

Οι πολεοδομικές συνιστώσες της σεισμικής διακινδύνευσης

Ιωάννης Τσιωνάς

Υποψήφιος Διδάκτορας, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Αικατερίνη Μπαλτζοπούλου

Επικ. καθηγήτρια, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Βασίλειος Τσιούκας

Αναπλ. καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Αθανάσιος Καραμπίνης

Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Περίληψη

Η αντιμετώπιση των συνεπειών από ενδεχόμενο ισχυρό σεισμικό συμβάν σε περιοχές πυκνής δόμησης βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στην κατάλληλη πληροφόρηση και προετοιμασία τόσο των φορέων διαχείρισης του σεισμικού κινδύνου όσο και του πληθυσμού. Στην προετοιμασία της πολιτείας για τον καθορισμό και τη μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης περιλαμβάνεται η αναγνώριση των πολεοδομικών χαρακτηριστικών του αστικού ιστού και των επιπτώσεων τους στη διαχείριση του σεισμικού συμβάντος, η βελτιστοποίηση της οποίας επιβάλλει τη χρήση γεωγραφικών όρων. Στην προσπάθεια αυτή τάσσεται και το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών σεισμικής διακινδύνευσης GEM (Geographical information system Earthquake/emergency Management) αστικών περιοχών. Το σύστημα σχεδιάζεται αναλυτικά και ταυτόχρονα υλοποιείται, με τη χρήση εργαλείων οπτικού προγραμματισμού (CASE), σε περιβάλλον G.I.S. Δεδομένου του αναλυτικού σχεδιασμού, δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς του συστήματος σε άλλα περιβάλλοντα ανάπτυξης γεωγραφικών συστημάτων είτε εμπορικού χαρακτήρα είτε ανοιχτού λογισμικού. Αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα, της Ανάλυσης της υφιστάμενης κατάστασης, του Σχεδιασμού των προσεισμικών επεμβάσεων, της Ενημέρωσης των πολιτών και της Λειτουργίας μετά το σεισμικό συμβάν. Με τη χρήση βασικών πολεοδομικών δεδομένων, δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης

της σεισμικής διακινδύνευσης σε κάθε περιοχή του αστικού ιστού, της επάρκειας και της καταλληλότητας των διαθέσιμων χώρων καταφυγής, καθώς και τη δυνατότητα της πρόσβασης σε αυτούς, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις τοπικές συνθήκες. Επίσης, αναδεικνύει και αξιολογεί προτεραιότητες επεμβάσεων που αφορούν στις πολεοδομικές συνιστώσες της σεισμικής διακινδύνευσης, σκοπεύοντας στην ορθολογική διαχείριση της και στη μείωση των αναμενόμενων απωλειών.

Λέξεις κλειδιά

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), πολεοδομικός σχεδιασμός, σεισμός, σεισμική διακινδύνευση, αστικό περιβάλλον, διαχείριση σεισμικού κινδύνου, χώροι καταφυγής, οδοί διαφυγής, έκτακτη ανάγκη.

Urban planning seismic risk parameters

Confronting the impacts of a major seismic event in high density areas is largely based on the proper information dissemination and the level of readiness of the authorities and of the general population. The preparedness on behalf of the state includes the identification of the urban characteristics and their role in the event management. Such a management can be done in geographic terms. This is the aim of the geographic information system GEM (GIS Earthquake/emergency Management). The system is being designed in detail and simultaneously developed with use of visual programming (CASE tools) in GIS. Due to this detailed design it can be reproduced with the use of different commercial or open source GIS software. It comprises of four subsystems, i.e. the Analysis of the current situation, the Planning of the necessary interventions, the Information Dissemination and the post-event Operation. With the use of basic urban planning data it offers the capability of suitability appraisal of the refuge areas and the safety of the escape routes that lead to them, according to the specifications and local conditions. It prioritizes the interventions that concern the urban planning components of seismic risk, aiming at the rational management and the reduction of expected losses.

Keywords

Geographical Information Systems (GIS), urban planning, earthquake, seismic risk, urban area, seismic risk management, refuge areas, emergency routes, emergency.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σεισμική Διακινδύνευση

Σε περιοχές με έντονη σεισμική επικινδυνότητα, η βασική συνιστώσα της σεισμικής διακινδύνευσης όπως εκφράζεται από την πιθανότητα ανθρώπινων απωλειών και τραυματισμών προέρχεται από δευτερογενή φυσικά φαινόμενα, κατολισθήσεις ή παλιρροϊκά κύματα (τσουνάμι), αλλά -ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον- ο κίνδυνος προέρχεται κυρίως από τις ίδιες τις κατασκευές και τα προσαρτήματά τους. Η σεισμική επικινδυνότητα (σεισμικός κίνδυνος), δηλώνει την πιθανότητα να συμβεί σεισμός συγκεκριμένης έντασης στην υπόψη περιοχή. Η πιθανότητα αυτή ως γνωστόν εκτιμάται από σεισμολογικές μελέτες με βάση την (ιστορική) σεισμικότητα της περιοχής, τις ενόργανες μετρήσεις, την προσομοίωση των πιθανών ενεργών ρηγμάτων, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες κ.α. Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2003 κατατάσσει τη χώρα σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με επιτάχυνση σχεδιασμού των κατασκευών ag 0.16g, 0.24g και 0.36g κατά ζώνη και πιθανότητα υπέρβασης του σεισμού σχεδιασμού 10% σε 50 χρόνια (σεισμός με μέση περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια) – (ΕΑΚ, 2003).

Ως σεισμική διακινδύνευση () σε ένα πολεοδομικό συγκρότημα ορίζεται το συνολικό κόστος όλων των αναμενόμενων απωλειών εξ αιτίας μίας πιθανολογούμενης σεισμικής δράσης στην ευρύτερη περιοχή (ΕΠΑΝΤΥΚ, 2006). Οι απώλειες αυτές αφορούν στις κατασκευές (καταρρεύσεις και δαπάνες ανακατασκευών, βλάβες και δαπάνες επισκευών/ ενισχύσεων, απώλειες περιεχομένου και δαπάνες αντικατάστασης), στα δίκτυα, στις υποδομές, και σε ανθρώπινες απώλειες/τραυματισμούς, απώλειες εισοδήματος από διακοπή λειτουργιών, ανάγκες μετεγκατάστασης των σεισμοπλήκτων κ.α. (Καραμπίνης, 2003, Δανδουλάκη, 2008)

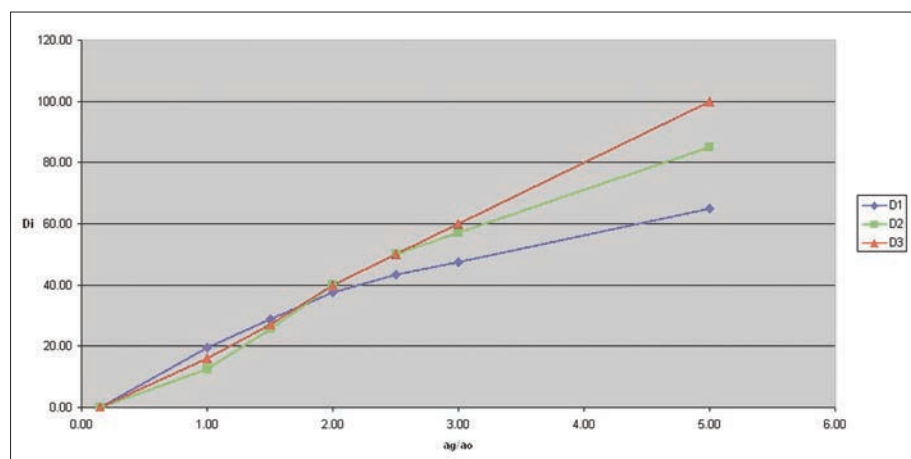
Προκειμένου να είναι εφικτός, έστω και κατά προσέγγιση, ο προσδιορισμός της αναμενόμενης σεισμικής διακινδύνευσης απαιτείται η γνώση (σε αντίστοιχο επίπεδο):

- α. του σεισμικού κινδύνου,
- β. των αγαθών τα οποία "διακινδυνεύουν", όπως πυκνότητα πληθυσμού, πλήθος και είδος κτιρίων και
- γ. της τρωτότητας (vulnerability) των κτιρίων, δηλαδή της "προδιάθεσής" τους να υποστούν ζημιές σε ένα σεισμικό γεγονός (Καραμπίνης, 2003).

