

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ HAZUS ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΖΗΜΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΑΠΟΘΕΜΑ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΡΕΑΛΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Τεχνίτης Γ.

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Η εργασία αυτή αφορά την εφαρμογή του λογισμικού HAZUS MH R1της FEMA στον ελλαδικό χώρο με βάση ένα πραγματικό σεισμικό σενάριο και την εκτίμηση των δυνατοτήτων του λογισμικού κυρίως σε ότι αφορά την εισαγωγή και διαχείριση ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων. Αρχικός προσανατολισμός ήταν η εισαγωγή αυτούσιας της περιοχής και η προσομοίωση σεισμικών σεναρίων πάνω σε αυτή. Δεδομένου του ότι το HAZUS έχει σχεδιασθεί αποκλειστικά για χρήση εντός της Αμερικανικής Επικράτειας κάποιοι περιορισμοί και αποκλίσεις παρουσιάστηκαν κατά την εφαρμογή. Αυτό που τελικά επετεύχθει, ήταν η όσο το δυνατόν πιστότερη προσαρμογή των συνθηκών μιας ενυπάρχουσας περιοχής του προγράμματος στα ελληνικά δεδομένα και η επιλογή ρεαλιστικών σεισμικών σεναρίων για την αποτίμηση απωλειών.

IMPLEMENTATION OF HAZUS IN A GREEK TERRITORY IN ORDER TO ASSESS THE POTENTIAL DAMAGE IN THE BUILDING COUNT CAUSED BY REALISTIC SEISMIC SCENARIOS

Technitis G.

Harokopion University of Athens

Abstract

In this study an attempt has been made to implement the HAZUS software of F.E.M.A. in a small part of the Greek municipality 'Kifisia' and the assessment of the abilities of the software concerning the insertion and management of both quantitative and qualitative data. The initial intention was to insert an identical area in the software in order to calculate the earthquake risk assessment and vulnerability of the blocks, though some amplifications and limitations were unavoidable, due to the fact that HAZUS MH R1 is oriented to be implemented strictly in American soil. What finally came out, was the most contiguous, to the Greek reality, model possible.

Λέξεις Κλειδιά: σεισμική διακινδύνευση , αποτίμηση ζημιών, οικιστικό απόθεμα.

Key words: hazus, earthquake risk assessment, vulnerability.

1. Εισαγωγή

Η εργασία αυτή είναι μέρος μιας ερευνητικής συνεργασίας του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου και της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ που σκοπό είχε την συνολική εκτίμηση του λογισμικού HAZUS και τη διερεύνηση χρήσης του στον Ελλαδικό χώρο (Trezos et al. 2006).

Ένας από τους βασικούς τομείς έρευνας σήμερα είναι η πρόβλεψη του βαθμού απωλειών στα εκάστοτε στοιχεία υπό διακινδύνευση, λόγω της επίδρασης μιας σεισμικής διέγερσης. Οι επιπτώσεις ενός σεισμικού συμβάντος σε ανθρωπογενές περιβάλλον ποικίλουν και ως εκ

τούτου το εγχείρημα καθίσταται πολύ-επίπεδο. Σ' αυτήν την εφαρμογή προσεγγίζονται αποκλειστικά οι άμεσες δομικές, και κατ' επέκταση οικονομικές, απώλειες ενός σεισμικού σεναρίου.

Αντικείμενο μελέτης της εργασίας είναι η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης υφισταμένων κτιρίων περιοχής του ελλαδικού χώρου. Ζητούμενο είναι η εφαρμογή μεθοδολογίας, ικανής να αποτυπώσει κατά το δυνατόν πληρέστερα τις επιπτώσεις ενός πιθανού σεισμικού επεισοδίου στην περιοχή μελέτης. Η μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης προβλέπει στο να παράξει μια πρόβλεψη των απωλειών, συνεισφέροντας έτσι στην προσπάθεια σύνταξης χαρτών περιοχών υψηλής διακινδύνευσης (risk maps).

Πιλοτικά, για την παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε ένα τμήμα του δήμου Κηφισιάς και σαν σεισμικό σενάριο ο σεισμός της Αθήνας του '99. Το τελικό στάδιο της εργασίας στο να αποσκοπεί να αναδείξει τις πλέον σεισμικά τρωτές περιοχές δίνοντας στη συνέχεια τη δυνατότητα αναγωγής της μεθόδου σε μια ευρύτερη, γεωγραφικά, περιφέρεια.

