεις για κάθε τύπο κτιρίου που έχει υποστεί θεωρητικά ολοκληρωτικές βλάβες και αναμένεται να αστοχήσει (βλ. πίνακα 3-12).

Πίνακας 3-12: Τυπική μορφή μητρώου πιθανότητας βλάβης

(ΟΑΣΠ: Τελική έκθεση για την εκτίμηση της τρωτότητας του σεισμού της Αθήνας 99')

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	15.90%	28.30%	20.80%	6.20%	2.20%	0.90%	0.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	5.30%	18.30%	25.00%	14.10%	7.00%	3.60%	0.40%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	1.40%	8.90%	21.60%	22.00%	15.20%	9.80%	2.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.30%	3.90%	20.60%	56.10%	75.30%	85.50%	97.50%
			αθροιστική συχνότητα							
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	22.90%	59.40%	88.00%	98.40%	99.70%	99.80%	100.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	7.00%	31.10%	67.20%	92.20%	97.50%	98.90%	99.90%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	1.70%	12.80%	42.20%	78.10%	90.50%	95.30%	99.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.30%	3.90%	20.60%	56.10%	75.30%	85.50%	97.50%
			σχετική συχνότητα							
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	22.90%	36.50%	28.60%	10.40%	1.30%	0.10%	0.20%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	7.00%	24.10%	36.10%	25.00%	5.30%	1.40%	1.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	1.70%	11.10%	29.40%	35.90%	12.40%	4.80%	4.20%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.30%	3.60%	16.70%	35.50%	19.20%	10.20%	12.00%

*DS: στάθμη βλάβης (damage state)

Πίνακας 3-13:Τροποποιημένη μακροσειμική έντασης Mercalli (Καρύδης, 1996)

(Modified Mercalli Intensity 1958)

Ένταση	Περιγραφή
I	Μη αισθητός. Περιθωριακές και μεγάλης περιόδου επιδράσεις μεγάλων σεισμών.
II	Γίνεται αισθητός από άτομα που βρίσκονται ακίνητα στους ψηλότερους ορόφους σε ευνοϊκά σημεία.
III	Γίνεται αισθητός μέσα στα σπίτια. Εκκρεμή αντικείμενα αιωρούνται. Οι δονήσεις είναι σαν να περνούν ελαφρά φορτηγά. Η διάρκεια της δόνησης μπορεί να εκτιμηθεί. Μπορεί και να μην αναγνωριστεί σαν σεισμός.
IV	Εκκρεμή αντικείμενα αιωρούνται. Οι δονήσεις είναι σαν να περνούν βαριά φορτηγά, ή δίνουν την αίσθηση ενός χτύπου μίας βαριάς μπάλας να χτυπά πάνω στον τοίχο. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Παράθυρα, πιατικά, πόρτες κροταλίζουν. Τα ποτήρια ηχούν. Τα πήλινα είδη χτυπούνε. Στο άνω όριο του IV ξύλινοι τοίχοι και πλαίσια τρίζουν.
V	Γίνεται αισθητός στο ύπαιθρο, η διεύθυνση μπορεί να εκτιμηθεί. Αυτοί που κοιμούνται ξυπνούν. Τα υγρά διαταράσσονται, μερικά χύνονται έξω από τα δοχεία. Μερικά ασταθή αντικείμενα μετακινούνται ή αναποδογυρίζονται. Οι πόρτες αιωρούνται, ανοίγουν, κλείνουν. Τα παραθυρόφυλλα και τα κάδρα κινούνται. Τα εκκρεμή ρολόγια σταματούν ή αρχίζουν ή αλλάζουν ρυθμό.
VI	Γίνεται αισθητός από όλους. Πολλοί τρομάζουν και βγαίνουν στο ύπαιθρο. Με αστάθεια μπορεί κανείς να περπατήσει. Τζάμια, πιατικά και ποτήρια σπάνε. Μικρά παιχνίδια, βιβλία κλπ πέφτουν από τα ράφια. Τα κάδρα, φωτογραφίες κινούνται – πέφτουν από τους τοίχους. Τα έπιπλα κινούνται ή αναποδογυρίζονται. Αδύνατοι σοβάδες και τοιχοποιία D ρηγματώνονται. Μικρές καμπάνες (εκκλησιών, σχολείων) χτυπούνε. Δέντρα και θάμνοι, σείονται εμφανώς ή ακούγονται να θροΐζουν.
VII	Δύσκολα να σταθεί κανείς όρθιος. Γίνεται αντιληπτός από τους οδηγούς. Κρεμασμένα

	αντικείμενα σείονται. Τα έπιπλα σπάνε. Γίνονται ζημιές ή και ρωγμές στην τοιχοποιία D. Αδύνατες καπνοδόχοι σπάνε στη στάθμη της στέγης. Πέφτουν σοβάδες, ξεκολλούν τούβλα, πέτρες, πλακίδια, κορνίζες, ασύνδετα παραπετάσματα και αρχιτεκτονικές διακοσμήσεις. Μερικές ρωγμές σε τοιχοποιία C. Σε μερικές λίμνες: κύματα, θόλωμα νερού από τη λάσπη. Μικρές κατολισθήσεις και καταβυθίσεις κατά μήκος οχθών από άμμο ή χαλίκια. Μεγάλες καμπάνες χτυπούνε. Αρδευτικά κανάλια από σκυρόδεμα βλάπτονται.
VIII	Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Βλάβη σε τοιχοποιία C, μερική κατάρρευση. Μερικές βλάβες σε τοιχοποιία B, καθόλου σε τοιχοποιία A. Πέφτουν οι στόκοι και μερικοί τοίχοι από τοιχοποιία. Περιστρέφονται ή πέφτουν οι καμινάδες των σπιτιών, οι καπνοδόχοι των εργοστασίων, τα αγάλματα, οι πύργοι, οι υπερυψωμένες δεξαμενές. Εύκαμπτες οικοδομές κινούνται από τα θεμέλια αν δεν εξαρθρωθούν. Ασύνδετοι τοίχοι πέφτουν κάτω. Χαλασμένοι πάσσαλοι σπάζουν. Κλαδιά κόβονται από τα δέντρα. Αλλάζει η ροή ή η θερμοκρασία του νερού στις πηγές ή τα πηγάδια. Εμφανίζονται ρωγμές σε υγρά λεπτόκοκκα εδάφη και σε απότομες πλαγιές.
IX	Γενικός πανικός. Καταστρέφεται η τοιχοποιία D, παθαίνει βαριές βλάβες η τοιχοποιία C, μερικές φορές με πλήρη κατάρρευση, η τοιχοποιία B παθαίνει σοβαρές βλάβες. Γενικές βλάβες στη θεμελίωση. Εύκαμπτες οικοδομές αν δεν εξαρθρωθούν, σηκώνονται από τα θεμέλια. Τα πλαίσια καταστρέφονται. Σοβαρές βλάβες σε ταμιευτήρες. Υπόγειες σωληνώσεις σπάζουν. Καταφανείς ρωγμές στο έδαφος. Σε περιοχές με αλλούβια βγαίνει από το έδαφος πυκνή άμμος, ιλύς και νερό, κρατήρες άμμου.
X	Τα περισσότερα από τα κτίρια από τοιχοποιία και πλαίσια καταστρέφονται από τα θεμέλια. Μερικά καλοχτισμένα ξύλινα κτίρια και γέφυρες καταστρέφονται. Σοβαρές βλάβες σε φράγματα, τάφρους, αναχώματα. Εκτεταμένες κατολισθήσεις. Το νερό τινάζεται στις όχθες των καναλιών, των ποταμών, των λιμνών κλπ. Άμμος και ιλύς μετακινείται οριζόντια σε ακτές και επίπεδο έδαφος. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται ελαφρά.
XI	Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Υπόγειοι αγωγοί τίθενται εντελώς εκτός λειτουργίας.
XII	Σχεδόν ολική καταστροφή. Μεγάλες μάζες από βράχους μετακινούνται. Το οριζόντιο επίπεδο και η γραμμή του ορίζοντα παραμορφώνονται. Αντικείμενα εκσφενδονίζονται στον αέρα.

Ορισμοί τοιχοποιιών:	
Τοιχοποιία A:	Καλή εκτέλεση, κονίαμα και σχεδίαση, οπλισμένη, ιδίως πλευρικά, και περισφιγμένη με τη χρήση χάλυβα, σκυροδέματος κλπ· σχεδιασμένη να αντέχει οριζόντιες δυνάμεις.
Τοιχοποιία B:	Καλή εκτέλεση και κονίαμα· οπλισμένη, αλλά όχι σχεδιασμένη λεπτομερειακά για να αντέχει οριζόντιες δυνάμεις.
Τοιχοποιία C:	Κοινή εκτέλεση και κονίαμα· δεν παρουσιάζει εμφανή ασθενή σημεία, όπως ασύνδετες γωνίες, αλλά δεν είναι οπλισμένη και ούτε έχει σχεδιαστεί για οριζόντιες δυνάμεις.
Τοιχοποιία D:	Χαμηλής ποιότητας υλικά όπως ωμόπλινθοι· ισχνό κονίαμα· χαμηλές προδιαγραφές εκτελέσεως· ασθενής στην οριζόντια έννοια.

Πίνακας 3-14[7]: Τύποι κτιρίων ερευνητικού προγράμματος ΟΑΣΠ για την εκτίμηση της τρωτότητας (Παπαδρακάκης, 1996)

α/α	Σήμανση	Περιγραφή	Ύψος (όροφοι)
1 2 3	Ο/Σ 1Χ Ο/Σ 1Μ Ο/Σ 1Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένο με τους παλιούς κανονισμούς	2 4 9
4 5 6	Ο/Σ 2Χ Ο/Σ 2Μ Ο/Σ 2Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένο με τους παλιούς κανονισμούς	2 4 9
7 8 9	Ο/Σ 3Χ Ο/Σ 3Μ Ο/Σ 3Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα κανονικά τοιχοπληρωμένο σχεδιασμένο με τους παλιούς κανονισμούς	2 4 9
10 11 12	Ο/Σ 4Χ Ο/Σ 4Μ Ο/Σ 4Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα κανονικά τοιχοπληρωμένο σχεδιασμένο με τους παλιούς κανονισμούς	2 4 9
13 14 15	Ο/Σ 5Χ Ο/Σ 5Μ Ο/Σ 5Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα με πιλοτή σχεδιασμένο με τους παλιούς κανονισμούς	2 4 9
16	Ο/Σ 6Χ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα με πιλοτή σχεδιασμένο	2

[7] Η σήμανση χρησιμοποιείται για λόγους κωδικοποίησης των κτιρίων και χρησιμποποιείταιμόνο για τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

17 18	Ο/Σ 6Μ Ο/Σ 6Υ	με τους παλιούς κανονισμούς	4 9
19 20 21	Ο/Σ 7Χ Ο/Σ 7Μ Ο/Σ 7Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένο με τους παλιούς κανονισμούς	2 4 9
22 23 24	Ο/Σ 8Χ Ο/Σ 8Μ Ο/Σ 8Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένο με τους σύγχρονους κανονισμούς	2 4 9
25 26 27	Ο/Σ 9Χ Ο/Σ 9Μ Ο/Σ 9Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένο με τους σύγχρονους κανονισμούς	2 4 9
28 29 30	Ο/Σ 10Χ Ο/Σ 10Μ Ο/Σ 10Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα κανονικά τοιχοπληρωμένο σχεδιασμένο με τους σύγχρονους κανονισμούς	2 4 9
31 32 33	Ο/Σ 11Χ Ο/Σ 11Μ Ο/Σ 11Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαισιακό σύστημα κανονικά τοιχοπληρωμένο σχεδιασμένο με τους σύγχρονους κανονισμούς	2 4 9
34 35 36	Ο/Σ 12Χ Ο/Σ 12Μ Ο/Σ 12Υ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα με πιλοτή σχεδιασμένο με τους σύγχρονους κανονισμούς	2 4 9
37	Τ 1Χ	Φέρουσα τοιχοποιία από λιθοδομή	1-2
38	Τ 2Χ	Φέρουσα τοιχοποιία από οποτοπλινθοδομή	1-2
39	Τ 3Μ	Φέρουσα τοιχοποιία από λιθοδομή ή οπτοπλινθοδομή	3+

(Ο/Σ) οπλισμένο σκυρόδεμα, (Τ) τοιχοποιία

Χ, Μ, Υ περιγραφή του ύψους του κτιρίου: χαμηλό, μέσου και υψηλό αντίστοιχα

3.3.3 Χαρακτηριστικά κτιρίων περιοχής μελέτης

Τα κτίρια της εξεταζόμενης περιοχής αντιστοιχήθηκαν με τις κατηγορίες του προγράμματος όπως παρουσιάζεται στον πίνακα (3-11). Τιμές για τις καμπύλες φασματικής ικανότητας των κτιρίων δεν είχαμε στην διάθεσή μας και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες των κτιρίων του προγράμματος (βλ. πίνακα 3-16 και αναλυτικά οι καμπύλες παράρτημα (Γ Ι). Από τις 297 κατηγορίες κτιρίων (33 κατηγορίες*3 επίπεδα σχεδιασμού*3 ποιότητες κατασκευής) απομονώθηκαν τα κτίρια που ενδιέφεραν . Οι περιγραφές των κτιρίων του HAZUS παρατίθενται στο παράρτημα Β και σε αρκετά η ομοιότητα με τα κτίρια της περιοχής κρίνεται ικανοποιητική (ειδικά για τους τύπους C1 και C2). Για τις καμπύλες τρωτότητας χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που προέκυψαν από την μετατροπή των μητρώων πιθανότητας βλάβης σε καμπύλες τρωτότητας-πίνακας (3-12) (οι καμπύλες παρουσιάζονται διαγραμματικά στο παράρτημα (Γ IV) ενώ η αντιστοίχηση των κτιρίων των μητρώων με τα κτίρια της περιοχής ήταν η ακόλουθη:

Πίνακας3- 15: Αντιστοίχηση δομικών τύπων κτιρίων περιοχής με του τύπους των κτιρίων του ερευνητικού προγράμματος ΟΑΣΠ για την εκτίμηση της τρωτότητας (Παπαδρακάκης, 1996)

α/α	Αριθμός ορόφων	Περιγραφή	Δομικός τύπος HAZUS	Επίπεδο σχεδιασμού	Ποιότητα κατασκευής	Δομικός τύπος ΜΠΒ
1	<3	Τοιχοποιία	URML	L	C	Τ 1Χ

2		Άλλα υλικά (τοιχοπ.)	URML	L	I	T 2X
2		Άλλα υλικά (τοιχοπ.)	URML	L	I	T 2X
3		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C1L	L	C	Ο/Σ 4X
4		Ξύλο	W1[8]	L	C	W1
5		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C1L	M	C	Ο/Σ 2X
6		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C1L	H	C	Ο/Σ 2X
7	=3	Τοιχοποιία	URMM	L	C	T 3M
8		Άλλα υλικά (τοιχοπ.)	URMM	L	I	T 3M
9		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C3M	L	C	Ο/Σ 4M
10		Ο/Σ μικτός Φ/Ο	C4PH*	L	C	Ο/Σ 5M
11		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C3M	M	I	Ο/Σ 10M
12		Ο/Σ μικτός Φ/Ο	C4PH*	M	I	Ο/Σ 11M
13		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C3M	H	C	Ο/Σ 10M
14		Ο/Σ μικτός Φ/Ο	C4PH*	H	I	Ο/Σ 11M
15	>3	Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C1H	L	C	Ο/Σ 2Y
16		Ο/Σ μικτός Φ/Ο	C2H	L	C	Ο/Σ 1M
17		Ο/Σ πλαισιακός Φ/Ο	C3H	M	I	Ο/Σ 12M
18		Ο/Σ μικτός Φ/Ο	C4PM*	M	I	Ο/Σ 11M
19		Ο/Σ μικτός Φ/Ο	C4PM*	H	I	Ο/Σ 11Y

Πίνακας3- 16: Χαρακτηριστικές τιμές καμπύλων φασματικής ικανότητας του HAZUS (FEMA, 2003)

	Δομικός τύπος	Επίπεδο σχεδιασμού	Ποιότητα κατασκευής	Μετακίνηση S_d (σε ίντσες)		Επιτάχυνση S_a (σε ίντσες)	
				D_y	D_u	A_y	A_u
1	C1H	L	C	0.503	3.770	0.024	0.073
2	C1L	H	C	0.391	9.387	0.250	0.749
3	C1L	L	C	0.098	1.467	0.062	0.187
4	C1L	M	C	0.196	3.520	0.125	0.375
5	C2H	L	C	0.735	4.593	0.063	0.159
6	C3H	M	I	0.735	4.134	0.063	0.143
7	C3M	H	C	0.260	1.946	0.083	0.188
8	C3M	L	C	0.260	1.946	0.083	0.188
9	C3M	M	I	0.260	1.946	0.083	0.188
10	URML	L	C	0.240	2.397	0.200	0.400
11	URML	L	I	0.240	2.397	0.200	0.400
12	URMM	L	C	0.272	1.812	0.111	0.222
13	URMM	L	I	0.272	1.812	0.111	0.222
14	W1	L	C	0.240	4.316	0.200	0.600
15	C4PH	L	C	0.735	4.134	0.063	0.143
16	C4PH	H	I	0.735	4.134	0.063	0.143
17	C4PH	M	I	0.735	4.134	0.063	0.143
18	C4PM	H	I	0.260	1.946	0.083	0.188
19	C4PM	M	I	0.260	1.946	0.083	0.188

[8] Για τα κτίρια από ξύλο χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά οι παράμετροι του προγράμματος.

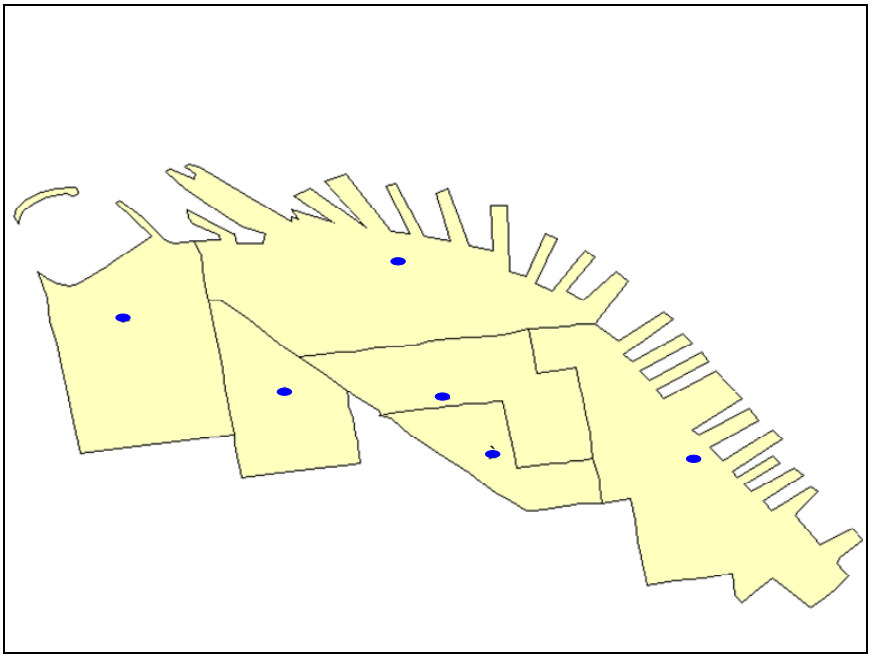
Πίνακας 3-17: Παράμετροι λογαριθμοκανονικής κατανομής των καμπύλων τρωτότητας του HAZUS (FEMA, 2003)

	Δομικός τύπος	Επίπεδο σχεδιασμού	Ποιότητα κατασκευής	Ελαφριά (σε ίντσες)		Μέτρια (σε ίντσες)		Εκτεταμένη (σε ίντσες)		Ολοκληρωτική (σε ίντσες)	
				S_d	β_{ds}	S_d	β_{ds}	S_d	β_{ds}	S_d	β_{ds}
1	URML	L	C	0.41	1.00	0.81	1.05	2.03	1.09	4.73	1.08
2	URML	L	I	0.32	1.15	0.65	1.19	1.62	1.20	3.78	1.18
3	URMM	L	I	0.50	1.00	1.01	0.97	2.52	0.90	5.88	0.88
4	URMM	L	C	0.63	0.91	1.26	0.92	3.15	0.87	7.35	0.91
5	W1	L	C	0.50	0.93	1.25	0.97	3.86	1.03	9.45	0.99
6	C1L	L	C	0.90	0.95	1.44	0.91	3.60	0.85	9.00	0.97
7	C1L	M	C	0.90	0.89	1.56	0.90	4.20	0.90	10.80	0.88
8	C1L	H	C	0.90	0.81	1.80	0.84	5.40	0.86	14.40	0.80
9	C3M	H	C	0.90	0.85	1.80	0.83	4.50	0.79	10.50	0.98
10	C3M	L	C	0.90	0.85	1.80	0.83	4.50	0.79	10.50	0.98
11	C3M	M	I	1.12	0.77	2.25	0.79	5.62	0.78	13.12	0.93
12	C1H	L	C	2.16	0.70	3.46	0.81	8.64	0.89	21.60	0.97
13	C2H	L	C	1.73	0.68	3.30	0.73	8.53	0.84	21.60	0.95
14	C3H	M	I	1.62	0.68	3.24	0.69	8.10	0.71	18.90	0.88
15	C4PH	H	I	1.04	0.73	2.07	0.74	5.18	0.90	12.10	0.95
16	C4PH	L	C	1.30	0.71	2.59	0.74	6.48	0.90	15.12	0.96
17	C4PH	M	C	1.30	0.71	2.59	0.74	6.48	0.90	15.12	0.96
18	C4PM	H	I	0.72	0.57	1.44	0.55	3.60	0.57	8.40	0.59
19	C4PM	M	I	0.72	0.90	1.44	0.86	3.60	0.90	8.40	0.96

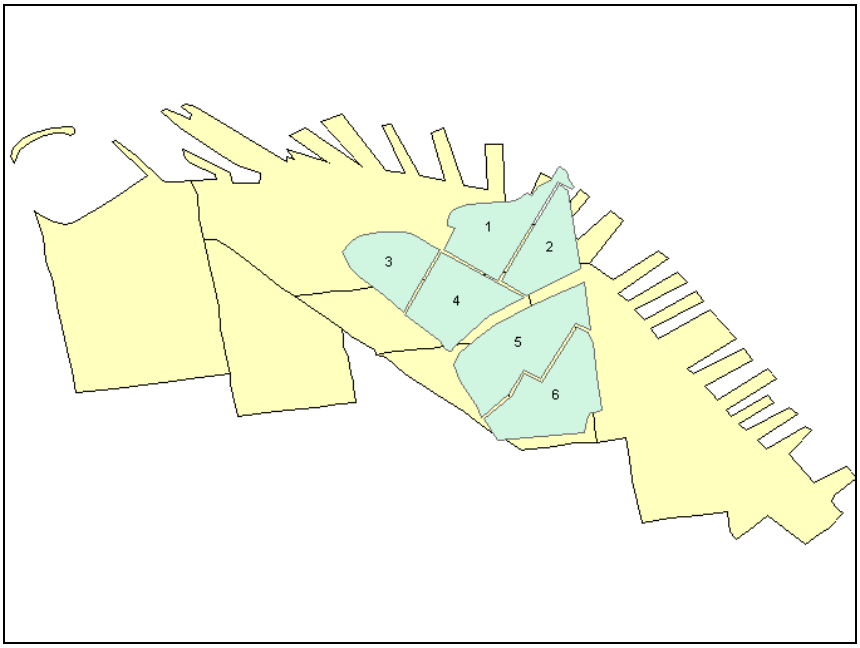
3.4 Εισαγωγή περιοχής στο πρόγραμμα

Με δεδομένο το σύνολο και την δομή των στοιχείων της περιοχής που απαιτούνται για μία μελέτη εκτίμησης σεισμικών απωλειών κατά την μεθοδολογία του προγράμματος, έγινε προσπάθεια προσαρμογής μιας τυχαίας περιοχής στις συνθήκες της περιοχής μελέτης. Για τους λόγους που αναφέρονται νωρίτερα, το λογισμικό δεν προνοεί την εισαγωγή νέας περιοχής. Τούτο δεν περιορίζει την εικονική εφαρμογή σε περιοχές εκτός της βάσεως δεδομένων του χωρίς όμως να αποτελεί ταυτόχρονα η τακτική αυτή μια απλή διαδικασία. Όπως αναφέρεται στην παράγραφο (§ 2.3.2.1) οι παράμετροι της κίνησης του εδάφους για προσδιορισμό της σεισμικής απαίτησης υπολογίζονται στο κεντροειδές του πολυγώνου του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής. Οι θέσεις αυτές σημειώνονται με μπλε χρώμα στο σχήμα (3-6). Για να διατηρηθούν ορθές οι σχετικές αποστάσεις των αντίστοιχων κεντροειδών των πολυγώνων της εξεταζόμενης περιοχής (βλ. σχήμα 3-4) ούτως ώστε σε ένα προσδιοριστικό σενάριο να υπολογιστεί σωστά η επίκεντρη απόσταση του σεισμού έγινε η τροποποίηση του αρχικού χάρτη σε αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα (3-7). Το βήμα αυτό θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί με την απ' ευθείας τροποποίηση των συντεταγμένων των σημείων στη βάση δεδομένων του προγράμματος (οι χάρτες χρησιμοποιούνται απλά για οπτικοποίηση).

Εντούτοις προτιμήθηκε η αλλαγή του σχήματος (3-7) για μια καλύτερη αντίληψη της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3-6: Αρχική μορφή του χάρτη τυχαίας περιοχής (περιοχή της πόλης του San Francisco)



Σχήμα 3-7: Τελική μορφή του τροποποιημένου τοπογραφικού τυχαίας περιοχής

(με κίτρινο χρώμα το αρχικό για την σύγκριση)

Όσον αφορά τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της περιοχής, το έδαφος θεωρήθηκε κατηγορίας D (βλ. πίνακα 2-7) από την τιμή της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων που μετρήθηκε κατά την γεωτεχνική έρευνα του ΚΕΔΕ (Γκαζέτας, 1996) ($\bar{V}_s = 340\ m/s$) που έγινε μετά τον σεισμό της Αθήνας το 99’ .

Με την προσομοίωση της περιοχής στο HAZUS ήταν δυνατή η εφαρμογή σεισμικών σεναρίων, προηγήθηκαν όμως κάποιες επιπλέον τροποποιήσεις των συντελεστών

φασματικής ενίσχυσης και μηδενίστηκαν οι πιθανότητες αστοχίας του εδάφους της αρχικής περιοχής.

4. Σεισμικά σενάρια και εκτίμηση απωλειών

4.1 Επιλογή παραμέτρων ανάλυσης

Η δομή του λογισμικού επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει το επίπεδο πολυπλοκότητας και ακρίβειας της μελέτης του. Σε περιπτώσεις που δεν επιθυμείται εκτίμηση πιθανών απωλειών στοιχείων υπό διακινδύνευση (βλ. πίνακα 2-2) ή πιο απλά δεν διατίθενται επαρκή στοιχεία για την ανάλυση οι αντίστοιχες παράμετροι δεν εμπλέκονται στους αλγορίθμους υπολογισμού.

Η παρούσα εργασία εμπίπτει στο δεύτερο επίπεδο ανάλυσης˙ σεισμικές απώλειες των συνήθη κτιρίων. Οι βλάβες που λήφθησαν υπόψη αφορούν αποκλειστικά τις δομικές και καθόσον τα δυο είδη βλαβών των κτιρίων (δομική-μη δομική) δεν συνδέονται άμεσα μεταξύ τους είναι εφικτός ο διαχωρισμός και η ξεχωριστή αποτίμησή τους (πχ. οι υαλοπίνακες των κτιρίων θρυμματίζονται ανεξάρτητα αν αυτά βρίσκονται σε μεταλλικό κτίριο ή κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος). Επιπλέον, οι πιθανότητες αστοχίας εδάφους της αρχικής περιοχής μηδενίστηκαν ούτως ώστε οι βλάβες να προκληθούν μόνο από την δόνηση του εδάφους (δεν είχαμε στην διάθεσή μας ακριβή γεωτεχνικά/δυναμικά χαρακτηριστικά της περιοχής). Τα λοιπά υπό διακινδύνευση στοιχεία (δημόσια κτίρια, δίκτυα) της περιοχής επίσης αγνοήθηκαν (εντοπίστηκαν και διαγράφησαν).

