

Απεικόνιση του δομικού πλούτου και της σεισμικής διακινδύνευσης σε περιβάλλον τεχνολογίας συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών

B. Νάκος, Ν. Τζελέπης, Β. Ζαχαρίας

Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Βασικό αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η χωρική συσχέτιση σε επίπεδο ανάλυσης οικοδομικού τετραγώνου των στοιχείων της γενικής απογραφής κτηρίων του έτους 2001 της Ε.Σ.Υ.Ε., αξιοποιώντας την τεχνολογία των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών¹. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν δύο κατηγορίες εφαρμογών. Με την πρώτη κατηγορία, δομήθηκε ένα ψηφιακό σύστημα ικανό να υποστηρίζει τη στατιστική ανάλυση ορισμένων κρίσιμων ιδιοτήτων των δομικών κατασκευών που σχετίζονται άμεσα με την ενίσχυση τους από πιθανά μελλοντικά σεισμικά γεγονότα. Με τη δεύτερη κατηγορία εφαρμογών, υπολογίστηκαν δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης του δομικού πλούτου της χώρας σε επίπεδο οικοδομικών τετραγώνων, ώστε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης κτηρίων που οπτικοποιείται με τη μορφή χωροπληθή χάρτη. Το σύστημα πλαισιώνεται από εξειδικευμένο λογισμικό διεπαφής χρήστη-υπολογιστή, το οποίο σχεδιάστηκε με τρόπο που να καλύπτει τις ανάγκες των εν δυνάμει χρηστών του και δεν προαπαιτεί την όποια εξειδικευμένη γνώση για τη λειτουργία του.

1. Βιβλιογραφική επισκόπηση

Η αποτίμηση της τρωτότητας και της διακινδύνευσης των αστικών περιοχών στους φυσικούς κινδύνους, όπως είναι οι σεισμοί, είναι ένα πρόβλημα για το οποίο δεν υπάρχει μοναδική, ιδεατή, αντικειμενικά βέλτιστη λύση. Αντιμετωπίζεται με αποφάσεις που προκύπτουν με τη βοήθεια χωρικής ανάλυσης με πολλαπλά κριτήρια και κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας, γι' αυτό έχουν γίνει πολλαπλές προσπάθειες να προσεγγισθεί αξιοποιώντας την τεχνολογία των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) (Rashed & Weeks 2002). Τα Σ.Γ.Π. προσφέρουν ένα

¹ Στην εργασία παρουσιάζονται στοιχεία του ερευνητικού προγράμματος (Νάκος κ.ά. 2009) με τίτλο: «Ανάπτυξη λογισμικού Σ.Γ.Π. για την αναπαράσταση του δομικού πλούτου των Ο.Τ.Α. της χώρας και της σεισμικής τρωτότητας σε επίπεδο οικοδομικών τετραγώνων» που εκπονήθηκε στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Εσωτερικών, Αποκέντρωσης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης σε συνεργασία με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.

σύνολο τεχνολογικών εργαλείων για την υλοποίηση τόσο του υπολογιστικού μέρους όσο και της χαρτογραφικής οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων, συνδυασμός πολύτιμος για σκοπούς ανάλυσης και σχεδιασμού (Leon & Atanasiu 2007).

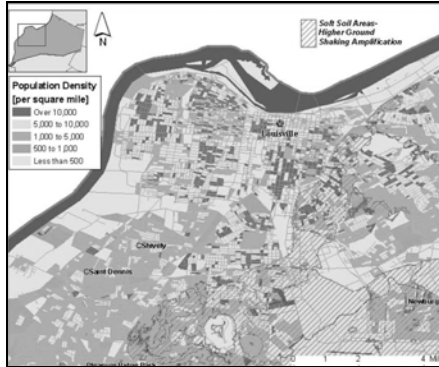
Κοινή επιδίωξη όλων των προσπαθειών είναι η καλύτερη υποστήριξη των αποφάσεων από τους αρμόδιους φορείς πριν ή και μετά από ένα σεισμικό συμβάν. Σε επίπεδο πρόνοιας για το μετριασμό των πιθανών επιπτώσεων πριν από ένα συμβάν, οι αποφάσεις αφορούν τον αποτελεσματικό σχεδιασμό των πόλεων (Zonno et al. 1998, Leon & Atanasiu 2007) και των επεκτάσεών τους (Anagnostopoulos et al. 2008). Σε επίπεδο ανταπόκρισης και αντίδρασης μετά από σεισμικά συμβάντα, οι αποφάσεις σχετίζονται με τη βέλτιστη διαχείριση της κρίσης (Cutter et al. 1997, Sarris et al. 2009) και με την ταχεία αποτίμηση των κτηριακών βλαβών ή άλλων απωλειών (Hunter 1998).

Πέρα από την κοινή αυτή επιδίωξη, οι προσπάθειες αξιοποίησης των Σ.Γ.Π. για την αποτίμηση των μεγεθών της σεισμικής διακινδύνευσης, μπορεί να διαφοροποιούνται ως προς μια σειρά άλλων χαρακτηριστικών. Κατ' αρχάς υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση των ίδιων των μεγεθών, η οποία αποτελεί ενεργό ερευνητικό πεδίο οπότε και συνεχίζει να εμπλουτίζεται, χωρίς εντούτοις να επηρεάζει κατ' ανάγκη τη δομή του σχεδιαζόμενου συστήματος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που μπορεί να διαφοροποιεί μια προσπάθεια μπορεί να είναι ο εξειδικευμένος σκοπός ή τομέας εφαρμογής του Σ.Γ.Π., όπως για παράδειγμα η προστασία του εθνικού πολιτιστικού πλούτου (Futagami et al. 2009).

Σημαντική παράμετρος διαφοροποίησης αποτελεί και η χρήση άλλων παράλληλων τεχνολογιών, όπως η χρήση της τηλεπισκόπησης για την ενημέρωση μιας βάσης δεδομένων κτηριακών ζημιών (Miura & Midorikawa 2006) και για την ανάπτυξη προτύπων αναγνώρισης έντονων μετασεισμικών κτηριακών βλαβών (O'Rourke et al. 2001), ή η χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης στην υλοποίηση του μοντέλου αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης (Zonno et al. 1998). Η δυνατότητα επίσης της κατάρτισης του σχεδιαζόμενου Σ.Γ.Π. έτσι ώστε να επεξεργάζεται και άλλα πρόσθετα επίπεδα πληροφορίας, εκτός από τα συνήθη δομικά δεδομένα, όπως πχ. γεωλογικά δεδομένα (Sarris et al. 2009), είναι ένα ακόμη σημαντικό σημείο διαφοροποίησης, ενώ κρίσιμος παράγοντας στη σχεδίαση ενός Σ.Γ.Π. είναι πάντα και η γεωμετρική φύση των διαθέσιμων δεδομένων.

