

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ

Γαλανόπουλος Δ

*Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης,
Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας*

Περίληψη

Η διαδικασία διαχείρισης σεισμικού κινδύνου περιλαμβάνει ένα σύνολο ενεργειών και αποφάσεων που έχουν σκοπό τη μείωση ή ακόμη και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων ενός σεισμού σε μια περιοχή ευρύτερη από αυτή του σεισμογόνου χώρου. Στα πλαίσια της πρόληψης του κινδύνου είναι αναγκαία η ανάλυση του κινδύνου και ειδικότερα η εκτίμηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων ενός σεισμού στις κατασκευές και στο πληθυσμό της περιοχής. Συνήθως η εκτίμηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων πραγματοποιείται με έμμεσο και ποιοτικό τρόπο στη βάση της ερμηνείας χαρτών που απεικονίζουν τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή κάποιας σεισμικής παραμέτρου. Μία επιστημονικά αποδεκτή μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων αυτής της διαδικασίας είναι η προσομοίωση των επιπτώσεων ενός σεισμού με χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Στη κατηγορία αυτού του λογισμικού ανήκει το RADIUS των Ηνωμένων Εθνών το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία για τη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών. Στη προσπάθεια αυτή χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου, αφενός στατιστικά στοιχεία από τις πιο πρόσφατες απογραφές της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος που συνδέονται με τη τρωτότητα των κατασκευών και του πληθυσμού και αφετέρου στοιχεία των εδαφικών συνθηκών της περιοχής. Το λογισμικό εφαρμόστηκε για τη περίπτωση του σεισμού των 5.9R που έλαβε χώρα στην Αθήνα την 7^η Σεπτεμβρίου 1999 και τα εξαγόμενα αξιολογήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των δευτεροβάθμιων μετασεισμικών ελέγχων και άλλων μελετών που αφορούν στις μακροσεισμικές επιπτώσεις του σεισμού αυτού.

ESTIMATION OF THE CONSEQUENCES OF SEISMIC RISK IN THE WIDER AREA OF THE CITY OF ATHENS

Galanopoulos, D.

*Ministry of Interior, Public Administration and Decentralization,
General Secretariat for Civil Protection*

Abstract

The process of seismic risk management consists of a series of actions and decisions, which aim to the reduction or even the elimination of the consequences of an earthquake within an area wider than that of the seismogenic region. The estimation of the probable consequences of an earthquake to the buildings and the population of an area is an important task of seismic risk analysis during the stage of risk prevention. The probable consequences of an earthquake are usually estimated with an indirect and qualitative way based on the interpretation of maps illustrating the maximum expected value of a particular seismic parameter. A scientifically acceptable methodology for quantifying the results of this process is the simulation of the consequences of an earthquake by using appropriate computer software.

The RADIUS computer program built up by the United Nations belongs to this class of

software. RADIUS was used for the quantitative estimation of the consequences of seismic risk in the wider area of the city of Athens. The input data comprised inventories from the most recent census of the National Statistical Service of Greece, which are related to the building and population vulnerability. Other input data included the soil conditions of the area. The software was applied for the case of the 5.9R earthquake occurred in Athens the 7th September 1999 and the results were evaluated by taking into account the outcome of the 2nd degree post-earthquake building inspections and other studies on the macro-seismic consequences of this earthquake.

Λέξεις κλειδιά: σεισμικός κίνδυνος, εκτίμηση επιπτώσεων.

Key words: seismic risk, damage assessment.

1. Εισαγωγή

Η εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού πραγματοποιείται διεθνώς με τη χρήση ενός πολύ μικρού αριθμού προγραμμάτων Η/Υ, όπως π.χ. το RADIUS (Kaneko and Sun, 2000; OYO Group, 2000), το HAZUS-MH (<http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtml>), το SELINA (Molina and Lindholm, 2005), το EXTREMUM (Frolova et al., 2006) κ.ά.. Τα προγράμματα αυτά έχουν ως βασική αρχή λειτουργίας τους τη προσομοίωση της απόκρισης του εδάφους και των κατασκευών μιας περιοχής κατά την εκδήλωση ενός πραγματικού ή υποθετικού σεισμικού συμβάντος.