Με την περιοχή να ανταποκρίνεται τελικά στις πραγματικές επικρατούσες συνθήκες του τμήματος του Δ. Κηφισιάς (σύμφωνα πάντα με την ακρίβεια των διατιθέμενων δεδομένων) επελέγησαν σεισμικά σενάρια για αποτίμηση των ζημιών. Προκειμένου δε το ελαστικό φάσμα του προγράμματος να αντιστοιχεί στο ελαστικό φάσμα του ΕΑΚ (5%, ΕΑΚ 2000) τροποποιήθηκαν οι συντελεστές ενίσχυσης για τις κατηγορίες εδάφους. Οι κατηγορίες Α, Β, Γ, Δ, Χ του ΕΑΚ (παράρτημα Α, πίνακας 1) θεωρήθηκαν αντίστοιχες των Β, C, D, Ε του προγράμματος (βλ. πίνακες 2-7, 2-8) ενώ για τις τιμές του πίνακα (3, παράρτημα Α) λήφθηκε συντελεστής ενίσχυσης ίσος με 2,5 για την μετατροπή της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους σε φασματική επιτάχυνση των 0.3 δευτερολέπτων. Η αλλαγή έγινε σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές περιόδους κάθε κατηγορίας εδάφους (βλ. πίνακα 4, παράρτημα Α). Για την κατηγορία εδάφους Ε του πίνακα (2-7) οι τιμές έμεινα αμετάβλητες καθώς δεν επηρέαζαν την μελέτη (το έδαφος περιοχής θεωρήθηκε κατηγορίας D).

4.2 Σεισμικά σενάρια εφαρμογών

Οι πρώτοι δυο τύποι σεισμικών σεναρίων του HAZUS (προσδιοριστικός, πιθανοτικός) δεν είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε ελληνική περιοχή˙ οι νόμοι απόσβεσης αντιστοιχούν

*Πίνακας 4- 1 Τροποποιημένοι συντελεστές φασματικής ενίσχυσης (με βάση του συντελεστές ενίσχυσης κατά **1997 NEHRP Provisions, πίνακας 2-8)***

Κατηγορία εδάφους B		Κατηγορία εδάφους				
PGA	Φασματική επιτάχυνση	A	B	C	D	E
	0.3 δευτερόλεπτα, $Sa_{0.3}$ (g)	Συντελεστής ενίσχυσης μικρής περιόδου, F_A				
0.16	≤ 0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5
0.16	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.7
0.24	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
0.36	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
0.36	≥ 0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
PGV	1.0 δευτερόλεπτο, $Sa_{1.0}$ (g)	Συντελεστής ενίσχυσης μεγάλης περιόδου, F_V				
3.75	≤ 0.1	0.67	1.0	1.33	1.67	3.5
7.50	0.24	0.67	1.0	1.33	1.67	3.2
11.25	0.36	0.67	1.0	1.33	1.67	2.8
15.00	0.54	0.67	1.0	1.33	1.67	2.4
18.75	≥ 0.65	0.67	1.0	1.33	1.67	2.0*

σε συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες ενώ οι πιθανοτικοί χάρτες προέκυψαν από μακροχρόνιες παρατηρήσεις της σεισμικότητας της αμερικανικής επικράτειας. Ωστόσο επιλέγηκε ένας νόμος απόσβεσης (σχέση 2.11) για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Εν τέλει καταλήξαμε σε δυο κατηγορίες σεναρίων: στην πρώτη (προσδιοριστική) με τον νόμο απόσβεσης της σχέσης (2.11) και στην δεύτερη με τη χρήση χαρτών παραμέτρων απόκρισης του εδάφους. Στην δεύτερη κατηγορία δόθηκαν τιμές των παραμέτρων κίνησης του εδάφους (PGA, PGV, Sa 0.3, Sa 1.0) από το φάσμα που προέκυψε από αναλύσεις του ΚΕΔΕ στην περιοχή μετά το σεισμό του 99' (αποτελέσματα μονοδιάστατων αναλύσεων βασισμένες σε πραγματικές καταγραφές της διέγερσης). Οι τιμές αυτές είναι:

Πίνακας4- 2: Τιμές παραμέτρων κίνησης εδάφους σεναρίου με χρήση χαρτών

PGA (g)	0.24
Sa 0.3 (g)	0.7
Sa 1.0 (g)	0.22
PGV (σχ. 2.15) (in/sec)	8.2

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε σχέση για την απόσβεση των σεισμικών κυμάτων του ελληνικού χώρου (Θεοδουλίδης 1988)

$$\log(PGA) = 1{,}84 + 0{,}52\,Ms - 1{,}83\log(\Delta+15) \quad (4.1)$$

$$\log(PGV) = -0{,}40 + 0{,}63\,M_s - 1{,}65\log(\Delta+10) \quad (4.2)$$

όπου Δ η επίκεντρη απόσταση και M_s το επιφανειακό μέγεθος σεισμού. Οι σχέσεις δίνουν τιμές σε cm/s^2 και cm/s αντίστοιχα ενώ επίκεντρη απόσταση λήφθηκε ίση με 20Km. Για τον υπολογισμό της τιμής της φασματικής επιτάχυνσης των 0.δευτερολέπτων λήφθηκε συντελεστής ενίσχυσης ίσος με 2,5 ενώ για την τιμή του 1 δευτερολέπτου του σεναρίου χρησιμοποιήθηκε συντελεστής που προτείνει η μεθοδολογία του προγράμματος για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι γνωστή μέγιστη επιτάχυνση εδάφους. Οι συντελεστές δίνονται στον πίνακα (4-2) και για το σενάριο υπολογίστηκε 2.96.

Πίνακας 4-3: Συντελεστές ενίσχυσης

Για έδαφος κατηγορίας Β (NEHPR)								
Μικρότερη απόσταση από το ρήγμα	S_{AS}/PGAδεδομένου M:				S_{AS}/S_{A1} δεδομένουM:			
	≤ 5	6	7	≥ 8	≤ 5	6	7	≥ 8
10 km	1.5	1.8	1.9	1.9	4.5	2.8	1.9	1.6
20 km	1.5	1.8	1.9	1.9	4.8	3.1	2.1	1.8
40 km	1.5	1.8	1.9	1.9	4.5	2.9	2.0	1.7
75 km	1.5	1.8	1.9	1.8	4.3	2.8	1.8	1.6

Οι τιμές του σεναρίου υπολογίστηκαν για το κεντροειδές του κάθε γεωγραφικού διαμερίσματος και οι μέσες τιμές προκύπτουν τελικά:

Πίνακας4- 4: Τιμές παραμέτρων κίνησης εδάφους σεναρίου

PGA (g)	0.135
Sa 0.3 (g)	0.34
Sa 1.0 (g)	0.11
PGV (m/s)	0.128

Σε όλα τα σενάρια δόθηκε μέγεθος ροπής M=6. Περιγραφικά τα σενάρια που δόθηκαν:

1	Με νόμο απόσβεσης (σχ.2.11) και τις καμπύλες τρωτότητας και φασματικής ικανότητας των κτιρίων του προγράμματος
2	Με νόμο απόσβεσης (σχ.2.11), τους συντελεστές ενίσχυσης κατά ΕΑΚ και τις καμπύλες του προγράμματος
3	Με νόμο απόσβεσης (σχ.2.11), τους συντελεστές ενίσχυσης κατά ΕΑΚ και τις καμπύλες που προέκυψαν σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην (§ 3.3.2.2)
4	Με χάρτη παραμέτρων κίνησης εδάφους από τις τιμές του νόμου απόσβεσης των σχέσεων (4.1, 4.2)-πίνακας (4-4), τους συντελεστές ενίσχυσης κατά ΕΑΚ και τις καμπύλες που προέκυψαν σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην (§ 3.3.2.2)

5	Με χάρτη παραμέτρων κίνησης εδάφους με τις τιμές του πίνακα (4-2), τους συντελεστές ενίσχυσης κατά ΕΑΚ και τις καμπύλες που προέκυψαν σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην (§ 3.3.2.2)
6	Με χάρτη παραμέτρων κίνησης εδάφους με τις τιμές του πίνακα (4-2), τους συντελεστές ενίσχυσης κατά ΕΑΚ και τις καμπύλες του προγράμματος

4.3 Αποτελέσματα σεισμικών σεναρίων

Τα αποτελέσματα των σεναρίων παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν. Ως ήταν αναμενόμενο, οι απώλειες με χρήση των καμπύλων τρωτότητας που προέκυψαν από την αναγωγή των μητρώων πιθανότητας βλάβης ήταν σχεδόν ολικές. Παρόλο που πολλά από τα κτίρια έδωσαν μεγάλες μέσες τιμές φασματικής μετακίνησης για την κάθε στάθμη βλάβης (9ώροφα), η πλειονότητα των κτιρίων αφορούσε χαμηλά κτίρια, τα περισσότερα 2ώροφα που σε αυτά οι μέσες τιμές ήταν, σε αντιδιαστολή των υψηλών, πολύ μικρές, γεγονός που κατεύθυνε το τελικό αποτέλεσμα. Προφανώς τα αποτελέσματα αυτά δεν κρίνονται αντιπροσωπευτικά της συμπεριφοράς των κτιρίων της περιοχής˙ απαιτείται περισσότερη διερεύνηση για τις καμπύλες τρωτότητας καθώς και χρήση των πραγματικών καμπύλων φασματικής ικανότητας των κτιρίων, με γνώμονα πάντα τους περιορισμούς, τις αβεβαιότητες και τις αποκλίσεις της μεθόδου.

Συγκεντρωτικά, ακολουθούν αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα των έξι σεναρίων:

Πίνακας 4-5: Μέσες τιμές των παραμέτρων κίνησης εδάφους

Σενάριο	PGA (/g)	Sa 0.3 (/g)	Sa 1.0 (/g)	PGV (in./s)
1	0.175	0.343	0.155	5.799
2	0.173	0.212	0.106	5.736
3	0.170	0.208	0.105	5.647
4	0.130	0.320	0.100	8.200
5	0.240	0.700	0.220	8.200
6	0.240	0.700	0.220	8.200

Πίνακας 4-6: Συνολικές δομικές απώλειες σε χιλιάδες δολάρια

Σενάριο	Οικονομικές Δομικές απώλειες
1	$2,629.72
2	$1,106.15
3	$24,572.04
4	$26,460.81
5	$39,226.95
6	$5,300.70

Πίνακας4- 7: Αριθμός κτιρίων που υπέστησαν βλάβες των σεναρίων (για κάθε στάθμη βλάβης)

Σενάριο	Building Damage Count

	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
1	405	135	93	14	3
2		87	42	4	1
3	217	71	67	62	233
4	199	71	64	61	255
5	93	63	56	42	396
6	296	157	154	34	9

Πίνακας 4-8: Αριθμός κτιρίων που υπέστησαν βλάβες των σεναρίων (για κάθε στάθμη βλάβης)

	Building Damage by Building Type				
Study Region Average	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
1	0.65	0.22	0.10	0.02	0.01
2	0.76	0.16	0.05	0.01	0.00
3	0.09	0.70	0.14	0.05	0.02
4	0.68	0.14	0.05	0.02	0.11
5	0.42	0.22	0.13	0.05	0.18
6	0.48	0.28	0.18	0.04	0.02

Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα του 1^{ου} και του 5^{ου} σεναρίου δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πρώτο σενάριο

Πίνακας4- 9: Αριθμός κτιρίων υψηλού επιπέδου σχεδιασμού που υπέστησαν βλάβη (πρώτο σενάριο)

Building Damage Count for High Seismic Design Level						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Concrete	93	28	13	2	0	136
Total Study Region	93	28	13	2	0	136

Πίνακας 4-10: Αριθμός κτιρίων χαμηλού επιπέδου σχεδιασμού που υπέστησαν βλάβη (πρώτο σενάριο)

Building Damage Count for Low Seismic Design Level						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Wood	4	1	0	0	0	5
Concrete	173	57	45	5	1	281
Unreinforced Masonry	28	14	11	4	1	57
Total Study Region	205	71	56	8	2	342

Πίνακας 4-12: Αριθμός κτιρίων μέσου επιπέδου σχεδιασμού που υπέστησαν βλάβη κατά το πρώτο σενάριο

Building Damage Count for Moderate Seismic Design Level						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total

Concrete	108	36	24	4	0	172
Total Study Region	108	36	24	4	0	172

Πίνακας 4-13: Αριθμός κτιρίων κατά κατηγορία χρήσης που υπέστησαν βλάβη (πρώτο σενάριο)

Building Damage by Count by General Occupancy						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Commercial	24	10	6	1	0	41
Education	2	1	0	0	0	3
Industrial	1	0	0	0	0	2
Other Residential	267	95	65	10	2	438
Single Family	111	29	22	3	1	166
Total Study Region	405	135	93	14	3	650

Πίνακας 4-14: Ποσοστό απωλειών κάθε τύπου κτιρίων υψηλού επιπέδου σχεδιασμού (πρώτο σενάριο)

Building Damage by Building Type for High Design Level					
	Average Damage State				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Concrete	0.66	0.22	0.10	0.01	0.01
Total Study region	0.66	0.22	0.10	0.01	0.01

Πίνακας 4-15: Ποσοστό απωλειών κάθε τύπου κτιρίων μέσου επιπέδου σχεδιασμού (πρώτο σενάριο)

Building Damage by Building Type for Moderate Design Level					
	Average Damage State				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Concrete	0.64	0.23	0.11	0.02	0.01
Study Region Average	0.64	0.23	0.11	0.02	0.01

Πίνακας 4-16: : Ποσοστό απωλειών κάθε τύπου κτιρίων χαμηλού επιπέδου σχεδιασμού (πρώτο σενάριο)

Building Damage by Building Type for Low Design Level					
	Average Damage State				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Wood	0.69	0.22	0.08	0.01	0.00
Concrete	0.68	0.21	0.10	0.01	0.00
Unreinforced Masonry	0.56	0.26	0.14	0.03	0.01
Study Region Average	0.64	0.23	0.11	0.02	0.00

Πέμπτο σενάριο:

Πίνακας4- 17 Αριθμός κτιρίων υψηλού επιπέδου σχεδιασμού που υπέστησαν βλάβη (πέμπτο σενάριο)

Building Damage Count for High Seismic Design Level	
	Number of Buildings

	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Concrete	25	11	7	6	86	136
Total Study Region	25	11	7	6	86	136

Πίνακας4- 18 Αριθμός κτιρίων χαμηλού επιπέδου σχεδιασμού που υπέστησαν βλάβη (πέμπτο σενάριο)

Building Damage Count for Low Seismic Design Level						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Wood	2	2	1	0	0	5
Concrete	35	30	24	19	173	281
Unreinforced Masonry	15	4	7	8	24	57
Total Study Region	53	35	31	27	196	342

Πίνακας4- 19 Αριθμός κτιρίων μέσου επιπέδου σχεδιασμού που υπέστησαν βλάβη (πέμπτο σενάριο)

Building Damage Count for Moderate Seismic Design Level						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Concrete	15	16	18	8	114	172
Total Study Region	15	16	18	8	114	172

Πίνακας 4-20 Αριθμός κτιρίων κατά κατηγορία χρήσης που υπέστησαν βλάβη (πέμπτο σενάριο)

Building Damage by Count by General Occupancy						
	Number of Buildings					
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Total
Commercial	14	8	5	2	12	41
Education	2	1	0	0	0	3
Industrial	1	1	0	0	0	2
Other Residential	73	51	43	29	242	438
Single Family	3	3	7	10	253	166
Total Study Region	93	63	56	42	396	650

Πίνακας4- 21 Ποσοστό απωλειών κάθε τύπου κτιρίων υψηλού επιπέδου σχεδιασμού (πέμπτο σενάριο)

Building Damage by Building Type for High Design Level					
	Average Damage State				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Concrete	0.46	0.20	0.08	0.04	0.21
Study Region Average	0.46	0.20	0.08	0.04	0.21

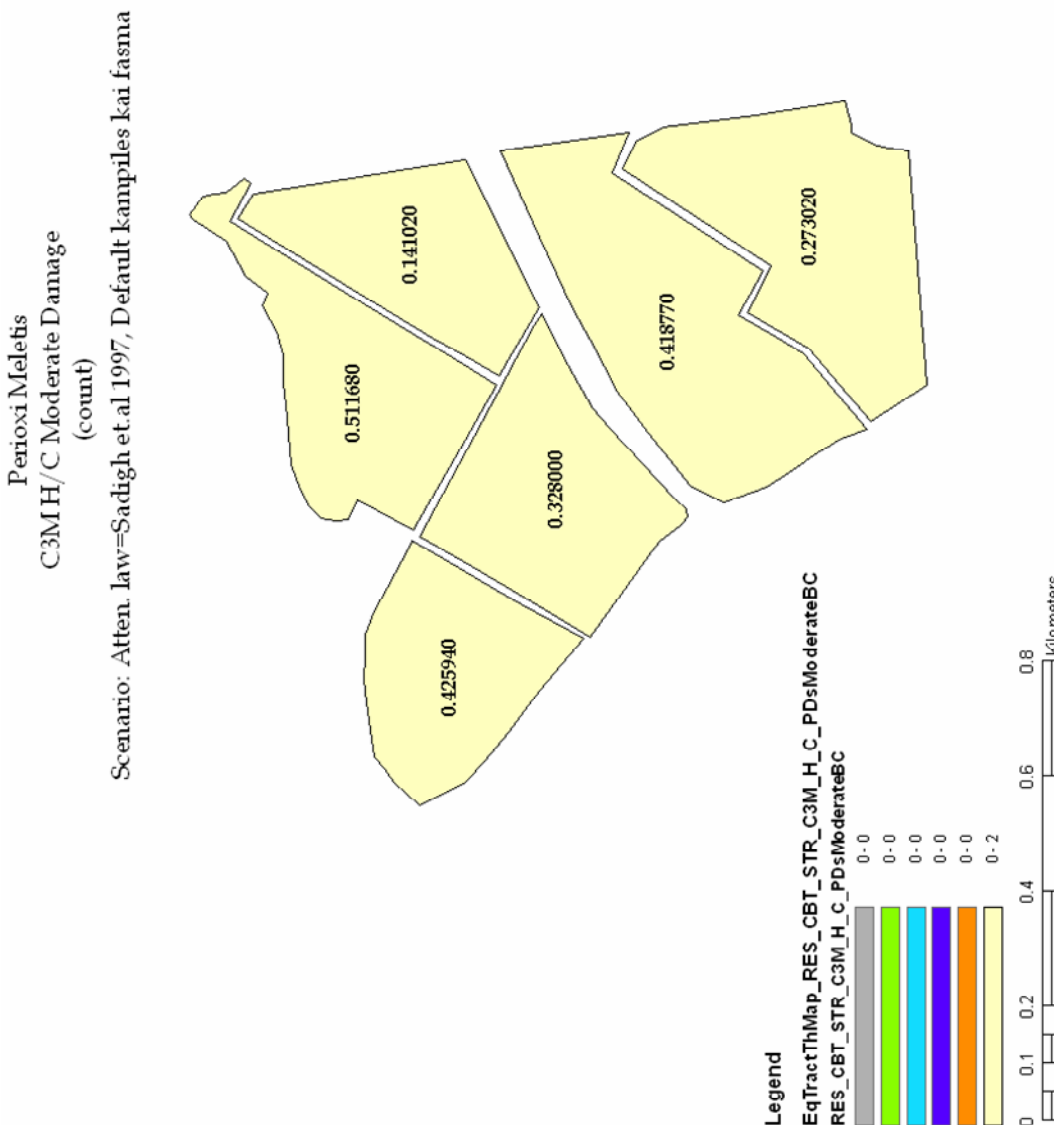
Πίνακας 4-22 Ποσοστό απωλειών κάθε τύπου κτιρίων χαμηλού επιπέδου σχεδιασμού (πέμπτο σενάριο)

Building Damage by Building Type for Low Design Level					
	Average Damage State				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Wood	0.39	0.33	0.23	0.04	0.01
Concrete	0.39	0.19	0.12	0.08	0.22
Unreinforced Masonry	0.40	0.17	0.11	0.07	0.25
Study Region Average	0.39	0.23	0.15	0.06	0.16

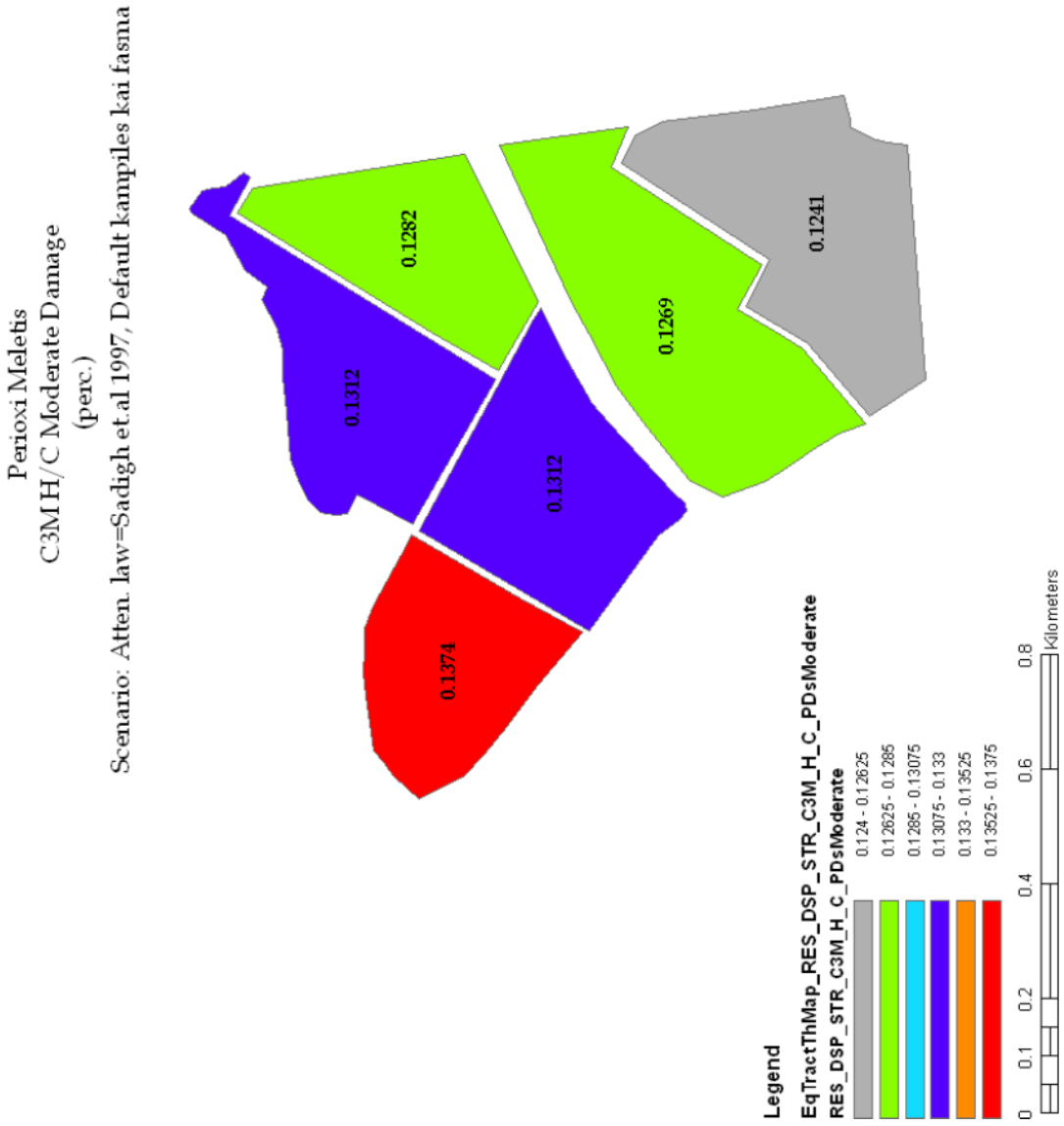
Πίνακας 4-23 Ποσοστό απωλειών κάθε τύπου κτιρίων μέσου επιπέδου σχεδιασμού (πέμπτο σενάριο)

Building Damage by Building Type for Moderate Design Level					
	Average Damage State				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Concrete	0.41	0.23	0.15	0.05	0.16
Study Region Average	0.41	0.23	0.15	0.05	0.16

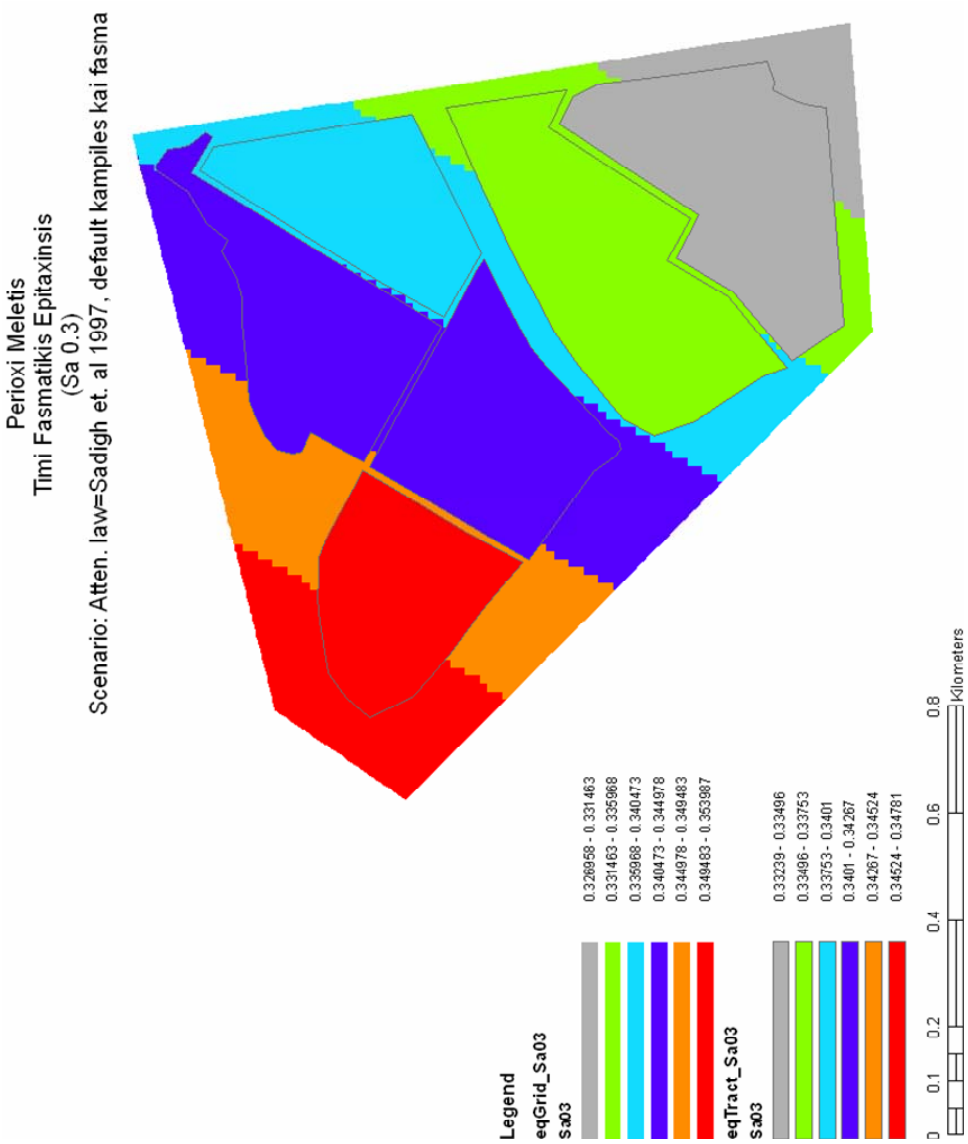
Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζεται η χωρική κατανομή των απωλειών για μερικά αποτελέσματα των 2 σεναρίων όπως εξάγονται από το HAZUS.