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται, σε μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων αξιοποιεί και επεκτείνει κάποιο υπάρχον εμπορικό πακέτο Σ.Γ.Π. που επιτρέπει τη δυνατότητα προσαρμογής με τη χρήση μιας συμβατής γλώσσας προγραμματισμού. Ειδικότερα στις Η.Π.Α. έχει υλοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός εφαρμογών βασισμένων σε ένα ανάλογο προϊόν επέκτασης του πακέτου λογισμικού ArcGIS Desktop της εταιρίας E.S.R.I., με την ονομασία HAZUS-MH. Το εν λόγω προϊόν, που αναπτύχθηκε αρχικώς το 1993, αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα λογισμικού αποτίμησης της επικινδυνότητας για την ανάλυση ενδεχόμενων απωλειών όχι μόνο από σεισμούς αλλά και από άλλες φυσικές καταστροφές (E.S.R.I. 2006), και παρέχει στο στελεχικό δυναμικό όλων των διοικητικών επιπέδων τα απαραίτητα

εργαλεία για το σχεδιασμό και την προσομοίωση προσπαθειών για το μετριασμό των απωλειών, την προετοιμασία για ανταπόκριση σε επείγουσα ανάγκη και την ανάκαμψη από καταστροφές. Το HAZUS, (Εικόνα 1), παρέχει ανάκτηση και τροποποίηση δεδομένων υπαρχόντων βάσεων δεδομένων, σύνταξη χωρικής ανάλυσης και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μελετών, συμπεριλαμβανομένων και χαρτών (Bouhafs 2000).



Εικόνα 1: Παράδειγμα θεματικού χάρτη από το λογισμικό HAZUS: Απεικόνιση της πυκνότητας πληθυσμού και των περιόχων σαθρών εδαφών με υψηλό βαθμό ενίσχυσης της εδαφικής ανατάραξης (<http://www.fema.gov>).



Εικόνα 2: Παράδειγμα θεματικού χάρτη από το λογισμικό SEISMOCARE: Τρωτότητες κτιρίων σε αστική περιοχή υπό διερεύνηση (Anagnostopoulos et al. 2008).

Στον ελληνικό χώρο έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές προσπάθειες αποτίμησης και παρουσίασης της σεισμικής επικινδυνότητας, (Εικόνα 2), ενταγμένες σε ολοκληρωμένα Σ.Γ.Π. που καλύπτουν και τις ανάγκες πρόνοιας πριν από ένα συμβάν, αλλά και τις ανάγκες της ανταπόκρισης μετά από αυτό, όπως είναι τα SEISMOCARE (Anagnostopoulos et al. 2008) και SEISIMPACT-THES (Savvaidis et al. 2004).

Η τεχνολογία των Σ.Γ.Π. επιστρατεύεται προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης με απεικονίσεις χαρτογραφικής οπτικοποίησης, για παρουσιάσεις δεδομένων και αποτελεσμάτων που σχετίζονται με χωρικές πληροφορίες. Στις διάφορες προσπάθειες που ενδεικτικά αναφέρονται παραπάνω, παρατηρείται ότι η αξιοποίηση των δυνατοτήτων των θεματικών απεικονίσεων περιορίζεται σε ένα ελάχιστο βαθμό –κάτι που συμβαίνει συχνά όσον αφορά τη χρήση τους σε άλλους επιστημονικούς τομείς. Οι μέθοδοι του χωροπληθή και του ισοπληθή χάρτη, οι οποίες εφαρμόζονται στην πλειοψηφία των απεικονίσεων, θα πρέπει να βελτιστοποιούνται ώστε να είναι όσο το δυνατό πιο επικοινωνιακοί κατά τη χρήση τους από το πλατύ, μη εξασκημένο στη χρήση χαρτών κοινό, στο οποίο κατά κόρον απευθύνονται.

Ένα πρόβλημα που συχνά συναντάται στη χωρική ανάλυση, είναι αυτό του συνδυασμού δεδομένων από διαφορετικές πηγές ή διαφορετικές χρονικές περιόδους συλλογής. Η αντιμετώπιση των όποιων προβλημάτων συμβατότητας κατά την ενοποίησή τους, επιφέρει την ανάγκη ανάπτυξης ή προσαρμογής κώδικα προγραμματισμού, και κάτι τέτοιο είναι πλέον πολύ πιο εύκολο στο πλαίσιο του λογισμικού ανοικτού κώδικα. Εξάλλου για τον ίδιο αυτό λόγο, δηλ. της πιο ευέλικτης επέκτασής τους, τα λογισμικά ανοικτού κώδικα παρουσιάζουν σήμερα μια αυξανόμενη διάδοση σε σχέση με τα κλειστά εμπορικά πακέτα, κάτι που αποτελεί πραγματικότητα και στο χώρο του λογισμικού Σ.Γ.Π.

2. Στόχοι

Στα στοιχεία της απογραφής κτηρίων της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την περίοδο κατασκευής των κτηρίων, τον αριθμό ορόφων, το είδος του φέροντος οργανισμού, την κύρια ή δευτερεύουσα χρήση, την ύπαρξη πιλοτής, την ύπαρξη επαφής με τα γειτονικά κτήρια κ.ά πληροφορίες. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν σημαντική πληροφορία για την ανάπτυξη προγραμμάτων ενίσχυσης των κτηρίων, από τους φορείς της τοπικής, της κεντρικής διοίκησης αλλά και ιδιώτες, σε σχέση με πιθανά μελλοντικά σεισμικά γεγονότα, εάν επιτευχθεί να συσχετιστούν με το γεωγραφικό χώρο στον οποίο αναφέρονται. Στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός συστήματος καταγραφής των ιδιοτήτων των δομικών κατασκευών ανά οικοδομικό τετράγωνο, όπως αυτές περιλαμβάνονται στην απογραφή κτηρίων του έτους 2001 της Ε.Σ.Υ.Ε., άμεσα συσχετισμένου με τα ψηφιακά υπόβαθρα των Ο.Τ.Α. της χώρας, σε περιβάλλον τεχνολογίας συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών. Στο ίδιο σύστημα, επιπλέον, δημιουργήθηκε ένα χωρικό μοντέλο δεικτών διακινδύνευσης των δομικών κατασκευών ανά οικοδομικό τετράγωνο, που αξιοποιεί τα παραπάνω στοιχεία. Τέλος, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα ειδικό λογισμικό διεπαφής για τη χρήση του συστήματος, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί από το τεχνικό προσωπικό των φορέων της τοπικής και κεντρικής διοίκησης που χαρακτηρίζεται φιλικότητα στη χρήση του.

3. Περιγραφή δεδομένων

Η δημιουργία του συστήματος ομογενοποιεί και αλληλοσυσχετίζει τρεις ομάδες δεδομένων. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο της Ε.Σ.Υ.Ε. για περίπου 600 οικισμούς της χώρας. Η δεύτερη ομάδα αναφέρεται στα πρωτογενή στοιχεία της γενικής απογραφής κτηρίων του έτους 2001 της Ε.Σ.Υ.Ε., μιά καθολική καταγραφή, στην οποία είναι καταχωρημένες οι ιδιότητες περίπου τεσσάρων εκατομμυρίων κτηρίων. Η τρίτη ομάδα δεδομένων περιλαμβάνει

νει πίνακες αντιστοίχισης των κωδικών των οικοδομικών τετραγώνων των οικισμών της χώρας του ψηφιακού υποβάθρου (πρώτη ομάδα δεδομένων) και των στοιχείων της απογραφής κτηρίων (δεύτερη ομάδα δεδομένων), που διαθέτει η Ε.Σ.Υ.Ε.