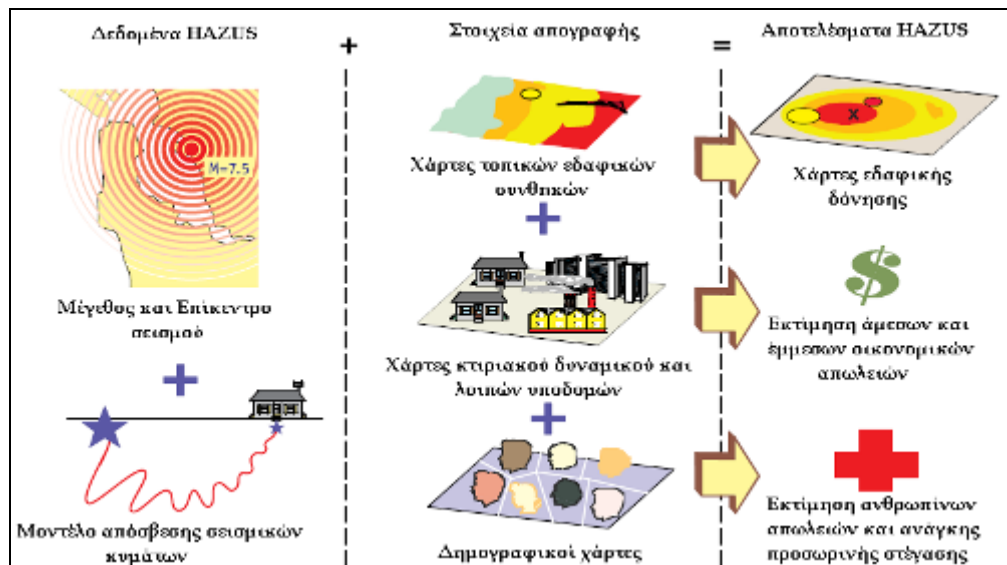
2. Η συλλογιστική της αποτίμησης

Προκειμένου να εκτιμηθεί η απώλεια πρέπει να είναι γνωστή η αντικειμενική αξία που είναι εκτεθειμένη σε κίνδυνο (exposure). Αρχικοί περιοριστικοί παράγοντες, στην αποτίμηση της διακινδύνευσης, είναι το κόστος απογραφής καθώς και η ποιότητα των δεδομένων λόγω του ότι η συλλογή και η εισαγωγή της πληροφορίας σε βάσει δεδομένων αποτελεί την πλέον χρονοβόρα διαδικασία της μελέτης. Οι σύγχρονες μελέτες τείνουν να καταχωρούν τα περισυλεγμένα 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 θέση να διαθέσει πολλά από τα απαραίτητα στοιχεία, ενδέχεται όμως για εξειδικευμένες και λεπτομερείς μελέτες να αναζητηθούν στοιχεία από την Τοπική Αυτοδιοίκηση. Επιπλέον πολύτιμη είναι και η συνεισφορά από οιονδήποτε φορέα που διατηρεί ανανεωμένα αρχεία (Εφορία, Αστυνομία κ.λ.π). εφορία

Για τη μελέτη διακινδύνευσης στο οικιστικό απόθεμα είναι αναγκαία μια καταγραφή των χρήσεων γης (occupancy - mapping) της περιοχής. Η καταγραφή αυτή χρησιμεύει στην καλύτερη αξιολόγηση του ύψους των οικονομικών απωλειών ενός σεισμού που οφείλεται σε δομικές βλάβες. Κατά την περίπτωση δηλαδή που όμοια κτίρια υποστούν ίδια δομική βλάβη, το κόστος αποκατάστασης του ενός με τον ακριβότερο εξοπλισμό (π.χ. τράπεζα αντί για αποθήκη) διαφέρει σημαντικά από το έτερο διάκριση που παραβλέπει η δομική τύπου ταξινόμηση.