Η σεισμική τρωτότητα των κατασκευών μιας περιοχής αποτιμάται με την χρήση Μητρώων Πιθανότητας Βλάβης ή/και Καμπύλων Τρωτότητας (Σχήμα 1) ανά κατηγορία κατασκευών, με βάση στοιχεία βλαβών και κόστους αποκατάστασης που εμφάνισαν οι κατασκευές μετά από ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις. Και στις δύο περιπτώσεις ποσοτικοποιείται η πιθανότητα να εμφανιστεί συγκεκριμένος βαθμός βλάβης, σε κτίρια κάθε διακριτής

κατηγορίας τρωτότητας, στην περίπτωση σεισμικού συμβάντος συγκεκριμένης έντασης. Η κατηγοριοποίηση των κατασκευών σε δομικούς τύπους γίνεται με βάση το υλικό δομής του φέροντα οργανισμού (ωπλισμένο σκυρόδεμα ή φέρουσα τοιχοποιία), τον Αντισεισμικό Κανονισμό Σχεδιασμού (που συσχετίζεται με το έτος κατασκευής), την ύπαρξη ή όχι ισογείου χωρίς τοιχοποιίες πλήρωσης (pilotis) κ.α. (Πίνακας 1) – (ΕΠΑΝΤΥΚ, 2006).

Σχήμα 1. Μέσοι αναμενόμενοι βαθμοί βλάβης (D_i %) για τρία σενάρια εκτίμησης βλαβών, συναρτήσει του λόγου a_g/a_0 , a_g επιτάχυνση πιθανολογούμενου σεισμού, a_0 επιτάχυνση σχεδιασμού, για κατασκευές με δομικό σύστημα από φέρουσα τοιχοποιία



Πηγή: ΕΠΑΝΤΥΚ, (2006).

Πίνακας 1. Μέσοι αναμενόμενοι βαθμοί βλάβης (D_i) για λόγο $a_g/a_0=1$, σε διάφορες κατηγορίες κτιρίων, για τρία σενάρια εκτίμησης βλαβών

Είδος Φέροντα Οργανισμού	Δομικός τύπος	Περίοδος κατασκευής (ΑΚ)	D_1 (%)	D_2 (%)	D_3 (%)
Ωπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς pilotis	1	Έως το 1985	6.0	5.20	7.90
	2	1986 έως 1995	2.5	2.00	3.33
	3	Μετά το 1995	1.1	1.30	3.33
Ωπλισμένο σκυρόδεμα με pilotis	4	Έως το 1985	7.2	6.24	9.48
	5	1986 έως 1995	3.0	2.40	4.00
	6	Μετά το 1995	1.1	1.30	3.33
Κτίρια Φέρουσας Τοιχοποιίας	7	----	19.4	12.50	15.90

Πηγή: ΕΠΑΝΤΥΚ, (2006).

Η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης σε προσεισμικό επίπεδο, όσον αφορά στο σκέλος των ανθρώπινων απωλειών ή/και τραυματισμών με στόχο τη μείωσή τους αποτελεί επείγουσα προτεραιότητα και υποχρέωση κάθε πολιτείας σε σειсмоγενείς περιοχές.

Πηγή: Καραμπίνης, (2003).

Δεδομένης της αδυναμίας βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης του σεισμικού συμβάντος, η συνήθης πρακτική που ακολουθείται μετά από ένα σεισμικό συμβάν είναι η προσφυγή του πληθυσμού σε ανοιχτούς χώρους (χώροι καταφυγής-συγκέντρωσης), μακριά από παρακείμενες κατασκευές που μπορούν να αποτελέσουν απειλή για την ασφάλειά του (Εικόνα 1).

Ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, κύριος φορέας αντισεισμικής προστασίας της χώρας μας, έχει συντάξει προδιαγραφές για τους χώρους καταφυγής (ΟΑΣΠ, 1994· Σαπουντζάκη, 2001). Σύμφωνα με αυτές η παραμονή στους χώρους αυτούς μπορεί να διαρκέσει από λίγες έως και 48 ώρες. Η διαχείριση αυτών των χώρων καθώς και η διαχείριση της πρόσβασης σε αυτούς, αποτελεί σημαντικό σκέλος στην αντιμετώπιση μιας τέτοιας κρίσης.

Είναι λοιπόν φανερό ότι η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης για κάθε πιθανολογούμενη σεισμική δράση αφορά και συνδυάζει όλες τις συνιστώσες της, δηλαδή τη σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση των κατασκευών αλλά και πρόσθετα πολεοδομικά και πληθυσμιακά στοιχεία τα οποία την καθορίζουν, όπως ο πληθυσμός και οι χρήσεις στις επί μέρους περιοχές των πόλεων. Επί πλέον δε απαιτείται η γνώση παραγόντων όπως οι διατιθέμενοι χώροι καταφυγής/συγκέντρωσης, η επάρκειά τους, οι συνθήκες πρόσβασης στους χώρους συγκέντρωσης κ.α.

1.2 Χώροι καταφυγής

Σε περίπτωση σεισμού υπάρχει η ανάγκη λειτουργίας χώρων καταφυγής/συγκέντρωσης, χώρων καταυλισμού και χώρων ειδικών λειτουργιών όπως πρώτες βοήθειες, διοίκηση, κοινωνικές λειτουργίες κ.λπ. (ΟΑΣΠ, 1994).

Οι παραπάνω χώροι πρέπει να πληρούν καθορισμένες προδιαγραφές και να παρέχουν ασφάλεια και λειτουργικότητα ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν το σκοπό για τον οποίο προορίζονται.

Οι χώροι καταυλισμού προορίζονται να φιλοξενήσουν ένα μέρος του πληθυσμού επί μακρόν, των οποίων οι κατοικίες έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες και η επιστροφή τους σε αυτές δεν παρέχει ασφάλεια, σύμφωνα με τα πορίσματα των μετασεισμικών αυτοψιών και ελέγχων. Οι χώροι καταυλισμού πρέπει να μπορούν να δεσμευτούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα (έως και 2 έτη) χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στις λειτουργίες της πόλης. Έτσι δεν μπορούν για παράδειγμα να είναι αύλειοι χώροι σχολείων οι οποίοι όμως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως χώροι καταφυγής.

Οι χώροι καταφυγής-συγκέντρωσης είναι οι χώροι στους οποίους θα καταφύγουν οι κάτοικοι για το διάστημα αμέσως μετά από ένα σεισμικό συμβάν, όταν πρέπει να εγκαταλείψουν τις κατοικίες τους. Η καταφυγή σε ανοιχτούς χώρους παρέχει ασφάλεια για το χρονικό διάστημα στο οποίο υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης και νέας σεισμικής δόνησης, μεγέθους ικανού να αποτελέσει απειλή για ανθρώπινες ζωές. Το χρονικό διάστημα

λειτουργίας των χώρων καταφυγής αφορά περίπου 48 ώρες. Οι ενεργές επιφάνειες τους θα πρέπει να επαρκούν για το σύνολο του πληθυσμού μιας περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη το σταθερότυπο των 2 τ.μ./άτομο. Η χωρική κατανομή τους θα πρέπει να διασφαλίζει τη σύντομη πρόσβαση σε αυτούς από οποιοδήποτε σημείο των πυκνοκατοικημένων πολεοδομικών ενοτήτων της πόλης. Σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ η απόσταση μεταξύ της κατοικίας/εργασίας και του χώρου καταφυγής δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 250 μ., απαίτηση που διασφαλίζει σε σημαντικό βαθμό την ασφάλεια του πληθυσμού αλλά και τη δυνατότητα επιτήρησης της περιουσίας του.