Τα διάφορα είδη λογισμικού χρησιμοποιούν για την εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού μεθοδολογία με κοινά χαρακτηριστικά ως προς τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής τους, το είδος των δεδομένων εισόδου και τη δυνατότητα συνεργασίας τους με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ). Οι διαφορές τους εντοπίζονται στο τρόπο εισαγωγής των δεδομένων εισόδου, στο επίπεδο ανάλυσης της εισαγόμενης πληροφορίας (κλίμακα γεωγραφικού χάρτη), στο είδος και τις μεθόδους υπολογισμού (μαθηματικά μοντέλα) των παραμέτρων που σχετίζονται με τα αναμενόμενα μακροσεισμικά αποτελέσματα ενός σεισμού (δεδομένα εξόδου), καθώς επίσης και στο είδος και στο τρόπο απεικόνισης των υπολογιζόμενων παραμέτρων (δεδομένα εξόδου).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι περιπτώσεις που αφορούν στην εφαρμογή λογισμικού για την εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στον Ελλαδικό χώρο, περιορίζονται:

- στο ερευνητικό πρόγραμμα ΕΠΑΝΤΥΚ του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας, (2001), στο οποίο έγινε προσπάθεια εφαρμογής του HAZUS.
- στις ερευνητικές προσπάθειες του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης με το λογισμικό SEISIMPACT-THES (Savvaidis et al., 2004).
- στη προσπάθεια εφαρμογής του HAZUS από τον Τεχνίτη (2007) στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, η οποία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση της σεισμικής διακινδύνευσης στη περιοχή του Δ. Κηφισιάς.

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται η διαδικασία εφαρμογής και τα αποτελέσματα του λογισμικού RADIUS στη περίπτωση της ποσοτικής εκτίμησης των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών.

2. Μεθοδολογία

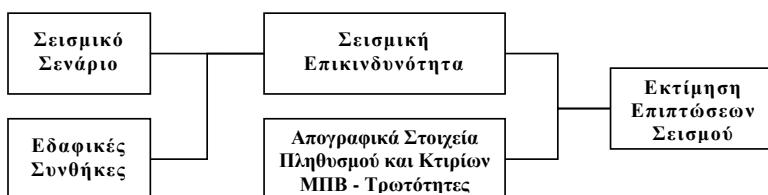
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου ήταν αυτή που προβλέπεται για την εφαρμογή του λογισμικού RADIUS.

Το RADIUS (Risk Assessment Tools for DIagnosis of Urban Areas against Seismic

Disasters) αναπτύχθηκε το χρονικό διάστημα 1996-2000 στα πλαίσια του ομώνυμου ερευνητικού προγράμματος του ΟΗΕ από την Ιαπωνική Εταιρία ΟΥΟ Corporation με χρηματοδότηση του ΟΗΕ και της Ιαπωνικής Κυβέρνησης. Το ερευνητικό πρόγραμμα RADIUS ήταν πρωτοβουλία της Γραμματείας της Διεθνούς Δεκαετίας (1990-2000) για τη Μείωση των Φυσικών Καταστροφών (International Decade for Natural Disaster Reduction) του ΟΗΕ.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού του προγράμματος περιλαμβάνει τρεις βασικές παραδοχές που το καθιστούν εύχρηστο σε πολύ μεγάλο βαθμό. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής:

- το πρόγραμμα προορίζεται κατά κύριο λόγο για προκαταρκτική και χονδρική εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού και όχι για λεπτομερή επιστημονική διερεύνηση.
- το είδος των δεδομένων εισόδου και η χρήση του προγράμματος έχουν γενικά απλή μορφή (λειτουργία σε περιβάλλον Microsoft Excel).
- το πρόγραμμα δεν απαιτεί κατά τη λειτουργία του τη χρήση ΓΣΠ, παρέχει όμως αυτή τη



Σχήμα 1. Απεικόνιση των βασικών στοιχείων και λειτουργιών της μεθοδολογίας εκτίμησης των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου με το πρόγραμμα RADIUS.

δυνατότητα σε όσους χρήστες το επιθυμούν (Arc/Info, Map/Info κ.λ.π.).

Η εκτέλεση των βασικών λειτουργιών του προγράμματος αποδίδεται σε απλουστευμένη μορφή με το διάγραμμα ροής του ανωτέρω Σχήματος 1 και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

(α) Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής ενδιαφέροντος σε πλέγμα τετραγώνων

Στο στάδιο αυτό, το γεωγραφικό σχήμα και η έκταση της περιοχής που πρόκειται να μελετηθεί προσεγγίζεται με ένα αριθμό τετραγώνων που βρίσκονται πάνω σε πλέγμα. Στο ίδιο στάδιο προσδιορίζονται:

- το όνομα, ο πληθυσμός και σύνολο των κτιρίων της περιοχής ενδιαφέροντος
- τα όρια και η διάσταση (σε km) των τετραγώνων του πλέγματος
- τα τετράγωνα που πρόκειται να αντιστοιχούν στην έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος

(β) Εισαγωγή των δεδομένων εισόδου

Στο στάδιο αυτό εισάγονται τέσσερις κατηγορίες δεδομένων:

Βασικά Δεδομένα Εισόδου

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα βασικά δεδομένα εισόδου και ειδικότερα:

- τους κωδικούς αριθμούς και τα ονόματα των διοικητικών διαμερισμάτων στα οποία διαιρείται η περιοχή ενδιαφέροντος (π.χ. δημοτικό διαμέρισμα, δήμος, νομαρχιακή

αυτοδιοίκηση κ.λ.π.)