Η συλλογιστική της αποτίμησης συνοψίζεται στα εξής: (Σχήμα 1)

- 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
- Επιλέγεται το γεωγραφικό διαμέρισμα μελέτης, έκτασης ανάλογης του φορέα που ασκεί τον έλεγχο (κοινότητα, δήμος, πόλη, νομός).
- Συγκεντρώνονται τα απογραφικά δεδομένα της περιοχής
- Βάσει των αλγορίθμων υπολογισμού, εκτιμώνται οι αναμενόμενες απώλειες των υπό διακινδύνευση στοιχείων της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 1. Η συλλογιστική αποτίμησης του λογισμικού HAZUS (HAZUS MH-MR1 User Manual)

3. Περιγραφή του λογισμικού

Το λογισμικό HAZUS (Hazard US), είναι ένα αυτόνομο πρόγραμμα ανάλυσης και αξιολόγησης πιθανών απωλειών από φυσικές καταστροφές, που χρησιμοποιεί σαν υπόβαθρο μια πλατφόρμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information System-GIS), και επεξεργάζεται χωρικές και γεωγραφικές βάσεις δεδομένων.

Το πρόγραμμα αντλεί πληροφορίες για το κτιριακό δυναμικό, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τα κοινωνικοοικονομικά δεδομένα και λοιπά συναφή στοιχεία της περιοχής μελέτης από το λογισμικό GIS και στη συνέχεια εκτελεί υπολογισμούς χρησιμοποιώντας αλγόριθμους που φέρει στον κώδικά του. Οι χρήστες ανασύρουν τις γεωγραφικές περιοχές μελέτης από την βάση δεδομένων του προγράμματος (εμπεριέχονται στοιχεία μόνο για το σύνολο της αμερικανικής επικράτειας) συνέλκοντας έτσι την σχετική πληροφορία στην οποία και θα γίνει η επεξεργασία.

Στόχος των σχεδιαστών του προγράμματος ήταν το HAZUS να καταστεί ένα ορθολογιστικό εργαλείο στην διάθεση των φορέων πολιτικής προστασίας που εργάζονται προς την κατεύθυνση άμβλυνσης των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου (The National Institute of Building Science, 2002) Η αξιολόγηση της τρωτότητας του οικιστικού αποθέματος μιας περιοχής, βοηθάει στον άμεσο εντοπισμό των περιοχών αυξημένης διακινδύνευσης για την καλύτερη κατανομή των δυνάμεων δράσης στις πληγείσες περιοχές όπου και αναμένεται να προκύψει η μεγαλύτερη ανάγκη παροχής βοήθειας ειδικά κατά το πρώτο εικοσιτετράωρο του επεισοδίου.

Η χρήση λογισμικού ARCGIS ως υποβάθρου για το HAZUS εξασφαλίζει, πέραν της εποπτικής εικόνας των δεδομένων της περιοχής και της ευκολίας διαχείρισης τους και την δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων μέσω θεματικών χαρτών.

Το HAZUS σχεδιάστηκε αρχικά για εφαρμογές που αφορούσαν μόνο σεισμούς, ωστόσο τώρα η χρήση του έχει συμπεριλάβει και άλλα μοντέλα προσομοίωσης ώστε να εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις άλλων φυσικών καταστροφών (π. χ. πλημμυρών, τυφώνων κτλ.)

Για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και για μια επιλογή σεισμικού σεναρίου είναι απαραίτητο να είναι γνωστά δεδομένα σχετικά με την μορφολογία και τη σύσταση του 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, ή την δημιουργία ενός υποθετικού σεναρίου με βάση τα ήδη χαρτογραφημένα ρήγματα της Αμερικής. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι στο πρόγραμμα είναι δυνατή η εισαγωγή ενός εντελώς καινούριου γεωλογικού υποβάθρου αυξάνοντας έτσι την πιστότητα του μοντέλου που δημιουργεί ο χρήστης. Στον πίνακα 1 εμφανίζονται τα γεωλογικά, σεισμοτεκτονικά δεδομένα που απαιτεί το πρόγραμμα για να αναπτυχθεί ένα σεισμικό σενάριο.