Στα πλαίσια της μείωσης της σεισμικής διακινδύνευσης του πληθυσμού επιβάλλεται ο σχεδιασμός και η οργάνωση της λειτουργίας των χώρων καταφυγής, καθώς και της διαδικασίας πρόσβασης του πληθυσμού στους χώρους αυτούς. Οι χώροι καταφυγής-συγκέντρωσης δεν είναι δυνατόν να δεσμευθούν με αποκλειστική χρήση τη συγκεκριμένη λειτουργία. Δεδομένης της αξίας γης στο αστικό τοπίο και της σπανιότητας εμφάνισης ισχυρών σεισμικών συμβάντων, υπό φυσιολογικές συνθήκες έχουν άλλες χρήσεις, όπως πλατείες, πάρκα, χώροι πρασίνου, αυλές σχολείων κ.ά. Στην περίπτωση ισχυρού σεισμικού συμβάντος η συνήθης και φυσιολογική χρήση τους μπορεί να διαφοροποιηθεί και να καλύψει την καταφυγή του πληθυσμού για το μικρό χρονικό διάστημα που προαναφέρθηκε, αρκεί να ικανοποιούν τις σχετικές προδιαγραφές.

2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Στη χώρα μας αλλά και διεθνώς η αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας των κατασκευών και της σεισμικής διακινδύνευσης σε επίπεδο συνολικού αστικού ιστού ή επιμέρους κατασκευών αποτελούν γνωστικά πεδία με έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον (Καραμπίνης 2003, 2009, Gueguen κ.ά., 2007· Crowley κ.ά., 2004· Calvi κ.ά., 2006· Palacios, 2004· Teramo κ.ά., 2005· Payen κ.ά., 2006· Barbat, 2007· Kappos και Dimitrakopoulos, 2007· Sapountzaki, 2005· Kappos κ.ά., 2007· Παναγόπουλος κ.ά., 2008). Οι μελέτες αποτίμησης μπορεί να εστιάζουν σε επιμέρους τμήματα του αστικού ιστού, όπως σε συγκεκριμένες κατασκευές ή και σε λειτουργίες της πόλης. Τέτοιες περιπτώσεις είναι τα μνημεία (Augustini κ.ά., 2001), οι διοικητικές υποδομές, οι υποδομές και τα δίκτυα μεταφορών (Chen και Eguchi, 2003) και οι εγκαταστάσεις υγείας (Nateghi-Alahi και Izadkhan, 2004· Menoni, 2000).

Άλλοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης (Westen κ.ά., 2005· Tryfona κ.ά., 1996) ή έχουν εξειδικευτεί στον εντοπισμό της βέλτιστης τοποθεσίας των χώρων καταφυγής και του τρόπου εκκένωσης της κατοικημένης περιοχής (Kongsomsaksakul κ.ά., 2005· Tsionas και Tarabanis, 1997) ή στην ασφάλιση των κινδύνων (Spence κ.ά., 2008). Σχετικά πρόσφατα έχει εισαχθεί και η έννοια της κοινωνικής τρωτότητας ως η ικανότητα των ανθρώπινων κοινοτήτων που έχουν εκτεθεί σε ένα καταστρο-

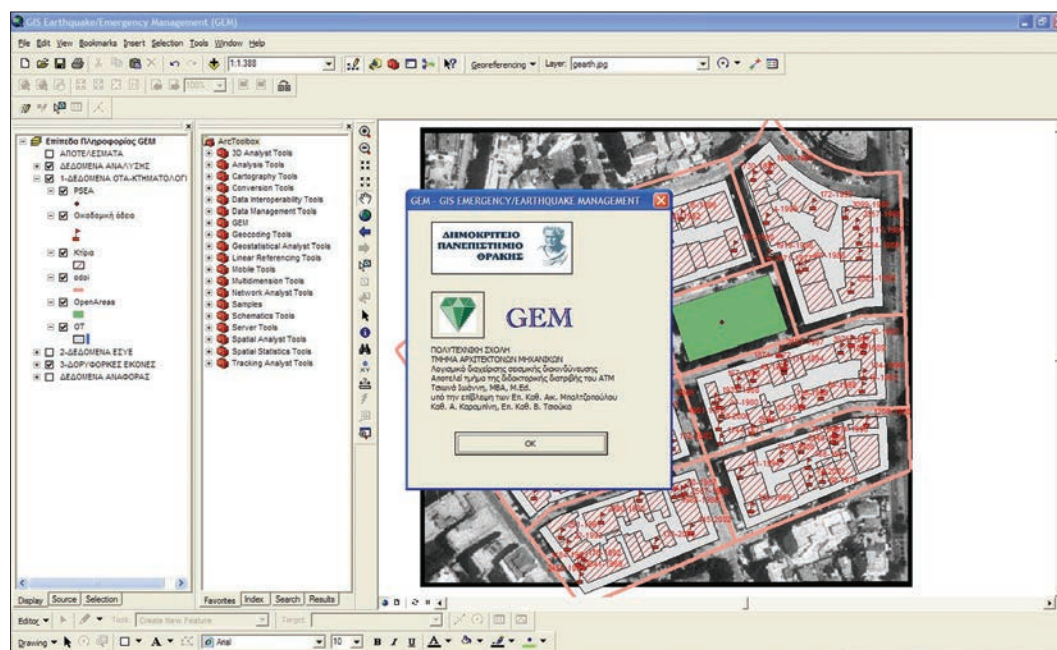
φικό συμβάν, να αντισταθούν, να αντιμετωπίσουν και να συνέλθουν από τις επιπτώσεις της (Armas, 2008). Έτσι η έννοια αυτή σχετίζεται με την "τρωτότητα" του ίδιου του πληθυσμού και όχι με την τρωτότητα των κατασκευών.

3. ΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GEM

Στα πλαίσια της ερευνητικής αυτής προσπάθειας σχεδιάζεται και υλοποιείται ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) με στόχο να αποτελέσει εργαλείο για την διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης του πληθυσμού. Το σύστημα έχει την ονομασία GEM ως ακρωνύμιο από τις λέξεις GIS Earthquake/emergency Management (Εικόνα 2). Παρέχει λειτουργίες υποστήριξης των επιστημόνων που σχεδιάζουν και επιβλέπουν τη διαχείριση του συμβάντος, αλλά και διαδικασίες που στρέφονται προς την ενημέρωση του πολίτη, τύπου e-government (government to citizen) για την παροχή ηλεκτρονικής και έντυπης πληροφόρησης πριν και μετά το σεισμικό συμβάν.

Η λειτουργία του γεωγραφικού συστήματος ανάγεται σε τέσσερα υποσυστήματα. Αυτά είναι η Ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης, ο Σχεδιασμός των επεμβάσεων που απαιτούνται, η Ενημέρωση των πολιτών και φορέων και η Λειτουργία μετά το συμβάν.

Εικόνα 2. Η αρχική οθόνη του συστήματος.



3.1. Σχεδιασμός του GEM

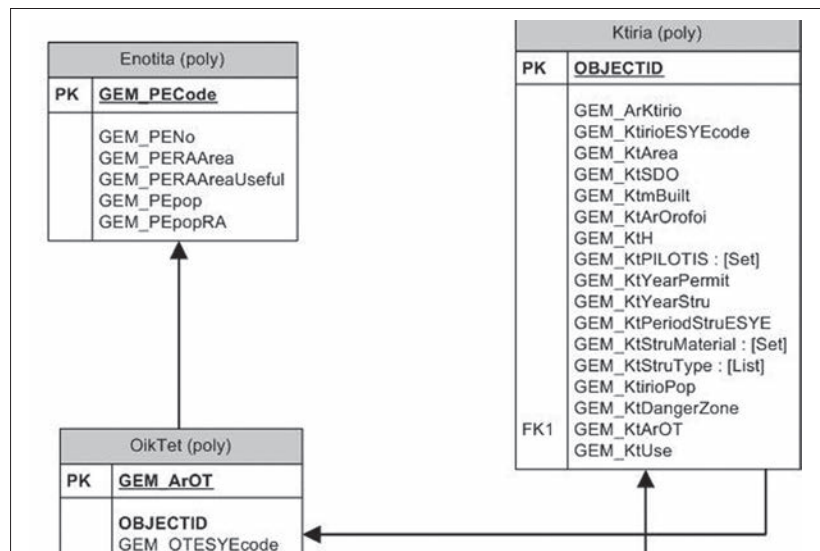
Σκοπός του σχεδιασμού είναι η περιγραφή ενός υπολογιστικού συστήματος (GEM) με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που ικανοποιούν δεδομένες απαιτήσεις και το οποίο λειτουργεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών πληροφορικής. Έτσι, παρόλο τον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος, μπορεί κάποιος να τροποποιήσει το σύστημα GEM για χρήση σε οποιουδήποτε άλλο λογισμικό GIS ή για χρήση άλλης γλώσσας προγραμματισμού αρκεί να μπορεί να υποστηρίξει τους τύπους δεδομένων και το είδος των επεξεργασιών που περιγράφονται στο προσομοίωμα.