- τη κατανομή του πληθυσμού στα τετράγωνα του πλέγματος με τη βοήθεια πέντε κωδικών αριθμών (0-4) που αντιστοιχούν σε ίσο αριθμό συντελεστών βαρύτητας. Ο πληθυσμός σε κάθε τετράγωνο του πλέγματος υπολογίζεται από το συνολικό πληθυσμό της περιοχής με χρήση του αντίστοιχου συντελεστή
- τις εδαφικές συνθήκες στα τετράγωνα του πλέγματος με τη βοήθεια τεσσάρων κωδικών αριθμών (1-4) που αντιστοιχούν σε τέσσερα διαφορετικής σκληρότητας εδάφη.

Δεδομένα Απογραφής Κτιρίων

Η δεύτερη κατηγορία αφορά δεδομένα που σχετίζονται με δέκα δομικούς τύπους κτιρίων (Πίνακας 1) και τη κατανομή τους στα διοικητικά διαμερίσματα της περιοχής ενδιαφέροντος εκφρασμένη σε ποσοστά επί τοις εκατό. Ο αριθμός των κτιρίων σε κάθε τετράγωνο του πλέγματος υπολογίζεται από το συνολικό αριθμό των κτιρίων της περιοχής με χρήση του αντίστοιχου συντελεστή βαρύτητας.

Πίνακας 1. Οι δομικοί τύποι των κτιρίων του RADIUS

A/A	Τύπος Κτιρίου	Περιγραφή
1	RES1	αυθαίρετες κατασκευές αστικών υποβαθμισμένων περιοχών, κατασκευασμένες με άψητα τούβλα και κονίαμα ιλύος
2	RES2	κατασκευές με άοπλη τοιχοποιία και οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς αντισεισμικό κανονισμό μέχρι 3 ορόφους
3	RES3	κατασκευές με άοπλη τοιχοποιία και οπλισμένο σκυρόδεμα με παλιό αντισεισμικό κανονισμό με 4-6 ορόφους
4	RES4	πρόσφατες πολυώροφες κατασκευές με οπλισμένο σκυρόδεμα και νέο αντισεισμικό κανονισμό
5	EDU1	σχολικά κτίρια έως και 2 ορόφους
6	EDU2	σχολικά κτίρια μεγαλύτερα από 2 ορόφους
7	MED1	νοσοκομεία με χαμηλή έως και μέτριου ύψους δόμηση
8	MED2	νοσοκομεία με υψηλή δόμηση
9	COM	εμπορικά κέντρα
10	IND	βιομηχανικές μονάδες χαμηλού και υψηλού κινδύνου

Δεδομένα Απογραφής Υποδομών Κοινής Ωφελείας

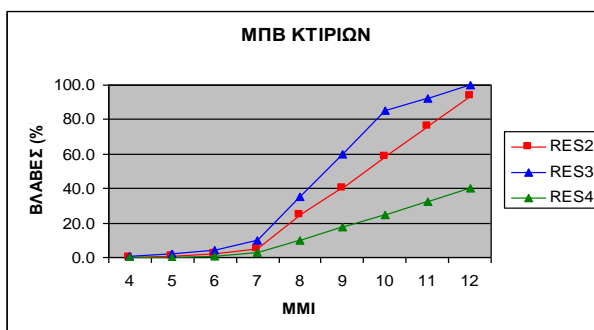
Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει δεδομένα που σχετίζονται με δώδεκα τύπους υποδομών κοινής ωφελείας (οδικό δίκτυο, γέφυρες, σήραγγες, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεπικοινωνιών και ύδρευσης, δεξαμενές και ταμιευτήρες ύδατος, πρατήρια καυσίμων).

Δεδομένα Σεισμικού Σεναρίου

Η τέταρτη κατηγορία αφορά στα δεδομένα του σεισμικού σεναρίου το οποίο δύναται να σχετίζεται με πραγματικό ή υποθετικό σεισμικό συμβάν. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως το μέγεθος του σεισμού σε βαθμούς της κλίμακας Richter, το εστιακό βάθος σε km, η ώρα εκδήλωσης του σεισμού, η απόσταση σε km του επικέντρου του σεισμού από κάποιο τετράγωνο του πλέγματος που καθορίζεται ως τετράγωνο αναφοράς και τέλος ο μαθηματικός τύπος της εξασθένησης των σεισμικών κυμάτων.