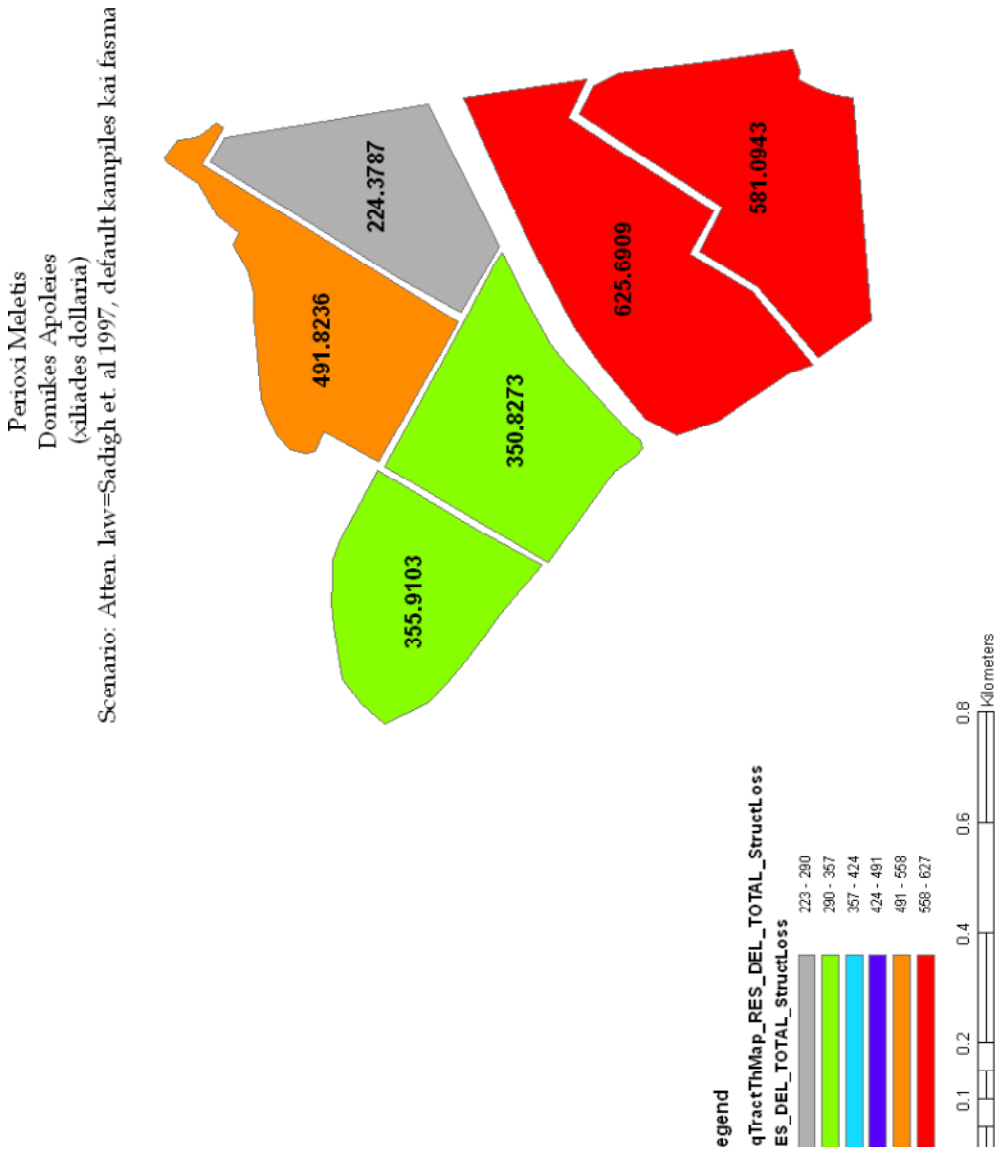
Σχήμα 4- 1: Αριθμός κτιρίων τύπου C3M H/ C με μέτριες βλάβες (πρώτο σενάριο)



Σχήμα 4-2: Πιθανότητες για μέτριες βλάβες των κτιρίων τύπου C3M H/C (πρώτο σενάριο)



Σχήμα 4-6 Τιμές φασματικής επιτάχυνσης των 0.3 δευτερολέπτων (πρώτου σενάριο)



Σχήμα 4-4: Οικονομικές δομικές απώλειες (πρώτο σενάριο)

Σχήμα 4- 5 Πιθανότητες για εκτεταμένες ς βλάβες των κτιρίων τύπου C3M H/C (πέμπτο σενάριο)

Σχήμα4-6 Αριθμός κτιρίων τύπου C1L H/C που υπέστησαν ολοκληρωτικές βλάβες (πέμπτο σενάριο)

Σχήμα 4-7: Πιθανότητες ολοκληρωτικής βλάβης κτιρίων τύπου C1H H/C (πέμπτο σενάριο)

5. Συμπεράσματα

5.1 Γενικά Συμπεράσματα

Αντικειμενικό στόχο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε εξ' αρχής η προσπάθεια προσαρμογής του HAZUS στο ελληνικό δομικό και γεωλογικό περιβάλλον και κατ' επέκταση η χρήση του για αποτίμηση σεισμικών απωλειών από ενδεχόμενο σεισμό στην Ελλάδα. Παρά το ότι σχεδιαστικά το λογισμικό δεν προορίζεται για χρήση εκτός της αμερικανικής επικράτειας, επετεύχθη εν τέλει μια εικονική εφαρμογή του σε περιοχή του Δ. Κηφισίας με σημαντικές τροποποιήσεις μιας πρότυπης περιοχής από την ενυπάρχουσα βάση δεδομένων του λογισμικού. Τούτο έγινε με τη βοήθεια, μέσω αλληλογραφίας, του τμήματος υποστήριξης του προγράμματος όπου μας παρείχε πληροφορίες για πρόσβαση στη βάση δεδομένων του HAZUS μέχρι του σημείου που αυτό ήταν δυνατό.

Ολοκληρώνοντας την εργασία προκύπτει το συμπέρασμα πως είναι εφικτή οποιαδήποτε επέμβαση στα χαρακτηριστικά μιας περιοχής σε σημείο που να προσομοιώνει με ικανοποιητική για τις ανάγκες της εργασίας ακρίβεια, την περιοχή μελέτης. Στη διάρκεια της εργασίας μπορέσαμε να αποκωδικοποιήσουμε (κατ' ουσία) πολλά σημεία που αφορούν στον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού, αλλά η τροποποίηση (ή πρόσθεση) μέρους των αλγορίθμων του-πχ. με χρήση γλώσσας προγραμματισμού δεν είναι εφικτή, μιας και πρόσβαση στον κώδικα του προγράμματος απλά δεν υφίσταται. Αυτό περιορίζει αρκετές από τις χρήσεις του HAZUS καθώς τα δεδομένα μιας μελέτης δεν ανταποκρίνονται στις συνθήκες της εξεταζόμενης περιοχής (χαρακτηριστικό παράδειγμα η περίπτωση των νόμων απόσβεσης).

Στο πλαίσιο της παραπάνω εργασίας, η χρήση του HAZUS κρίνεται μη φιλική προς τον χρήστη. Μετά από κάθε σενάριο της ίδιας υπόθεσης εργασίας, τα αποτελέσματα δεν διατηρούνται αλλά διαγράφονται από τα αποτελέσματα του επόμενου σεναρίου˙ οπότε και θα πρέπει να εξάγονται κάθε φορά. Επιπλέον για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και την παρουσίασή τους, απαιτείται αρκετός χρόνος εκτός του περιβάλλοντος του HAZUS (δεδομένου ότι η επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται με χρήση της πλατφόρμας GIS). Το πρόγραμμα θεωρείται πως υπερεκτιμά απώλειες για επεισόδια μεγέθους ροπής μικρότερα από 6 (το επίπεδο ακρίβειας κατά τις εφαρμογές που έγιναν δεν επιτρέπουν εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων). Επιπλέον οι εκτιμήσεις απωλειών πέραν των συνήθη κτιρίων περιέχουν αρκετές αβεβαιότητες και για το λόγο αυτό τα πορίσματα αντιμετωπίζονται μάλλον ως απλές ενδείξεις. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι εκτιμήσεις ανθρωπίνων

απωλειών που συχνά εμφανίζουν μερικές τάξεις μεγέθους απόκλιση συγκρινόμενα με σενάρια ιστορικών περιστατικών. Παρατηρήθηκαν επίσης κάποια λάθη στον αλγόριθμο του προγράμματος (π.χ. η τιμή της φασματικής μετακίνησης που εμφανίζεται στα αποτελέσματα απόκρισης εδάφους δεν ανταποκρίνεται στο πραγματικό μέγεθος) είναι όμως γνωστά στους σχεδιαστές και αναμένεται να διορθωθούν στην επικείμενη νέα έκδοση του.

Όσον αφορά την αποδοτικότητα της εφαρμογής, της παρούσας εργασίας, το εγχείρημα της ευρείας εφαρμογής του λογισμικού στην Ελλάδα τίθεται μάλλον υπό αμφισβήτηση. Απαιτήθηκε ιδιαίτερος χρόνος για την τροποποίηση αρκετών από των παραμέτρων της τυχαίας περιοχής ενώ σε αρκετά σημεία δεν έγινε πλήρως κατανοητή η πολύπλοκη δομή των σχέσεων, δεδομένου του γεγονότος ότι μερικές από τις σχέσεις, που δεν επιδέχονται τροποποίηση, παραμένουν μη ικανοποιητικές για την προσέγγιση ελληνικών δεδομένων. Κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από μια τεράστια ποικιλία παραμέτρων όπως: υλικό κατασκευής, συντελεστή δόμησης, αντισεισμικό κανονισμό βάσει του οποίου χτίστηκαν το κτίρια κτλ. γεγονός που αναμφίβολα αυξάνει την πολυπλοκότητα της ακριβούς περιγραφής του οικιστικού αποθέματος. Εντούτοις, το λογισμικό παραμένει ένα ισχυρό εργαλείο αποτίμησης απωλειών έστω και με τους περιορισμούς του για μια εικονική εφαρμογή σε περιοχή της Ελλάδας. Επιπλέον, προκειμένου για μια εφαρμογή που θα ανταποκρίνεται πλήρως σε συνθήκες περιοχής της Ελλάδας, απαιτούνται τα ακριβή δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων για τα οποία έγινε χρήση των παραμέτρων του προγράμματος (καμπύλες φασματικής ικανότητας) καθώς και καλύτερη προσέγγιση των καμπύλων τρωτότητας που όπως έδειξαν τα σχετικά σενάρια, κατευθύνουν το αποτέλεσμα ενός σεναρίου.

Αν και το λογισμικό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να παραμετροποιήσει (ως ένα σημείο) την εφαρμογή της προσομοίωσης στο φυσικό περιβάλλον, πρέπει να γίνει απολύτως κατανοητό ότι έχει σκοπό περισσότερο να δώσει την αίσθηση μιας πιθανής εξέλιξης σε υποθετικό ή ρεαλιστικό σενάριο, παρά μια ακριβή πρόβλεψη. Με τα διαθέσιμα δεδομένα τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει ο αναλυτής τίθενται εύκολα υπό αμφισβήτηση και η επαλήθευση αποδεικνύεται ιδιαιτέρως δαπανηρή και χρονοβόρα. Η ίδια η ιστορία δείχνει ότι η συμπεριφορά μιας περιοχής στον εκάστοτε σεισμό μπορεί να διαφέρει δραματικά, χωρίς δυστυχώς να υπάρχει, ακόμα, μια ασφαλής και πιστοποιημένη μέθοδος πρόληψης – πρόβλεψης. Το όλο εγχείρημα υποκύπτει αναγκαστικά στην κατηγορία της απλής προσέγγισης, που σκοπό έχει να λειτουργήσει συμβουλευτικά σε περεταίρω λεπτομερή ανάλυση των προϊόντων. Δεν θα πρέπει ωστόσο να παραβλεφθεί το γεγονός πως η σεισμικότητα μιας περιοχής είναι ένα μέγεθος που δεν υπόκειται σε κανένα μαθηματικό αλγόριθμο και ώς εκ τούτου μόνο με προσεγγίσεις μπορεί να πλαισιωθεί.

5.2 Απλοποιήσεις, περιορισμοί, παραδοχές και συμπεράσματα κατά την εφαρμογή του πιλοτικού προγράμματος.

Μερικές από τις αρχικές παραδοχές που έγιναν στο HAZUS όσον αφορά το πιλοτικό πρόγραμμα ήταν οι εξής :

- Τα στοιχεία των οικοδομών δεν ήταν αγκιστρωμένα στα αντίστοιχα κτίρια (με κάποιο κωδικό κτιρίου ή κάτι αντίστοιχο), οπότε ή έρευνα περιορίστηκε σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου, με ό,τι απώλεια πληροφορίας αυτό επισυνάπτει, και η όποια αναγνώριση και τοποθέτηση κτιρίων στο χώρο έγινε με κανόνα τον τοπογραφικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής, αεροφωτογραφίες των οικοδομικών τετραγώνων με κλίμακα 1:4000 (1999) και δορυφορική εικόνα Quickbird (2001)
- Ένα μέρος των δεδομένων έφεραν τυπογραφικά λάθη ή διπλές καταχωρήσεις οπού αφορούσαν ίδιο ή πανομοιότυπο οικοδόμημα, με αποτέλεσμα να γίνει μια προσέγγιση αυτών μέσω της παρατήρησης κάποιων ποιοτικών κυρίως χαρακτηριστικών αυτών
- Οι πολυκατηγορίες του HAZUS όσον αφορά την ποιότητα υλικών και σχεδιασμού των κτιρίων έπρεπε να κωδικοποιηθούν για τα ελληνικά δεδομένα. Απλοποιήσεις έγιναν με γνώμονα την κατηγοριοποίηση των στοιχείων από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος. Έτσι οι 36 κατηγορίες κτιρίων βάση του υλικού δόμησης συμπυκνώθηκαν σε 5 ύστερα από καθοδήγηση πολιτικού μηχανικού. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ λόγω έλλειψης δεδομένων χρησιμοποιηθήκαν οι καμπύλες τρωτότητας των κτιρίων της Αμερικής, σε περίπτωση υπολογιμού των αντίστοιχων ελληνικών η εισαγωγή τους είναι δυνατή
- Άλλη μια εν δυνάμει δυνατότητα που χρησιμοποιήθηκε κατά προσέγγιση είναι το επίπεδο σχεδίασης των κτιρίων (Low – Core – High) που για τα ελληνικά δεδομένα θεωρήθηκε Core στηριζόμενο κυρίως σε προηγούμενες προσπάθειες (βλ Δεοδάτης)
- Σε αντίστοιχο ρυθμό έγινε και η κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης δεδομένου ότι οι 370 διαφορετικού τύπου χρήση που προσφέρει το εν λόγω πρόγραμμα, κρίθηκε υπερβολικό. Απλή διευκρίνιση εδώ, η χρήση γης στο συγκεκριμένο πείραμα δεν επηρεάζει την στατικότητα του κτιρίου (όπως είναι πολύ λογικό) ωστόσο έχει άμεσες συνέπειες στα άμεσα και έμμεσα, υλικά αλλά κοινωνικά κόστη. Χάριν παραδείγματος ένα σπίτι στις 11:00 πμ θα έχει πολύ λιγότερους εγκλωβισμένους από ένα τραπεζικό υποκατάστημα, ενώ σε περίπτωση πλήρους αστοχίας του κτιρίου, τα

έμμεσα κόστη του υποκαταστήματος από τη μη λειτουργία του είναι σαφώς διαφορετικής κλίμακας από της οικείας

- Ένας μεγάλος αριθμός κτιρίων έφερε ελλιπείς πληροφορίες στην απογραφή του 2001 κάποια όσον αφορά το υλικό δόμησης αλλά κυρίως όσον αφορά τη χρονολογία ανέγερσης. Θεωρήθηκε εδώ ότι τα κτίρια άγνωστης ηλικίας ανήκουν σε κτίρια ηλικίας πάνω από 45 χρόνια, και τοποθετηθήκαν στην ανάλογη ηλικιακή ομάδα Εδαφικά η περιοχή λόγω και της μικρής έκτασης αλλά και την ιδιομορφία του πετρώματος είχε πολύ μικρές διακυμάνσεις ως προς την γεωλογία του (σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής), έτσι οι τύποι που χρησιμοποιηθήκαν στην δικιά μας περίπτωση είναι ο τύπος C,D ως παραδοχή για παρατήρηση της διαφορετικής συμπεριφοράς των κτιρίων πάνω σε διαφορετικό έδαφος (βλ. Πίνακα Α-55).

- Για τον απολογισμό των ζημιών μετά την εφαρμογή του εκάστοτε σεναρίου, έπρεπε να υπολογιστεί το συνολικό εμβαδόν (αθροιστικά) όλων των οροφών της περιοχής. Λόγω της μεγάλης δαπάνης που θα προϋπέθετε ένα τέτοιο εγχείρημα, έγινε μια προσέγγιση μέσω των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών μέσω των οποίων έγινε ένας αδρός υπολογισμός του εμβαδού των καταγεγραμμένων κτιρίων και στη συνέχεια με χρήση βασικών στατιστικών μεγεθών εξήχθει ο μέσος όρος τετραγωνικών μέτρων για τον κάθε όροφο. Η παρουσία του συγκεκριμένου είναι καθαρά ενδεικτική και η οποιαδήποτε έκφανση και χρήση της, υπεισέρχεται μεγάλης απόκλισης.
- Κατά τον διαχωρισμό των υλικών των κτιρίων τέθηκε το ερώτημα, ποια ακριβώς πληροφορία είναι συνδεδεμένη με ποιά, αφού σύμφωνα με την Ε.Σ.Υ.Ε. ξέρουμε παραδείγματι ότι υπάρχουν στην περιοχή 150 σπίτια από οπλισμένο σκυρόδεμα, και 50 από ξύλο. Ξέρουμε επίσης ότι κάποια από αυτά είναι μονο ισόγειο, φέρουν δύο ορόφους ή και τρεις. Η ηλικία κάποιων είναι μια δεκαετία ενώ άλλα μετρούν τριακονταετία κτλ. Πώς όμως μπορεί η πληροφορία να κατανεμειθεί σώστά έστω με τη μορφή ποσοστών? Η διαδικασία αυτή είναι μια απλή προσέγγιση και βασίστηκε σε προηγούμενα παραδείγματα(βρ Δεοδάτη) και φέρει μια σείρα από λογικά επιχειρήματα :

Στη συνέχεια προστέθηκαν κάποιοι εξ ορισμού περιορισμοί της μεθοδολογίας

- Βασισμένος σε μικρές ενδεικτικές περιπτώσεις (στοιχεία Υ.Α.Σ. – πρώτη και δεύτερη) έγινε ένας υποτυπώδης έλεγχος που απλά επιδεικνύει κάποια υπερεκτίμηση των πιθανών ζημιών για σεισμούς τάξεως μικρότερους των 6 βαθμών της κλίμακας Richter γεγονός που όμως καταδεικνύει και η ίδια κατασκευαστική εταιρεία (NIBS)
- Η αλλαγή της συμπεριφοράς του γεωλογικού υποβάθρου στο ένα σενάριο, γίνεται χρήση αυτού, φέρει τα χαρακτηριστικά των κεντρικών Ηνωμένων Πολιτειών κάτι που δεν δύναται να αλλάξει. Συμπεριλαμβάνεται εδώ και η ύπαρξη οποιουδήποτε ρέματος, φαραγγιού ή ρήγματος που θα οδηγούσε σε μια πιθανά ακραία αντίδραση του εκάστοτε κτιρίου με την εφαρμογή μιας σχετικά μικρής σεισμική δόνησης
- Ο υπολογισμός άμεσου κόστους ενός κτιρίου αφενός διαφέρει από το αντίστοιχο της Αμερικής, αφετέρου δεν μπορεί να ελεγχθεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης
- Για την εξαγωγή των δημογραφικών απωλειών θα πρέπει να υπάρχει λεπτομερής καταγραφή όλων των μελών στην υπό μελέτη περιοχή, καθώς και της φέρουσας χωρητικότητας των κτιρίων που περιλαμβάνονται σε αυτή. Επίσης θα πρέπει να έχει γίνει κατάλληλος διαχωρισμός των ηλικιακών ομάδων, ώστε να δοθούν κάποια ποσοστά απωλειών βασισμένα κυρίως σε λογικά επιχειρήματα τύπου : Στις 2πμ, με δεδομένο σεισμό, οι πιθανότητες για εγκλωβισμούς/ απώλειες είναι σαφώς μεγαλύτερες στο σπίτι μιας τετραμελούς οικογένειας (που περιλαμβάνει και 2 παιδιά μικρής ηλικίας) παρά σε μια εταιρεία που όλο το προσωπικό της αυτήν την ώρα περιορίζεται σε ένα νυχτοφύλακα. Δεδομένου ότι τέτοια ποιοτικά/ποσοτικά δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα για την περιοχή, έγινε χρήση των ποσοστών που έχουν δημοσιευθεί από την Ε.Σ.Υ.Ε. και αφορούν όλο το λεκανοπέδιο Αττικής, εφαρμοσμένα στο μόνιμο πληθυσμό της Κηφισιάς.

Τέλος παρατίθενται οι περιορισμοί που αφορούν το λογισμικό και το τεχνοκράτικό μέρος γενικότερα.

- Το εργαλείο εισαγωγής κτιρίων Building Import Tool του προγράμματος δεν επιτρέπει την εισαγωγή απομονωμένων κτιρίων και την ένταξη/ συνυπολογισμό τους σε ύστερες προσπάθειες για εφαρμογή σεναρίων
- Η γενικότερη φιλοσοφία εισαγωγής ή διαφοροποίησης δεδομένων και χαρτών κάθε άλλο παρά φιλική προς το χρήστη μπορεί να θεωρηθεί αφού για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο κανείς αυτοματισμός δεν είναι διαθέσιμος και το κάθε κτίριο πρέπει να περαστεί χειρωνακτικά, μια εργασία αφενός χρονοβόρα αφετέρου, οποιαδήποτε τυπογραφικό ή άλλο λάθος δεν διορθώνεται παρά μόνο με επαναπληκτρολόγηση όλων των δεδομένων από την αρχή.
- Περιορισμένη συμβατότητα του προγράμματος με αρχεία Excel, Word κτλ, συγκεκριμένη δομή των γεωγραφικών βάσεων δεδομένων που δε μπορεί να αλλάξει ή να εισαχθεί καινούρια χωρίς επανασχεδιασμό αυτών
- Τα αποτελέσματα του HAZUS αφορούν πιθανότητες μερικής ή ολικής αστοχίας σε επίπεδο οικοδομημένου τετραγωνικού μέτρου πράγμα που σημαίνει ότι ακόμα κι αν υπάρχει η ποιοτική και ποσοτική πληροφορία αναλυτική για το κάθε σπίτι της περιοχής, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να εξαχθούν απομονωμένα για το κάθε κτίριο. Συμπληρωματικά απλά να ειπωθεί ότι ανεπίσημα αν χρησιμοποιήσεις ένα και μόνο κτίριο τότε η έρευνα θα επικεντρωθεί και τα αποτελέσματα θα αφορούν μόνο αυτό αλλά στην ευρύτερη μελέτη περιοχής δεν δίνεται η δυνατότητα για συγκεκριμένες αναφορές
- Αναφορά πρέπει να γίνει και στο γεγονός ότι πολλά από τα κτίρια, ενώ έχουν ίδια χαρακτηριστικά, δείχνουν διαφορετική αντιμετώπιση από το ίδιο σενάριο σεισμού, έστω κι αν οι συνθήκες παραμένουν σταθερές
- Τα περιορισμένα γραφικά του HAZUS δυσχέρεναν αρκετά την διαδικασία εξαγωγής αποτελεσματών, που ναι μεν είναι αυτοματοποιημένη, η παραμετροποίηση δε, είναι σχεδόν αδύνατη
- Μπορεί το HAZUS να είναι λογισμικό που δίδεται δωρεάν σε δημόσιους και ερευνητικούς φορείς ώστόσο ο κώδικας του είναι κλειστός, δηλαδή καμμία προσμιξη δε μπορεί να έχει ο αναλυτής στους αλγορίθμους που υπολογίζουν κάθε μεγεθος. Σε περίπτωση που το πρόγραμμα ήταν ανοιχτού κώδικα (open code) τότε η επίλυση διαφόρων διαδικαστικών προβλημάτων θα ήταν ευκολότερη και κυρίως λιγότερο χρονοβόρα

- Σε μια δεδομένη περιοχή, δοκιμάζονται πολυάριθμα σενάρια ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα και να εντοπιστούν τυχόν αποκλίσεις του προγράμματος. Πάλι το πρόγραμμα δεν προσφέρει κανένα τρόπο αποθήκευσης των αποτελεσμάτων του κάθε σεναρίου, πράγμα που σημαίνει ότι μόνο χειρωνακτικά μπορεί κάποιος να τα αποθηκεύσει, κάτι που κρίνεται ανεπαρκές δεδομένου του όγκου των πληροφοριών
- Σε περιπτώσεις που η περιοχή ξεπερνάει τα κάποια τετραγωνικά χιλιόμετρα, τότε η ανάγκη για υπολογιστική ισχύ αυξάνει δραματικά, σε ευθεία αναλογία με τις ώρες που χρειάζονται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Σε κάποιες περιπτώσεις τα σενάρια ξεπερνάνε κατά πολύ το φράγμα της μίας ώρας, ενώ για μια περιοχή μεγέθους κωμόπολης το σενάριο μπορεί να χρειαστεί αρκετές ώρες. Δεδομένου ότι πολλά σενάρια θα πρέπει να τρέξουν και σε αυτές τις περιπτώσεις, η ανάγκη για ένα τυπικό προγραμματισμό πληθώρας σεναρίων, να τρέχουν σειριακά το ένα μετά το άλλο, απουσιάζει ενώ κρίνεται αναγκαία
- Το όλο λογισμικό έχει σχεδιαστεί αυστηρά και μόνο για χρήση του σε αμερικάνικο έδαφος, με αποτέλεσμα η οιαδήποτε προσπάθεια για προσομοίωση περιοχής εκτός αυτού να καθιστά το έργο του επίδοξου αναλυτή ιδιαιτερα δύσκολο. Τα πακέτα των εγχειριδίων που δίνονται με το πρόγραμμα κάθε άλλο παρά ικανοποιητικά είναι αφού όχι μόνο δεν έχουν επαρκείς πληροφορίες για τη δημιουργία περιοχής εκτός της Αμερικής αλλά υποκύπτουν και τόσο σε τεχνικά λάθη όσο και υπολογιστικά – λάθη που καταδείχθηκαν και εστάλησαν στην παραγωγό εταιρεία ώστε να ληφθούν υπ' όψη στις νεώτερες εκδόσεις του λογισμικού

Παράρτημα Α

Δεδομένα από τον ελλαδικό χώρο

Ι Στοιχεία από τον ΕΑΚ 2000
ΙΙ Βαθμονόμηση επικινδυνότητας μη-δομικών στοιχείων
(ΟΑΣΠ 2001)

Πίνακας Α- 7: Κατηγορίες εδάφους (ΕΑΚ 2000)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Α	• Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση • Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. • Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
Β	• Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. • Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. • Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	• Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. • Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	• Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας (Ip> 50) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
Χ	• Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) • Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1 (Kappos, 1998) • Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. • Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπυκνώσεως ή απώλειας αντοχής. • Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. • Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Πίνακας Α-8: Συντελεστές σπουδαιότητας (ΕΑΚ 2000)

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ_i
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

Πίνακας Α- 9:Σεισμική επιτάχυνση εδάφους (ΕΑΚ 2000)

Ζώνη σεισμική επικινδυνότητας	I	II	III
α	0.16	0.24	0.36

Πίνακας Α- 10: Τιμές χαρακτηριστικών περιόδων Τ1, Τ2 (ΕΑΚ 2000)

Κατηγορία εδάφους	**Α**	**Β**	**Γ**	**Δ**
T_1	0.10	0.15	0.20	0.2
T_2	0.40	0.60	0.80	1.20

ΠίνακαςΑ- 11:Βαθμονόμηση επικινδυνότητας μη δομικών στοιχείων (ΟΑΣΠ: Πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος κτιρίων Δημόσιας και Κοινωφελούς χρήσης)