3.1 Ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο

Το σύνολο των ψηφιακών χαρτογραφικών υποβάθρων της Ε.Σ.Υ.Ε. περιλαμβάνει 603 οικισμούς της χώρας επί συνόλου 12.928 οικισμών. Το σύνολο των οικισμών της χώρας σύμφωνα με το υφιστάμενο διοικητικό θεσμικό πλαίσιο περιέχεται σε 1.034 Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.). Σε κάθε ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο οικισμού απεικονίζονται οι ακόλουθες χωρικές ενότητες:

- *Οδικοί άξονες.* Η χωρική ενότητα των οδικών αξόνων έχει γεωμετρική δομή τοπολογικά δομημένων γραμμών. Στις ιδιότητες της χωρικής ενότητας περιλαμβάνεται η ονομασία των δρόμων με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.
- *Κτήρια.* Η χωρική ενότητα των κτηρίων αναπαριστά το περίγραμμα των κτηρίων με γεωμετρική δομή τοπολογικά δομημένων κλειστών πολυγώνων. Στις ιδιότητες της χωρικής ενότητας περιλαμβάνονται οι πληροφορίες του μεγέθους του εμβαδού και του κωδικού του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκουν.
- *Οικοδομικά τετράγωνα.* Η χωρική ενότητα των οικοδομικών τετραγώνων αναπαριστά το περίγραμμα των οικοδομικών τετραγώνων του οικισμού με γεωμετρική δομή τοπολογικά δομημένων κλειστών πολυγώνων. Στις ιδιότητες της χωρικής ενότητας περιλαμβάνονται οι πληροφορίες του μεγέθους των (εμβαδόν) και του κωδικού τους.
- *Τοπογραφία.* Η χωρική ενότητα της τοπογραφίας αναπαριστά διάφορα τοπογραφικά στοιχεία οριζοντιογραφίας με γεωμετρική δομή τοπολογικά δομημένων γραμμών. Στις ιδιότητες της χωρικής ενότητας περιλαμβάνεται κωδικοποίηση ανάλογα με το αν είναι ακτογραμμή, διοικητικά όρια (δήμων και κοινοτήτων), τεχνητά στοιχεία (π.χ. γέφυρες), υδρολογικά στοιχεία (π.χ. όρια κοίτης ρεμάτων), σιδηροδρομική γραμμή κ.ά.
- *Ονοματολογία.* Η χωρική ενότητα της ονοματολογίας περιλαμβάνει διάφορα τοπωνύμια (ονοματολογία συνοικιών, εκκλησίες, κ.ά.) κάθε οικισμού. Η χωρική ενότητα δεν αναπαριστά κάποια γεωμετρικού χαρακτήρα πληροφορία και για αυτό το λόγο αναφέρεται σε σημεία που ορίζουν τη θέση αναγραφής των τοπωνυμίων. Τα τοπωνύμια είναι καταχωρημένα με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται ένα οπτικοποιημένο παράδειγμα της σύνθεσης των χωρικών ενότητων για το ίδιο τμήμα ενός οικισμού ως ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ενός χάρτη βάσης των ψηφιακών χαρτογραφικών υποβάθρων της Ε.Σ.Υ.Ε.



Εικόνα 3: Οπτικοποιημένο παράδειγμα σύνθεσης χωρικών ενοτήτων ψηφιακού χαρτογραφικού υπόβαθρου.

Το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο της Ε.Σ.Υ.Ε. έχει δημιουργηθεί από ψηφιοποίηση ορθοφωτοχαρτών κλίμακας 1:5.000, προερχομένων από αναγωγή αεροφωτογραφιών με περίοδο λήψης από το έτος 1996 ως το 1998. Με δεδομένο ότι η πρωτογενής πληροφορία είναι αντίστοιχη της αναλογικής κλίμακας 1:5.000, η χωρική αβεβαιότητα του παράγωγου ψηφιακού προϊόντος είναι της τάξης του ενός μέτρου. Το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο της Ε.Σ.Υ.Ε. είναι εκφρασμένο στο σύστημα Ε.Γ.Σ.Α. '87.

3.2 Στοιχεία γενικής απογραφής κτηρίων του έτους 2001

Η γενική απογραφή κτηρίων του έτους 2001 διεξήχθη κατά το τέλος του προηγούμενου έτους (Δεκέμβριος 2000) από την Ε.Σ.Υ.Ε. Ύστερα από συνεργασία με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος λόγω της σημασίας της διακινδύνευσης του δομικού πλούτου της χώρας από πιθανά σεισμικά μελλοντικά γεγονότα, κατά την απογραφή, καταγράφηκαν ορισμένες σημαντικές ιδιότητες των κτηρίων σχετικές με τη δυνατότητα εκτίμησης της σεισμικής τους διακινδύνευσης. Οι ιδιότητες αυτές αφορούν σε κρίσιμες πληροφορίες όπως είναι η περίοδος κατασκευής, ο φέρωντας οργανισμός, ο αριθμός των ορόφων, η ύπαρξη πιλοτής, η χρήση (κύρια και δευτερεύουσα) κ.ά. Κατά τη γενική απογραφή καταγράφηκαν συνολικά περίπου 4.000.000 κτήρια σε ολόκληρη τη χώρα. Στον Πίνακα 1 απεικονίζεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα εγγραφών του αρχείου της απογραφής κτηρίων.

Πίνακας 1: Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εγγραφών του αλφαριθμητικού αρχείου των στοιχείων της γενικής απογραφής κτηρίων της Ε.Σ.Υ.Ε. του έτους 2001.