(γ) Τροποποίηση των σταθερών δεδομένων του προγράμματος

Το λογισμικό RADIUS εκτός από τα δεδομένα που δέχεται από το χρήστη με διαδραστικό τρόπο, απαιτεί για την εκτέλεσή του επιπρόσθετη πληροφορία ποικίλου είδους την οποία λαμβάνει μέσω δεκατριών πινάκων που περιλαμβάνουν σταθερά δεδομένα. Στο στάδιο αυτό, ο χρήστης δύναται να τροποποιήσει ορισμένα από τα σταθερά δεδομένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις που δημιουργούνται από τις τοπικές συνθήκες της περιοχής ενδιαφέροντος. Τα σταθερά δεδομένα αφορούν:



Σχήμα 2. Καμπύλες ΜΠΒ του λογισμικού RADIUS για τη περίπτωση των κτιριακών τύπων RES2, RES3 και RES4, αντίστοιχα.

- στα στατιστικά βάρη κατανομής του πληθυσμού στα τετράγωνα του πλέγματος
- στη κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών
- στα Μητρώα Πιθανότητας Βλαβών (ΜΠΒ) των κτιρίων (Σχ.2) και των υποδομών κοινής ωφελείας για τη περίπτωση κατάρρευσης και σοβαρών βλαβών.
- στο καθορισμό του εύρους του ημερήσιου και νυκτερινού ωραρίου αντίστοιχα, σύμφωνα με τις ισχύουσες τοπικές συνήθειες

(δ) Απεικόνιση των δεδομένων εισόδου

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των δεδομένων εισόδου και ειδικότερα του τύπου των εδαφικών συνθηκών, της κατανομής του πληθυσμού και των κτιρίων με τη μορφή χαρτών πλέγματος τετραγώνων. Στους χάρτες αυτούς τα τετράγωνα χρωματίζονται με διαφορετικά χρώματα τα οποία αντιστοιχούν με τη σειρά τους σε διαφορετικές τιμές ή διαφορετικό εύρος τιμών κάποιας παραμέτρου (σκληρότητα πετρώματος, πληθυσμός, αριθμός κτιρίων). Στη περίπτωση που αξιοποιηθεί η δυνατότητα συνεργασίας του προγράμματος με ΓΣΠ, είναι εφικτή η απεικόνιση των ανωτέρω παραμέτρων σε γεωγραφικούς χάρτες.

(ε) Ανάγνωση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών ανάλογα με τη πληροφορία που παρέχουν στο χρήστη ομαδοποιούνται αυτομάτως από το πρόγραμμα σε έξι (6) πίνακες. Τα αποτελέσματα δίδονται για κάθε τετράγωνο του πλέγματος μαζί με τα στοιχεία ταυτότητας του κάθε τετραγώνου (κωδικός αριθμός, και όνομα διοικητικού διαμερίσματος, στατιστικό βάρος κατανομής πληθυσμού, τύπος εδαφικών συνθηκών, μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση και ένταση)

- στο πρώτο πίνακα περιλαμβάνονται τα κύρια αποτελέσματα του προγράμματος και αφορούν αφενός μεν στον αριθμό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί

βλάβες, αφετέρου δε στον αναμενόμενο αριθμό νεκρών και τραυματιών με μεγάλης και μέτριας σοβαρότητας τραύματα

- στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τον αριθμό των υποδομών κοινής ωφελείας που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- στο τρίτο πίνακα δίδεται η κατανομή των κτιρίων σύμφωνα με τον τύπο τους
- στο τέταρτο πίνακα παρουσιάζεται για κάθε τύπο κτιρίου το επί τοις εκατό ποσοστό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- στο πέμπτο πίνακα παρουσιάζεται για κάθε τύπο κτιρίου ο αριθμός των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- στον έκτο πίνακα δίδεται η κατανομή του αναμενόμενου αριθμού νεκρών και τραυματιών με μεγάλης και μέτριας σοβαρότητας τραύματα, καθώς και τα αντίστοιχα επί τοις εκατό ποσοστά

(στ) Απεικόνιση των αποτελεσμάτων

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων με τη μορφή χαρτών πλέγματος τετραγώνων. Ειδικότερα, οι χάρτες αυτοί δύνανται να αναπαριστούν:

- τη μέγιστη αναμενόμενη σεισμική ένταση
- τον αριθμό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- το επί τοις εκατό ποσοστό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- τον αναμενόμενο αριθμό νεκρών και τραυματιών

Όπως και στη περίπτωση των δεδομένων εισόδου, τα αποτελέσματα του προγράμματος δύνανται να απεικονιστούν σε γεωγραφικούς χάρτες με τη βοήθεια ΓΣΠ.