Α10	Κλιμακοστάσια	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Μ	Υ	
Α11	Αρχιτεκτονικά στοιχεία και εγκαταστάσεις του κτιρίου κατά μήκος των εξόδων διαφυγής (σωληνώσεις, ψευδοροφές, φωτιστικά)	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Μ	Χ	
Α12	Έπιπλα και /ή τα περιεχόμενά τους κατά μήκος Των εξόδων διαφυγής (ντουλάπια, ράφια)	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Χ	
		υψηλή	Υ	Μ	Χ	
	ΠΑΡΑΘΥΡΑ					
Α13	Τζάμια προσόψεων	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Α14	Φεγγίτες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Α15	Εσωτερικά γυάλινα χωρίσματα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Μ	
	ΜΟΝΙΜΑ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ & ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑΤΑ					
Α16	Στηθαία, προστατευτικά κιγκλιδώματα Μπαλκονιών, γείσα, επιχρίσματα, επενδύσεις και άλλα διακοσμητικά στοιχεία	χαμηλή	Μ	Μ	Χ	
		μεσαία	Υ	Υ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Χ	
Α17	Φράχτες, τοίχοι περίφραξης, μάντρες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Μ	
Α18	Αναρτημένα προσαρτήματα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Υ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Μ	
Α19	Εξωτερικός φωτισμός	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Α20	Ψηλά γλυπτά (ύψος πάνω από 1.5μέτρο)	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	Ν
		υψηλή	Μ	Μ	Χ	
Α21	Εξωτερικές και εσωτερικές πινακίδες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Χ	
Α22	Κεραμίδια στεγών	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Μ	Υ	Μ	
Α23	Προσαρτήματα	χαμηλή	Μ	Μ	Χ	
		μεσαία	Υ	Υ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Χ	
	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ					
	ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ, ΚΥΛΙΟΜΕΝΕΣ ΣΚΑΛΕΣ					
Ε1	Καμπίνα ανελκυστήρα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Μ	Μ	Ν
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Ε2	Καλώδια, αντίβαρα, οδηγοί κίνησης	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Μ	
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Ε3	Κυλιόμενες σκάλες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Χ	Μ	Χ	

Ε4	Κυλιόμενοι διάδρομοι	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Χ	Μ	Χ	
	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ					
Ε5	Γεννήτριες	χαμηλή	Χ	Χ	Μ	Ν
		μεσαία	Χ	Μ	Υ	
		υψηλή	Χ	Υ	Υ	
Ε6	Μπαταρίες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Υ	Μ	
		υψηλή	Χ	Υ	Υ	
Ε7	Δεξαμενές καυσίμων	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Υ	Υ	Χ	
		υψηλή	Υ	Υ	Μ	
	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ - ΨΥΞΗΣ					
Ε8	Ανεμιστήρες-σώματα θέρμανσης και κλιματισμού	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	
		υψηλή	Χ	Μ	Μ	
	Η/Μ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑΤΑ					
Ε9	Ηλιακοί θερμοσίφωνες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Χ	
Ε10	Αγωγοί εξαερισμού	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Χ	
Ε11	Σωληνώσεις	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	
		υψηλή	Χ	Μ	Μ	
Ε12	Λέβητες, Θερμοσίφωνες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Ε13	Αντλίες διανομής	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	
		υψηλή	Χ	Μ	Μ	
Ε14	Σωλήνες ζεστού και κρύου νερού	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Μ	Μ	Μ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ					
Ε15	Ηλεκτρικές συσκευές	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Μ	Μ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Ε16	Διακόπτες ηλεκτρικού	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Ε17	Καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Χ	Μ	Μ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	

	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ ΚΑΙ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ					
Ε18	Ανιχνευτές φωτιάς, συστήματα συναγερμού για Φωτιά, σύστημα για αυτόματες πόρτες Πυρασφάλειας	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Χ	Χ	Χ	
Ε19	Πυροσβεστήρες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Υ	Χ	
		υψηλή	Μ	Υ	Χ	
Ε20	Αντλίες νερού	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	Ν
		υψηλή	Μ	Μ	Χ	
Ε21	Ταμιευτήρας (ντεπόζιτο) νερού	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Υ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Χ	
Ε22	Εξαεριστήρες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Χ	Μ	Μ	
Ε23	Καταιονιστήρες, σωληνώσεις	χαμηλή	Χ	Μ	Μ	
		μεσαία	Χ	Υ	Υ	Ν
		υψηλή	Μ	Υ	Υ	
Ε24	Δεξαμενές προπανίου	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Υ	Μ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Μ	
Ε25	Βαλβίδες διακοπής παροχής	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Υ	Μ	
		υψηλή	Υ	Υ	Μ	
Ε26	Υπόγεια δίκτυα	χαμηλή	Χ	Χ	Μ	
		μεσαία	Χ	Μ	Υ	Ν
		υψηλή	Μ	Υ	Υ	
	ΕΠΙΠΛΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ					
	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ					
Π1	Μικροφωνική εγκατάσταση σε αίθουσα Συνεδριάσεων	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Υ	Μ	
		υψηλή	Χ	Υ	Μ	
Π2	Κεραίες, αναμεταδότες	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Χ	
Π3	Ηλεκτρονικοί υπολογιστές	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Μ	Υ	
		υψηλή	Χ	Υ	Υ	
Π4	Κάμερες, τηλεοράσεις στηριγμένες σε τοίχο	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Υ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Υ	Χ	
	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΡΑΦΕΙΩΝ					
Π5	Καλώδια ηλεκτρονικών υπολογιστών	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Χ	Χ	Χ	
Π6	Επιτραπέζιος εξοπλισμός ηλεκτρονικών Υπολογιστών	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Υ	Μ	
		υψηλή	Χ	Υ	Μ	

	ΑΡΧΕΙΑ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ					
Π7	Βιβλιοθήκες και ράφια βιβλίων με ύψος πάνω από 1,5 μέτρα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	Ν
		μεσαία	Υ	Μ	Μ	
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Π8	Ψηλά κατακόρυφα ή οριζόντια ντουλάπια	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Μ	
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Π9	Ψηλές κρεμάστρες ή ράφια	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Μ	
		υψηλή	Μ	Μ	Χ	
Π10	Ντουλάπια με είδη πρώτων βοηθειών	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Π11	Αντικείμενα ιδιαίτερης αξίας ή εύθραυστα	χαμηλή	Χ	Μ	Χ	
		μεσαία	Χ	Υ	Χ	
		υψηλή	Χ	Υ	Χ	
	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΟΥΖΙΝΑΣ ΚΑΙ ΠΛΥΝΤΗΡΙΟΥ					
Π12	Μεγάλες συσκευές κουζίνας ή πλυντηρίων	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Χ	
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Π13	Ντουλάπια και συρτάρια κουζίνας	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Χ	Μ	Μ	
Π14	Σόμπα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΥΛΙΚΑ					
Π15	Φιάλες υγραερίου, οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα ή αμμωνίας	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Μ	Μ	Χ	
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Π16	Χημικά, φάρμακα και υλικά εργαστηρίων	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Χ	Ν
		υψηλή	Υ	Μ	Μ	
Π17	Ντουλάπια για επικίνδυνα υλικά	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Υ	Μ	Υ	Ν
		υψηλή	Υ	Μ	Υ	
	ΕΠΙΠΛΑ, ΕΣ. ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ					
Π18	Γλάστρες με φυτά	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Χ	Χ	
Π19	Εύθραυστα ή μεγάλης αξίας αντικείμενα τέχνης, βάζα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Υ	Χ	
		υψηλή	Χ	Υ	Χ	
Π20	Ελεύθερα χωρίσματα χαμηλού ύψους	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Χ	Χ	
		υψηλή	Μ	Μ	Μ	
Π21	Κάθε είδους έπιπλα	χαμηλή	Χ	Χ	Χ	
		μεσαία	Χ	Μ	Χ	
		υψηλή	Χ	Μ	Χ	

ΣΔ: σεισμική διακινδύνευση

Χαμηλή : αντιστοιχεί στη ζώνη I σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ-2000

Μεσαία : αντιστοιχεί στη ζώνη II σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ-2000

Υψηλή : αντιστοιχεί στη ζώνη III και IV σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ-2000

ΚΑ: κίνδυνος για ανθρώπινη απώλεια

ΑΑ: απώλεια αγαθών

ΔΛ: προσωρινή ή μόνιμη διακοπή κρισίμων λειτουργιών

ΑΤΠ: απαίτηση τεχνικού προσωπικού

Βαθμός επικινδυνότητας

Χ: χαμηλός

Μ: μεσαίος

Υ: Υψηλός

Παράρτημα Β

Ι Περιγραφές Δομικών Τύπων και Επιπέδων Στάθμης Βλάβης κατά HAZUS

ΙΙ Συντελεστής αναμενόμενης ανελαστικής συμπεριφοράς κτιρίων (K) κατά HAZUS

I. Περιγραφή δομικών τύπων κτιρίων HAZUS

1. **Κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με πλαισιακό δομικό σύστημα (C1)**

Έχουν ως δομικό σύστημα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος. Σε μερικές περιπτώσεις οι συνδέσεις δοκών υποστυλωμάτων έχουν πολύ μικρή αντοχή σε κάμψη. Ωστόσο σε άλλες περιπτώσεις οι δοκοί και τα υποστυλώματα έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να δημιουργούνται καμπτικά πλαίσια παραλαβής οριζοντίων φορτίων. Τα διαφράγματα μεταβιβάζουν τα οριζόντια φορτία στα καμπτικά πλαίσια. Σε τέτοια κτίρια συναντάμε μεγάλη ποικιλία πλαισιακών συστημάτων. Σε κτίρια της κατηγορίας αυτής που είναι υπολογισμένα και διαστασιολογημένα με παλαιούς κανονισμούς, μπορεί να συμβεί ψαθυρή θραύση μελών των πλαισίων λόγω σεισμού η οποία ενδέχεται να οδηγήσει σε μερική ή ολική κατάρρευση. Κτίρια της ίδιας κατηγορίας σε περιοχές μεγάλης σεισμικότητας, σχεδιασμένα με νεότερους κανονισμούς έχουν πλάστιμη συμπεριφορά και μπορούν να παραλάβουν μεγάλες παραμορφώσεις κατά την διάρκεια σεισμικής δόνησης χωρίς να παρουσιαστεί ψαθυρή αστοχία των μελών και κατάρρευση.

2. **Κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με μικτό (τοιχώματα) δομικό σύστημα (C2)**

Τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία του συστήματος παραλαβής οριζοντίων φορτίων στα κτίρια αυτή της κατηγορίας είναι τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στα παλαιότερα κτίρια, τα τοιχώματα είναι συχνά αρκετά εκτεταμένα και οι τάσεις που αναπτύσσονται μικρές αλλά ο οπλισμός τους λίγος. Στα νεότερα κτίρια τα τοιχώματα είναι συνήθως μικρότερα και πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για τα στοιχεία τα ακραία στοιχεία (boundary members) και τις δυνάμεις ανατροπής.

3. **Κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με πλαισιακό δομικό σύστημα με τοιχοπληρώσεις (C3)**

Οι τοίχοι πλήρωσης καλύπτουν πλήρως τα κενά μεταξύ των φερόντων στοιχείων και φαίνονται ως ενιαίο σύνολο (δύσκολα παρατηρούνται τα διαχωριστικά σημεία). Συνήθως αυξάνουν την στιβαρότητα και την ικανότητα παραλαβής οριζοντίων φορτίων από την κατασκευή. Η διατμητική αντοχή των υποστυλωμάτων, μετά την θραύση των τοιχοπληρώσεων, μειώνει περεταίρω την ήδη μειωμένη πλαστιμότητα του συστήματος.

4. **Κτίρια από άοπλη τοιχοποιία (URM)**

Τα κτίρια αποτελούνται από διαφορετικά δομικά στοιχεία ανάλογα με την περίοδο κατασκευής και την περιοχή που βρίσκονται. Τα κτίρια τα οποία κτίστηκαν πριν το 1900, στην πλειοψηφία τους αποτελούνται από ξύλινα διαφράγματα και ξύλινα πλαίσια. Σε μεγάλα πολυώροφα κτίρια τα πατώματα είναι από έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρονται από άοπλη τοιχοποιία, μεταλλικά ή/και από οπλισμένο σκυρόδεμα εσωτερικά πλαίσια. Στα κτίρια από άοπλη τοιχοποιία που κατασκευάστηκαν μετά το 1950, τα ξύλινα πατώματα αποτελούνται από αντιεπικολλητές παρά από συμβατικές σανίδες. Σε περιοχές μικρότερης σεισμικότητας, κτίρια αυτής τη κατηγορίας τα οποία

κατασκευάστηκαν προσφάτως μπορεί να έχουν δάπεδα και στέγες από μεταλλικά φύλλα με πλήρωση από σκυρόδεμα που φέρονται από μεταλλικά πλαίσια. Οι περιμετρικοί και ίσως μερικοί εσωτερικοί τοίχοι είναι από άοπλη τοιχοποιία. Η σύνδεση των τοίχων με τα διαφράγματα δεν είναι ο κανόνας. Σύνδεση μεταξύ των τοίχων και των διαφραγμάτων είναι πιο συνηθισμένοι σε φέροντες τοίχους. Σύνδεση με τις στέγες είναι λιγότερο συνηθισμένη. Εσωτερικά χωρίσματα τα οποία συνδέουν το πάτωμα με την στέγη μπορούν να μειώσουν τις μετακινήσεις του διαφράγματος.

5. **Ξύλο, Ελαφρύς σκελετός (W1)**

Καταλύματα που εξυπηρετούν σκοπούς κατοικίας για μία ή και περισσότερες οικογένειες. Ο βασικός κατασκευαστικός ιστός αυτών των δομημάτων αποτελείται από πυκνά και επαναλαμβανόμενα πλαίσια ξύλινων δοκών ή μαδεριών αρθρωμένα με μπουλόνια ή καρφιά σε ξύλινους φέροντες τοίχους. Μικρά ανοίγματα και επομένως μικρά φορτία. Οι κατασκευές αυτές είναι δυνατόν να έχουν σχετικά βαριές λιθόκτιστες καμινάδες και να είναι επενδυμένες με πέτρα, οι περισσότερες δε – ιδιαίτερα οι μονοκατοικίες – δεν είναι υπολογισμένες αλλά κατασκευασμένες με απλοποιημένες θεωρήσεις του οικοδομικού κώδικα. Ως αποτέλεσμα, διαθέτουν ελλιπή στήριξη στην περίπτωση διατμητικών φορτίσεων αν και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή αναπληρώνεται με τη μεταφορά των πλευρικών δυνάμεων, μέσω των διαφραγμάτων, στους φέροντες τοίχους. Η διαφραγματική αυτή λειτουργία τελείται από τα πατώματα και τα φατνώματα της οροφής τα οποία είναι συνήθως επενδυμένα με ξύλο ή μοριοσανίδες. Φέροντες τοίχοι είναι οι εξωτερικοί, επενδυμένοι με φύλλα αντιεπικολλητής ή απλής ξυλείας, στόκο, σοβά, γυψοσανίδες, μοριοσανίδες, σανίδες συμπυκνωμένων ινών, ή εσωτερικοί τοίχοι επενδυμένοι με σοβά ή γυψοσανίδα.

Περιγραφή δομικών βλαβών κτιρίων HAZUS

1. **Βλάβες κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος με πλαισιακό δομικό σύστημα (C1)**

Ελαφριές βλάβες

Τριχοειδείς ρωγμές καμπτικές ή διατμητικές σε μερικές δοκούς και υποστυλώματα περί ή και μέσα στους κόμβους

Μέτριες βλάβες

Οι περισσότερες δοκοί και υποστυλώματα έχουν τριχοειδείς ρωγμές. Στα πλάστιμα πλαίσια μερικά στοιχεία έχουν φτάσει το όριο διαρροής που εκδηλώνεται με καμπτικές ρωγμές και μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος. Μη πλάστιμα πλαίσια μπορεί να έχουν μεγαλύτερες διατμητικές ρωγμές και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.

Εκτεταμένες βλάβες

Μερικά στοιχεία των πλαισίων έχουν φτάσει στο όριο αστοχίας που εκδηλώνεται στα πλάστιμα πλαίσια με μεγάλες καμπτικές ρωγμές, αποδιοργάνωση του σκυροδέματος καυ λυγισμό του κυρίου οπλισμού. Στοιχεία των μη πλάστιμων πλαισίων μπορεί να έχουν

υποστεί διατμητικές αστοχίες ή αστοχίες από συνάφεια στις περιοχές των ματισμάτων ή θραύση συνδετήρων ή λυγισμό του κυρίου οπλισμού στα υποστυλώματα που ενδέχεται να επιφέρουν μερικά κατάρρευση.

Ολικές βλάβες

Το κτίριο έχει καταρρεύσει ή υπάρχει κίνδυνος για κατάρρευση λόγω ψαθυρής αστοχίας στοιχείων μη πλάστιμων πλαισίων ή απώλεια της ευστάθειας του πλαισίου. Στην κατηγορία C1 των κτιρίων, κατά προσέγγιση το 20% των χαμηλών, το 15% μέσου ύψους και το 10% των υψηλών κτιρίων με ολικές βλάβες αναμένεται να καταρρεύσουν.

2. <u>Βλάβες κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος με μικτό (τοιχώματα) δομικό σύστημα (C2)</u>

Ελαφριές βλάβες

Διαγώνιες τριχοειδείς ρωγμές στην επιφάνεια διατμητικών τοιχωμάτων από ολπισμένο. Ελάχιστη αποδιοργάνωση σκυροδέματος σε μερικά σημεία

Μέτριες βλάβες

Οι περισσότερες επιφάνειες διατμητικών τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζουν διαγώνιες ρωγμές. Μερικά τοιχώματα έχουν ξεπεράσει το όριο διαρροής και παρουσιάζουν μεγάλες διαγώνιες ρωγμές και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στα άκρα του τοιχώματος

Εκτεταμένες βλάβες

Τα περισσότερα τοιχώματα έχουν υπερβεί το όριο διαρροής. Μερικά τοιχώματα έχουν υπερβεί το όριο αστοχίας τους και εμφανίζουν μεγάλες διαμπερείς διαγώνιες ρωγμές, εκτεταμένη αποδιοργάνωση σκυροδέματος γύρω από τις ρωγμές και εμφανή λυγισμό του οπλισμού του τοιχώματος ή στροφή στενών τοιχίων με ανεπαρκή θεμελίωση. Μερική κατάρρευση μπορεί να συμβεί λόγω της αστοχίας μη πλάστιμων υποστυλωμάτων σχεδιασμένων να μην φέρουν οριζόντια φορτία.

Ολικές βλάβες

Το κτίριο έχει καταρρεύσει ή υπάρχει σημαντικός κίνδυνος για κατάρρευση λόγω αστοχίας των περισσότερων διατμητικών τοιχωμάτων και αστοχία κάποιων σημαντικών για το κτίριο δοκών ή υποστυλωμάτων. Στην κατηγορία C2 των κτιρίων, κατά προσέγγιση, το 20% των χαμηλών κτιρίων, το 15% μέσου ύψους και το 10% των υψηλών κτιρίων με ολικές βλάβες, αναμένεται να καταρρεύσει.

3. <u>Βλάβες κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος με πλαισιακό δομικό σύστημα με τοιχοπληρώσεις (C3)</u>

Πρόκειται για ένα σύνθετο δομικό σύστημα όπου αρχικά τα οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται από τις τοιχοπληρώσεις. Μετά την ρηγμάτωση των τοίχων, η περαιτέρω παραλαβή των οριζοντίων

φορτίων γίνεται από τα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος γύρω από τις τοιχοπληρώσεις οι οποίες δρουν ως διαγώνιες θλιβόμενες ζώνες. Η κατάρρευση του κτιρίου προκύπτει όταν οι τοιχοπληρώσεις διαλυθούν (αποσυντεθούν) λόγω θλιπτικής αστοχίας των διαγώνιων θλιβόμενων ζωνών και το πλαίσιο χάσει την ευστάθεια του ή όταν τα υποστυλώματα αστοχήσουν διατμητικά λόγω της μείωσης του ενεργού ύψους και της μεγάλης διατμητικής δύναμης που επιβάλλεται σε αυτά από τις θλιβόμενες ζώνες της τοιχοποιίας.

Ελαφριές βλάβες

Διαγώνιες (μερικές φορές οριζόντιες) τριχοειδείς ρωγμές στις περισσότερες τοιχοπληρώσεις. Ρωγμές στις επιφάνειες επαφής πλαισίου-τοιχοποιίας.

Μέτριες βλάβες

Οι περισσότερες επιφάνειες των τοιχοπληρώσεων παρουσιάζουν μεγαλύτερες διαγώνιες ή οριζόντιες ρωγμές. Μερικοί τοίχοι παρουσιάζουν θραύση των οπτόπλινθων γύρω από τον κόμβο. Διαγώνιες διατμητικές ρωγμές ενδέχεται να εμφανιστούν σε υποστυλώματα ή δοκούς.

Εκτεταμένες βλάβες

Οι περισσότερες τοιχοπληρώσεις εμφανίζουν μεγάλες ρωγμές. Μερικοί οπτόπλινθοι μπορεί να μετακινηθούν και να πέσουν. Μερικοί τοίχοι μπορεί να μετακινηθούν εκτός του επιπέδου τους. Μερικοί τοίχοι μπορεί να καταρρεύσουν ολικά ή μερικά. Μερικά υποστυλώματα ή δοκοί μπορεί να αστοχήσουν διατμητικά με αποτέλεσμα μερική κατάρρευση. Το κτίριο μπορεί να εμφανίσει παραμένουσα οριζόντια παραμόρφωση.

Ολικές βλάβες

Το κτίριο έχει καταρρεύσει ή υπάρχει σημαντικός κίνδυνος για κατάρρευση λόγω ενός συνδυασμού ολικής αστοχίας τοίχων και ψαθυρής αστοχίας δοκών και υποστυλωμάτων. Στην κατηγορία C3 των κτιρίων, κατά προσέγγιση, το 25% των χαμηλών κτιρίων, το 20% μέσου ύψους και το 15% των υψηλών κτιρίων με ολικές βλάβες, αναμένεται να καταρρεύσει.

4. <u>Βλάβες κτιρίων από άοπλη τοιχοποιία (URM)</u>

Ελαφριές βλάβες

Διαγώνιες κλιμακωτές τριχοειδείς ρωγμές στις επιφάνειες των τοίχων. Μεγαλύτερες ρωγμές γύρω από τις πόρτες και τα παράθυρα σε τοίχους με μεγάλο ποσοστό ανοιγμάτων. Μετακινήσεις πρεκιών (lintels). Ρωγμές στη βάση στηθαίων.

Μέτριες βλάβες

Οι περισσότερες επιφάνειες τοίχων παρουσιάζουν διαγώνιες ρωγμές. Μερικοί τοίχοι παρουσιάζουν μεγαλύτερες διαγώνιες ρωγμές ενώ εμφανίζονται αποχωρισμοί από τα

διαφράγματα. Σημαντική ρηγμάτωση στηθαίων. Τμήματα της τοιχοποιίας μπορεί να αποκολληθούν και να πέσουν (ιδίως από στηθαία).

Εκτεταμένες βλάβες

Σε κτίρια με σχετικά μεγάλες επιφάνειες ανοιγμάτων στους τοίχους, οι περισσότεροι τοίχοι θα έχουν υποστεί εκτεταμένη ρηγμάτωση. Μερικά στηθαία και αετώματα έχουν πέσει. Δοκοί ή σύνδεσμοι έχουν μετακινηθεί από τις στηρίξεις τους.

Ολικές βλάβες

ο κτίριο έχει καταρρεύσει ή υπάρχει σημαντικός κίνδυνος κατάρρευσης λόγω αστοχίας των τοίχων εντός ή εκτός επιπέδου. Στην κατηγορία αυτή, κατά προσέγγιση, το 15% των κτιρίων αναμένεται να καταρρεύσει.

5. <u>Ξύλο, Ελαφρύς σκελετός (W1)</u>

Ελαφρές βλάβες

Μικρές ρωγμές στο σοβά ή στις γυψοσανίδες στις γωνίες των ανοιγμάτων ή των κουφωμάτων, ή στη συμβολή των τοίχων με το ταβάνι· μικρές ρωγμές στις λιθόκτιστες καμινάδες και στις επενδύσεις από πέτρα.

Μέτριες βλάβες

Μεγάλες ρωγμές στο σοβά ή στις γυψοσανίδες στις γωνίες των ανοιγμάτων ή των κουφωμάτων, μικρές διαγώνιες ρωγμές στους φέροντες τοίχους οι οποίες εμφανίζονται με τη μορφή μικρών ρωγμών στο στόκο ή τις γυψοσανίδες· μεγάλες ρωγμές στις λίθινες καμινάδες· αποδιοργάνωση λιθοδομής στις ψηλές καμινάδες.

Εκτεταμένες βλάβες

Επιμήκεις διαγώνιες ρωγμές στους φέροντες τοίχους ή επιμήκεις ρωγμές στους αρμούς των αντιεπικολλητών σανίδων· μόνιμες πλευρικές μετακινήσεις πατωμάτων και οροφής· αποδιοργάνωση των περισσότερων λίθινων καμινάδων· ρωγμές στη θεμελίωση· αποκόλληση δοκών – πλαισίων ή/ και ολίσθηση της κατασκευής· μερική κατάρρευση δωματίων υπέρ πιλοτής ή άλλου «μαλακού ορόφου».

Ολοκληρωτικές βλάβες

Η κατασκευή ενδέχεται να έχει μεγάλη πλευρική μετακίνηση, να καταρρεύσει, ή να υπάρχει άμεσος κίνδυνος κατάρρευσής της λόγω της αστοχίας των τοίχων ή την αστοχία σε πλευρική καταπόνηση· κάποιες κατασκευές είναι δυνατό να έχουν ολισθήσει τόσο ώστε να αποσπαστούν από τα θεμέλια· μεγάλες ρωγμές στη θεμελίωση. Περίπου το 5% μίας περιοχής με κτίρια Ξ1 τα οποία έχουν ολοκληρωτικές βλάβες αναμένεται να καταρρεύσουν.