1	KAP2001	BLOCK_NO	BLOCK_AA	FLAG_OIK	FLAG_YPOG	FLAG_ISOG	FLAG_PIL	FLOOR_NO	STRUCT_PERIOD	FLAG_TANGIYLIKA_MAIN	YLIKA_ROOF	EXCL_USE	MAIN_USE	SECOND_USE	HOME_NO	
2	13010101	360	6	1	1	0	1	4	9	1	1	1	1	0	0	15
3	13010101	360	7	1	0	1	0	0	9	2	1	1	7	0	0	0
4	13010101	360	8	1	0	1	0	0	9	2	1	1	7	0	0	0
5	13010101	360	9	1	0	1	0	1	2	1	4	2	1	0	0	1
6	13010101	360	10	1	0	1	0	1	5	1	1	1	1	0	0	2
7	13010101	360	11	1	0	1	0	2	8	1	1	2	1	0	0	2
8	13010101	360	12	1	0	1	0	0	4	1	1	2	1	0	0	1
9	13010101	497	2	1	0	1	0	0	4	2	3	3	9	0	0	0
10	13010101	497	3	1	1	1	0	0	3	2	4	2	1	0	0	1
11	13010101	497	4	1	0	1	0	0	3	2	4	2	9	0	0	0
12	13010101	497	5	1	0	1	0	0	4	2	4	2	2	0	0	0
13	13010101	497	6	1	0	1	0	0	6	2	1	1	6	0	0	0
14	13010101	497	7	1	1	1	0	0	3	2	4	2	1	0	0	1
15	13010101	497	8	1	0	1	0	0	4	2	4	2	9	0	0	0
16	13010101	497	9	1	0	1	0	0	4	2	5	1	9	0	0	0
17	13010101	664	1	1	0	1	0	1	5	2	1	2	1	0	0	1
18	13010101	664	2	1	0	1	0	1	5	2	1	2	1	0	0	1
19	13010101	583	1	1	0	1	0	0	9	1	1	2	6	0	0	0
20	13010101	583	2	1	0	1	0	1	2	1	4	2	6	0	0	0
21	13010101	583	3	1	0	1	0	1	2	1	4	2	6	0	0	0
22	13010101	584	1	1	0	1	0	0	2	1	4	2	6	0	0	0
23	13010101	584	2	1	0	1	0	0	2	1	4	2	6	0	0	0
24	13010101	584	3	1	0	1	0	1	2	1	4	2	6	0	0	0
25	13010101	584	4	1	0	1	0	0	2	1	4	2	6	0	0	0
26	13010101	585	1	1	0	1	0	1	2	1	1	1	6	0	0	0
27	13010101	585	2	1	0	1	0	1	2	1	1	2	6	0	0	0

3.3 Πίνακες αντιστοίχισης

Παρατηρώντας τη χρονική αναντιστοιχία μεταξύ των δύο πρώτων ομάδων δεδομένων, δηλαδή μεταξύ των ψηφιακών υποβάθρων και των στοιχείων της απογραφής κτηρίων, είναι προφανές ότι η προσπάθεια εκχώρησης γεωγραφικής αναφοράς στα στοιχεία της απογραφής κτηρίων μέσω των ψηφιακών υποβάθρων είναι προβληματική. Στο χρονικό διάστημα μεταξύ των ετών 1995 και 2001, είναι γεγονός ότι δομήθηκαν πολλά κτήρια για τα οποία συλλέχθηκαν τα στοιχεία τους κατά την απογραφή αλλά δεν απεικονίζονται στα ψηφιακά υπόβαθρα. Επιπλέον, η κωδικοποίηση των κτηρίων στα στοιχεία της γενικής απογραφής είναι ασύμβατη με την κωδικοποίηση που υπάρχει στα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα.

Η κωδικοποίηση των κτηρίων στα στοιχεία της γενικής απογραφής κτηρίων ακολουθεί ένα αυθαίρετο σχήμα αρίθμησης που ορίστηκε από τους απογραφείς. Από την άλλη, η κωδικοποίηση των κτηρίων στα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα ορίστηκε με την αυτοματοποιημένη διαδικασία αρίθμησης του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία τους από το μελετητή. Το γεγονός αυτό καθιστά αδύνατη τη συσχέτιση των στοιχείων της γενικής απογραφής κτηρίων με τη χωρική ενότητα των κτηρίων των ψηφιακών χαρτογραφικών υποβάθρων. Επομένως, η γεωαναφορά των στοιχείων της γενικής απογραφής κτηρίων επιχειρήθηκε να αποδοθεί με τη βοήθεια της χωρικής ενότητας οικοδομικά τετράγωνα. Επιπλέον, στο χρονικό διάστημα 1995-2001 έχουν γίνει στο σύνολο των οικισμών της χώρας πολλές μεταβολές ως προς τη δομή των οικοδομικών τετραγώνων, μεταβολές που αφορούν είτε σε συγχώνευση ή σε δημιουργία νέων οικοδομικών τετραγώνων. Για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της πιθανής ασυμβατότητας μεταξύ

απογραφής και ψηφιακών υποβάθρων, με βάση τα πρωτογενή στοιχεία που διατηρεί και κυρίως τα αναλογικά διαγράμματα που χρησιμοποίησαν οι απογραφείς κατά τη διαδικασία της γενικής απογραφής κτηρίων, η Ε.Σ.Υ.Ε. δημιούργησε πίνακες αντιστοίχισης των κωδικών των οικοδομικών τετραγώνων μεταξύ των αρχείων της αντίστοιχης χωρικής ενότητας του ψηφιακού χαρτογραφικού υπόβαθρου και των στοιχείων της γενικής απογραφής κτηρίων του έτους 2001 ανά οικισμό. Οι πίνακες αυτοί καλύπτουν 537 οικισμούς επί συνόλου 603 οικισμών για τους οποίους είναι διαθέσιμα τα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα.

Εξετάζοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς αντιστοίχισης των κωδικών των οικοδομικών τετραγώνων, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι οι πιθανές σχέσεις μεταξύ των κωδικών, είναι σχέσεις του τύπου ένα-προς-ένα, ένα-προς-πολλά ή πολλά-προς-ένα, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις σχέσεων του τύπου ορισμένα-προς-κάποια. Η επισήμανση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στο παραγόμενο τελικό προϊόν ένας αριθμός οικοδομικών τετραγώνων σε κάθε οικισμό χρειάζεται να συγχωνευτεί σε σύνθετες χωρικές οντότητες.

4. Σχεδιασμός και ανάπτυξη

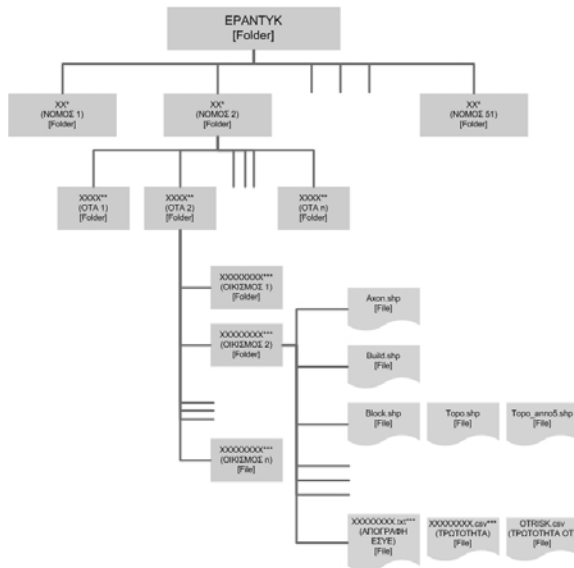
Στο πλαίσιο της έρευνας σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μία χωρική βάση δεδομένων με σκοπό να αναπαριστά το δομικό πλούτο της χώρας, όπως αυτός καταγράφηκε με τη γενική απογραφή κτηρίων της Ε.Σ.Υ.Ε. το έτος 2001. Η χωρική βάση είναι δομημένη με ιεραρχική δομή, η οποία ακολουθεί το θεσμοθετημένο σχήμα διοικητικής υποδιαίρεσης της χώρας. Τα ιεραρχικά επίπεδα της δομής της χωρικής βάσης δεδομένων υλοποιούνται στο υπολογιστικό περιβάλλον με καταλόγους ή υποκαταλόγους του υλικού της μονάδας αποθήκευσης του υπολογιστή.