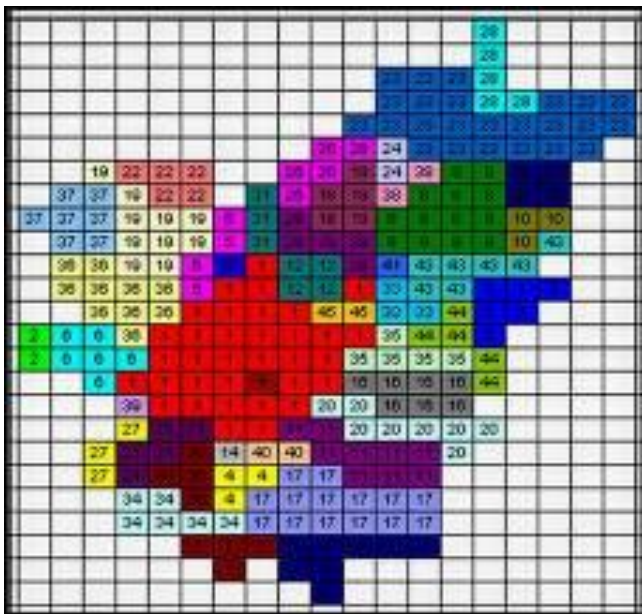
3. Αποτελέσματα

Το RADIUS εφαρμόστηκε στη παρούσα εργασία για τη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου σε 42 Δήμους της Νομαρχίας Αθηνών (Πίνακας 2, Σχήμα 2). Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής του Σχήματος 1, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν στοιχεία για τις εδαφικές συνθήκες της περιοχής (Γαλανόπουλος, 1956; Mariolakis and Fountoulis, 1999; Koukris and Sabatakakis, 2000; Παπανικολάου κ.ά., 2004) καθώς και στοιχεία της τελευταίας απογραφής (2001) της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος (ΕΣΥΕ) που συνδέονται έμμεσα με τη τρωτότητα των κατασκευών και του πληθυσμού. Το σεισμικό σενάριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του σεισμού των 5.9R που έγινε στην Αθήνα στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 (Paradopoulos et al, 2002).

Στην εφαρμογή του λογισμικού αναδείχθηκαν δύο βασικά προβλήματα εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων του στην εισαγωγή των βασικών δεδομένων και των δεδομένων απογραφής των κτιρίων.

Το πρώτο πρόβλημα αφορούσε στην έλλειψη της δυνατότητας του λογισμικού να δεχθεί για κάθε Δήμο ξεχωριστά τα στοιχεία του πληθυσμού και του αριθμού των κτιρίων του. Αντιθέτως, τα στοιχεία αυτά παράγονταν για κάθε Δήμο από το ίδιο το πρόγραμμα με χρήση του συνολικού πληθυσμού και του αριθμού των κτιρίων των 42 Δήμων της Νομαρχίας Αθηνών που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη και όπως ήδη έχει αναφερθεί ενός συντελεστή βαρύτητας. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας ήταν ο πληθυσμός και ο αριθμός των κτιρίων κάθε Δήμου να μη συμπίπτουν με τα πραγματικά απογραφικά στοιχεία της ΕΣΥΕ.

Το δεύτερο πρόβλημα αφορούσε στο ότι το RADIUS προβλέπει διαφορετικό αριθμό δομικών τύπων κτιρίων (Πίνακας 1) και αντιστοιχων ΜΠΒ (Σχήμα 2) σε σχέση με ότι ήδη έχει προταθεί για τη χώρα μας (Παπαδρακάκης, 1996; ΙΤΣΑΚ και ΑΠΘ, 2004; Κάππος, 2004, Καρρος, 2007). Το αποτέλεσμα ήταν να γίνουν αρκετές παραδοχές. Τα κτίρια της περιοχής χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τη χρονική περίοδο κατασκευής τους (Πίνακας 2). Στο πίνακα αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή των κτιρίων σε ποσοστά επί τοις εκατό. Οι κατηγορίες αυτές αντιστοιχήθηκαν σε τρεις δομικούς τύπους κτιρίων του RADIUS (Πίνακας 1: RES2, RES3 και RES4). Οι χρονικές περιόδους κατασκευής των κτιρίων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τις χρονικές περιόδους ισχύος των διαφόρων αντισεισμικών κανονισμών της χώρας. Τα κτίρια μέχρι και το 1960 δεν έχουν κτιστεί κατά κανόνα με αντισεισμικό κανονισμό και είναι γενικά κτίρια με χαμηλή δόμηση. Στη κατηγορία αυτή αντιστοιχήθηκε ο τύπος RES2. Τα κτίρια από το 1961 έως το 1985 είναι κατά κανόνα κτισμένα με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959, εκτός από αυτά της περιόδου 1984-1985 που κτίστηκαν με βάση τις τροποποιήσεις του 1984. Τα κτίρια αυτής της περιόδου είναι συνήθως πολυώροφα (4-6 όροφοι). Στη κατηγορία αυτή αντιστοιχήθηκε ο τύπος RES3. Τα κτίρια από το 1986 και μετά είναι συνήθως πολυώροφα και κτισμένα με αντισεισμικό κανονισμό (1984, 1995, 2000). Στη κατηγορία αυτή αντιστοιχήθηκε ο τύπος RES4.