II Συντελεστής αναμενόμενης ανελαστικής συμπεριφοράς κτιρίων (K)

Πίνακας Β-12: Συντελεστής αναμενόμενης ανελαστικής συμπεριφοράς των κτιρίων κατά την διέγερση (FEMA,1999)

Τύπος Κτιρίου		Υψηλής αντισεισμικότητας			Μέσης αντισεισμικότητας			Χαμηλής αντισεισμικότητας		
α/α	Σήμανση	Διάρκεια Δόνησης								
		Μικρή	Μέση	Μεγάλη	Μικρή	Μέση	Μεγάλη	Μικρή	Μέση	Μεγάλη
1	W1	1.00	0.80	0.50	0.90	0.60	0.30	0.70	0.40	0.20
2	W2	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
3	S1L	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
4	S1M	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
5	S1H	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
6	S2L	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
7	S2M	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
8	S2H	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
9	S3	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
10	S4L	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
11	S4M	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
12	S4H	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
13	S5L	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
14	S5M	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
15	S5H	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
16	C1L	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
17	C1M	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
18	C1H	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
19	C2L	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
20	C2M	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
21	C2H	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
22	C3L	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
23	C3M	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
24	C3H	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
25	PC1	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
26	PC2L	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
27	PC2M	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
28	PC2H	0.70	0.50	0.30	0.60	0.40	0.20	0.50	0.30	0.10
29	RM1L	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
30	RM1M	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
31	RM2L	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
32	RM2M	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
33	RM2H	0.90	0.60	0.40	0.80	0.40	0.20	0.60	0.30	0.10
34	URML	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
35	URMM	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10
36	MH	0.80	0.40	0.20	0.80	0.40	0.20	0.80	0.40	0.20

Παράρτημα Γ

I. Καμπύλες Φασματικής Ικανότητας HAZUS

II. Καμπύλες Τρωτότητας HAZUS

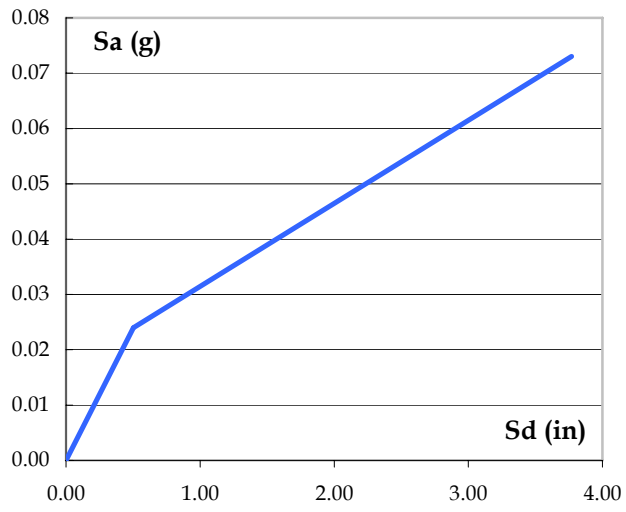
(κτιρίων περιοχής μελέτης)

III Μητρώα Πιθανότητας βλάβης από την τελική έκθεση του ΟΑΣΠ για την εκτίμηση της τρωτότητας των κατασκευών (ΤΕΕ, 2002)

IV Καμπύλες Τρωτότητας από Αναγωγή των Μητρώων Πιθανότητας Βλάβης των κτιρίων

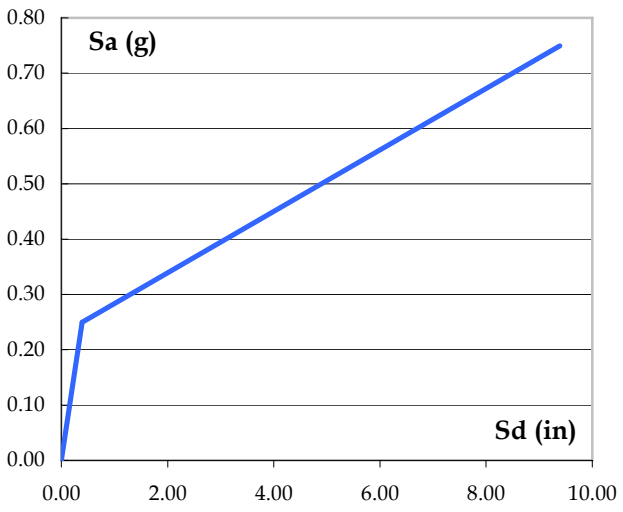
(Ι) Καμπύλες φασματικής ικανότητας των κτιρίων του HAZUS

(Sa: ποσοστό του g, Sd σε inches 1 in=2,54 cm)



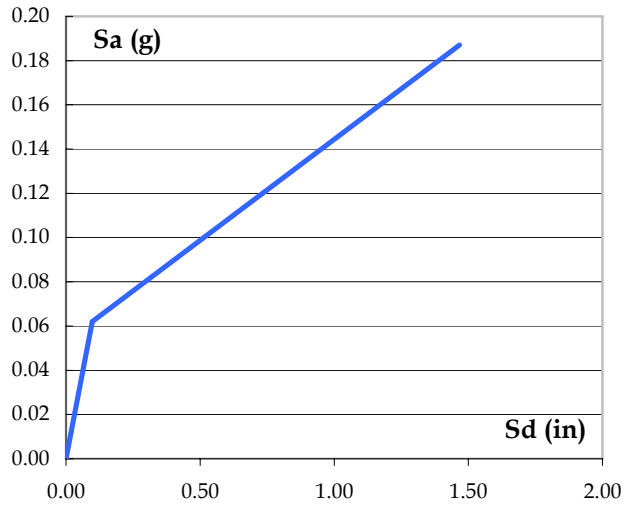
Πίνακας Γ-1

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C1H L/C



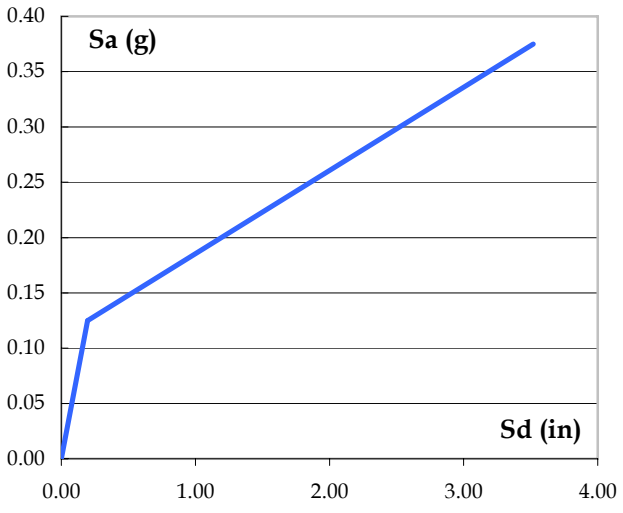
Πίνακας Γ-2

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C1L H/C



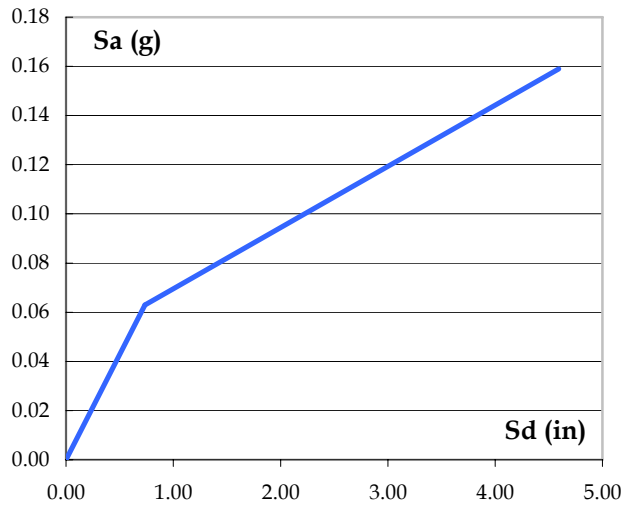
Πίνακας Γ-3

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C1L L/C



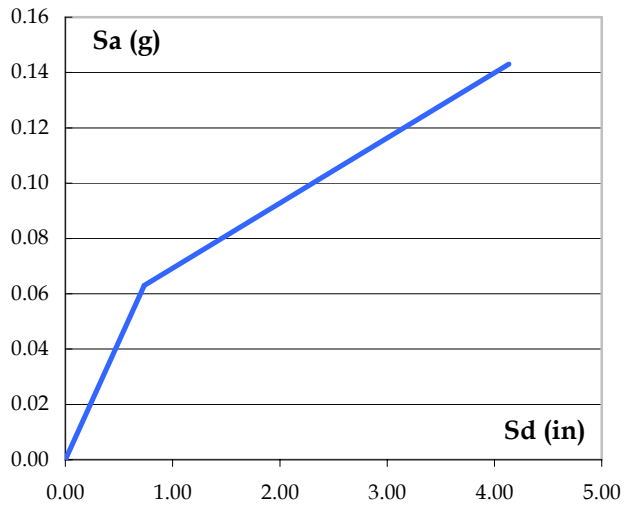
Πίνακας Γ-4

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C1L M/C



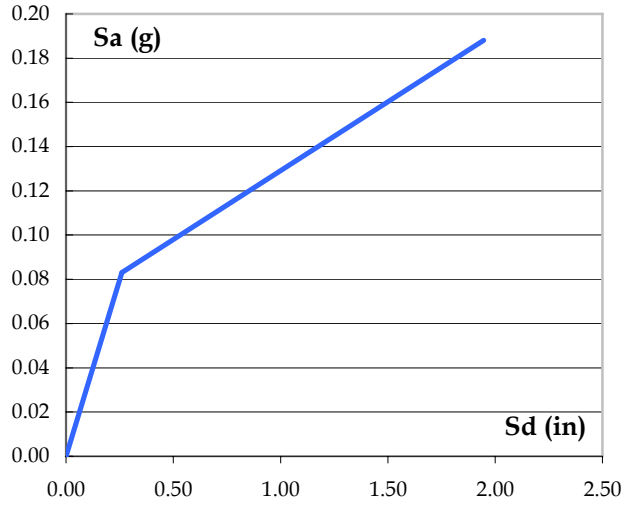
Πίνακας Γ-5

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C2H L/C



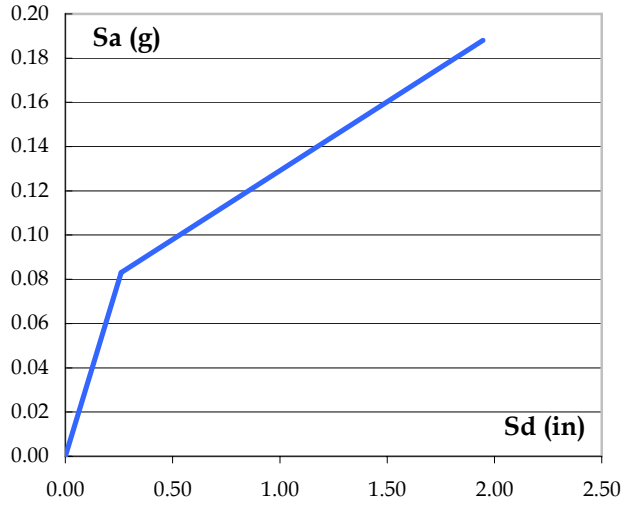
Πίνακας Γ-6

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C3 M/I



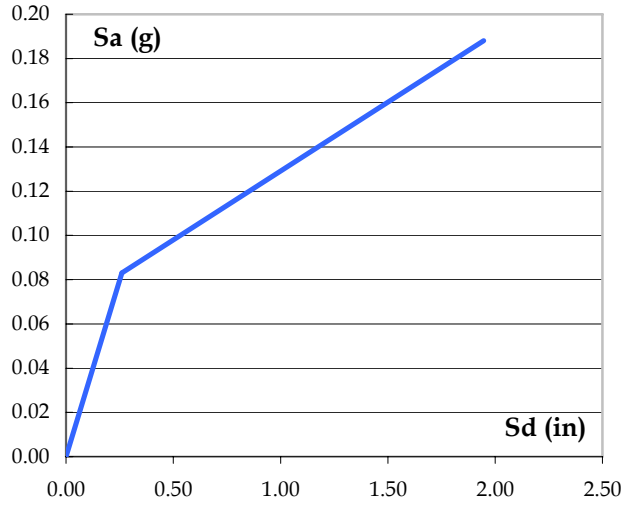
Πίνακας Γ-7

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C3M H/C



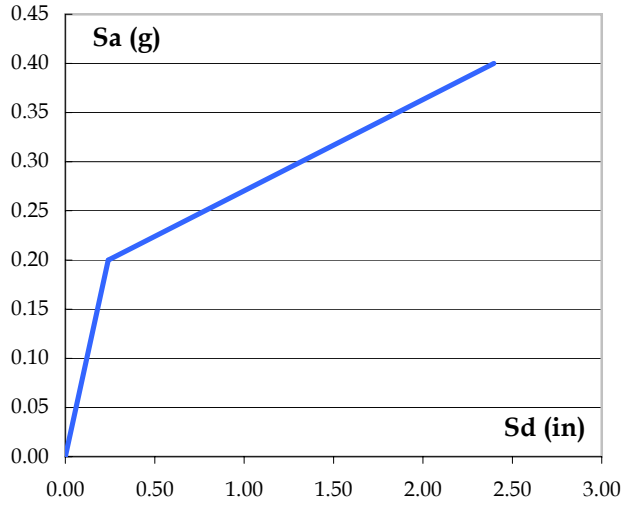
Πίνακας Γ-8

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C3M L/C



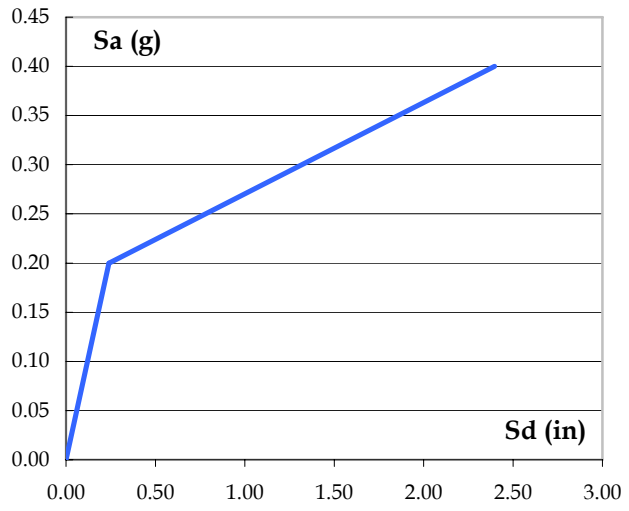
Πίνακας Γ-9

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C3M M/I



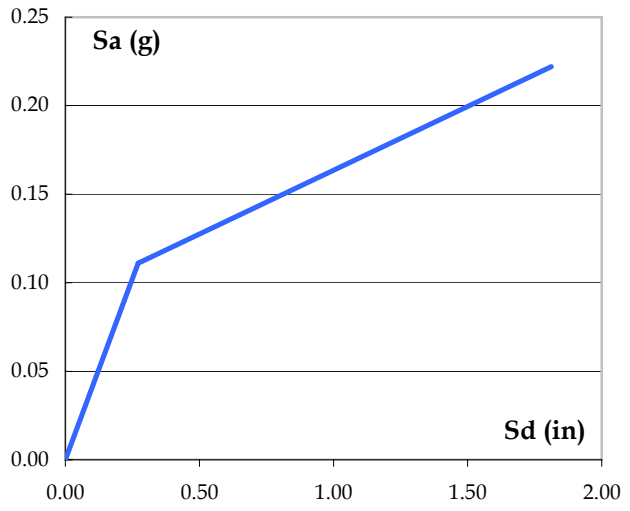
Πίνακας Γ-10

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου URML L/C



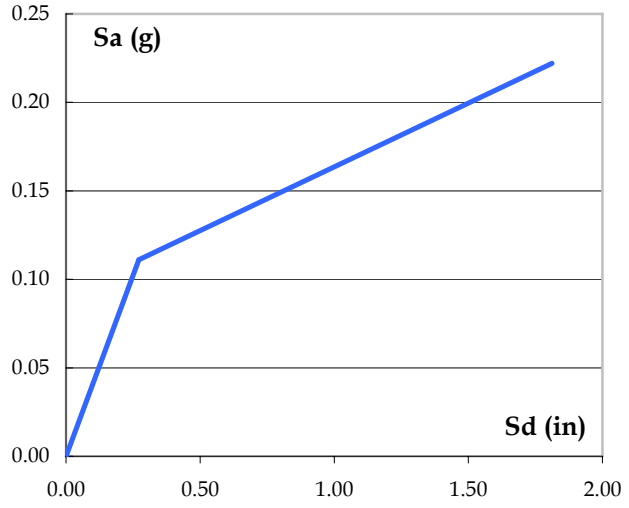
Πίνακας Γ-11

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου URML L/I



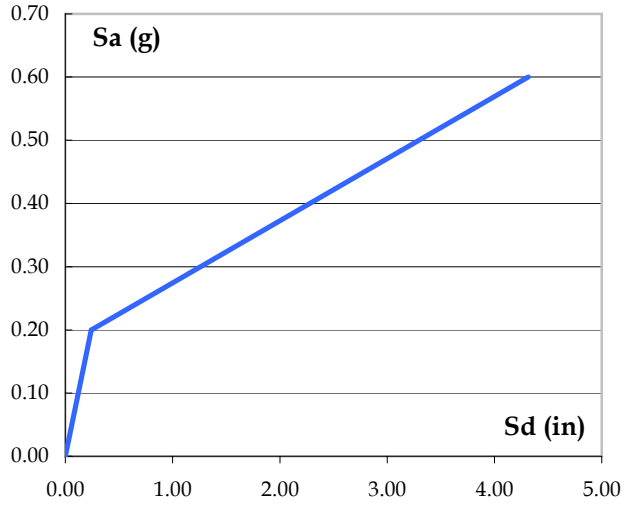
Πίνακας Γ-12

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου URMM L/C



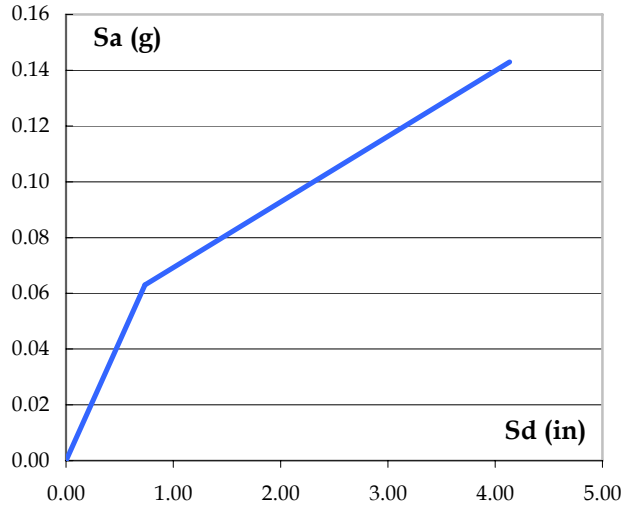
Πίνακας Γ-13

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου URMM L/I



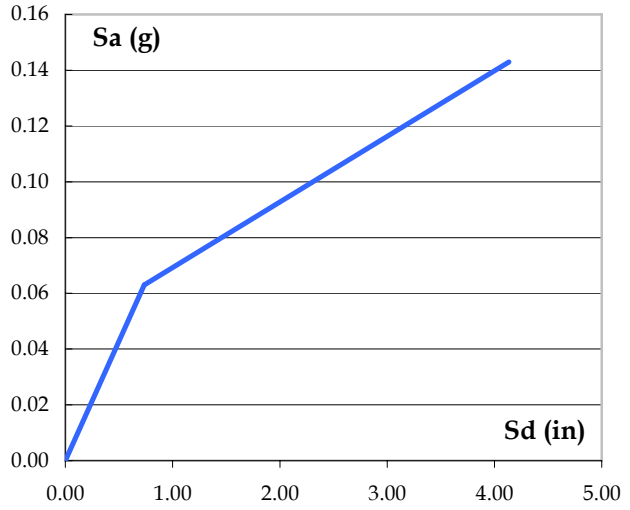
Πίνακας Γ-14

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου W1 L/C



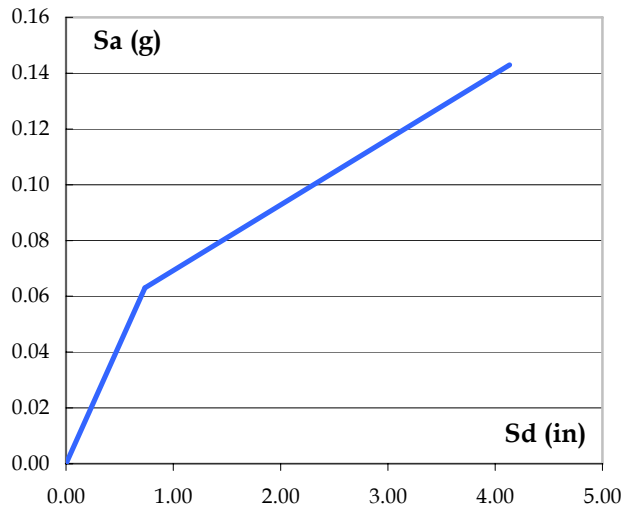
Πίνακας Γ-15

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C4PH L/C



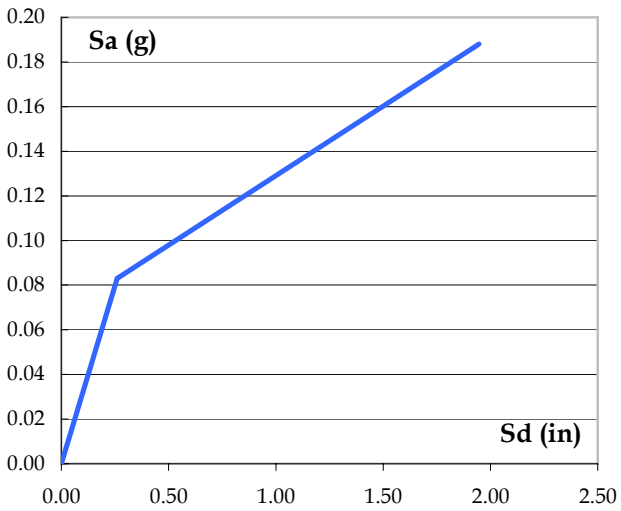
Πίνακας Γ-16

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C4PHH/I



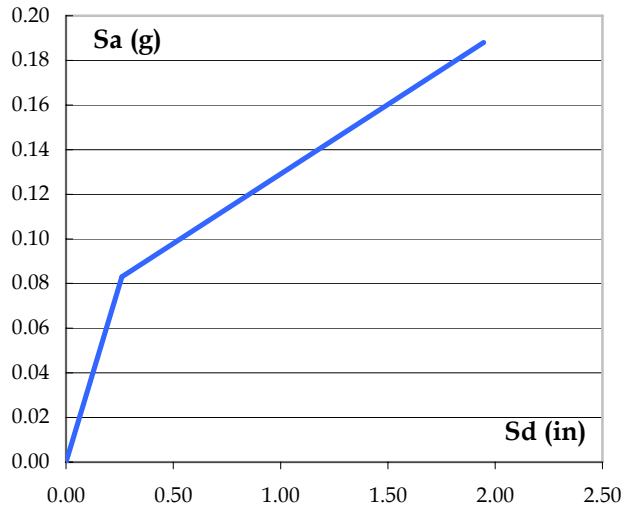
Πίνακας Γ-17

Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C4PH M/I



Πίνακας Γ-18

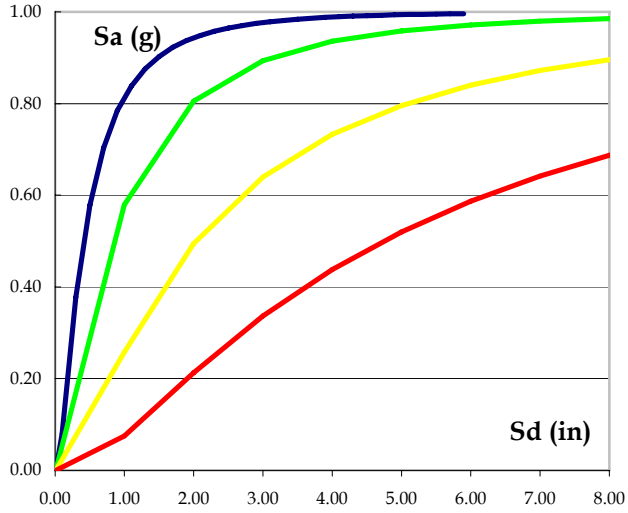
Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C4PM H/I



Πίνακας Γ-19

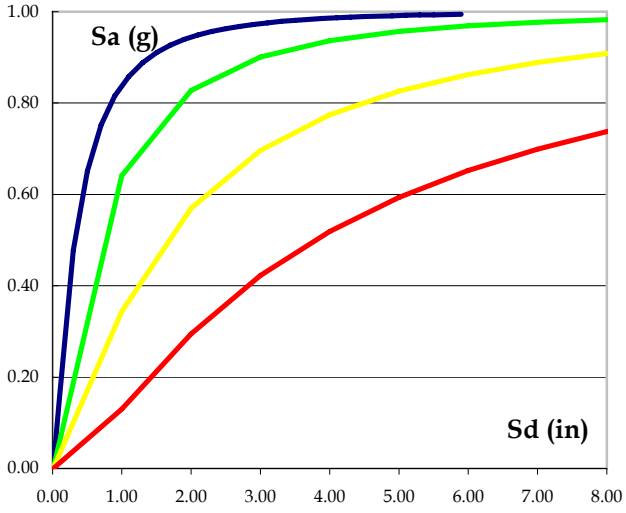
Καμπύλη φασματική ικανότητας κτιρίου C4PM M/I