Ο σχεδιασμός συνίσταται στο στατικό και το δυναμικό μοντέλο. Το στατικό μοντέλο περιγράφει το είδος των πληροφοριών που αποτυπώνονται στο διάγραμμα Οντοτήτων-Σχέσεων. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτουν οι πίνακες της βάσης δεδομένων, που συμπληρώνονται με τα δεδομένα του GEM, και οι σχέσεις τους. Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνονται και οι ιδιότητες των οντοτήτων. Κάθε οντότητα είναι είτε χωρική οντότητα, είτε ένας πίνακας. Επίσης στο στατικό μοντέλο περιλαμβάνονται τα πεδία τιμών (domain) των ιδιοτήτων των οντοτήτων. Στην τελική μορφή μπορεί να συμπεριληφθεί και το Λεξικό Δεδομένων, το οποίο προς το παρόν δεν έχει συνταχθεί. Το μέγεθος του στατικού μοντέλου κρατήθηκε μικρό. Αυτό εξασφαλίζει ευχρηστία του συστήματος με χαμηλή διαθεσιμότητα δεδομένων ενώ παραμένουν δυνατότητες ανάπτυξης του στο μέλλον.

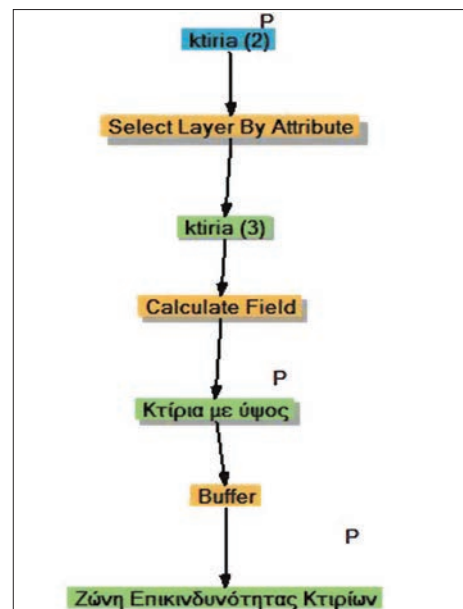
Το δυναμικό μοντέλο περιλαμβάνει τις επεξεργασίες και την ροή των επιμέρους βημάτων. Υλοποιεί τη λογική της αντιμετώπισης του προβλήματος, με τη χρήση των δεδομένων, όπως αυτά περιγράφονται στο στατικό μοντέλο. Υπάρχει ένα γενικό διάγραμμα ανά υποσύστημα και επιμέρους διαγράμματα ανά λειτουργία κάθε υποσυστήματος. Ένα τέτοιο διάγραμμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

Ο παραπάνω σχεδιασμός του GEM μπορεί να μετατραπεί σε εφαρμογή λογισμικού με τη χρήση διαφορετικών γεωγραφικών συστημάτων. Η εφαρμογή λογισμικού μπορεί να γίνει με τη χρήση έτοιμων εργαλείων ή γλωσσών προγραμματισμού ανάλογα με το περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών. Η παρούσα υλοποίηση του συστήματος βασίστηκε στον προγραμματισμό με τη χρήση εργαλείων CASE της ESRI. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το Model Builder το οποίο είναι ενσωματωμένο στο περιβάλλον ArcGIS Desktop, που επιτρέπει τη δημιουργία αυτοματοποιημένων διαδικασιών με τη χρήση έτοιμων διεργασιών του λογισμικού (geoprocessing). Οι έτοιμες διεργασίες παραμετροποιούνται και τοποθετούνται στην σειρά εκτέλεσης που προβλέπει το δυναμικό μοντέλο.

Σχήμα 2. Τμήμα του μοντέλου Οντοτήτων-Σχέσεων.



Σχήμα 3. Παράδειγμα προγραμματισμού με τη χρήση του CASE εργαλείου Model Builder της ESRI



Στο Σχήμα 3 περιγράφεται ένα παράδειγμα εκτέλεσης του δυναμικού μοντέλου. Κάθε πεδίο απεικονίζει δεδομένα ή επεξεργασίες και με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα δεδομένα εισόδου (ktiria). Το σύμβολο P χαρακτηρίζει μια παραμετροποιημένη εισαγωγή δεδομένων από το χρήστη μετά από την προτροπή του συστήματος. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται δεδομένα-αποτελέσματα που προκύπτουν από τις διεργασίες. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι ίδιες οι επεξεργασίες. Στο παράδειγμα επιλέγονται εγγραφές του πίνακα των δεδομένων εισόδου (select Layer by Attribute) και κατόπιν υπολογίζεται ένα πεδίο (calculate field). Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίζεται το πλάτος της ζώνης επικινδυνότητας γύρω από το κτίριο από το ύψος του κτιρίου και τέλος δημιουργείται η ζώνη επικινδυνότητας (buffer).

Τα εργαλεία CASE παρέχουν τη δυνατότητα σύνθετου οπτικού προγραμματισμού, με τη χρήση λιγότερου ή και καθόλου κώδικα προγραμματισμού. (εικόνα 6). Στην περίπτωση του Model Builder, αν απαιτείται επιπλέον πηγαίος κώδικας (source code) εκτός του οπτικού προγραμματισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια από τις γλώσσες προγραμματισμού Python, JScript και VBScript. Αν δεν απαιτείται εισαγωγή πηγαίου κώδικα χρησιμοποιούνται μόνο οι έτοιμες διεργασίες του λογισμικού, υλοποιώντας τα βασικά προγραμματιστικά εργαλεία του δομημένου προγραμματισμού (σειριακή εκτέλεση εργασιών, βρόγχος και επανάληψη). Η επιλογή των εργαλείων CASE εξασφαλίζει συμβατότητα με μελλοντικές διαφορετικές εκδόσεις του ίδιου λογισμικού, άρα σταθερότητα με λιγότερη συντήρηση.

3.2. Δεδομένα

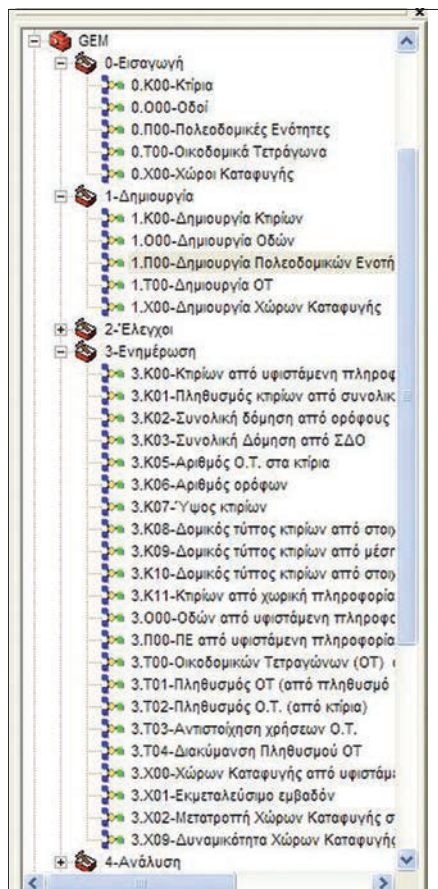
Όπως αναφέρθηκε είναι ζητούμενο η δυνατότητα του συστήματος να παράγει αποτελέσματα, ανεξάρτητα από το επίπεδο διαθεσιμότητας λεπτομερών δεδομένων, αφού ο φορέας-χρήστης, συνήθως οργανισμός τοπικής αυτοδιοίκησης ή φορέας πολιτικής προστασίας, να πρέπει να μπορεί να παράξει αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση. Το βασικό λογισμικό αντιμετώπισης καταστροφών του Ομοσπονδιακού Οργανισμού Διαχείρισης Κρίσεων των Η.Π.Α. (FEMA), με την ονομασία HAZUS-MH, δίνει τη δυνατότητα στις τοπικές και πολιτειακές αρχές που το χρησιμοποιούν, να εισάγουν δεδομένα διαφορετικής λεπτομέρειας, ανάλογα με την υπάρχουσα διαθεσιμότητα (FEMA, 2008). Έτσι, οι τοπικές και πολιτειακές αρχές έχουν σε κάθε περίπτωση τη δυνατότητα να λάβουν αποτελέσματα από το λογισμικό, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας των δεδομένων.