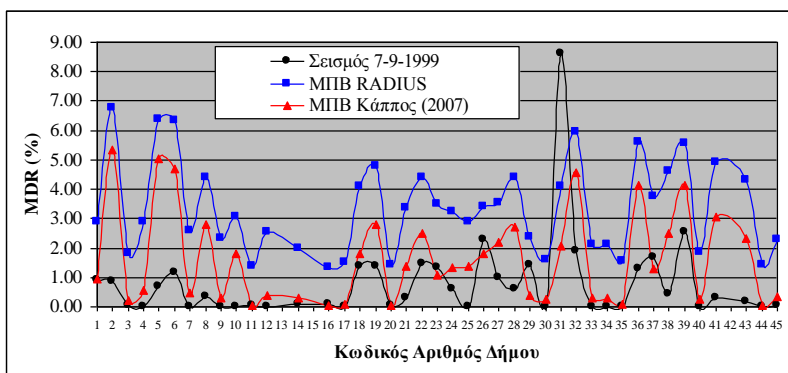


Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής ενδιαφέροντος στο πλέγμα τετραγώνων του RADIUS, όπου οι 42 Δήμοι της Νομαρχίας Αθηνών εμφανίζονται με διαφορετικό κωδικό αριθμό (Πίνακας 2) και τόνο του γκρι χρώματος.

Το σεισμικό σενάριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του σεισμού των 5.9R που έλαβε χώρα στις 14:56 τοπική ώρα, στην Αθήνα στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 με εστιακό βάθος περίπου 17km και σε απόσταση περίπου 17km από το ιστορικό κέντρο της πόλης των Αθηνών (Papadopoulos et al, 2002).

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος για τη περίπτωση των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις σε σύγκριση με τα πραγματικά αποτελέσματα του σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (Πετρόπουλος κ.ά., 2003). Όλα τα στοιχεία εκφράζονται για κάθε Δήμο με τη μέση τιμή των επί τοις εκατό

ποσοτών των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί (στοιχεία προσομοίωσης) ή έχουν υποστεί (πραγματικά στοιχεία) σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις. Τα πραγματικά αποτελέσματα του σεισμού της Αθήνας απεικονίζονται με μικρούς κύκλους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ίδιου σεισμού χρησιμοποιώντας τα ΜΠΒ του RADIUS (Σχήμα 2) απεικονίζονται με μικρά τετράγωνα. Επειδή διαπιστώθηκε διαφορά της τάξης των 2-5 μονάδων μεταξύ των επί τοις εκατό ποσοστών των βλαβών που προκάλεσε ο σεισμός της Αθήνας και αυτών που υπολογίστηκαν από το RADIUS, το λογισμικό εφαρμόστηκε ξανά με ΜΠΒ που έχουν προταθεί από τον Κάππο (2007) για τους δομικούς τύπους κτιρίων της χώρας μας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα ΜΠΒ των δομικών τύπων RC1-Medium-Low Code, RC4-High-Low Code και RC4-High-High Code για τις κατηγορίες κτιρίων του Πίνακα 2, αντίστοιχα. Τα σχετικά αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 3 με μικρά τρίγωνα. Στο Πίνακα 3 παρουσιάζονται σε σύγκριση με πραγματικά στοιχεία, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του προγράμματος για τη περίπτωση του αναμενόμενου αριθμού νεκρών και τραυματιών με μεγάλης και μέτριας σοβαρότητας τραύματα από σοβαρές βλάβες σε κτίρια ή καταρρεύσεις κτιρίων.



Σχήμα 3. Μέση τιμή των επί τοις εκατό ποσοστών των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί (στοιχεία προσομοίωσης) ή έχουν υποστεί (πραγματικά στοιχεία) σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις.

Πίνακας 2. Κατανομή των κτιρίων των 42 Δήμων της Νομαρχίας Αθηνών κατά χρονική περίοδο κατασκευής.

Α/Α	Κ/Δ	Δήμοι	Πληθυσμός	Σύνολο Κτιρίων	Ποσοτό (%) Κτιρίων κατά Χρονική Περίοδο Κατασκευής		
					Μέχρι και το 1960	1961 έως και το 1985	1986 και μετά
1	1	Δήμος Αθηναίων	789166	62277	38.17	52.54	9.28
2	2	Δήμος Αγ. Βαρβάρας	31354	4874	25.73	65.06	9.21
3	3	Δήμος Αγ. Παρασκευής	60065	6833	13.33	55.98	30.69
4	4	Δήμος Αγ. Δημητρίου	68719	12559	21.20	57.39	21.41
5	5	Δήμος Αγ. Αναργύρων	35072	6546	21.22	63.44	15.34
6	6	Δήμος Αιγάλεω	77917	14190	32.35	59.99	7.66
7	7	Δήμος Αλίμου	39800	5783	11.88	57.17	30.95
8	8	Δήμος Αμαρουσίου	71551	9191	24.21	49.33	26.46
9	9	Δήμος Αργυρούπολης	35076	5269	11.25	71.76	16.99
10	10	Δήμος Βριλησίων	26567	3390	5.87	37.20	56.93

Πίνακας 2 (συνέχεια).