Πίνακας 1. Απαιτούμενα δεδομένα υπεδάφους της περιοχής μελέτης (Ομάδα εργασίας I.2 (ΤΕΕ 2002)

➤ Γεωλογικά/Γεωτεχνικά (δυναμικά) χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> • τοπικές εδαφικές συνθήκες • εδάφη μεγάλης ενίσχυσης κραδασμού • ύψος υδροφόρου ορίζοντα • προδιάθεση ρευστοποίησης/κατολίσθησης
➤ Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> • ρήγματα και τεκτονική των πετρωμάτων • παράμετροι εστίας (εστιακό βάθος, μέγεθος) • παράμετροι διαδρομής σεισμικών κυμάτων (απόσβεση- γεωμετρική μείωση)
➤ Επιρροή τοπογραφίας	<ul style="list-style-type: none"> • υψομετρικές διαφορές

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

Επιλέγοντας την θέση του σεισμικού επικέντρου-άρα και την επίκεντρη απόσταση της περιοχής (συντεταγμένες ϕ , λ με χρήση 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 αφενός στην γεωμετρική διασπορά των σεισμικών κυμάτων, αφετέρου στην απόσβεση των υψηλών συχνοτήτων της διέγερσης από τους εδαφικούς σχηματισμούς.

4. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Για την εφαρμογή του προγράμματος επιλέχθηκε τμήμα του Δήμου Κηφισιάς (Κάτω Κηφισιά - σχήμα 4) που επλήγη εκτεταμένα από τον σεισμό της Αθήνας του 99'. Η περιοχή οριοθετείται δυτικά από την κοιτή του ποταμού Κηφισού, και εκτείνεται ανατολικά της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας, προς το κέντρο του δήμου Κηφισιάς. Η δόμηση της περιοχής είναι αραιή, με υψόμετρο να κυμαίνεται στα 290 μέτρα και την εθνική οδό να διχοτομεί την περιοχή με διεύθυνση Βορά - Νότο. Στο μεγαλύτερο ποσοστό η περιοχή περιλαμβάνει οικιστικές ζώνες με ολιγάριθμες εμφανίσεις υποδομών που φιλοξενούν β-γενείς ή γ-γενείς οικονομικές δραστηριότητες. Οι λόγοι επιλογής της συγκεκριμένης περιοχής είναι ότι αφενός υπήρχαν διαθέσιμα γενικά στοιχεία για την περιοχή, ενώ επίσης οι σοβαρές απώλειες που

καταγράφηκαν στον σεισμό του '99' μπορούν να αποτελέσουν ένα 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.



Σχήμα 4. Περιοχή μελέτης

4.1 Συλλογή Δεδομένων

Οι ελάχιστες απαιτήσεις του λογισμικού για εκπόνηση σεισμικών σεναρίων συναρτήσει των διαθέσιμων στοιχείων από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ 2001) για την περιοχή μελέτης απομονώθηκαν σε αυτά που ενδιαφέρουν μια μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης κτιριακού αποθέματος. Αναλυτικά τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν υπό μορφή ψηφιακών πινάκων (excel) είναι:

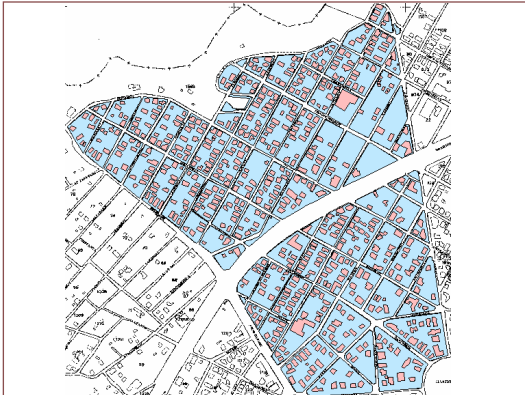
- Δημογραφικά
- Αριθμός κτιρίων και περίοδος κατασκευής
- Δομικοί τύποι κτιρίων
- Κατηγορίες χρήσης κτιρίων
- Συνολικό εμβαδό ορόφων κτιρίων
- Δομική αξία κτιρίων

Τα περαιτέρω δεδομένα συλλέχθηκαν από το τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής, τις διαθέσιμες έγχρωμες αεροφωτογραφίες από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. μία βδομάδα μετά το σεισμό του '99 της Αθήνας καθώς και το γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής. Στα στατιστικά στοιχεία της περιοχής καταγράφονται 2531 μόνιμοι κάτοικοι και 650 κτίρια σε ένα σύνολο 82 οικοδομικών τετραγώνων. Επισημαίνεται πως από τα διαθέσιμα αρχεία υπολείπονταν