Στη χώρα μας υπάρχουν δύο βασικά προβλήματα αναφορικά με τα υφιστάμενα γεωγραφικά δεδομένα. Αυτά είναι αφενός η έλλειψη πληρότητας δεδομένων για κάθε περιοχή, τα οποία να καλύπτουν τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης ανάλυσης και αφετέρου η έλλειψη τυποποίησης (standardization) των όποιων δεδομένων υπάρχουν. Τα προβλήματα αυτά αναμένεται να επιλυθούν σταδιακά με τη εφαρμογή της Εθνικής Υποδομής Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΕΥΓεΠ), (Κάβουρας και Μπαντέκας, 1999). Μέχρι την πλήρη εφαρμογή του συστήματος της Εθνικής Υποδομής Γεωγραφικών Πληροφοριών πρέπει να εξασφαλίζονται αποτελέσματα για τις επιθυμητές αναλύσεις με τα διαθέσιμα δεδομένα.

Το πρόβλημα της πιθανής έλλειψης δεδομένων αντιμετωπίστηκε τόσο στο στατικό όσο και στο δυναμικό μοντέλο του συστήματος. Στο στατικό μοντέλο έχει γίνει πρόβλεψη για εναλλακτικές ιδιότητες (attributes) που μπορούν να παράξουν το ίδιο αποτέλεσμα. Στο δυναμικό μοντέλο έχει δοθεί έμφαση στην προετοιμασία των δεδομένων. Η προετοιμασία των δεδομένων περιλαμβάνει τρεις υποπεριπτώσεις. Την εισαγωγή, τη δημιουργία και την ενημέρωση δεδομένων (Εικόνα 3). Ειδικά η ενημέρωση των δεδομένων παρέχει

πολλαπλές διαδρομές ενημέρωσης ανάλογα με τη διαθεσιμότητα και τη λεπτομέρεια των αρχικών δεδομένων.

Εικόνα 3. Μενού εισαγωγής, δημιουργίας και ενημέρωσης δεδομένων



Τα δεδομένα που εισάγονται στο γεωγραφικό σύστημα αφορούν τεχνικά στοιχεία κατασκευών τα οποία συσχετίζονται με την σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση, στοιχεία για τον πληθυσμό, πολεοδομικά χαρακτηριστικά του αστικού ιστού, χρήσεις γης κ.α. Τέτοια στοιχεία, μεταξύ άλλων, διαθέτει η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ), ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων (Ο.Κ.Χ.Ε.), οι υπηρεσίες του πρώην Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων -Υ.Π.Ε. ΧΩ.Δ.Ε. (νυν Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής -Υ.Π.Ε.Κ.Α.) και το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων (ΥΠΟ.ΜΕ.ΔΙ.), η Τοπική Αυτοδιοίκηση και το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (Τ.Ε.Ε.). Το στάδιο της δημιουργίας των δεδομένων έρχεται να συμπληρώσει επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας που μπορεί να λείπουν ολοσχερώς ή να χρειάζονται ενημέρωση.

Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τον πληθυσμό. Ο πληθυσμός μας ενδιαφέρει για να εκτιμήσουμε την επάρκεια ή μη των διαθέσιμων χώρων καταφυγής. Το χωρικό επίπεδο αναφοράς για την καταχώρησή του είναι αυτό των οικοδομικών τετραγώνων. Η πρώτη εναλλακτική πηγή είναι τα πληθυσμιακά στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας σε επίπεδο

οικοδομικού τετραγώνου. Αν δεν είναι διαθέσιμα για ολόκληρη την περιοχή, για τμήμα της περιοχής, ή αν θεωρούνται πεπαλαιωμένα, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τον πληθυσμό με σταθερότυπα από τη δόμηση. Η συνολική δόμηση ανά οικοδομικό τετράγωνο μπορεί να υπολογισθεί ως γινόμενο του αριθμού των ορόφων και της καλυπτόμενης επιφάνειας των κατασκευών. Εάν ο αριθμός των ορόφων δεν είναι διαθέσιμος, η συνολική δομημένη επιφάνεια ανά οικοδομικό τετράγωνο μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά ως γινό-

μενο του συντελεστή δόμησης και της κάλυψης των κτιρίων. Λογικές πολλαπλών εναλλακτικών υπολογισμών των απαιτούμενων δεδομένων, προβλέπονται σε διάφορα στάδια του συστήματος, ώστε να καταλήγουμε σε αποτέλεσμα ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών το οποίο αφορά στη σεισμική διακινδύνευση η ανάλυση των σχετικών στοιχείων που αφορούν στους χώρους καταφυγής και στις προσβάσεις τους είναι απολύτως αναγκαία. Η διακινδύνευση του πληθυσμού εξαρτάται από τις παραμέτρους των χώρων αυτών και των χωρικών συσχετίσεων τους με τεχνικά στοιχεία των κατασκευών. Παράμετροι των χώρων καταφυγής είναι η χωρητικότητα τους, η διαμόρφωση τους και οι υποδομές τους. Οι χωρικές συσχετίσεις με τα τεχνικά στοιχεία των κατασκευών είναι η εγγύτητα, το ύψος και η τρωτότητα των παρακείμενων κτιρίων και κατασκευών αλλά και των κτιρίων και κατασκευών κατά μήκος των διαδρομών που οδηγούν σε αυτούς.

Το όλο σύστημα αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα α) Ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης, β) Σχεδιασμός των επεμβάσεων που προτείνονται γ) Ενημέρωση του πληθυσμού και δ) Λειτουργία μετά το συμβάν.