Α/Α	Κ/Δ	Δήμοι	Πληθυσμός	Σύνολο Κτιρίων	Ποσοτό (%) Κτιρίων κατά Χρονική Περίοδο Κατασκευής		
					Μέχρι και το 1960	1961 έως και το 1985	1986 και μετά
11	11	Δήμος Βύρωνος	64661	7225	31.76	53.02	15.21
12	12	Δήμος Γαλασίου	63418	5190	18.30	64.35	17.34
13	14	Δήμος Δάφνης	25058	4369	43.37	47.61	9.02
14	16	Δήμος Ζωγράφου	81435	4497	19.32	66.40	14.28
15	17	Δήμος Ηλιούπολης	81024	11778	20.48	65.21	14.31
16	18	Δήμος Ηρακλείου	48132	6967	17.65	59.61	22.74
17	19	Δήμος Ιλίου	85572	16947	17.17	65.02	17.81
18	20	Δήμος Καισαριανής	27193	3084	47.44	42.32	10.25
19	21	Δήμος Καλλιθέας	115150	8395	29.49	60.25	10.26
20	22	Δήμος Καματερού	23172	6576	11.13	52.31	36.56
21	23	Δήμος Κηφισιάς	45015	10398	14.95	50.37	34.69
22	24	Δήμος Λυκοβρύσεως	8426	1823	15.41	44.98	39.61
23	25	Δήμος Μελισσίων	19886	3240	12.96	46.82	40.22
24	26	Δήμος Μεταμορφώσεως	27522	5283	17.93	54.63	27.45
25	27	Δήμος Μοσχάτου	24315	4206	33.81	50.81	15.38
26	28	Δήμος Ν. Ερυθραίας	15972	3587	19.24	36.55	44.22
27	29	Δήμος Ν. Ιωνίας	69508	10956	39.73	47.58	12.69
28	30	Δήμος Ν. Σμύρνης	76508	6412	23.14	57.31	19.54
29	31	Δήμος Ν. Φιλαδέλφειας	25221	3610	33.77	51.61	14.63
30	32	Δήμος Ν. Χαλκηδόνος	10386	1572	38.17	50.19	11.64
31	33	Δήμος Ν. Ψυχικού	11688	1801	28.48	56.41	15.10
32	34	Δήμος Π. Φαλήρου	67160	5966	23.11	57.01	19.88
33	35	Δήμος Παπάγου	13799	2590	18.53	67.92	13.55
34	36	Δήμος Περιστερίου	146743	27968	20.98	66.22	12.80
35	37	Δήμος Πετρούπολης	51559	7575	14.42	62.48	23.10
36	38	Δήμος Πεύκης	20894	2056	12.45	53.21	34.34
37	39	Δήμος Ταύρου	15555	2345	36.89	51.94	11.17
38	40	Δήμος Υμηττού	11746	2791	39.95	47.47	12.58
39	41	Δήμος Φιλοθέης	8020	1405	26.26	56.30	17.44
40	43	Δήμος Χαλανδρίου	75327	11343	19.23	56.14	24.63
41	44	Δήμος Χολαργού	33915	2990	23.95	60.00	16.05
42	45	Δήμος Ψυχικού	11046	2252	25.93	55.68	18.38

Α/Α = Αύξων Αριθμός

Κ/Δ = Κωδικός Δήμου

Πίνακας 3. Σύγκριση πραγματικού και αναμενόμενου αριθμού θυμάτων από σοβαρές βλάβες σε κτίρια ή καταρρεύσεις κτιρίων στους 42 Δήμους της Νομαρχίας Αθηνών

Κατηγορία Θυμάτων	Πραγματικά Στοιχεία	Στοιχεία Προσομοίωσης	
		ΜΠΒ RADIUS	ΜΠΒ Κάππος (2007)
Νεκροί	35	68	40
Τραυματίες	(4000)*	3853	2316

* ο αριθμός αφορά στον κατά προσέγγιση συνολικό αριθμό των τραυματιών του σεισμού της Αθήνας

4. Συμπεράσματα

Η χρήση του λογισμικού RADIUS και τα αποτελέσματα της εφαρμογής του για τη περίπτωση του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 που έγινε στην Αθήνα οδήγησαν στα εξής συμπεράσματα.

Το RADIUS είναι μεν εύκολο στη χρήση του, τα προβλήματα όμως που ενέσκηψαν στην εισαγωγή αφενός των στοιχείων του πληθυσμού και του αριθμού των κτιρίων κάθε Δήμου και αφετέρου των δεδομένων απογραφής των κτιρίων κάθε Δήμου, περιόρισαν σημαντικά τις δυνατότητες του προγράμματος ως προς την ακρίβεια των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.