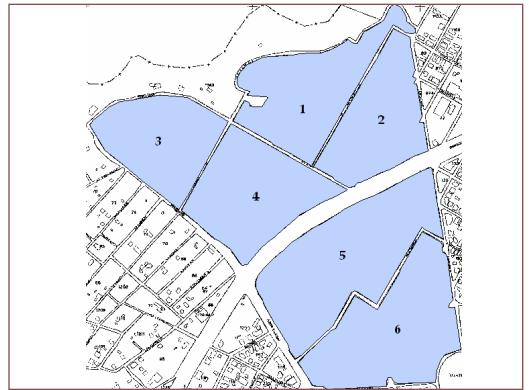
δεδομένα (από κάθε κατηγορία απουσίαζε ποσοστό πληροφορίας για διαφορετικά οικοδομικά τετράγωνα) γεγονός που υποβαθμίζει την ακρίβεια της μελέτης. Για να εκτιμηθεί το συνολικό εμβαδό των κτιρίων του τμήματος της Κηφισιάς, αρχικά σαρώθηκε –ψηφιακά– το τοπογραφικό διάγραμμα, προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό εμβαδό κάλυψης της περιοχής και στην συνέχεια έγινε η κατά προσέγγιση εξαγωγή του συνολικού εμβαδού των κτιρίων.

5. Ανάπτυξη Εφαρμογής

Το HAZUS πέραν του ότι χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο τρόπο διαχωρισμού και ταξινόμησης των δεδομένων του, υποδιαιρεί επίσης τις γεωγραφικές περιφέρειες στη μοναδιαία έκταση γης - το απογραφικό διαμέρισμα (census tract), που θεωρητικά φιλοξενεί 2500~8000 χιλιάδες κατοίκους αναλόγως της 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 (census tracts) ούτως ώστε να διευρυνθούν τα περιθώρια πειραματισμού και δοκιμών. Ο διαχωρισμός της περιοχής απεικονίζεται στο σχήμα 6. Σε κάθε τμήμα-πολύγωνο αντιστοιχεί ο αντίστοιχος αριθμός οικοδομικών τετραγώνων του σχήματος 5.