4.1 Χωρική βάση ιδιοτήτων δομικού πλούτου

Η δομή της χωρικής βάσης δεδομένων διαμορφώνεται κάτω από ένα κατάλογο του υλικού μέσου αποθήκευσης (βασικός κατάλογος). Κάτω από το βασικό κατάλογο ρίζα παρουσιάζονται με μορφή υποκαταλόγων οι νομοί της χώρας. Η ονομασία των υποκαταλόγων με τους νομούς της χώρας ταυτίζεται με το διψήφιο κωδικό κατά Ε.Σ.Υ.Ε. Σε κάθε υποκατάλογο νομού παρουσιάζονται οι υποκατάλογοι των Ο.Τ.Α. που περιλαμβάνονται σε αυτόν. Η ονομασίες των υποκαταλόγων των Ο.Τ.Α. ταυτίζονται με τον τετραψήφιο κωδικό τους κατά Ε.Σ.Υ.Ε. Τέλος, σε κάθε υποκατάλογο Ο.Τ.Α. παρουσιάζονται με μορφή υποκαταλόγου οι οικισμοί που περιλαμβάνονται σε αυτόν με ονομασία που ταυτίζεται με το οκταψήφιο κωδικό κατά Ε.Σ.Υ.Ε. Σε κάθε υποκατάλογο οικισμού παρουσιάζονται τα αρχεία του ψηφιακού του χαρτογραφικού υποβάθρου, όπως περιγράφηκαν στην Ενότητα 3.1, τα αρχεία των στοιχείων της γενικής απογραφής κτηρίων, τα αρχεία με τους υπολογισμένους δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης του δομικού πλούτου καθώς και διάφο-

ρα βοηθητικά αρχεία σχετικά με τη δημιουργία του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών για όσους οικισμούς υπήρχε ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο. Για τους λοιπούς οικισμούς, δηλαδή, για όσους δεν υπήρχε ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο, ο υποκατάλογος του οικισμού περιλαμβάνει το σχετικό αρχείο με τα στοιχεία της γενικής απογραφής κτηρίων και των δεικτών της σεισμικής διακινδύνευσης του δομικού πλούτου.

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται σε διαγραμματική μορφή η δομή της χωρικής βάσης δεδομένων του δομικού πλούτου που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της έρευνας.



Εικόνα 4:

Δομή της χωρικής βάσης δεδομένων του δομικού πλούτου

(* Διψήφιος κωδικός νομού,

** τετραψήφιος κωδικός Ο.Τ.Α.

και

*** οκταψήφιος κωδικός οικισμού κατά Ε.Σ.Υ.Ε.).

4.2 Μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης κτηρίων

Η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης κτηρίων (R) υπολογίστηκε, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο κατασκευής του, το υλικό του φέροντος οργανισμού, του αριθμού των ορόφων, την ύπαρξη πιλοτής και τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτήριο, από τη σχέση (Νάκος κ.ά. 2009):

$$R = n D S.$$

Όπου: n είναι ο αριθμός των ορόφων του κτηρίου, D είναι ο μέσος βαθμός βλάβης και S είναι ο δείκτης σεισμικής δράσης.

Ο μέσος βαθμός βλάβης (D) συσχετίζεται με την περίοδο κατασκευής του κτηρίου, το υλικό του φέροντος οργανισμού και την ύπαρξη ή μη πιλοτής. Ο δείκτης σεισμικής δράσης (S) συσχετίζεται με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο ανάλογα με τον υφιστάμενο κατασκευαστικό θεσμικό πλαίσιο της περιόδου κατασκευής.

Με βάση την αριθμητική μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης κτηρίων, υπολογίστηκε η τιμή της σεισμικής διακινδύνευσης (R) για τα περίπου 4.000.000 κτήρια που περιλαμβάνονται στη γενική απογραφή κτηρίων του έτους 2001 της Ε.Σ.Υ.Ε.

4.2.1 Δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης δομικού πλούτου

Ως δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης ανά οικοδομικό τετράγωνο κάθε οικισμού χρησιμοποιήθηκαν οι στατιστικές εκτιμήτριες:

- *Μέση τιμή.* Ο δείκτης της μέσης τιμής της σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων εκφράζει την αντιπροσωπευτική τιμή της σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων που περιλαμβάνονται στο οικοδομικό τετράγωνο.
- *Μεταβλητότητα.* Ο δείκτης της μεταβλητότητας της σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων εκφράζει τη διασπορά των τιμών της σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων που περιλαμβάνονται στο οικοδομικό τετράγωνο.
- *Μέγιστη τιμή.* Ο δείκτης της μέγιστης τιμής της σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων εκφράζει τη δυσμενέστερη περίπτωση όλων των τιμών της σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων που περιλαμβάνονται στο οικοδομικό τετράγωνο.

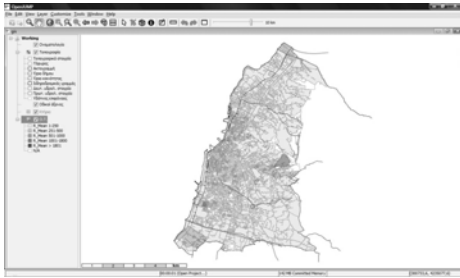
Οι τιμές των τριών δεικτών σεισμικής διακινδύνευσης ανά οικοδομικό τετράγωνο συμπληρώνονται και από ένα τέταρτο μέγεθος που εκφράζει το πλήθος των κτηρίων στο οικοδομικό τετράγωνο που συμμετείχαν στον υπολογισμό των στατιστικών εκτιμητριών.

Οι υπολογισμένες τιμές των δεικτών σεισμικής διακινδύνευσης του δομικού πλούτου εντάχθηκαν στην χωρική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος επιτυγχάνοντας τη συσχέτιση με την χωρική ενότητα των οικοδομικών τετραγώνων. Οι χρήστες στο περιβάλλον του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών μπορούν να προβούν σε εποπτική παρουσίαση οπτικοποίησης των τιμών των δεικτών υπό τη μορφή θεματικών χωροπληθών χαρτών στις περιοχές που υποστηρίζονται από ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα. Στις περιοχές που δεν καλύπτονται από ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα, οι χρήστες μπορούν να περιορίσουν την εποπτική παρουσίαση με οπτικοποίηση των τιμών των δεικτών σεισμικής διακινδύνευσης υπό τη μορφή στατιστικών διαγραμμάτων.