Το κυριότερο πρόβλημα εντοπίστηκε στην έλλειψη της δυνατότητας να αντιστοιχηθούν τα κατάλληλα ΜΠΒ απευθείας στις κατηγορίες των κτιρίων που προέβλεπε η τελευταία απογραφή της ΕΣΥΕ.

Η προσπάθεια να αντιπροσωπευτούν τρεις κατηγορίες κτιρίων στη χώρα μας (κατά χρονική περίοδο κατασκευής) με αντίστοιχο αριθμό δομικών τύπων κτιρίων και ΜΠΒ του RADIUS, οδήγησε σε αποτελέσματα που διέφεραν 2-5 ποσοστιαίες μονάδες από τα πραγματικά στοιχεία των βλαβών που προκάλεσε ο σεισμός της Αθήνας.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του RADIUS βελτιώθηκαν όταν στις ανωτέρω τρεις κατηγορίες κτιρίων αποδόθηκαν ΜΠΒ που αντιστοιχούν σε δομικούς τύπους κτιρίων που προτάθηκαν από τον Κάππο (2007).

Η εφαρμογή του RADIUS για την εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις των σχεδιαστών του, ότι το συγκεκριμένο λογισμικό προορίζεται κυρίως για προκαταρκτική και χονδρική εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού.

Βιβλιογραφία

ΙΤΣΑΚ και ΑΠΘ, 2004: Ο σεισμός της Αθήνας της 7-9-99: Εκτίμηση της τρωτότητας στην πλειόσειστη περιοχή και σύγκρισή της με την πραγματική κατανομή των βλαβών των κατασκευών από το σεισμό. Έκθεση υποβληθείσα στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας.

Κάππος Α.Ι., 2004: Προσεισμικός έλεγχος κτιρίων- Εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο. Ημερίδα ΤΕΕ / Τμ. Αν. Στερεάς, Απρίλιος 2004.

Παπαδρακάκης Μ., 1996: Μαθήματα Στατικής V, Πλαστική ανάλυση ραβδωτών φορέων, Σύγχρονες μέθοδοι. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

Πετρόπουλος Ν., Α. Ζησιάδης, Τ. Παπαδόπουλος και Δ. Πύρρος, 2003: «Ο Σεισμός της Πάρνηθας: Αυτό-αξιολόγηση και Προτάσεις Φορέων για την Οργάνωση της Πολιτικής Προστασίας». Κέντρο ερευνών Εκτάκτων Αναγκών. Τελική Έκθεση Πορισμάτων υποβληθείσα στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας .

Τεχνίτης Γ., 2007: Διερεύνηση σεισμικής διακινδύνευσης στη περιοχή του Δ. Κηφισιάς με τη χρήση λογισμικού HAZUS. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας, 2001: Αντισεισμική Ενίσχυση Υφισταμένων Κτιρίων. Περιληπτική παρουσίαση 1ης Φάσης Ερευνητικού Έργου στο ΤΕΕ, Επιτελική Επιτροπή ΤΕΕ.

Frolova N., V. Larionov and J. Bonnin, 2006: Multi-Hazard Risk Assessment at Different Levels with Extremum System Application. The Third International Conference on Early Warning, Bonn, Germany , 27-29 March 2006.

Kaneko F. and J. Sun, 2000: A Tool for Earthquake Damage Estimation, OYO Group, Japan

Kappos A.J., 2007: Seismic vulnerability and risk assessment of urban habitat in Southern European cities. COST-C26 workshop, Prague, 30-31 March 2007.

Kythreoti S. and K. Pilakoutas, 2000: Earthquake risk assessment Case study: Cyprus. Proceedings of the 2nd EuroConference 'Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe', IIASA, Laxenburg, Austria 6-9 July 2000.

Molina S. and C.D. Lindholm, 2005: A logic tree extension of the capacity spectrum method developed to estimate seismic risk in Oslo, Norway. Journal of Earthquake Engineering 9(6), 877-897.

OYO Group, 2000: A Simplified Tool for Earthquake Damage Estimation, RADIUS Tool Report.

Papadopoulos G.A., A. Ganas, and S. Pavlides, 2002: The problem of seismic potential assessment: Case study of the unexpected earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece, Earth Planets Space, 54, 9-18.

Savvaidis P., I. Doukas, I., Th. Hatzigogos, I.N. Tziavos, A. Kiratzi, Z. Roumelioti, A. Savvaidis, N. Theodulidis, G. Drakatos, S. Koutoupes, G. Karantonis and A. Sotiriadis, 2004: SEISIMPACT-THES: A system for the evaluation of seismic impact in the built environment of the prefecture of Thessaloniki, Abstract submitted to the 10th International Congress of the Geological Society of Greece, April 15-17 2004, Thessaloniki, Greece.