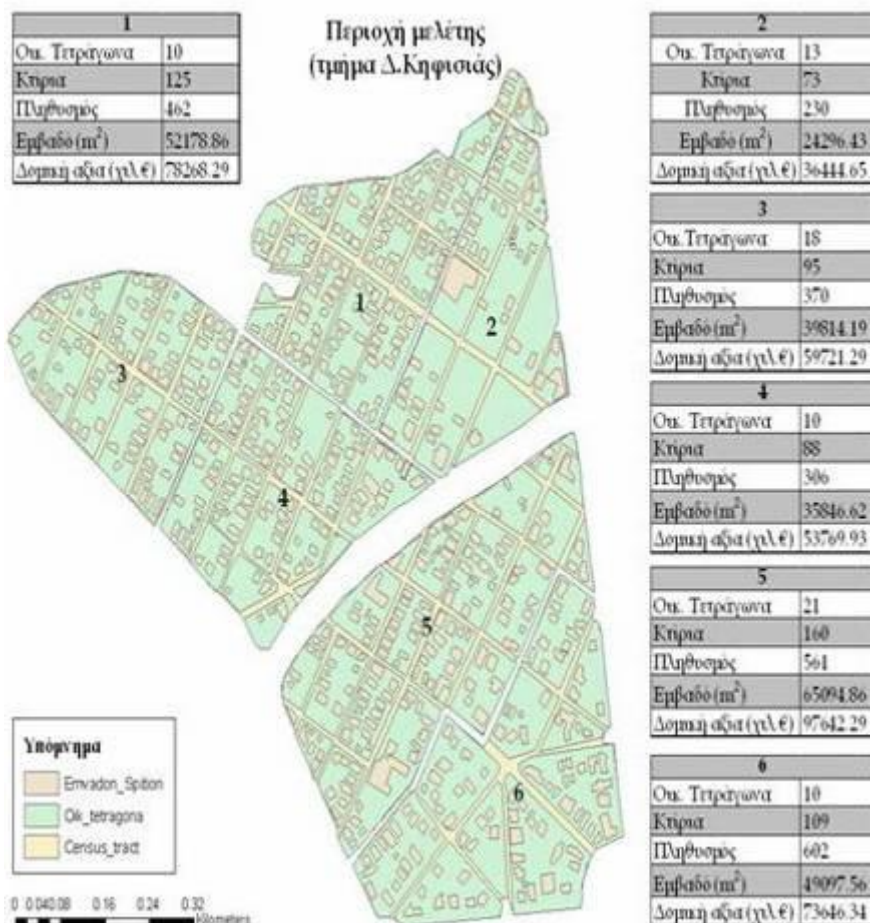


Σχήμα 5. Οικοδομικά Τετράγωνα



Σχήμα 6. Census Tracts

Για την εισαγωγή των στοιχείων και την ταξινόμησή τους σύμφωνα με τις κατηγορίες του προγράμματος έγιναν αρκετές παραδοχές στα υπάρχοντα στατιστικά αρχεία της ΕΣΥΕ. Παρά την πρόσφατη απογραφή, το επίπεδο πληροφορίας των στοιχείων που συνελέγησαν και καταγράφηκαν υπολείπεται των αναγκών του προγράμματος για την χρήση όλων των έτοιμων αλγορίθμων. Αυτό που παρατίθεται στο σχήμα 7 είναι τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα κάθε υποκατηγορίας ενός οικοδομικού τετραγώνου πριν την ανασύνθεση των στοιχείων της περιοχής για την εισαγωγή τους στις βάσεις δεδομένων του λογισμικού.



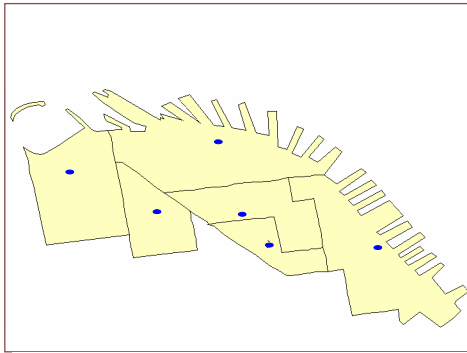
Σχήμα 7. Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

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 ποσοστάσεις για το υλικό κατασκευής των κτιρίων κάθε κατηγορίας χρήσης.

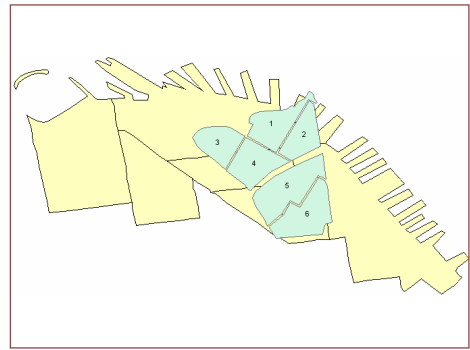
5.1 Εισαγωγή περιοχής στο πρόγραμμα

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. Αυτό δεν περιορίζει την εικονική εφαρμογή σε περιοχές εκτός της βάσεως δεδομένων του χωρίς όμως να αποτελεί ταυτόχρονα η τακτική αυτή μια απλή διαδικασία. Δεδομένου ότι οι παράμετροι της κίνησης του εδάφους για προσδιορισμό της σεισμικής απαίτησης υπολογίζονται στο κεντροειδές (Σχήμα 8) του πολυγώνου του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής, θα πρέπει να κρατηθούν με μεγάλη ακρίβεια οι σχετικές αποστάσεις των αντίστοιχων κεντροειδών των πολυγώνων της εξεταζόμενης περιοχής ούτως ώστε σε ένα προσδιοριστικό σενάριο να υπολογιστεί σωστά η επίκεντρη απόσταση του σεισμού. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να γίνει η τροποποίηση του αρχικού χάρτη σε αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 8. Αρχική μορφή του χάρτη τυχαίας περιοχής (περιοχή της πόλης του San Francisco)



Σχήμα 9. Τελική μορφή του χάρτη τυχαίας περιοχής (περιοχή της πόλης του San Francisco)

Όσον αφορά τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της περιοχής, το έδαφος θεωρήθηκε κατηγορίας D από την τιμή της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων που μετρήθηκε κατά την γεωτεχνική έρευνα του ΚΕΔΕ (Γκαζέτας, 1996) που έγινε μετά τον σεισμό της Αθήνας το '99'.