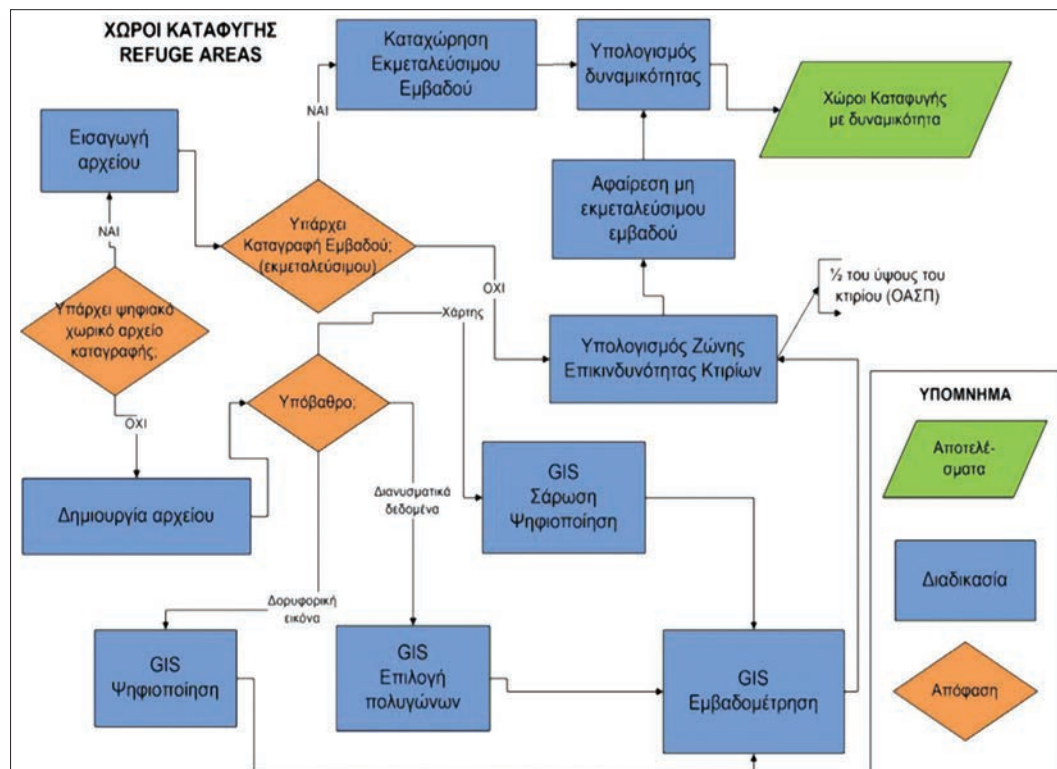
Στο υποσύστημα "Ανάλυση", αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση και εντοπίζονται πιθανά προβλήματα που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Στο υποσύστημα "Σχεδιασμός" διενεργούνται εκ νέου βήματα της Ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη τα προτεινόμενα σενάρια επεμβάσεων (ανάλυση τύπου "what-if"). Με τον τρόπο αυτό αξιολογούνται οι επιπτώσεις των διαφόρων σεναρίων επεμβάσεων και αποφασίζονται τα πλέον ενδεδειγμένα προς υλοποίηση. Τα σενάρια επεμβάσεων μπορεί να συμπεριλαμβάνουν δημιουργία νέων χώρων καταφυγής, επεμβάσεις σε υφιστάμενους, διασφάλιση της παρεχόμενης ασφάλειας των διαδρομών καταφυγής με τεχνικά έργα και σήμανση τους. Η "Ενημέρωση" περιλαμβάνει τη δημιουργία έντυπων και ηλεκτρονικών αναφορών αλλά και εργαλείων, τα οποία παρέχουν στους πολίτες πληροφόρηση για την τοποθεσία των πλησιέστερων χώρων καταφυγής και των ασφαλών διαδρομών σε αυτούς. Τέλος, το υποσύστημα "Λειτουργία" αφορά στην αξιοποίηση της παραπάνω υποδομής για τη μετασεισμική διαχείριση και αντιμετώπιση της κρίσης.

Στο στάδιο της Ανάλυσης του συστήματος GEM, καταρχήν αποτιμάται η επάρκεια των ενεργών επιφανειών των χώρων καταφυγής στις πολεοδομικές ενότητες, με βάση το σταθερότυπο των 2 τ.μ./κάτοικο και η χωρική κατανομή τους με βάση τις ζώνες επιρροής τους (ακτίνα 250 μ.). Η επάρκεια των χώρων καταφυγής ανά πολεοδομική ενότητα προκύπτει εφόσον ο πληθυσμός εκτόνωσης μπορεί να φιλοξενηθεί στην ελεύθερη επιφάνεια

νια των χώρων (Σχήμα 4). Η αντιστοίχιση του πληθυσμού σε χώρους καταφυγής γίνεται με ανάλυση δικτύου. Ως ζήτηση δίνεται η χωρητικότητα των χώρων καταφυγής και ως προσφορά ο πληθυσμός εκτόνωσης. Το δίκτυο που υποδέχεται την κίνηση είναι το οδικό δίκτυο στο οποίο μπορούν να τεθούν περιορισμοί ανάλογα με την παρεχόμενη ασφάλεια και την προσβασιμότητα.

Η κατανομή του πληθυσμού στις επί μέρους περιοχές της πόλης αλλάζει ανάλογα με τη χρονική στιγμή στη διάρκεια του 24ώρου, την ημέρα της εβδομάδας, ή ακόμα και την εποχή που θα συμβεί η ισχυρή σεισμική δόνηση. Ο πληθυσμός μετακινείται μέσα στον αστικό ιστό από την κατοικία του, στην εργασία του, σε χώρους αναψυχής, αθλητισμού και πολιτισμού, διαφορετικές ώρες και μέρες. Μέσα στο σύστημα προβλέπεται η αναγωγή του πληθυσμού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με βάση τις χρήσεις γης κάθε οικοδομικού τετραγώνου.

Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής επεξεργασιών του υπολογισμού της δυναμικότητας (ενεργής επιφάνειας) των χώρων καταφυγής



Ως παράδειγμα, ένα οικοδομικό τετράγωνο κατοικιών έχει μειωμένο πληθυσμό τις πρωινές ώρες, αυξημένο τις απογευματινές ώρες, και το σύνολο του πληθυσμού τις νυκτερινές ώρες. Κατασκευές με άλλες χρήσεις έχουν διαφορετικό βαθμό πληρότητας στις ίδιες χρονικές στιγμές. Έτσι υπάρχουν διαφορετικά σενάρια πληθυσμού ανάλογα με την ώρα της ημέρας και ο πληθυσμός σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που έχει προκύψει, παραμετροποιείται σε σχέση με τη χρήση. Η καταχώριση της χρήσης υποστηρίζεται μέσω των σχετικών απογραφικών στοιχείων της ΕΣΥΕ ή μέσω των ισχυουσών πολεοδομικών ρυθμίσεων (πολεοδομικές μελέτες, Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια, Σχέδια Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης).

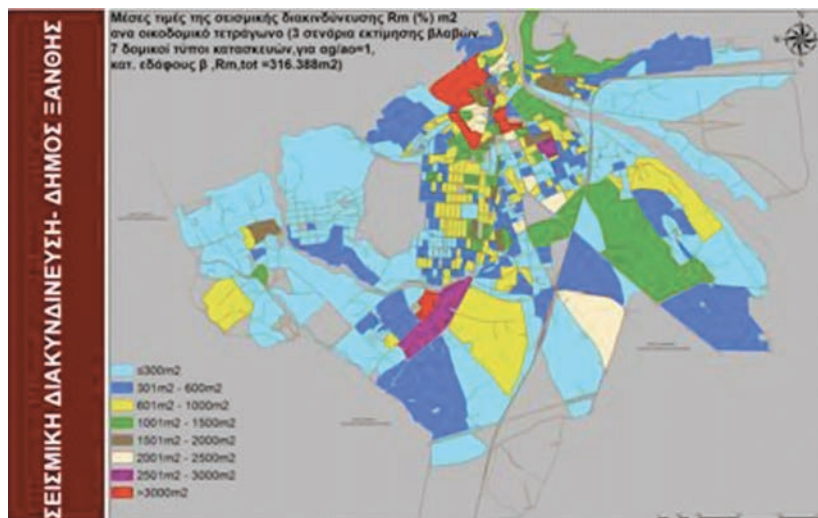
Στο στάδιο της Ανάλυσης αξιολογείται και η ασφάλεια που παρέχουν οι διαδρομές πρόσβασης στους χώρους καταφυγής. Η ασφάλεια της πρόσβασης εξαρτάται από παράγοντες, όπως η απόσταση, το πλάτος της οδού, ο κυκλοφοριακός της φόρτος η σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση των κατασκευών στα παρόδια οικοδομικά τετράγωνα, το ύψος των παρακείμενων στη διαδρομή κτιρίων, η γεωμορφολογία, οι τυχόν υπάρχουσες δενδροστοιχίες κ.α.