4.3 Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ιδιοτήτων δομικού πλούτου

Στο περιβάλλον του λογισμικού πακέτου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών *OpenJUMP* δημιουργήθηκε για κάθε οικισμό που περιλαμβάνεται στο ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο ειδικό πρότυπο αρχείο εκκίνησης για την προβολή των στοιχείων των χωρικών ενότητων της βάσης δεδομένων. Με το άνοιγμα του αρχείου απεικονίζονται στην οθόνη του υπολογιστή το σύνολο της χωρικής πληροφορίας με τη μορφή ψηφιακού χάρτη. Στο ψηφιακό χάρτη χρησιμοποιούνται χαρτογραφικά σύμβολα που έχουν προεπιλεγεί ειδικά για τη συγκεκριμένη εφαρ-

μογή. Ειδικότερα, οι αποχρώσεις των επιφανειακών χαρτογραφικών συμβόλων - στους χωροπληθείς χάρτες- εφαρμόζουν τις χαρτογραφικά αποτελεσματικές χρωματικές συμβολοσειρές της Cynthia Brewer (Brewer 2003, Brewer et al. 2003, Harrower & Brewer 2003). Ο χρήστης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να απενεργοποιήσει ή να επαναφέρει όποιο από τα επίπεδο πληροφορίας επιθυμεί ή να τροποποιήσει το συμβολισμό του. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται η οθόνη του υπολογιστή όταν ο χρήστης ενεργοποιήσει το πρότυπο αρχείο εκκίνησης ενός οικισμού στο περιβάλλον του λογισμικού *OpenJUMP*.



Εικόνα 5: Η οθόνη του λογισμικού *OpenJUMP* μετά την ενεργοποίηση του πρότυπου αρχείου εκκίνησης ενός οικισμού.



Εικόνα 6: Η οθόνη της Εικόνας 5 ύστερα από μεγένθυση του χάρτη όπου απεικονίζεται το σύνολο της πληροφορίας της χωρικής βάσης δεδομένων.

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται ο ίδιος οικισμός σε μεγένθυση, όπου ενεργοποιείται η οπτικοποίηση του συνόλου της πληροφορίας που περιλαμβάνεται στη χωρική βάση δεδομένων όπως έχει προβλεφθεί στο πρότυπο αρχείο εκκίνησης γιατί καθίσταται οπτικά αντιληπτή λόγω κλίμακας. Ο συμβολισμός των οικοδομικών τετραγώνων απεικονίζει με διαβαθμισμένες χρωματικές εντάσεις τις τιμές του δείκτη της μέσης σεισμικής διακινδύνευσης των κτηρίων.

4.4 Λογισμικό διεπαφής για τη στατιστική ανάλυση των ιδιοτήτων του δομικού πλούτου.

Για την ανάλυση του δομικού πλούτου και τον υπολογισμό στατιστικών μεγεθών των ιδιοτήτων του σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μια ειδική εφαρμογή η οποία, αξιοποιώντας τα πεδία της βάσης δεδομένων, επιτρέπει τον σχηματισμό ερωτημάτων για τον υπολογισμό συχνοτήτων. Η εφαρμογή σχεδιάστηκε έτσι ώστε:

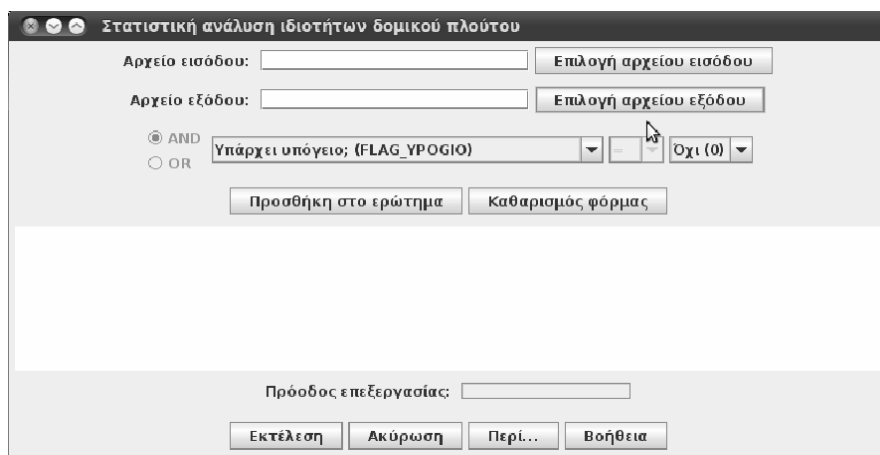
- (α) να είναι δυνατή η εκτέλεσή της τόσο μέσα από το περιβάλλον του Σ.Γ.Π. (OpenJUMP), όσο και ως ανεξάρτητη εφαρμογή,
- (β) να μην εξαρτάται από το περιβάλλον εργασίας του H/Y (φορητότητα), και
- (γ) να είναι φιλική προς τους χρήστες.

Στο πλαίσιο αυτό, επιλέχθηκε η ανάπτυξη της εφαρμογής να γίνει χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Python (Python Programming Language),

μιας αρθρωτής (modular), αντικειμενοστραφούς (object oriented) γλώσσας προγραμματισμού που διαθέτει ευρεία γκάμα βιβλιοθηκών γραμμένων τόσο στη γλώσσα C (CPython), όσο και στη γλώσσα Java (The Jython Project). Επιπλέον, η ύπαρξη “βιβλιοθηκών” (modules) για μια σειρά εφαρμογών «τρίτων», επιτρέπει στα προγράμματα που αναπτύσσονται σε Python να επικοινωνούν/συνεργάζονται με μια πληθώρα άλλων προγραμμάτων, επεκτείνοντας ουσιαστικά τις δυνατότητες της γλώσσας και επιτρέποντάς τη να διαχειριστεί ένα πολύ μεγάλο εύρος προβλημάτων.

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε τρία στάδια. Κατά το στάδιο της ανάλυσης, τέθηκε το πρόβλημα που χρειάζεται αντιμετώπιση, δηλαδή, ο υπολογισμός των συχνοτήτων που ικανοποιούν ένα απλό ή σύνθετο ερώτημα. Ορίστηκε το προϊόν της εφαρμογής, ο τρόπος υπολογισμού των συχνοτήτων, με βάση τη δομή και τις επιτρεπόμενες τιμές των δεδομένων, καθώς και η μορφή του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής του χρήστη με την εφαρμογή. Η είσοδος της εφαρμογής είναι η “διευρυμένη” βάση δεδομένων για κάθε οικισμό, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και οι δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης, ενώ η έξοδος της είναι οι συχνότητες ανά οικοδομικό τετράγωνο που ικανοποιούν το απλό ή σύνθετο ερώτημα που τίθεται από το χρήστη.

Η σχεδίαση των απλών ερωτημάτων έγινε με το συνδιασμό των πεδίων της βάσης δεδομένων και των επιτρεπόμενων τιμών τους με τη βοήθεια του συνόλου ή ενός υποσυνόλου των έξι σχεσιακών τελεστών (ίσο, διάφορο, μεγαλύτερο, μικρότερο, μεγαλύτερο ή ίσο και μικρότερο ή ίσο), ενώ τα σύνθετα ερωτήματα δημιουργήθηκαν με το συνδιασμό απλών ερωτημάτων με τη βοήθεια των λογικών τελεστών «ΚΑΙ» (AND) και «Η» (OR). Το περιβάλλον διεπαφής παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα ορισμού των αρχείων εισόδου και εξόδου, εργαλεία διαμόρφωσης απλών και σύνθετων ερωτημάτων, καθώς και πληροφορίες για την κατάσταση της εφαρμογής, το ερώτημα, την πρόοδο της επεξεργασίας, κá. (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Λογισμικό στατιστικής ανάλυσης ιδιοτήτων δομικού πλούτου.