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 μεταφράστηκαν σε αντίστοιχες του προγράμματος ενώ 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.

5.2 Αποτελέσματα σεισμικών σεναρίων

Ένα δείγμα της μορφής των αποτελεσμάτων των σεναρίων παρατίθενται συνοψίζονται στον πίνακα 1 και το σχήμα 10 που ακολουθούν. Τα αποτελέσματα αυτά δεν κρίνονται αντιπροσωπευτικά της συμπεριφοράς των κτιρίων της περιοχής καθώς απαιτείται περισσότερη διερεύνηση για τις καμπύλες τρωτότητας και τη χρήση των πραγματικών καμπύλων φασματικής ικανότητας των κτιρίων για μια πιο ολιστική προσέγγιση της προσομοίωσης. Με γνώμονα πάντα τους περιορισμούς, τις αβεβαιότητες και τις αποκλίσεις της μεθόδου μια πλειάδα σεναρίων τέθηκε υπό δοκιμή με το τελευταίο εξ αυτών να δίνει αποτελέσματα πολύ κοντά στα νούμερα καταγραφής κτιριακών ζημιών από την Υ.Α.Σ στο σεισμό του '99.

Πίνακας 2. 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



Σχήμα 10. Αριθμός κτιρίων που υπέστησαν ολοκληρωτικές βλάβες

6. Συμπεράσματα

- Ο κώδικας του προγράμματος είναι κλειστός, δηλαδή δεν δίνεται δυνατότητα στον αναλυτή να τροποποιήσει τους αλγορίθμους που συμπεριλαμβάνονται στο λογισμικό
- Περιορισμένη η συμβατότητα του προγράμματος με αρχεία Excel, Word κτλ, με πολύ συγκεκριμένη δομή των γεωγραφικών βάσεων δεδομένων που δε μπορεί να αλλάξει ή να γίνει εισαγωγή αυτούσιας καινούριας
- Αναγκαία η πολυσύνθετη επεξεργασία των δεδομένων της ΕΣΥΕ ώστε να λάβουν μορφή αξιοποιήσιμη από το λογισμικό

- Σε περιπτώσεις που η περιοχή ξεπερνάει τα κάποια τετραγωνικά χιλιόμετρα, τότε η ανάγκη για υπολογιστική ισχύ και χρόνο επεξεργασίας των πληροφοριών αυξάνει σημαντικά

Ολοκληρώνοντας την εργασία προκύπτει ως συμπέρασμα πως η εφαρμογή του λογισμικού στην Ελλάδα κρίνεται ανέφικτη. Απαιτήθηκε ιδιαίτερος χρόνος για την τροποποίηση αρκετών παραμέτρων της περιοχής που επιλέχθηκε από την υπάρχουσα βάση δεδομένων του λογισμικού, ενώ σε αρκετά σημεία οι πολύπλοκες δομές των σχεσιακών μοντέλων, που τη διέπουν, δεν είναι σαφείς ή τροποποιήσιμες.

Αν και το λογισμικό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να επέμβει (ως ένα σημείο) στην εφαρμογή, ώστε να προσομοιώσει καλύτερα το φυσικό περιβάλλον, θα πρέπει να γίνει απολύτως κατανοητό ότι σκοπό έχει περισσότερο να δώσει την αίσθηση μιας πιθανής εξέλιξης ενός υποθετικού ή πραγματικού σεναρίου, παρά μια ακριβή πρόβλεψη.

Βιβλιογραφία

Γκαζέτας Γ. (2002) «Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, β' έκδοση, Αθήνα 2002

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας: <http://www.statistics.gr> Καρύδης Π. (1996) «Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα

Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ, αρ. Ι. 2 (2002) «Τελική έκθεση Εκτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας κτιρίων», Αθήνα

FEMA-NIBS (2003) "Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS MH-MR1 User Manual & Technical Manual Volume 1-3 ", Washington D.C

Google Earth (free software): <http://www.earth.google.com>

K.G Trezos, G.S.Christodoulidis, I.Parcharidis, G.F.Technitis "Seismic Risk Assessment of existing structures" Proceedings of the 15th Greek Concrete Conference, Alexandroupoli, Greece, 25-27 October 2006

The National Institute of Building Science (Απρίλιος 2002) "A Guide To Using HAZUS for Mitigation"