(ΙΙ) Καμπύλες τρωτότητας των κτιρίων του HAZUS



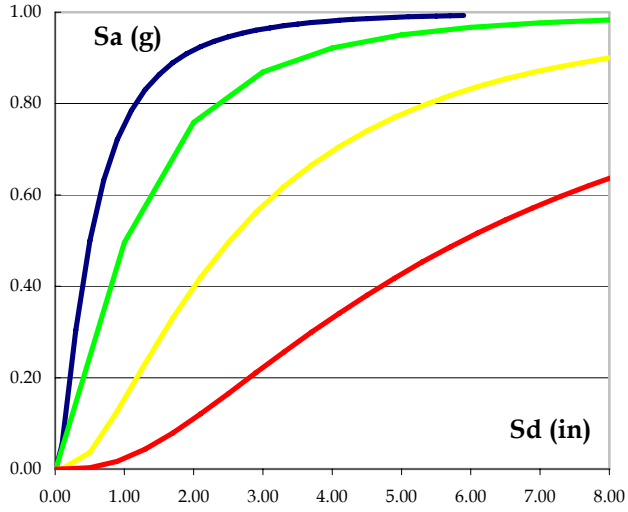
Πίνακας Γ-20

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου URML L/C



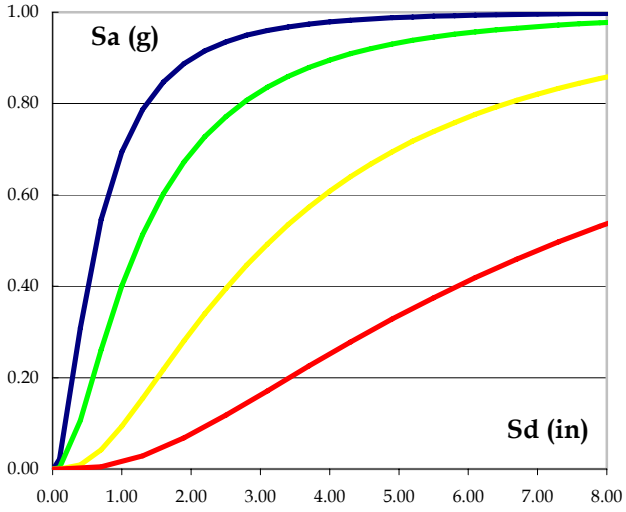
Πίνακας Γ-21

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου URML L/I



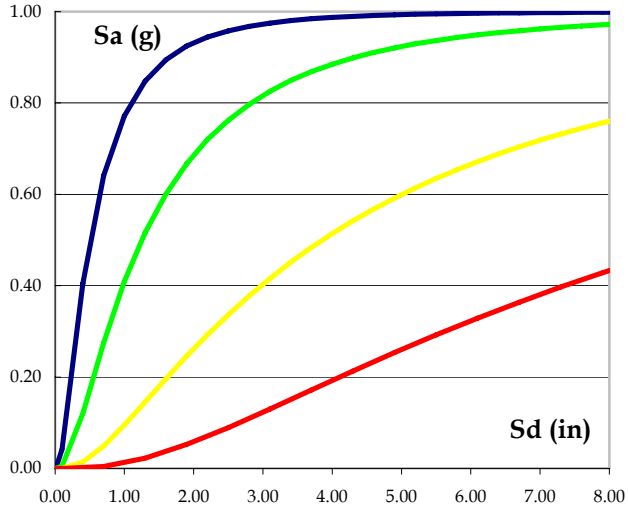
Πίνακας Γ-22

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου URMM L/I



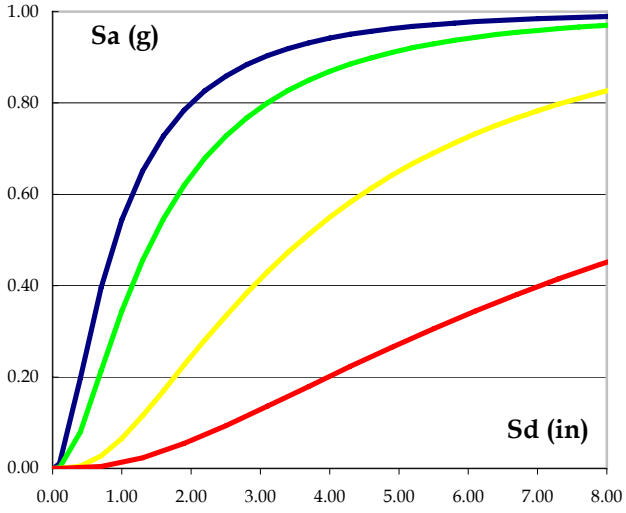
Πίνακας Γ-23

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου URMM L/C



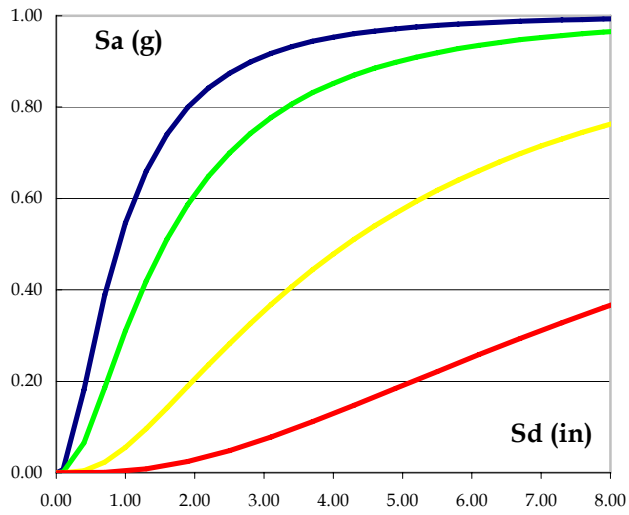
Πίνακας Γ-24

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου W1 L/C



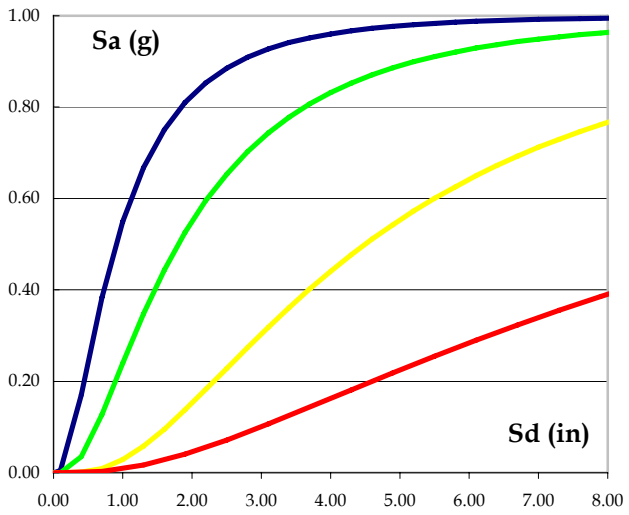
Πίνακας Γ-25

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C1L L/C



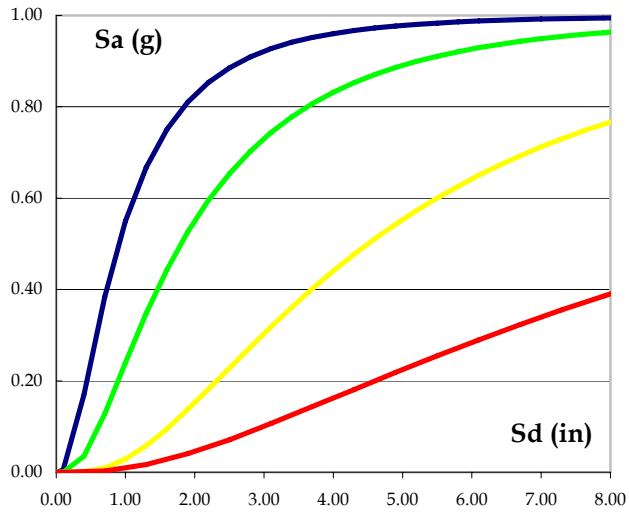
Πίνακας Γ-26

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C1L M/C



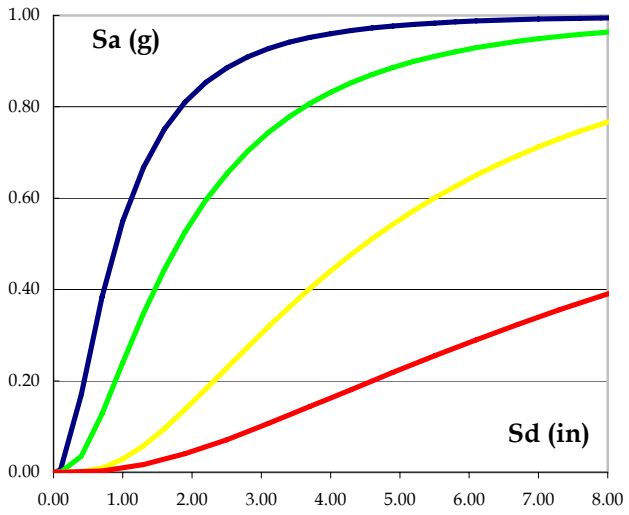
Πίνακας Γ-27

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C1L H/C



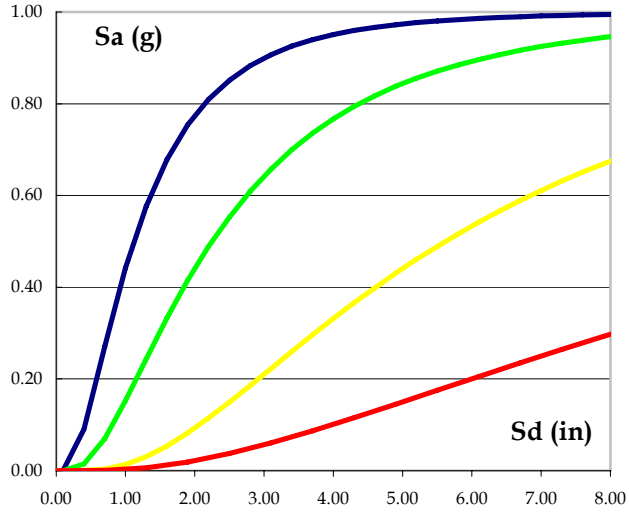
Πίνακας Γ-28

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C3M H/C



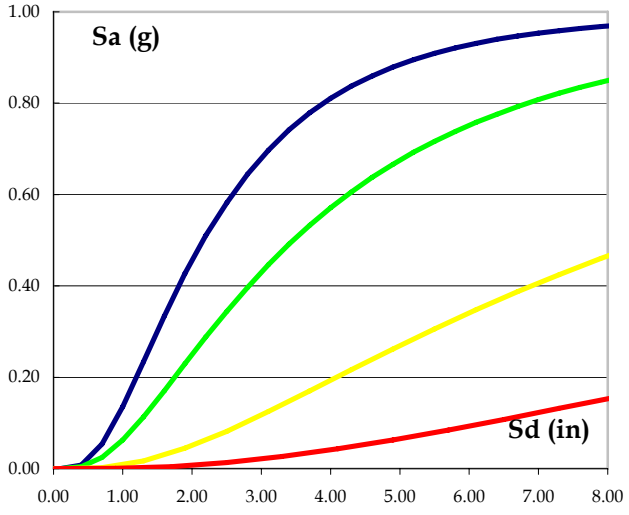
Πίνακας Γ-29

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C3M L/C



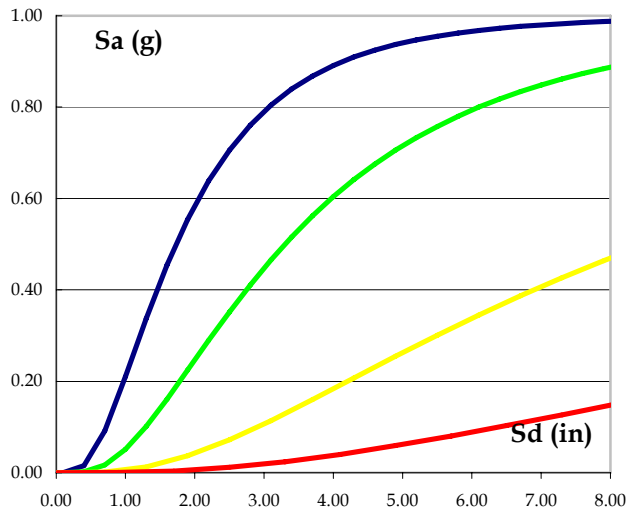
Πίνακας Γ-30

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C3M M/I



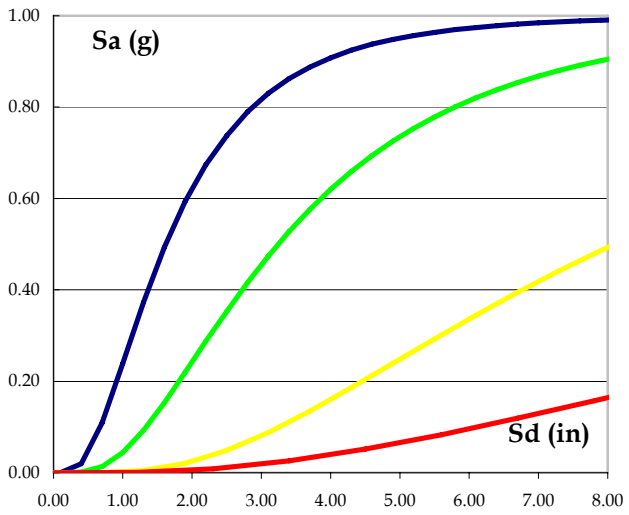
Πίνακας Γ-31

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C1H L/C



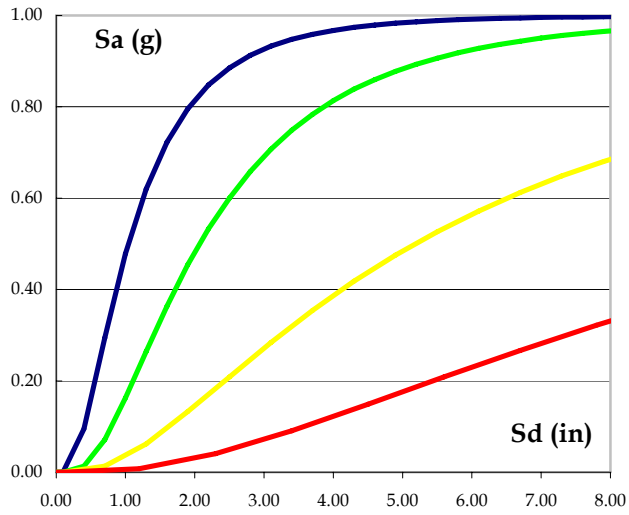
Πίνακας Γ-32

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C2H L/C



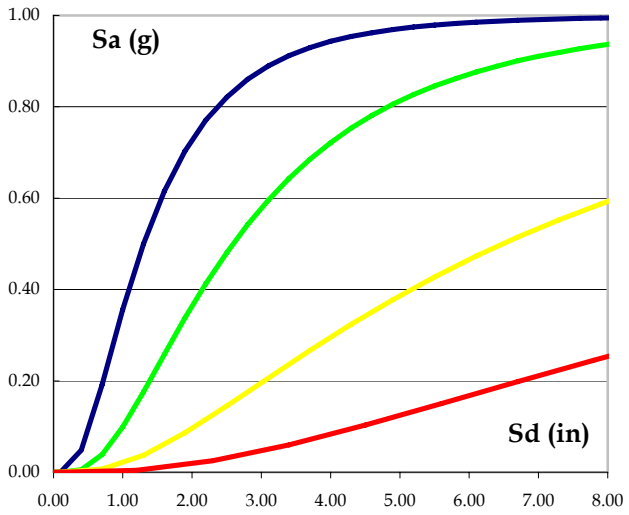
Πίνακας Γ-33

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C3H M/I



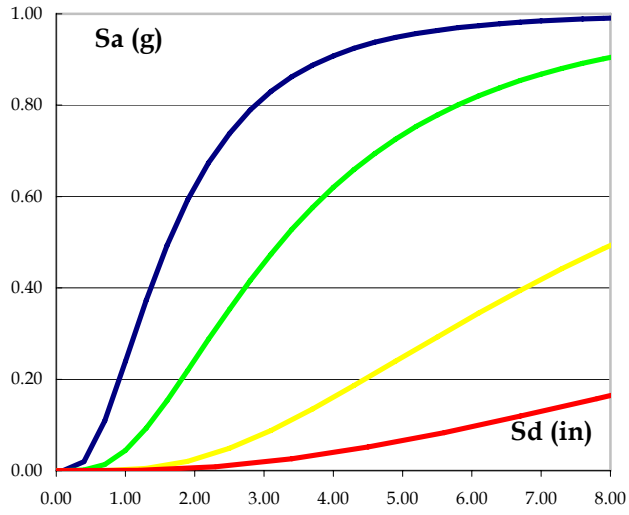
Πίνακας Γ-34

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C4PH H/I



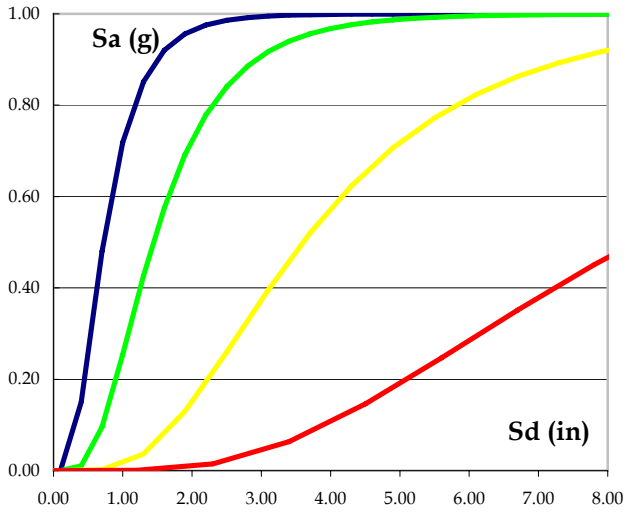
Πίνακας Γ-35

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C4PH L/C



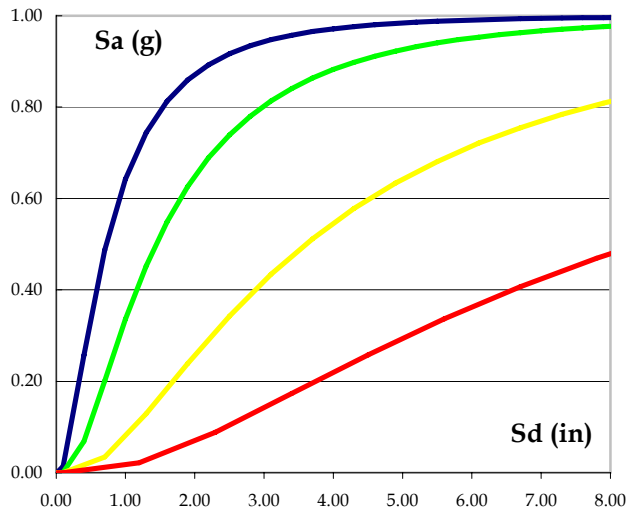
Πίνακας Γ-36

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C4PH M/C



Πίνακας Γ-37

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C4PM H/I



Πίνακας Γ-38

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου C4PM M/I

(ΙΙΙ) Μητρώα πιθανότητας βλάβης

(των τύπων κτιρίων που εξετάστηκαν στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΟΑΣΠ για την εκτίμηση της τρωτότητας των κατασκευών (ΙΤΣΑΚ, 2004)

Πίνακας Γ-39

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	5.50%	0.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	71.50%	40.10%	11.90%	1.60%	0.40%	0.10%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	15.90%	28.30%	20.80%	6.20%	2.20%	0.90%	0.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	5.30%	18.30%	25.00%	14.10%	7.00%	3.60%	0.40%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	1.40%	8.90%	21.60%	22.00%	15.20%	9.80%	2.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.30%	3.90%	20.60%	56.10%	75.30%	85.50%	97.50%

Πίνακας Γ-40

ΜΠΒ 4ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0%	0.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0%	64.70%	25.10%	4.50%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0%	30.50%	49.80%	31.60%	7.50%	2.30%	0.80%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0%	3.70%	19.60%	35.30%	23.20%	11.90%	6.10%	0.60%
DS4	30%-60%	45.00%	0%	0.40%	5.10%	22.80%	38.70%	33.30%	24.90%	6.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0%	0.00%	0.50%	5.70%	30.30%	52.50%	68.20%	92.80%

Πίνακας Γ-41

ΜΠΒ 9ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	54.40%	17.00%	2.40%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	42.40%	61.60%	38.30%	9.60%	3.00%	1.10%	0.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	3.20%	21.40%	58.20%	79.40%	71.30%	58.50%	22.80%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.10%	10.20%	22.60%	33.30%	45.80%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.70%	3.00%	7.00%	31.40%

Πίνακας Γ-42

ΜΠΒ 2ώροφου πλαισιακού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	27.70%	5.40%	0.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	40.20%	23.60%	5.70%	0.50%	0.10%	0.00%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	17.50%	22.40%	11.00%	2.00%	0.50%	0.20%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	6.50%	13.40%	10.10%	2.80%	0.90%	0.30%	0.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	8.10%	35.30%	72.70%	94.70%	98.50%	99.50%	100.00%

Πίνακας Γ-43

ΜΠΒ 4ώροφου πλαισιακού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	31.30%	5.00%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	33.80%	17.20%	2.80%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	17.70%	19.50%	6.40%	0.60%	0.10%	0.00%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	8.50%	16.10%	8.80%	1.30%	0.30%	0.10%	0.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	8.90%	42.20%	81.80%	98.00%	99.60%	99.90%	100.00%

Πίνακας Γ-44

ΜΠΒ 9ώροφου πλαισιακού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	4.20%	0.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	60.30%	20.60%	2.50%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	27.10%	36.90%	14.60%	1.60%	0.30%	0.10%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	7.10%	27.50%	29.00%	8.40%	2.40%	0.80%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	1.30%	13.90%	42.60%	41.10%	24.20%	13.30%	1.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.90%	11.30%	48.80%	73.10%	85.80%	98.50%

Πίνακας Γ-45

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	53.00%	18.40%	3.30%	0.20%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	37.40%	44.50%	23.70%	5.40%	1.70%	0.60%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	7.90%	24.60%	31.30%	16.60%	8.10%	4.10%	0.50%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	1.10%	6.60%	15.00%	14.00%	9.10%	5.70%	1.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.40%	3.70%	12.40%	17.50%	14.20%	10.40%	2.80%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.10%	2.20%	14.30%	46.20%	66.80%	79.20%	95.70%

Πίνακας Γ-46

ΜΠΒ 4ώροφου μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	52.50%	15.80%	2.10%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	44.10%	61.70%	37.20%	9.00%	2.80%	1.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	3.10%	17.30%	33.30%	23.10%	12.10%	6.30%	0.70%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.30%	4.40%	18.90%	30.10%	24.60%	17.60%	4.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.70%	6.80%	23.50%	29.40%	28.40%	13.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.60%	14.10%	31.00%	46.60%	81.70%

Πίνακας Γ-47

ΜΠΒ 9ώροφου μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	54.50%	17.00%	2.40%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	33.60%	37.50%	15.70%	2.30%	0.50%	0.10%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	9.90%	29.50%	30.70%	11.30%	4.20%	1.70%	0.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	2.00%	16.00%	50.80%	79.70%	77.60%	67.90%	31.70%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%	6.30%	16.40%	26.80%	47.60%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	1.30%	3.50%	20.60%

Πίνακας Γ-48

ΜΠΒ 2ώροφου πλαισιακού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	50.50%	15.70%	2.30%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	33.20%	32.70%	13.00%	2.00%	0.50%	0.10%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	6.20%	11.70%	8.00%	2.00%	0.60%	0.20%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	5.10%	13.30%	12.70%	4.40%	1.60%	0.70%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	3.10%	12.20%	17.10%	8.90%	4.10%	2.00%	0.20%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	1.90%	14.50%	46.90%	82.50%	93.20%	97.00%	99.80%

Πίνακας Γ-49

ΜΠΒ 4ώροφου πλαισιακού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	52.50%	15.80%	2.10%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	44.10%	61.70%	37.20%	9.00%	2.80%	1.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	3.10%	17.30%	33.30%	23.10%	12.10%	6.30%	0.70%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.30%	4.40%	18.90%	30.10%	24.60%	17.60%	4.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.70%	6.80%	23.50%	29.40%	28.40%	13.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.60%	14.10%	31.00%	46.60%	81.70%

Πίνακας Γ-50

ΜΠΒ 9ώροφου πλαισιακού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	29.70%	4.30%	0.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	58.40%	45.40%	12.30%	1.00%	0.10%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	6.90%	18.00%	12.20%	2.10%	0.50%	0.10%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	3.60%	16.90%	20.40%	6.50%	2.00%	0.70%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	1.40%	15.30%	51.60%	64.60%	47.70%	31.80%	6.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.10%	3.40%	25.80%	49.80%	67.40%	94.00%

Πίνακας Γ-51

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	37.20%	9.60%	1.20%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	56.00%	59.80%	32.10%	8.00%	2.60%	1.00%	0.10%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	5.30%	18.40%	25.70%	14.80%	7.50%	3.90%	0.50%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	1.00%	6.00%	13.60%	12.70%	8.20%	5.10%	0.90%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.40%	3.70%	12.00%	16.30%	13.10%	9.40%	2.40%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.20%	2.50%	15.40%	48.10%	68.60%	80.50%	96.10%

Πίνακας Γ-52

ΜΠΒ 4ώροφου μικτού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	50.30%	14.50%	1.90%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	41.40%	47.90%	22.00%	3.70%	0.90%	0.30%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	7.20%	26.20%	33.20%	15.10%	6.30%	2.80%	0.20%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.90%	7.80%	21.10%	20.00%	12.20%	7.10%	1.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.20%	3.30%	17.80%	36.70%	35.00%	28.10%	8.70%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.30%	4.00%	24.50%	45.50%	61.70%	90.10%

Πίνακας Γ-53

ΜΠΒ 9ώροφου μικτού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	55.80%	17.80%	2.60%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	33.40%	38.90%	17.00%	2.60%	0.60%	0.20%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	10.20%	35.60%	46.00%	22.70%	10.10%	4.80%	0.40%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.60%	7.70%	33.50%	64.50%	65.10%	56.40%	23.80%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.90%	9.20%	20.80%	30.70%	42.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.80%	3.50%	8.00%	33.80%

Πίνακας Γ-54

ΜΠΒ 2ώροφου πλαισιακού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	3.70%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	51.70%	18.60%	3.10%	0.20%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	19.90%	18.00%	6.30%	0.80%	0.20%	0.00%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	12.00%	17.90%	10.00%	2.00%	0.60%	0.20%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	5.50%	12.10%	9.80%	2.90%	1.00%	0.40%	0.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	7.30%	33.30%	70.80%	94.10%	98.30%	99.40%	100.00%

Πίνακας Γ-55

ΜΠΒ 4ώροφου πλαισιακού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	1.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	44.10%	10.30%	0.90%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	20.60%	12.80%	2.40%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	15.20%	16.50%	5.30%	0.50%	0.10%	0.00%	0.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	18.90%	60.50%	91.50%	99.40%	99.90%	100.00%	100.00%

Πίνακας Γ-56

ΜΠΒ 9ώροφου πλαισιακού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους παλιούς κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	52.30%	12.90%	1.20%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	29.30%	25.80%	6.50%	0.40%	0.10%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	14.80%	34.50%	22.50%	4.00%	0.90%	0.20%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	3.20%	20.60%	35.50%	17.40%	6.80%	2.70%	0.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.30%	5.80%	29.30%	45.70%	34.70%	22.80%	3.90%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.30%	5.10%	32.50%	57.60%	74.20%	96.00%

Πίνακας Γ-57

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	86.30%	53.60%	19.20%	3.10%	0.80%	0.30%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	12.30%	34.40%	39.20%	18.50%	8.40%	4.10%	0.40%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	1.50%	11.40%	35.50%	49.30%	41.10%	30.90%	9.20%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.30%	2.60%	8.30%	10.40%	10.20%	5.30%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.20%	2.40%	10.70%	16.20%	18.20%	13.30%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.10%	10.10%	23.10%	36.30%	71.90%

Πίνακας Γ-58

ΜΠΒ 4ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	52.60%	15.10%	1.80%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	42.00%	54.60%	27.60%	5.00%	1.30%	0.40%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	5.20%	27.10%	49.10%	33.00%	17.20%	8.90%	1.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.20%	2.90%	16.70%	33.40%	30.50%	23.30%	6.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.30%	4.50%	22.70%	34.60%	38.30%	25.00%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%	5.80%	16.50%	29.00%	67.90%

Πίνακας Γ-59

ΜΠΒ 9ώροφου μικτού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	67.30%	25.80%	4.40%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	32.60%	71.60%	76.80%	41.60%	21.10%	11.00%	1.20%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	0.10%	2.60%	17.70%	46.80%	51.80%	46.50%	19.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.00%	9.50%	20.10%	27.90%	31.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.60%	5.50%	10.70%	25.80%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	1.40%	3.90%	22.70%

Πίνακας Γ-60

ΜΠΒ 2ώροφου πλαισιακού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	54.20%	17.40%	2.60%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	42.10%	60.10%	37.50%	9.70%	3.10%	1.20%	0.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	3.00%	16.00%	29.30%	19.80%	10.30%	5.40%	0.60%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.40%	4.70%	16.80%	22.20%	16.60%	11.10%	2.20%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.10%	1.80%	13.90%	48.20%	69.90%	82.30%	97.10%

Πίνακας Γ-61

ΜΠΒ 4ώροφου πλαισιακού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	51.50%	12.50%	1.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	45.20%	61.60%	29.90%	4.70%	1.00%	0.30%	0.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	3.30%	25.10%	59.30%	50.10%	29.00%	16.10%	1.90%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.70%	8.20%	29.20%	33.60%	29.40%	9.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.50%	16.00%	36.30%	54.20%	88.60%

Πίνακας Γ-62

ΜΠΒ 9ώροφου πλαισιακού συστήματος χωρίς τοιχοπληρώσεις σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	18.30%	1.60%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	77.20%	66.40%	23.60%	2.60%	0.50%	0.10%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	4.50%	31.70%	70.60%	61.20%	37.20%	21.40%	2.70%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.30%	5.20%	27.40%	37.80%	37.00%	15.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%	6.60%	15.70%	22.50%	21.90%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	2.20%	8.80%	19.00%	60.40%

Πίνακας Γ-63

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	92.80%	67.60%	30.60%	6.70%	2.00%	0.80%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	6.30%	23.60%	34.70%	20.70%	10.60%	5.50%	0.70%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	0.90%	8.10%	28.20%	42.60%	36.60%	27.90%	8.40%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.50%	4.70%	16.80%	22.40%	23.10%	13.70%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.00%	5.80%	9.90%	12.10%	10.90%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.70%	7.50%	18.60%	30.50%	66.30%

Πίνακας Γ-64

ΜΠΒ 4ώροφου μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	69.70%	28.00%	5.10%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	27.60%	51.80%	36.30%	9.20%	2.80%	1.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	2.60%	19.20%	49.00%	48.80%	32.20%	20.00%	3.30%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.70%	6.60%	20.00%	22.40%	19.70%	7.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.20%	2.90%	18.10%	31.30%	37.80%	30.40%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	3.50%	11.30%	21.50%	59.10%

Πίνακας Γ-65

ΜΠΒ 9ώροφου μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	68.80%	27.10%	4.80%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	31.10%	69.60%	73.70%	37.80%	18.40%	9.30%	1.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	0.20%	3.20%	19.80%	47.00%	48.70%	41.50%	15.00%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.60%	13.70%	27.80%	38.00%	42.00%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.20%	4.40%	9.20%	27.30%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	0.60%	1.90%	14.70%

Πίνακας Γ-66

ΜΠΒ 2ώροφου πλαισιακού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	62.40%	23.30%	4.10%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	31.90%	47.00%	27.70%	6.20%	1.80%	0.60%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	5.50%	26.50%	48.50%	35.90%	20.50%	11.60%	1.60%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.20%	3.00%	17.60%	41.30%	43.80%	38.30%	15.30%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.30%	7.50%	12.40%	14.60%	11.17%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.80%	8.70%	21.40%	34.90%	72.00%

Πίνακας Γ-67

ΜΠΒ 4ώροφου πλαισιακού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	69.70%	28.00%	5.10%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	27.60%	51.80%	36.30%	9.20%	2.80%	1.00%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	2.60%	19.20%	49.00%	48.80%	32.20%	20.00%	3.30%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.70%	6.60%	20.00%	22.40%	19.70%	7.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.20%	2.90%	18.10%	31.30%	37.80%	30.40%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	3.50%	11.30%	21.50%	59.10%

Πίνακας Γ-68

ΜΠΒ 9ώροφου πλαισιακού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένου σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	53.20%	12.50%	1.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	43.00%	58.40%	25.30%	3.10%	0.60%	0.10%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	3.70%	28.20%	62.40%	46.30%	24.20%	12.30%	1.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.80%	10.20%	36.20%	40.70%	34.60%	10.10%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.10%	14.10%	33.00%	48.50%	59.70%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	1.50%	4.50%	29.10%

Πίνακας Γ-69

ΜΠΒ 2ώροφου μικτού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	90.30%	61.80%	25.30%	4.90%	1.40%	0.50%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	8.90%	30.40%	42.10%	24.50%	12.50%	6.60%	0.80%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	0.80%	7.60%	29.70%	52.40%	50.30%	42.00%	16.20%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.10%	1.20%	5.60%	8.50%	9.50%	6.70%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.10%	0.80%	4.60%	7.80%	9.60%	8.60%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.80%	8.10%	19.60%	31.90%	67.60%