Στο δεύτερο στάδιο, αυτό της ανάπτυξης, υλοποιήθηκε η εφαρμογή αξιοποιώντας τις βιβλιοθήκες της Pythοn. Επισημαίνεται ότι η εφαρμογή υλοποιήθηκε πρώτα σε Jython, ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεσή της από το περιβάλλον εργασίας του OpenJUMP. Στη συνέχεια, και αφού έγιναν κάποιου βασικοί έλεγχοι για την ποιότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, ο κώδικας τροποποιήθηκε έτσι ώστε να χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες της Pythοn που είναι γραμμένες σε γλώσσα προγραμματισμού C. Η τροποποίηση αυτή κρίθηκε σκόπιμη για δύο κυρίως λόγους. Αφενός επειδή ο χρόνος εκτέλεσης της C είναι σημαντικά μικρότερος σε σχέση με τη Java και αφετέρου, επειδή η CPython δεν απαιτεί την εγκατάσταση πρόσθετων εφαρμογών (Java) στον H/Y. Παράλληλα, η εμφάνιση του περιβάλλοντος διεπαφής της ανεξάρτητης εφαρμογής προσαρμόζεται στο λειτουργικό σύστημα του H/Y του χρήστη, αφού η υλοποίηση έγινε χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη wxWidgets (wxWidgets), που στην πραγματικότητα αξιοποιεί τα γραφικά αντικείμενα (παράθυρα, πλήκτρα, κλπ.) του λειτουργικού συστήματος, σε αντίθεση με την Java που χρησιμοποιεί “δικά της” γραφικά αντικείμενα.

Τέλος, κατά το στάδιο της εκσφαλμάτωσης, διενεργήθηκαν ανεξάρτητοι έλεγχοι και των δύο υλοποιήσεων της εφαρμογής με ερωτήματα απλά και σύνθετα, στις βάσεις δεδομένων αρκετών οικισμών. Κάποια λογικά και προγραμματιστικά σφάλματα που διαπιστώθηκαν κατά τους ελέγχους οδήγησαν στον επανασχεδιασμό ορισμένων τμημάτων της εφαρμογής με αποτέλεσμα, αφενός την απαλοιφή των σφαλμάτων και αφετέρου τη σημαντική, σε ορισμένες περιπτώσεις, βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας.

5. Παραδείγματα εφαρμογής

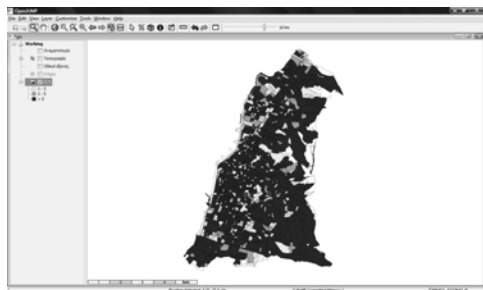
Στην ενότητα αυτή δίνονται ορισμένα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα χρήσης του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών αναπαράστασης του δομικού πλούτου. Τα παραδείγματα αναφέρονται σε έναν αστικό Δήμο της χώρας, το Δήμο Πατρέων, που μπορεί να θεωρηθεί ως αντιπροσωπευτική περιοχή μελέτης.

Το πρώτο παράδειγμα αφορά στην ερώτηση: ποιές είναι οι συχνότητες των κτηρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο του Δήμου Πατρέων που έχουν κατασκευαστεί προ του έτους 1985; Η απάντηση στο ερώτημα αποδίδεται με τη μορφή του χωροπληθής χάρτη συχνοτήτων που απεικονίζεται στην Εικόνα 8.

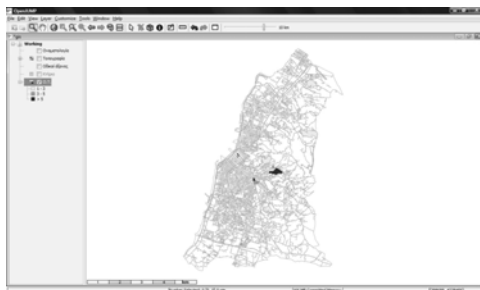
Το δεύτερο παράδειγμα αφορά σε μία πιο σύνθετη ερώτηση, στην ερώτηση: ποιές είναι οι συχνότητες των κτηρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο του Δήμου Πατρέων που έχουν κατασκευαστεί προ του έτους 1985 και έχουν πιλοτή; Η απάντηση στο ερώτημα αποδίδεται με τη μορφή του χωροπληθής χάρτη συχνοτήτων που απεικονίζεται στην Εικόνα 9.

Παρατηρείται ότι σε σύγκριση με το χάρτη της Εικόνας 8 οι περιπτώσεις που ικανοποιούν το δεύτερο ερώτημα (Εικόνα 9) μειώνονται δραστικά, όπως άλλωστε

αναμενόταν. Συγκεκριμένα, επί συνόλου 1963 οικοδομικών τετραγώνων που περιλαμβάνονται στο Δήμο Πατρέων, 1874 από αυτά έχουν κτίσματα που κατασκευάστηκαν προ του έτους 1985 και μόλις 109 οικοδομικά τετράγωνα έχουν κτήρια που κατασκευάστηκαν προ του έτους 1985 και έχουν πιλοτή.

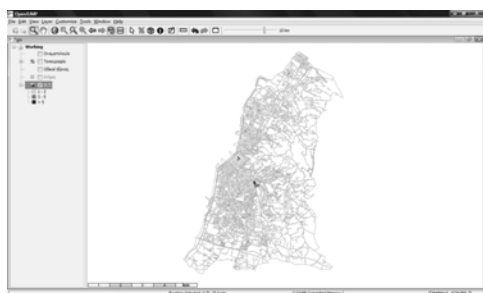


Εικόνα 8: Χάρτης πρώτης ερώτησης (Συχνότητες των κτηρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο του Δήμου Πατρέων που έχουν κατασκευαστεί προ του έτους 1985).

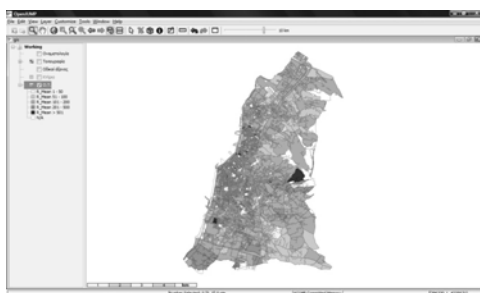


Εικόνα 9: Χάρτης δεύτερης ερώτησης (Συχνότητες των κτηρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο του Δήμου Πατρέων που έχουν κατασκευαστεί προ του έτους 1985 και έχουν πιλοτή).