Το σύστημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να υπολογίζει τη σεισμική τρωτότητα των κατασκευών η οποία επηρεάζει τη σεισμική διακινδύνευση των ίδιων των κατασκευών αλλά και του πληθυσμού. Δεδομένου ότι η τρωτότητα και η σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών έχουν ήδη μελετηθεί πιλοτικά σε ορισμένες περιοχές από τις δράσεις του ΕΠΑΝΤΥΚ (Καραμπίνης κ.ά. 2008· Νάκος κ.ά. 2009), στις περιοχές όπου υπάρχουν παραδοτέα (Εικόνα 4), τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα, αντί να επαναυπολογίζονται οι τιμές της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης. Η τρωτότητα μπορεί να υπολογιστεί ανά κτίριο ή ανά οικοδομικό τετράγωνο, ανάλογα πάντα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Τέλος εύκολα ενσωματώνεται στο σύστημα η καταγραφή των χαρακτηριστικών των χώρων καταφυγής που έχουν να κάνουν με τη λειτουργικότητα τους και καταγράφονται από τις τοπικές αρχές. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η ύπαρξη ύδρευσης/αποχέτευσης, ηλεκτροδότησης, τα υλικά διαμόρφωσης της επιφάνειας κ.λπ.

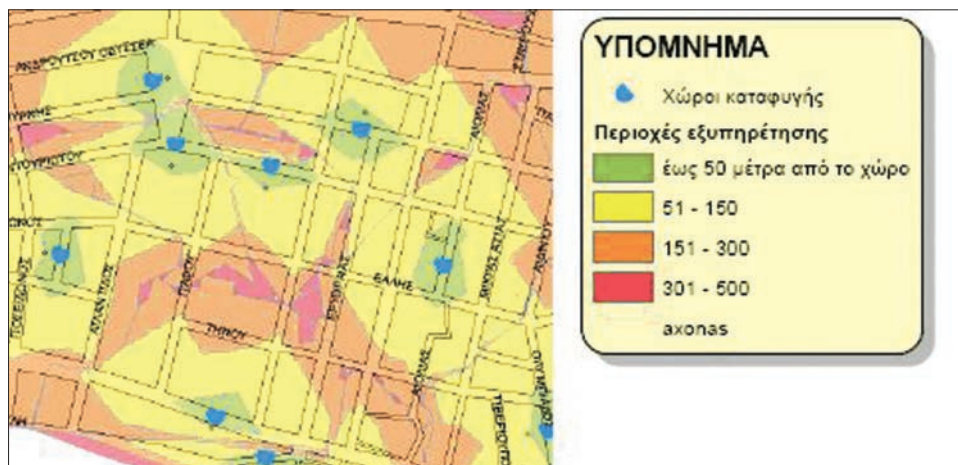
Με την ολοκλήρωση των παραπάνω επεξεργασιών παράγονται χάρτες και εντοπίζονται οι περιοχές στις οποίες ο πληθυσμός έχει άνετη και ασφαλή πρόσβαση σε χώρους καταφυγής και οι προβληματικές περιοχές. Η περίπτωση των προβληματικών περιοχών μπορεί να οφείλεται σε ανεπάρκεια αναγκαίων χώρων, ή στις συνθήκες πρόσβασης (μεγάλη διαδρομή, μικρή ασφάλεια προσέγγισης κ.ά.). Η βέλτιστη απόφαση για τον χώρο στον οποίο θα πρέπει να κατευθυνθεί ο πληθυσμός προκύπτει με χρήση ανάλυσης δικτύου. (Tsionas και Tarabanis, 1997). Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ένας χάρτης που απεικονίζει την κατανομή των περιοχών ως προς την απόσταση πρόσβασης στους χώρους καταφυγής.

Εικόνα 4. Διακύμανση των μέσων τιμών σεισμικής διακινδύνευσης ανά οικοδομικό τετράγωνο για το σύνολο των κτιρίων στην πόλη της Ξάνθης



Πηγή: Καραμπίνης κ.ά, (2008).

Εικόνα 5. Κατανομή περιοχών σε σχέση με την απόσταση πρόσβασης στους χώρους καταφυγής



Από τη χαρτογραφική εικόνα της ανάλυσης αναδεικνύονται περιοχές που χρήζουν επεμβάσεων με κριτήριο την απόσταση πρόσβασης στους χώρους καταφυγής, την μέση αναμενόμενη σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση των κατασκευών, τον πληθυσμό

κ.α. και καθορίζονται ορθολογικά οι προτεραιότητες επεμβάσεων των φορέων πολιτικής προστασίας. Τα σενάρια επεμβάσεων για την μείωση της διακινδύνευσης αξιολογούνται στο στάδιο του Σχεδιασμού. Οι ίδιες διαδικασίες που αναφέρθηκαν στο στάδιο της Ανάλυσης επαναυπολογίζουν τα αποτελέσματα με δεδομένα εισόδου πλέον την προτεινόμενη από κάθε σενάριο επέμβασης κατάσταση (ανάλυση τύπου "what-if"). Τα αποτελέσματα των νέων αναλύσεων, σε συνδυασμό με το κόστος κάθε σεναρίου προτεινόμενων επεμβάσεων, δίνουν στους υπεύθυνους φορείς σημαντική υποβοήθηση για να καταλήξουν σε αποφάσεις, οι οποίες θωρακίζουν μια περιοχή αναφορικά με την προστασία του πληθυσμού σε σχέση με τους χώρους καταφυγής και τις προσβάσεις. Οι αποφάσεις μπορεί να αφορούν επεμβάσεις τεχνικού ή πολεοδομικού χαρακτήρα. Μπορεί να συμβάλλουν στη δημιουργία ή στην αξιοποίηση νέων χώρων καταφυγής, στη δημιουργία υποδομών σε προτεινόμενους χώρους καταφυγής, στην αλλαγή χρήσεων γης, στην δενδροφύτευση οδών κ.ά.

Είτε κατά το στάδιο της Ανάλυσης είτε κατά το στάδιο του Σχεδιασμού, η Ενημέρωση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αίσθηση ασφάλειας του πολίτη (Μπεργιαννάκη-Δερμιτζάκη, 2003). Στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά κυρίως στο χώρο καταφυγής στον οποίο ενδείκνυται να προστρέξει και στη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει ή εναλλακτικά στις διαδρομές που πρέπει να αποφύγει. Η πληροφορία μπορεί να κοινοποιείται ηλεκτρονικά με τη χρήση ιστοσελίδας που να περιέχει στατικό ή δυναμικό χάρτη με διαδραστικές δυνατότητες. Ο χρήστης μπορεί να επιλέγει την κατοικία, το σχολείο ή τον τόπο εργασίας του και να λαμβάνει πληροφόρηση για τους χώρους καταφυγής και τις διαδρομές πρόσβασης σε αυτούς. Αυτή αποτελεί μια διαδικτυακή παρουσίαση των αποτελεσμάτων των σταδίων της Ανάλυσης και του Σχεδιασμού. Εκτός βέβαια από την ηλεκτρονική πληροφόρηση υπάρχουν δυνατότητα πληροφόρησης μέσα από ενημερωτικά έντυπα, δημοσιεύσεις, ημερίδες και επιτόπια σήμανση των χώρων και των διαδρομών. Οι δράσεις ενημέρωσης αναλογούν στα επίπεδα της Δημοσίευσης και της Αλληλεπίδρασης από την πυραμίδα της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης (Bradier, 2004).

Η ενημέρωση αυξάνει τη δυνατότητα του πληθυσμού να αντεπεξέλθει στις στιγμές του συμβάντος (Μπεργιαννάκη-Δερμιτζάκη, 2003), αποτελεί συστατικό στοιχείο ορθολογικής διαχείρισης της σεισμικής διακινδύνευσης και συντελεί στη μείωση των ανθρώπινων απωλειών που προκαλούνται μετά από ένα ισχυρό σεισμικό γεγονός. Πρέπει επομένως να γίνεται μέσα από διαφορετικά κανάλια ώστε να προσεγγίζει αν είναι δυνατόν το σύνολο του πληθυσμού.