Πίνακας Γ-70

ΜΠΒ 4ώροφου μικτού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	68.80%	27.20%	4.80%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	29.00%	55.20%	40.20%	10.90%	3.50%	1.30%	0.10%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	2.00%	15.40%	38.10%	33.50%	19.80%	11.20%	1.40%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.10%	2.00%	13.50%	32.30%	32.40%	26.60%	8.20%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.20%	3.20%	19.30%	32.70%	39.10%	30.70%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	3.60%	11.50%	21.90%	59.60%

Πίνακας Γ-71

ΜΠΒ 9ώροφου μικτού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	73.70%	32.10%	6.40%	0.40%	0.10%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	25.90%	62.10%	63.40%	27.90%	12.10%	5.60%	0.50%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	0.40%	5.70%	29.00%	59.40%	59.40%	50.20%	18.70%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.20%	10.80%	22.90%	32.10%	36.90%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.30%	4.70%	9.60%	26.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	0.90%	2.60%	17.50%

Πίνακας Γ-72

ΜΠΒ 2ώροφου πλαισιακού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	68.70%	28.80%	5.90%	0.50%	0.10%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	27.50%	48.00%	33.30%	9.00%	2.90%	1.10%	0.10%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	3.20%	16.30%	29.20%	19.20%	9.90%	5.10%	0.60%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.50%	5.00%	17.50%	22.70%	16.70%	11.20%	2.20%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.10%	1.20%	7.10%	15.40%	15.00%	12.10%	3.70%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.70%	7.00%	33.30%	55.40%	70.50%	93.40%

Πίνακας Γ-73

ΜΠΒ 4ώροφου πλαισιακού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	51.30%	12.40%	1.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	40.10%	44.60%	15.70%	1.60%	0.30%	0.10%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	8.00%	33.50%	40.10%	14.10%	4.70%	1.70%	0.10%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.40%	5.30%	15.50%	12.20%	6.00%	2.80%	0.20%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.10%	2.70%	12.80%	16.70%	10.80%	6.20%	0.70%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	1.40%	14.80%	55.40%	78.20%	89.20%	99.00%

Πίνακας Γ-74

ΜΠΒ 9ώροφου πλαισιακού συστήματος με πιλοτή σχεδιασμένου με τους σύγχρονους κανονισμούς										
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli							
			0	VI	VII	VIII	IX	(1.5*IX)	(2.0*IX)	(4.0*IX)
			PGA (g)							
			0.00	0.09	0.19	0.39	0.82	1.23	1.64	3.28
DS0	0%	0.00%	0.00%	74.10%	27.90%	3.80%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
DS1	0%-1%	0.50%	0.00%	25.40%	62.90%	52.00%	13.90%	4.00%	1.30%	0.00%
DS2	1%-10%	5.00%	0.00%	0.50%	7.10%	24.60%	21.60%	11.00%	5.20%	0.40%
DS3	10%-30%	20.00%	0.00%	0.10%	1.90%	16.20%	36.90%	32.30%	22.90%	4.20%
DS4	30%-60%	45.00%	0.00%	0.00%	0.10%	3.10%	21.30%	33.80%	36.40%	18.50%
DS5	60%-100%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	6.00%	18.90%	34.10%	76.80%

Πίνακας Γ-75

ΜΠΒ χαμηλών κτιρίων (1-2 ορόφοι) λιθοδομής						
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli			
			VI	VII	VIII	IX
			PGA (g)			
			0.09	0.19	0.39	0.82
DS0	0%	0.00%	75.10%	44.40%	17.70%	4.10%
DS1	0%-4%	2.00%	13.70%	16.20%	8.40%	1.60%
DS2	4%-20%	12.00%	6.30%	11.10%	6.00%	0.50%
DS3	20%-40%	30.00%	3.00%	9.70%	8.00%	1.40%
DS4	40%-70%	55.00%	1.80%	13.90%	20.90%	4.40%
DS5	70%-100%	85.00%	0.10%	4.60%	39.10%	88.10%
Μέσος δείκτης βλάβης (MDF)			35.42%	31.67%	15.03%	2.54%

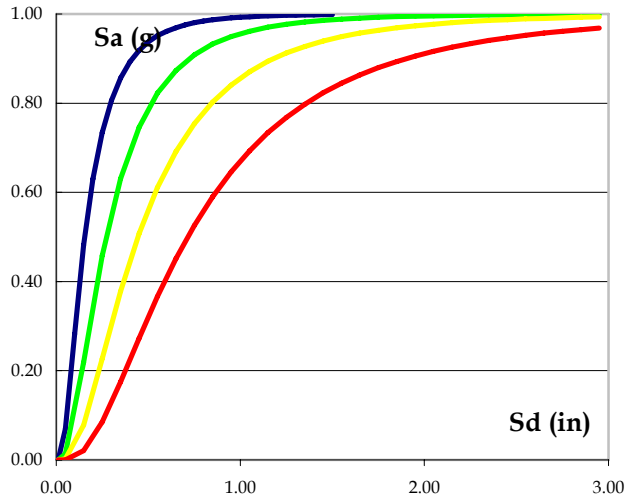
Πίνακας Γ-76

ΜΠΒ χαμηλών κτιρίων (1-2 ορόφοι) οπτοπλινθοδομής						
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli			
			VI	VII	VIII	IX
			PGA (g)			
			0.09	0.19	0.39	0.82
DS0	0%	0.00%	94.80%	52.40%	7.40%	0.10%
DS1	0%-4%	2.00%	3.10%	13.00%	4.50%	0.10%
DS2	4%-20%	12.00%	1.80%	18.70%	13.20%	0.60%
DS3	20%-40%	30.00%	0.20%	8.80%	22.60%	4.30%
DS4	40%-70%	55.00%	0.10%	4.60%	16.30%	4.70%
DS5	70%-100%	85.00%	0.00%	2.50%	35.90%	90.10%
Μέσος δείκτης βλάβης (MDF)			31.68%	38.77%	15.92%	0.60%

Πίνακας Γ-77

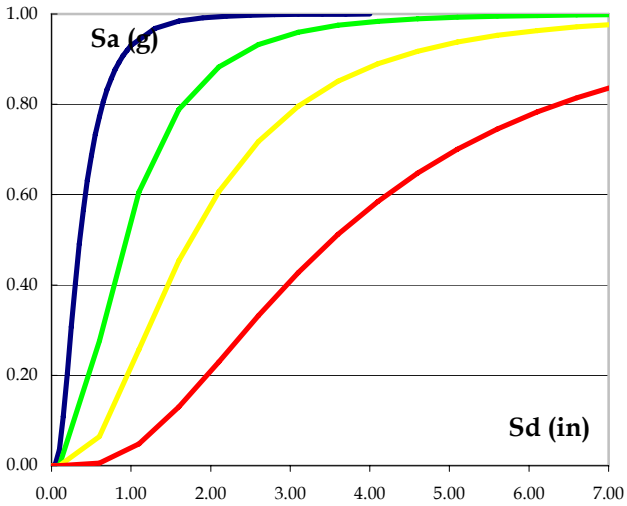
ΜΠΒ χαμηλών κτιρίων (3+ ορόφοι) λιθοδομής ή οπτοπλινθοδομή						
Επίπεδο βλάβης	Εύρος δείκτη βλάβης	Κεντρικός δείκτης βλάβης	Τροποιημένη ένταση Mercalli			
			VI	VII	VIII	IX
			PGA (g)			
			0.09	0.19	0.39	0.82
DS0	0%	0.00%	99.50%	94.30%	29.90%	0.10%
DS1	0%-4%	2.00%	0.30%	1.30%	44.30%	32.70%
DS2	4%-20%	12.00%	0.20%	2.80%	7.90%	3.80%
DS3	20%-40%	30.00%	0.00%	0.70%	4.50%	6.40%
DS4	40%-70%	55.00%	0.00%	0.20%	2.60%	6.80%
DS5	70%-100%	85.00%	0.00%	0.70%	10.80%	50.10%
Μέσος δείκτης βλάβης (MDF)			30.19%	31.39%	40.05%	21.25%

(ΙΙΙ) Καμπύλες τρωτότητας των τύπων κτιρίων του ερευνητικού προγράμματος του ΟΑΣΠ για την εκτίμηση της τρωτότητας των κτιρίων (ΙΤΣΑΚ, 2004) (Sa: ποσοστό του g, Sd σε inches 1 in=2,54 cm)
(Για την σήμανση των κτιρίων βλ. πίνακα 3-12)