Το τρίτο παράδειγμα αφορά σε μιά ακόμα πιό σύνθετη ερώτηση, στην ερώτηση: ποιές είναι οι συχνότητες των κτηρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο του Δήμου Πατρέων που έχουν κατασκευαστεί προ του έτους 1985, έχουν πιλοτή και βρίσκονται σε επαφή; Η απάντηση στο ερώτημα αποδίδεται με τη μορφή του χωροπληθής χάρτη συχνοτήτων που απεικονίζεται στην Εικόνα 10. Στο παράδειγμα της σύνθετης αυτής ερώτησης επισημαίνεται ότι μόνον 71 οικοδομικά τετράγωνα του Δήμου Πατρέων έχουν κτήρια που κατασκευάστηκαν προ του έτους 1985, έχουν πιλοτή και βρίσκονται σε επαφή.



Εικόνα 10: Χάρτης τρίτης ερώτησης (Συχνότητες των κτηρίων ανά οικοδομικό τετράγωνο του Δήμου Πατρέων που έχουν κατασκευαστεί προ του έτους 1985, έχουν πιλοτή και βρίσκονται σε επαφή).



Εικόνα 11: Χάρτης τέταρτης ερώτησης (Χωροπληθής απεικόνιση της μέσης σεισμικής δικινδύνευσης ανά οικοδομικό τετράγωνο).

Στο τελευταίο παράδειγμα υποβάλλεται από το χρήστη η ερώτηση: ποιά είναι η κατανομή της μέσης σεισμικής διακινδύνευσης στην έκταση που καταλαμβάνει ο Δήμος Πατρέων; Η απάντηση στην ερώτηση απεικονίζεται με τη μορφή χωροπληθής χάρτη στην Εικόνα 11.

6. Τελικές επισημάνσεις

Το σύστημα αναπαράστασης του δομικού πλούτου και της σεισμικής του διακινδύνευσης που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή, πρόκειται να εγκατασταθεί στις τεχνικές υπηρεσίες των Ο.Τ.Α. της χώρας και να αποτελέσει ένα τεχνολογικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων και μέτρων με σκοπό τη σεισμική θωράκιση των δομικών κατασκευών. Είναι ένα εργαλείο «ανοικτό» στη φιλοσοφία και υλοποίησή του και παράλληλα, ικανό να βοηθήσει σε επίπεδο σχεδιασμού την ανάπτυξη σχετικών προγραμμάτων. Κατά το σχεδιασμό του έγινε πρόβλεψη ώστε να είναι εφικτή η δυνατότητα ολοκληρωμένης ενσωμάτωσης μελλοντικών απογραφών που θα διεξαχθούν από την Ε.Σ.Υ.Ε. (γενικής απογραφής πληθυσμού και απογραφής κτηρίων) ή και νέων, αναθεωρημένων ή ενημερωμένων χαρτογραφικών ψηφιακών υποβάθρων.

Βιβλιογραφία

- Anagnostopoulou S., Providakis C., Salvaneschic P., Athanasopoulos G. and Bonacina G., 2008. *SEISMOCARE: An efficient GIS tool for scenario-type investigations of seismic risk of existing cities*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28(2): 73–84.
- Bouhafs M., Si C., Lawson R.S. and Bouabid J., 1997. GIS Implementation of a Nationwide seismic risk assessment methodology. Proc. ESRI International User Conference, San Diego, California, 8-11 July 1997.
- Brewer, C.A., 2003. *A Transition in Improving Maps: The ColorBrewer Example*. Cartography and Geographic Information Science, 30(2): 159-162.
- Brewer, C.A., Hatchard, G.W. and Harrower, M.A., 2003. *ColorBrewer in Print: A catalog of Color Schemes for Maps*. Cartography and Geographic Information Science, 30(1): 5-32.
- Cutter S.L., Mitchell J.T. and Scott M.S., 1997. Handbook for conducting a GIS-based hazards assessment at the county level. South Carolina Emergency Preparedness Division.
- ESRI, 2006. Quick Guide to HAZUS-MH MR1, An ESRI White paper.
- Futagami Y., Morii M. and Kumamoto T., 2009. *Construction and integration of GIS databases for risk assessment of nationally designated cultural properties due to earthquakes and typhoons in Japan*. Proc. 22nd CIPA Symposium, October 11-15, 2009, Kyoto, Japan.
- Harrower, M. and Brewer C.A., 2003. *ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps*. The Cartographic Journal, 40(1): 27-37.

- Hunter L., 1998. *GIS and Natural Hazard Loss Assessment*. Proc. 10th Colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, New Zealand, 16-19 November 1998.
- Leon F. and Atanasiu G.M., 2007. *Seismic Hazard Analysis of Iasi City using Geographical Information Systems*. Proc. 2nd Nordic Geographers Meeting, Bergen 15-17 June 2007.
- Miura H. and Midorikawa S., 2006. *Updating GIS Building Inventory Data Using High-Resolution Satellite Images for Earthquake Damage Assessment: Application to Metro Manila, Philippines*. *Earthquake Spectra*, 22(1) 151-168.
- Νάκος, Β., Βουγιούκας, Μ., Τζελέπης, Ν., Ζάννου, Δ. και Ζαχαρής, Ε., 2009. *Ανάπτυξη λογισμικού Σ.Γ.Π. για την αναπαράσταση του δομικού πλούτου των Ο.Τ.Α. της χώρας και της σεισμικής τρωτότητας σε επίπεδο οικοδομικών τετραγώνων*. Τελική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- O'Rourke, T.D., Jeon S.S., Eguchi R.T. and Huyck C.K., 2001. *Advanced GIS for Loss Estimation and Rapid Post-Earthquake Assessment of Building Damage*. MCEER Research Progress and Accomplishments 2000-2001.
- Python Programming Language, <http://python.org>
- Rashed, T. and Weeks J., 2003. *Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multi-criteria analysis of urban areas*. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6): 547-576.
- Sarris A., Loupasakis C., Soupios P., Trigkas V. and Vallianatos F., 2009. *Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece*. *Natural Hazards*, DOI:10.1007/s11069-009-9475-z.
- Savvaidis P., Doukas I.D., Tziavos I.N., Kiratzi A., Savvaidis A., Koutoupes S. and Karantonis G., 2004. *Evaluation and exploitation of earthquake damage to buildings based on GIS techniques*. Proc. International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional practice in Geodesy and related fields. Sofia, 4-5 November 2004.
- The Jython Project: "Python for the Java Platform", <http://www.jython.org>
- Zonno G., Cella F., Luzi L., Menoni S., Meroni F., Ober G., Pergalani F., Petrini V., Tomasoni R., Carrara P., Musella D., Garcia-Fernandez M., Jimenez M. J., Canas Torres J. A., Alfaro A. J., Barbat A. H., Mena U., Pujades L. G., Soeters R., Terlien M. T. J., Cherubini A., Angeletti P., Di Benedetto A., Caleffi M., Wagner J. J. & Rosset P., 1998. *Assessing seismic risk at different geographical scales: concepts, tools, and procedures*. Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, 6-11 September 1998.
- wxPython: "Cross-Platform GUI Library", <http://www.wxwidgets.org>