Τέλος, το στάδιο της Λειτουργίας αφορά στην αξιοποίηση της παραπάνω υποδομής για την μετασεισμική αντιμετώπιση. Το υποσύστημα αυτό είναι σημαντικό διότι όλες οι θεωρητικές προσεγγίσεις και οι προσομοιώσεις υπόκεινται σε αναθεώρηση ανάλογα με την ενδεχόμενη μεταβολή τους (π.χ. κλειστοί οδοί από εκτεταμένες βλάβες και καταρ-

ρεύσεις). Η όσο το δυνατόν γρηγορότερη καταγραφή-αξιολόγηση των βλαβών και των επειγουσών αναγκών του πληθυσμού συμβάλλουν αποφασιστικά στην αποτελεσματική διαχείριση της κρίσης και καθιστούν και το τελευταίο αυτό στάδιο σημαντικό, παρόλο που παραπέμπει σε διαφορετικής φιλοσοφίας συστήματα και συγκεκριμένα σε συστήματα πραγματικού χρόνου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λειτουργία του γεωγραφικού συστήματος GEM (GIS Earthquake/emergency Management) σε πλήρη ανάπτυξη συμβάλει προσηκυστικά στην καλύτερη προετοιμασία των αρμοδίων φορέων της πολιτείας και του γενικού πληθυσμού για την αντιμετώπιση των συνεπειών από ισχυρό σεισμικό γεγονός πλησίον αστικού χώρου αλλά και μετασεισμικά στη διαχείριση της σχετικής κρίσης. Παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης, σε κάθε περιοχή του αστικού ιστού, της επάρκειας και της καταλληλότητας των διατιθέμενων χώρων καταφυγής-συγκέντρωσης καθώς και των προσβάσεων τους σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας. Επίσης, αναδεικνύει και αξιολογεί προτεραιότητες επεμβάσεων που αφορούν στις πολεοδομικές συνιστώσες της σεισμικής διακινδύνευσης, με στόχο την ορθολογική διαχείριση της και τη μείωση των αναμενόμενων απωλειών.

Το γεγονός ότι το σύστημα στερείται πολυπλοκότητας και μπορεί να λειτουργήσει, πρακτικά με οποιαδήποτε διαθεσιμότητα δεδομένων (επάρκεια δεδομένων ή προσεγγιστικά στοιχεία) αποτελεί ουσιαστικό πλεονέκτημα. Υλοποιείται με τη χρήση εργαλείων CASE τα οποία παρέχουν σταθερότητα σε επόμενες εκδόσεις του λογισμικού, αλλά ο συνολικός του σχεδιασμός μπορεί να υλοποιηθεί και σε άλλα συστήματα ή/και με διαφορετικά εργαλεία ανάπτυξης. Αποτελεί ένα βήμα στην αποτελεσματική προετοιμασία για την αντιμετώπιση των συνεπειών ενός καταστροφικού σεισμού που μπορεί να πλήξει αστικές περιοχές.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

- Δανδουλάκη (2008) "Σχεδιασμός του χώρου και αντισεισμική προστασία στην Ελλάδα", Διδακτορική διατριβή, Αθήνα: Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ.
- ΕΑΚ (2003) *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός*
- Εθνικό Πρόγραμμα Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κατασκευών [ΕΠΑΝΤΥΚ]-ΤΕΕ (2006) *Προσεισμική ενίσχυση υφισταμένων κατασκευών*, Αθήνα.
- Κάβουρας και Μπαντέκας (1999) "Ανάπτυξη Εθνικής Υποδομής Γεωγραφικών Πληροφοριών", Εισήγηση σε συνέδριο: 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: Γεωγραφικά

- ## Εενόγλωσση

- 112

- Barbat A., Pujades L., Lantada N. (2007) "Seismic evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10-11): 851-865.
- Calvi G. M., Magenes G., Bommer J. J., Restrepo-Velez L. F., Crowley H. (2006) "Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies over the past 30 years", *ISET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 472, 43(3): 75-104.
- Chen Y., Eguchi R. (2003) "Post-Earthquake Road Unblocked Reliability Estimation based on an Analysis of Randomicity of Traffic Demands and Road Capacities", Εισηγήση σε συνέδριο: *6th US Conference and Workshop on Lifeline Earthquake Engineering*.
- Crowley H., Pinho R., Bommer J. (2004) "A probabilistic displacement-based vulnerability assessment procedure for earthquake loss estimation", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2: 173-219.
- Federal Emergency Management Agency [FEMA] (2008) "HAZUS-MH Earthquake Model" [online]. Διαθέσιμο στο: http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/hz_eq.shtm.
- Gueguen P., Michel C., LeCorre L. (2007) "A simplified approach for vulnerability assessment in moderate-to-low seismic hazard regions: application to Grenoble (France)", *Bulletin of Earthquake Engineering*, published online: 22-6-2007.
- Kappos A., Dimitrakopoulos E. G. (2007) "Feasibility of pre-earthquake strengthening of buildings based on cost-benefit and life-cycle cost analysis, with the aid of fragility curves", *Natural Hazards*, 45(1): 33-54.
- Kappos A., Lekidis V., Panagopoulos G., Sous I., Theodoloudis N., Karakostas Ch., Anastasiadis T., Salonikios T., Margaritis B. (2007) "Analytical Estimation of Economic Loss for Buildings in the Area Struct by the 1999 Athens Earthquake and Comparison with the Statistical Repair Costs", *Earthquake Spectra*, 23(2).
- Kongsomsaksakul S., Yang C., Chen A. (2005) "Shelter Location-Allocation Model for Flood Evacuation Planning", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6: 4237-4252.
- Menoni S., Menoni F., Pergalani F., Petrini V., Luzi L., Zonno G. (2000) "Measuring the Seismic Vulnerability of the Strategic Public Facilities: Responses of the Health-Care System", *Disaster Prevention and Management*, 9(1): 29-38.
- Nateghi-Alahi F. και Izadkhan Y. (2004) "Earthquake disaster management planning in health care facilities", *Disaster Prevention and Management*, 13(2): 130-135.
- Palacios M. S. (2007) "State of the Art in Seismic Vulnerability", Working Paper [online]. Διαθέσιμο στο: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2626/1/VULNERABILITY.pdf>, [πρόσβαση στις: 10/11/2008].

- Payen T., Queval J. C., Sollogoub P. (2006) "Large Scale Earthquake Testing Facility for Vulnerability Assessment", Εισήγηση σε συνέδριο: *1st Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland
- Sapountzaki K. (2005) "Coping with Seismic Vulnerability: Small Manufacturing Firms in Western Athens", *Disasters*, 29(2): 195-212.
- Spence R., So E., Jenny S., Castella H., Ewald M., Booth E. (2008) "The Global Earthquake Estimation System (GEVES): An Approach for Earthquake Risk Assessment for Insurance Applications", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6(3): 63-483.
- Tarabanis K., Tsionas I. (1999) "Using network analysis for emergency planning in case of an earthquake", *Transactions in GIS*, 3(2): 187-197.
- Teramo A., Bottari A., Termini D., Bottari C. (2005) "A Methodological Approach for the Evaluation of Urban and Territorial Seismic Vulnerability", *Pure and Applied Geophysics*, 162(4): 659-670.
- Tryfona N., Soualakellis N. και Delladetsimas P. (1996) "Designing a Decision Support Tool for an Emergency Management Application", Πρακτικά συνεδρίου: *First International Conference on GIS's in Urban, Regional and Environmental Planning*, Samos, April 1996, 113-122.
- Westen C., Kumar Piya B., Guragain J. (2006) *Geo Information for Urban Risk Assessment in Developing Countries: The SLARIM Project, Geo Information for Disaster management*, Heidelberg: Springer Verlag.

Τσιωνάς Ιωάννης,
 · Τμ. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή,
 Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 671 00, Ξάνθη,
 e-mail: itsionas@arch.duth.gr, itsion@tee.gr

Αικατερίνη Μπαλτζοπούλου,
 · Τμ. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή,
 Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 671 00, Ξάνθη,
 e-mail: katebal@arch.duth.gr

Βασίλειος Τσιούκας,
 · Τμ. Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών,
 ΑΠΘ, 540 06, Θεσσαλονίκη,
 e-mail: vtsiouka@topo.auth.gr

Αθανάσιος Καραμπίνης,
 · Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή,
 Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 671 00, Ξάνθη,
 e-mail: karabin@civil.duth.gr