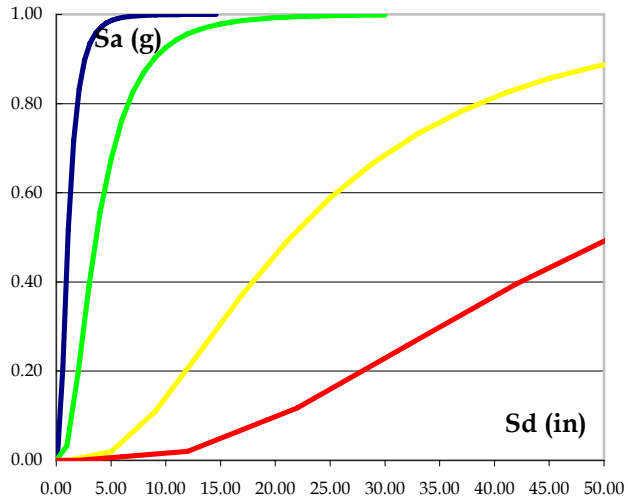
Πίνακας Γ-78

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 1Χ



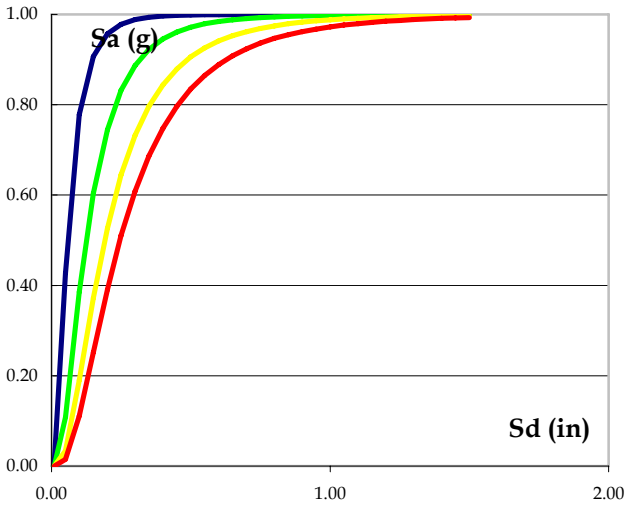
Πίνακας Γ-79

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 1Μ



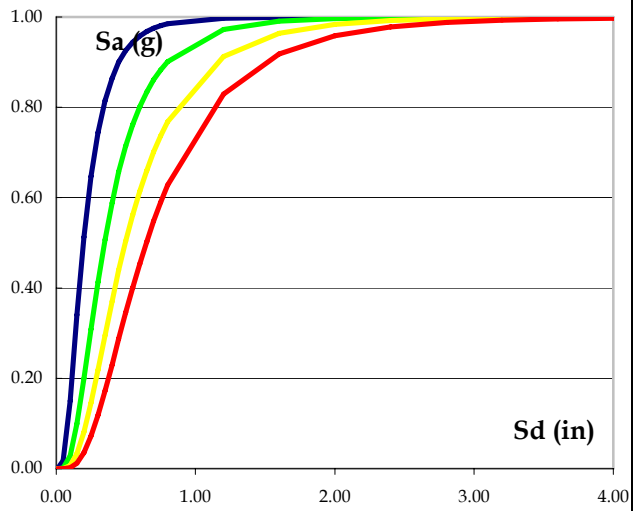
Πίνακας Γ-80

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 1Υ



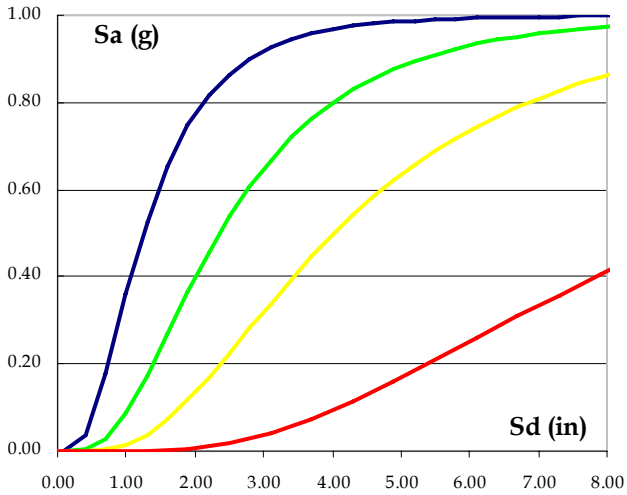
Πίνακας Γ-81

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 2Χ



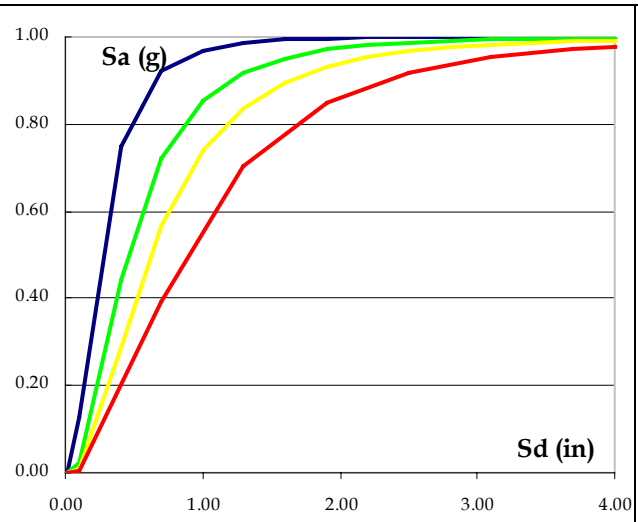
Πίνακας Γ-82

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 2Μ



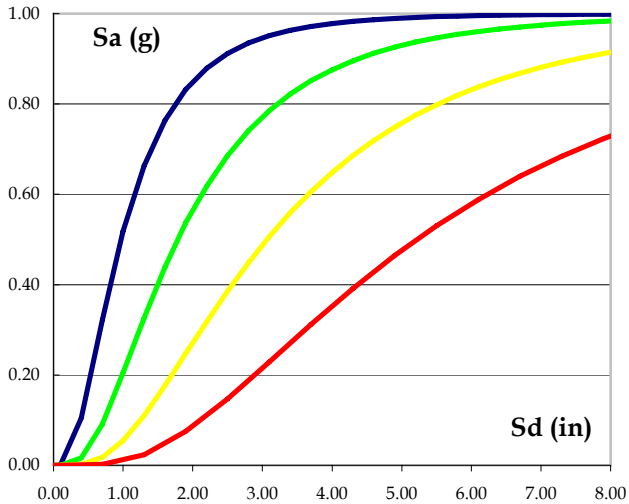
Πίνακας Γ-83

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 2Υ



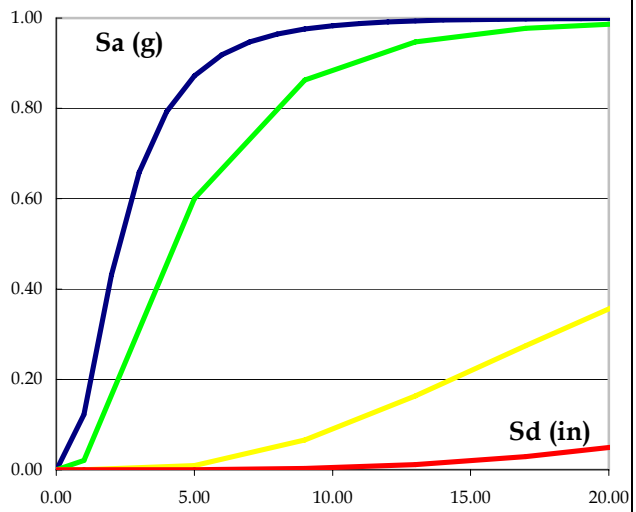
Πίνακας Γ-84

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 3Χ



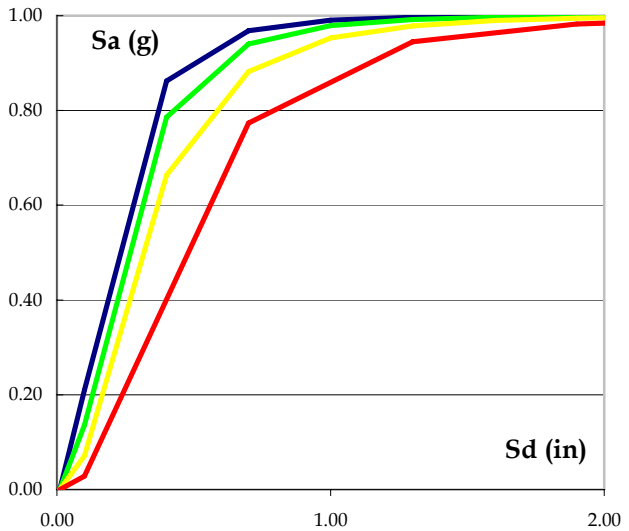
Πίνακας Γ-85

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 3Μ



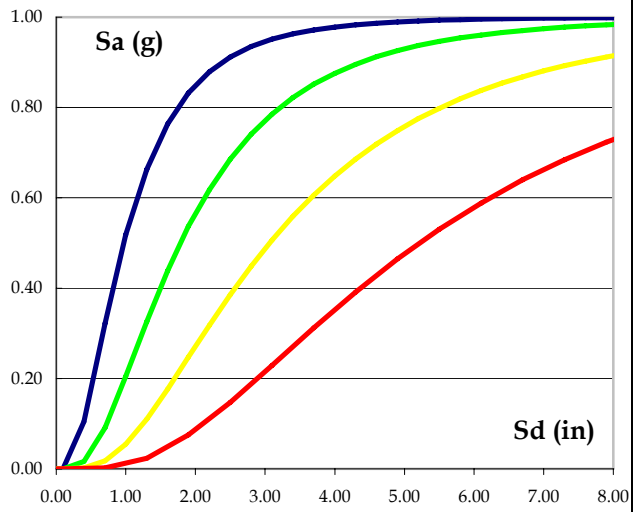
Πίνακας Γ-86

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 3Υ



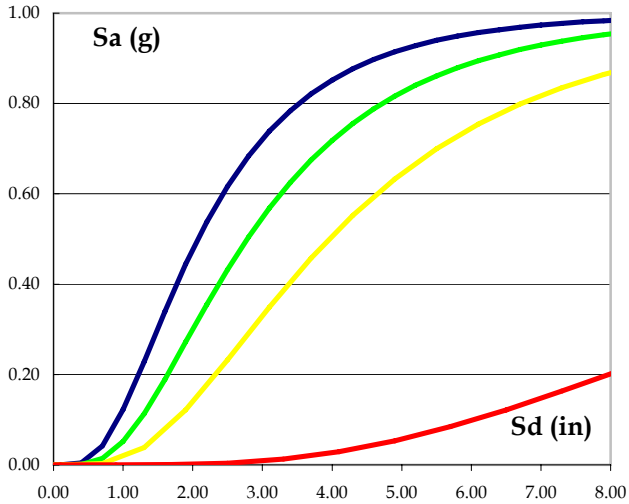
Πίνακας Γ-87

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 4Χ



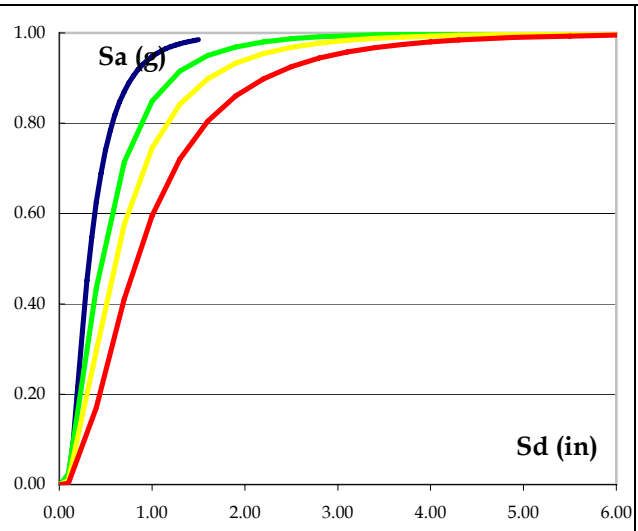
Πίνακας Γ-88

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 4Μ



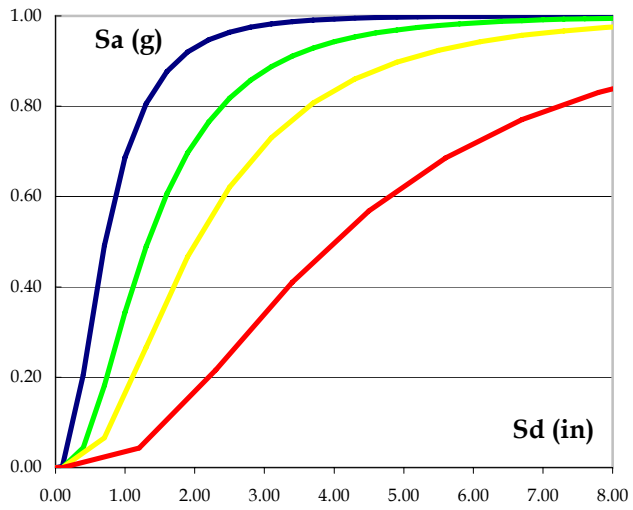
Πίνακας Γ-89

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 4Υ



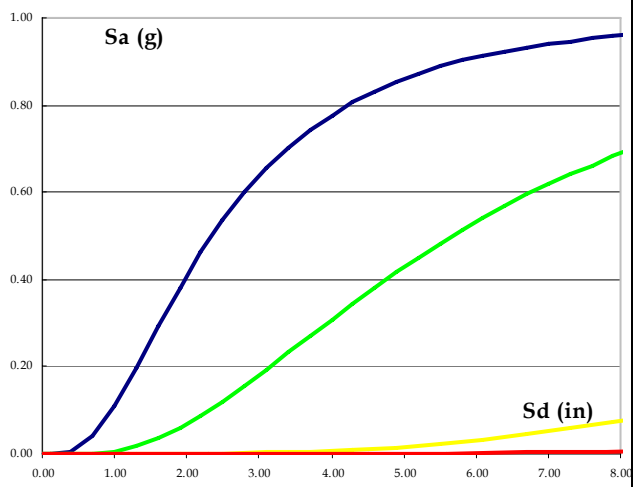
Πίνακας Γ-90

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 5Χ



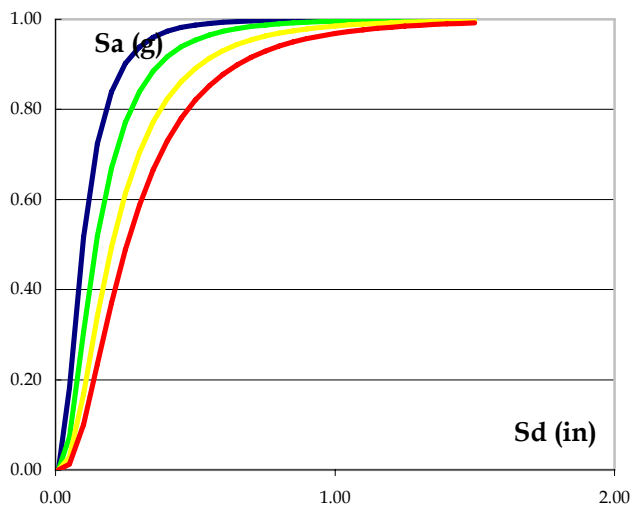
Πίνακας Γ-91

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 5Μ



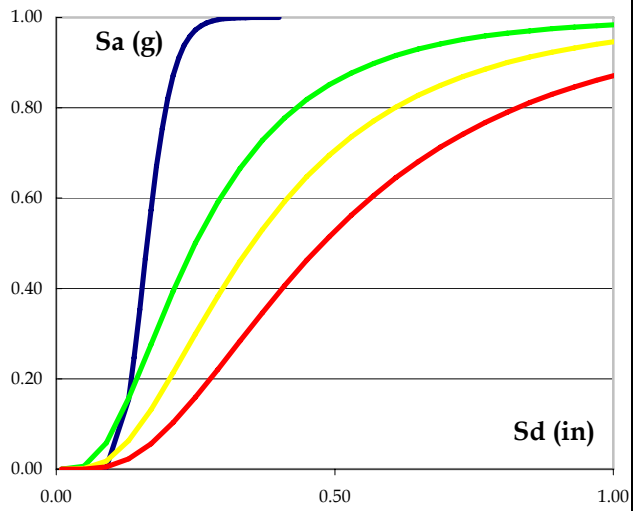
Πίνακας Γ-92

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 5Υ



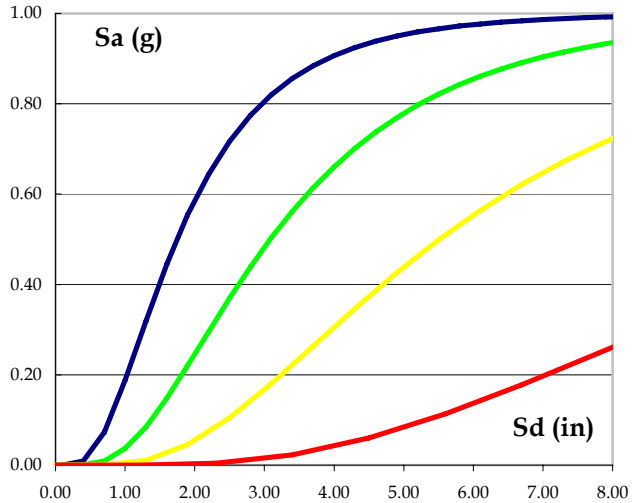
Πίνακας Γ-93

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 6Χ



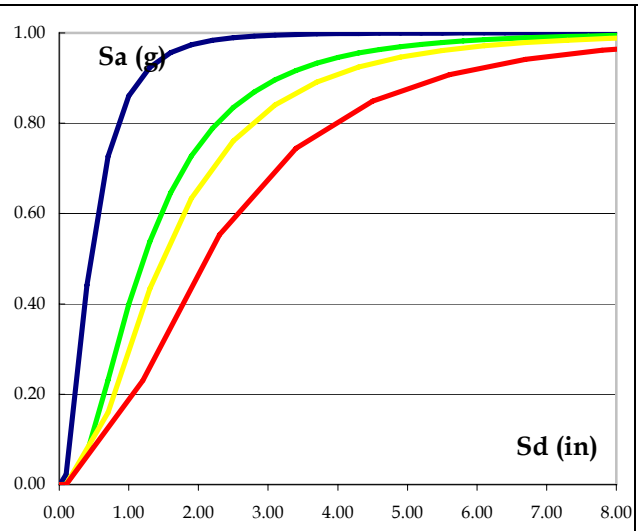
Πίνακας Γ-94

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 6Μ



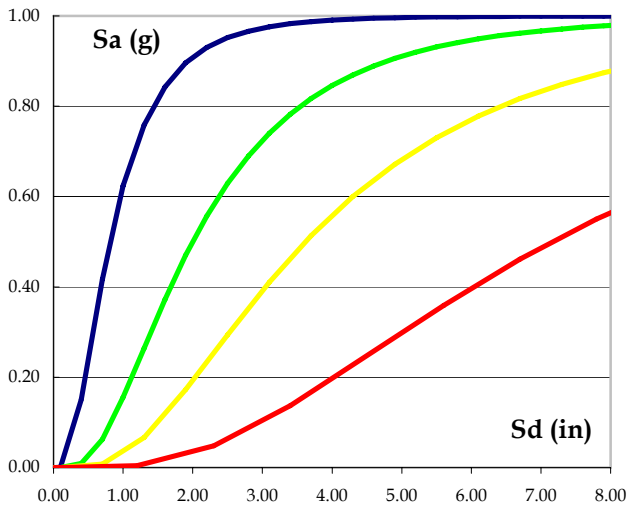
Πίνακας Γ-95

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 6Υ



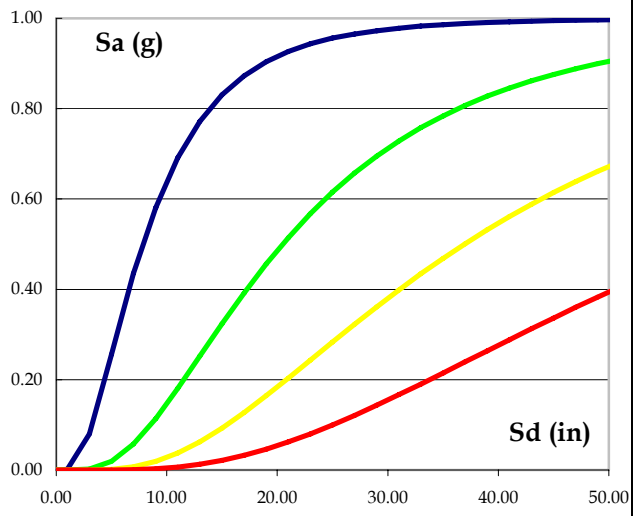
Πίνακας Γ-96

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 7Χ



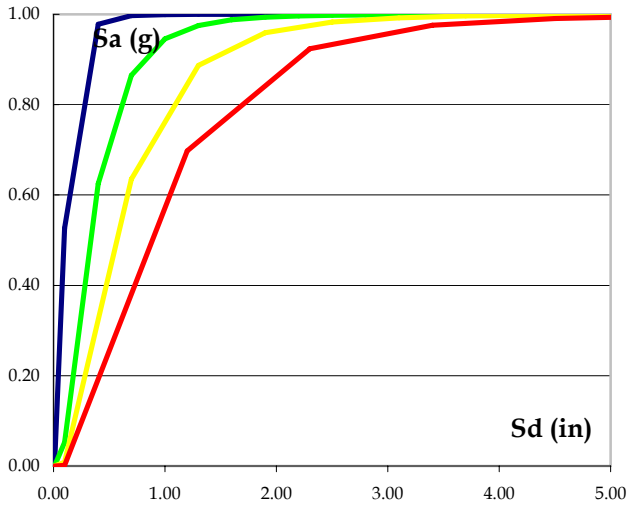
Πίνακας Γ-97

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 7Μ



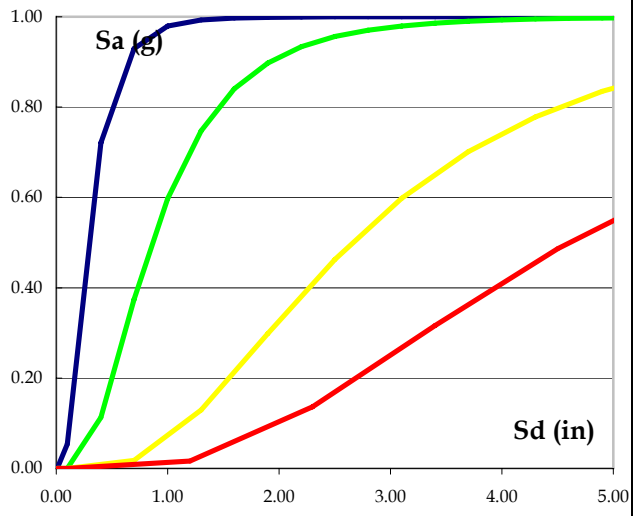
Πίνακας Γ-98

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 7Υ



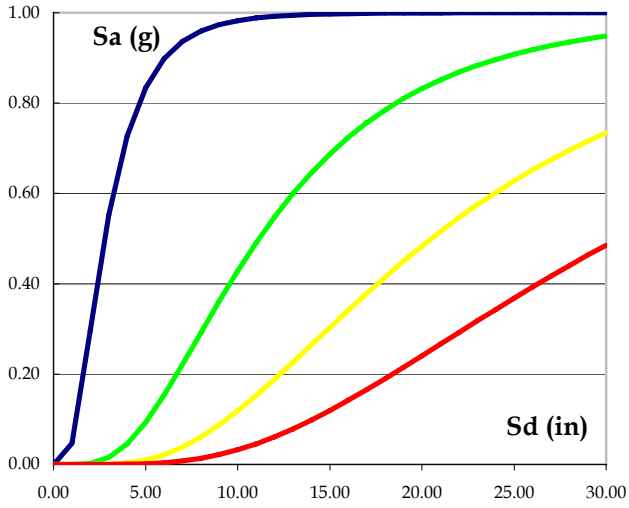
Πίνακας Γ-99

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 8Χ



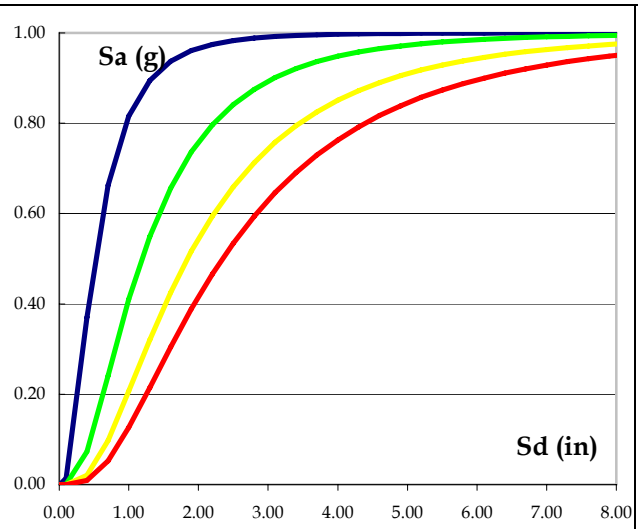
Πίνακας Γ-100

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 8Μ



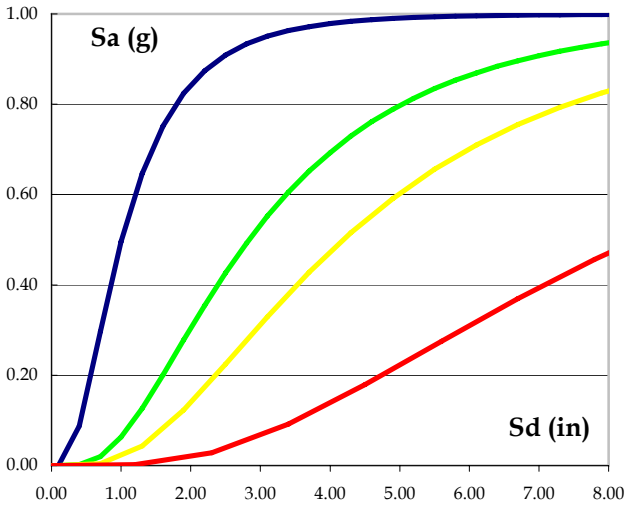
Πίνακας Γ-101

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 8Υ



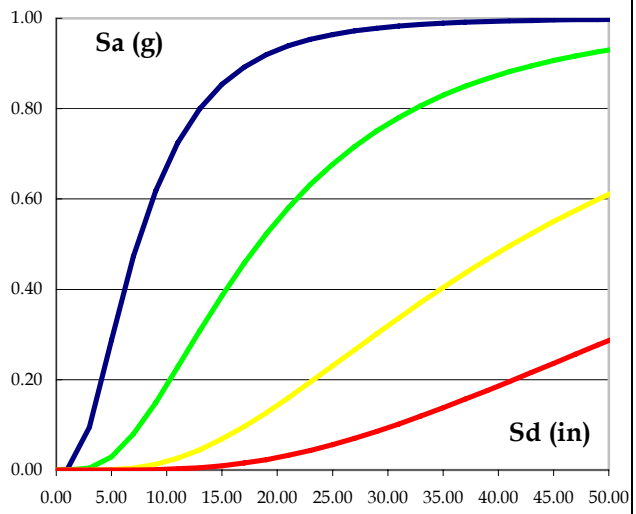
Πίνακας Γ-102

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 9Χ



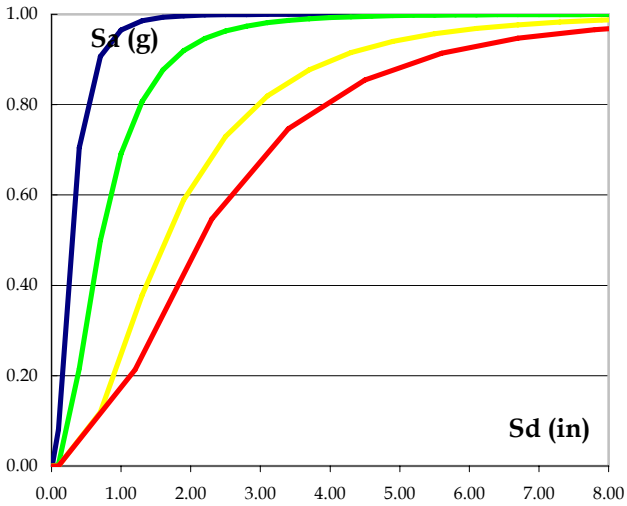
Πίνακας Γ-103

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 9Μ



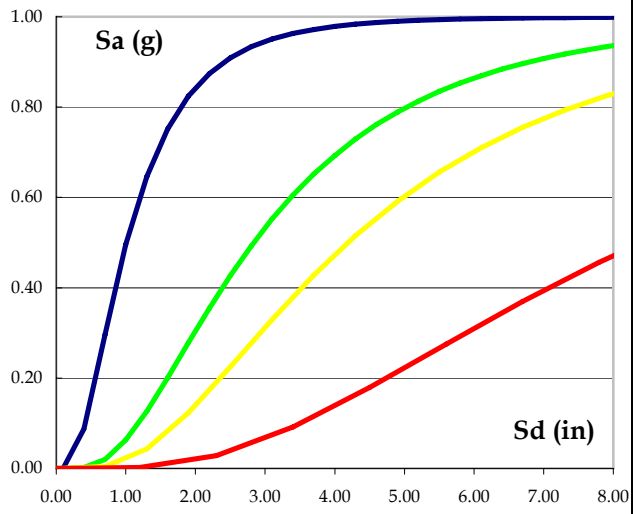
Πίνακας Γ-104

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 9Υ



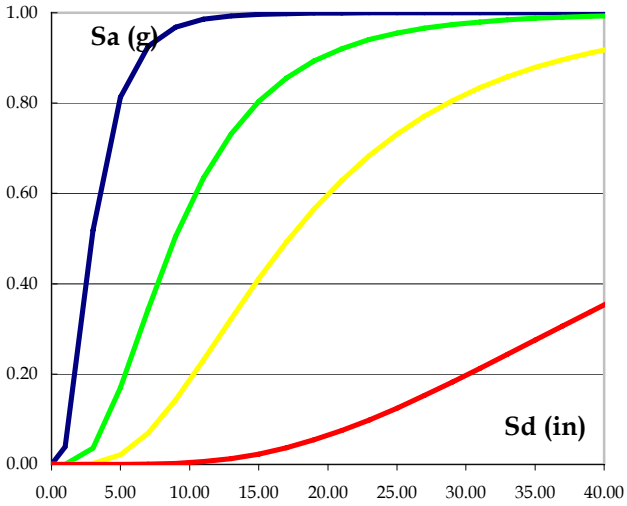
Πίνακας Γ-105

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 10Χ



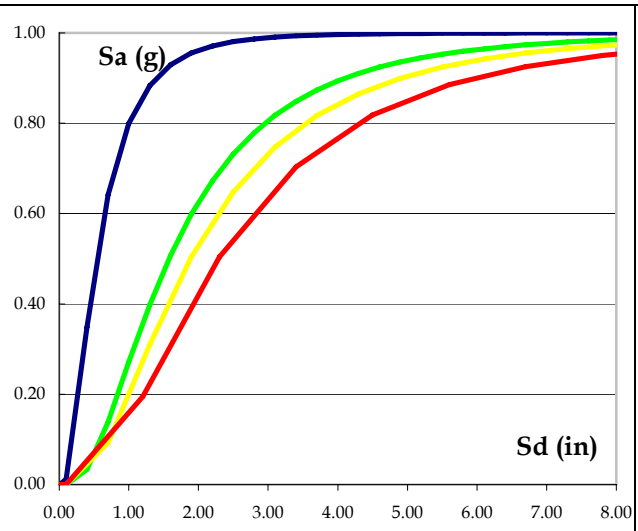
Πίνακας Γ-106

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 10Μ



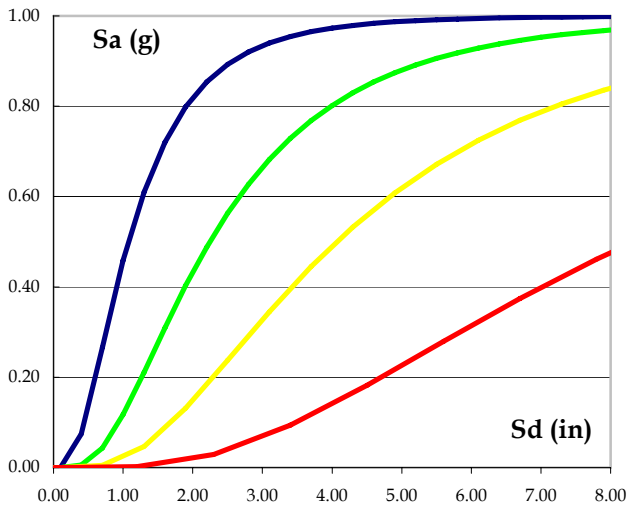
Πίνακας Γ-107

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 1ΟΥ



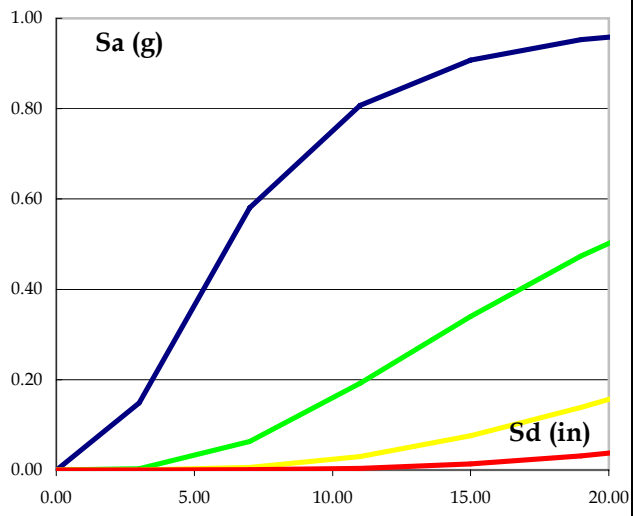
Πίνακας Γ-108

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 11Χ



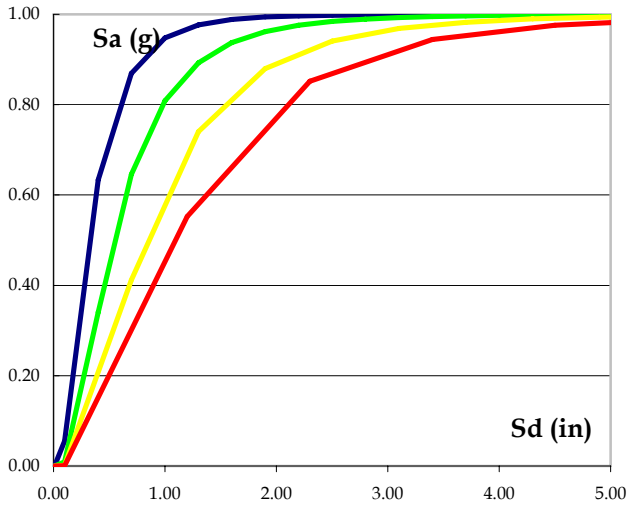
Πίνακας Γ-109

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 11Μ



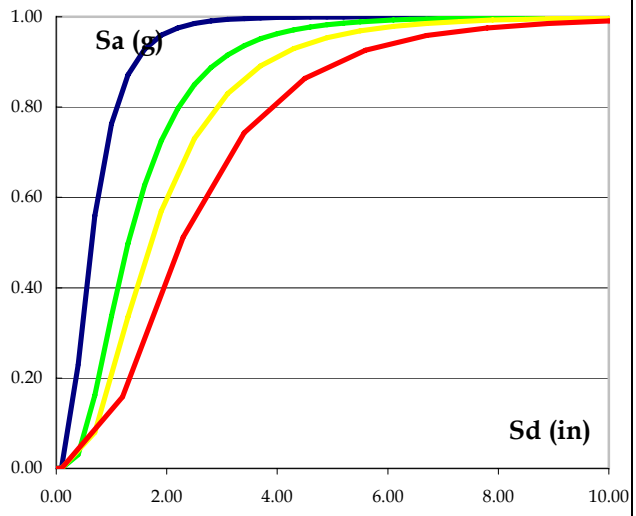
Πίνακας Γ-110

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 11Υ



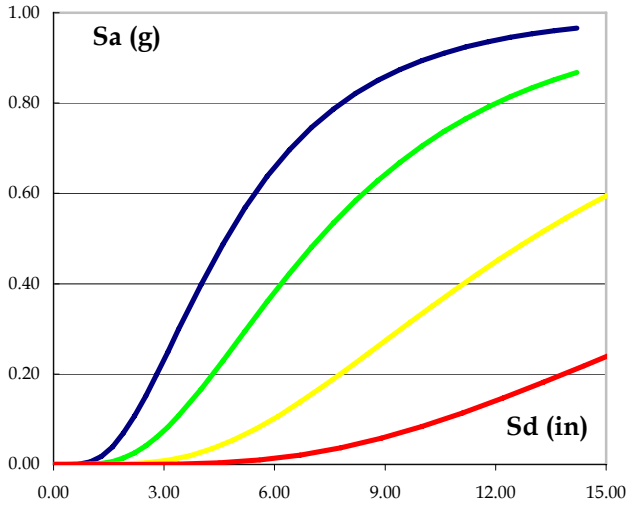
Πίνακας Γ-111

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 12Χ



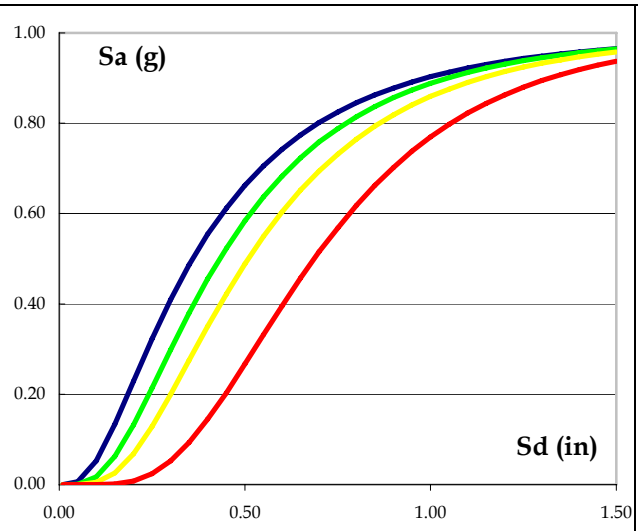
Πίνακας Γ-112

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 12Μ



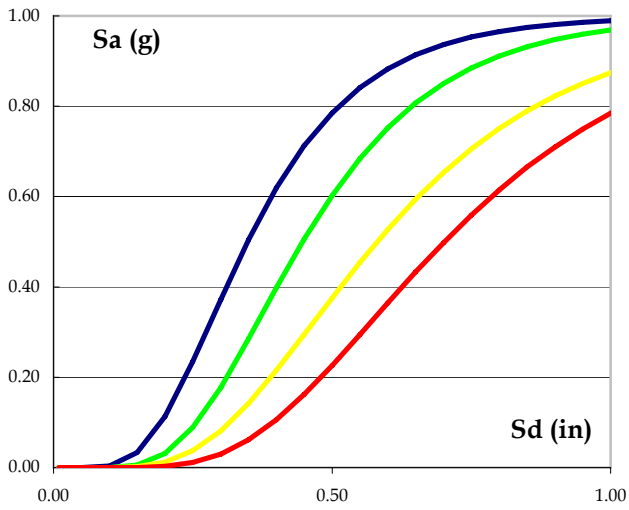
Πίνακας Γ-113

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Ο/Σ 12Υ



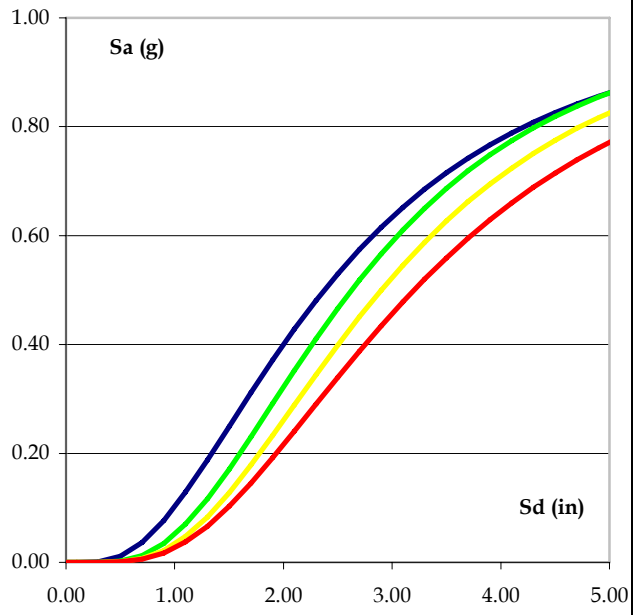
Πίνακας Γ-114

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Τ 1Χ



Πίνακας Γ-115

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Τ 2Χ



Πίνακας Γ-116

Καμπύλη τρωτότητας κτιρίου Τ 3Μ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Applied Technology Council (1996), *"Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Volume 1"* (ATC 40), Redwood City, California
2. Frankel, A. D. (2002), *"Documentation for the 2002 Update of the National Seismic Hazard Maps"*, U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey
3. Kappos A. J. , Stylianidis K. C. και Pitilakis K. (1998) *''Development of Seismic Risk Scenarios Based on a Hybrid Method of Vulnerability Assessment''*, Natural Hazards 17: 177–192
4. Kappos A. J. , Penelis G. G. και Drakopoulos C. G. (2002) *''Evaluation of Simplified Models for Lateral Load Analysis of Unreinforced Masonry Buildings''*, Journal of Structural Engineering, July 2002
5. ASCE/FEMA, *"Seismic Rehabilitation Guidelines"*, http://www.degenkolb.com/0_0_Misc/0_1_FEMADocuments/fema356/ps-fema356.html
6. FEMA-NIBS (2003) *"Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS MH-MR1 User Manual & Technical Manual Volume 1-3 "*, Washington D.C
7. FEMA-NIBS (1999) *"Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS 99' Technical Manual Volume 1-3"*, Washington D.C
8. Miller I. και Freund J. E. (1977) *"Probability and statistics for engineers"* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
9. Buika J. (2000) *"A Public-Private Partnership to Develop the HAZUS Earthquake Risk Assessment Capabilities for the San Francisco Bay Area, California"*, FEMA
10. Jack R. B. και Cornell C. A. (1970) *"Probability, statistics, and decision for civil engineers"*, McGraw Hill
11. Idriss M. και Archuleta R. J. (Μάιος 2004) *"Evaluation of Seismic Hazards"* prepared for the Division of Dam Safety and inspections, California
12. Tantala M. , Nordenson G. , Deodatis G. (2001) *"Earthquake loss estimation study for the New York city area"* NYCEM, New York (http://www.nycem.org)
13. NIST/SEMATECH, *" e-Handbook of Statistical Methods"*, http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/
14. United Nations, *"Report of the World Conference on Disaster Reduction"*, Kobe, Hyogo, Japan, 18-22 January 2005
15. Κάππος Α. Ι. (Απρίλιος 2004) *''Σεισμοί – Εδάφη και Κατασκευές, Προσεισμικός έλεγχος κτιρίων, Εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο"*, Ημερίδα ΤΕΕ Τμ. Αν. Στερεάς
16. Βασίλης και Κατερίνα Παπαζάχου (199) *«Οι σεισμοί της Ελλάδας»*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
17. Παπαζάχος Β. (1997) *«Εισαγωγή στη Σεισμολογία»*, Εκδόσεις Ζήτη, β' έκδοση, Θεσσαλονίκη

18. Γκαζέτας Γ. (2002) *«Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής»*, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, β' έκδοση, Αθήνα 2002
19. Γκαζέτας Γ. (1996) *«Εδαφοδυναμική και Σεισμική Μηχανική, Ιστορικά περιστατικά»*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
20. Παπασταματίου Δ. , Ψυχάρης Ι. (2001) *«Βοηθητικές σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας»*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα
21. ΙΤΣΑΚ και Τμήμα Πολτικών Μηχανικών ΑΠΘ (Απρίλιος 2004) *«Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος "Ο σεισμός της Αθήνας της 7/9/99" προς τον ΟΑΣΠ»*, Θεσσαλονίκη
22. Παπαδρακάκης Μ. (1996) *«Μαθήματα Στατικής V, Πλαστική ανάλυση ραβδωτών φορέων, Σύγχρονες μέθοδοι»*, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα
23. Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ, αρ. Ι. 2 (2002) *«Τελική έκθεση Εκτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας κτιρίων»*, Αθήνα
24. Καρύδης Π. (1996) *«Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας»*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα
25. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ/ΟΑΣΠ (Ιανουάριος 2000) *«Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000»*, Αθήνα
26. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ/ΟΑΣΠ (2000) *«Πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος κτιρίων Δημόσιας και Κοινωφελούς χρήσης»*, http://www.oasp.gr/proseis/ (10-02-2006)
27. Ε.Κ.Π.Σ. , Ο.Α.Σ.Π. , Πανεπιστήμια Αιγαίου: Τμήμα Γεωγραφίας , Ε.Μ.Π. : Τμήμα Αρχιτεκτόνων (Δεκέμβριος 2003) *«Πρακτικά διεθνούς σεμιναρίου, Αποκατάσταση των ιστορικών κατασκευών σε σεισμικές περιοχές : Η περίπτωση των παραδοσιακών κτισμάτων στο Αιγαίο – Μυτιλήνη, Λέσβος 24,26 Μαΐου 2001»* , Αθήνα
28. ESRI (2004) *"ArcGIS 9:What is GIS?"*, U.S.A.
29. Λιβιεράτος, Ε. (1985,1988) *«Γενική Χαρτογραφία»,* Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
30. Μπαντέλας Α. , Σαββαΐδης Π. , Υφαντής Ι. Και Δούκας Ι. (1999) *«Γεωδαισία Τόμος Α»*, αφοι Κυριακίδη α.ε. , Αθήνα
31. Παπαδημητρίου, Γ. (1989) *«Στατιστική:Επαγωγική Στατιστική τεύχος 2»* , Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη
32. Γεωργαλάς Γ. και Μαλιάρη-Πατέρα Α. (1984) «Στοιχεία Γεωλογίας και Ορυκτολογίας» , ΟΕΔΒ , Αθήνα
33. Κουτσόπουλος, Κ. (2002) *«Γεωγραφικξά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυσης Χώρου»,* Παπασωτηρίου, Αθήνα
34. Μπεμ Α. και Καραμπατζός Γ. (2000) *«Εισαγωγή στην Πληροφορική»*, Συμμετρία, Αθήνα
35. Μανιάτης Γ. (1996) *«Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης-Κτημτολογίου»,* εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
36. Στεφανάκης Ε. (2003) *«Βασεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών»*, Παπασωτηρίου, Αθήνα
37. Elmasri R. και Nabathe S. B. (2001) *«Θεμελιώδεις Αρχές Συστημάτων Βάσεων Δεδομένων»,* Δίαυλος, Αθήνα

38. The National Institute of Building Science (Απρίλιος 2002) *"A Guide To Using HAZUS for Mitigation"*
39. Kick-Off Meeting (19 Ιανουαρίου 2005) *"SW Florida HAZUS-MH Pilot Project"*
40. Bouhafs M. , Si C. , Lawson S. και Bouabid J. , *"GIS Impementaion of a Nationwide Seismic Risk Assessment Methodology"* , U.S.A
41. *"Background Information on the ShakeMaps"* , http://earthquake.usgs.gov/shakemap/sc/shake/about.html (10-02-2006)
42. Στεφανάκης Ε. (2002) *«Φύση και Καταγραφή Γεωγραφικών Δεδομένων συμπληρωματικές σημειώσεις»* , Καλλιθέα
43. FEMA (2003) *"HAZUS-MH MR1 User Manual"* , Washington D.C.

Διαδικτυακές Πηγές (10-02-2006):

44. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας: http://www.civilprotection.gr
45. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας: http://www.statistics.gr
46. Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων, «https://yas.ncsr.gr»
47. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων: http://www.minenv.gr
48. Google Earth (free software): http://www.earth.google.com