



Χαρτογραφική Επιστημονική
Εταιρεία Ελλάδας
Μέλος της ICA
<http://xeee.web.auth.gr>

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

Χαρτογραφία & Χωρική Πληροφορία στην Τοπική Αυτοδιοίκηση



12^ο

Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας

ΑΙΘΟΥΣΑ ΕΚΔΗΛΩΣΕΩΝ “ΚΟΒΕΝΤΑΡΕΙΟ” - ΚΟΖΑΝΗ
ΤΕΛΕΤΗ ΕΝΑΡΞΗΣ: 10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2012
ΕΓΚΑΙΝΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ: 11 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2012
Από τη Μελούνα στην Κοζάνη, 1912 / ΑΡΧΟΝΤΙΚΟ ΛΑΣΣΑΝΗ

ΚΟΖΑΝΗ
10-12
ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ
2012

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΟΥ 12^{ου} ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ, 2012
Χαρτογραφία και Χωρική Πληροφορία στην Τοπική Αυτοδιοίκηση

HELLENIC CARTOGRAPHIC SOCIETY
PROCEEDINGS OF THE 12th NATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 2012
Cartography, Geoinformation and Local Governance

Επιμέλεια έκδοσης: Τσορλίνη Αγγελική, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, Δρ. Μηχ. ΑΠΘ



© Copyright, 2014, XEEE – HCS

978-960-88380-5-5

XEEE – Ταχ. Θυρίδα 1644/541 24, Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310 996095 • Fax 2310 996415
e-mail: xeee-conf@topo.auth.gr
<http://xeee.web.auth.gr>

HCS – P.O. Box 1644/GR 541 24, Thessaloniki, Greece
Tel. +30 2310 996095 • Fax +30 2310 996415
e-mail: xeee-conf@topo.auth.gr
<http://xeee.web.auth.gr>



Φωτοστοχειοθεσία
Εκτύπωση

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ
18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 23920 72.222 (10 γραμ.) - Fax: 23920 72.229
e-mail: info@ziti.gr

Βιβλιοπωλείο

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ
Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310 203.720, Fax 2310 211.305
e-mail: sales@ziti.gr

www.ziti.gr

Ένα σύστημα διαχείρισης του δομικού πλούτου και της σεισμικής διακινδύνευσης κτιρίων. Εφαρμογή στην πόλη της Κοζάνης

Βύρωνας Νάκος¹, Νικόλαος Τζελέπης², Ευάγγελος Ζαχαρίας³

- (1) Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
Ηρώων Πολυτεχνείου 9 - Ζωγράφος 15780, 210-7722733, bnakos@central.ntua.gr
- (2) Υποψήφιος διδάκτορας
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
Ηρώων Πολυτεχνείου 9 - Ζωγράφος 15780, 210-7722772, niktzel@survey.ntua.gr
- (3) Υποψήφιος διδάκτορας
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
Ηρώων Πολυτεχνείου 9 - Ζωγράφος 15780, 210-7722754, vanzach@survey.ntua.gr

Περίληψη

Στην εργασία παρουσιάζεται ένα σύστημα διαχείρισης και οπτικοποίησης των στοιχείων της γενικής απογραφής κτιρίων του έτους 2001 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.Ε.), σε επίπεδο ανάλυσης οικοδομικών τετραγώνων, με αξιοποίηση της τεχνολογίας των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Στο πλαίσιο του έργου αναπτύχθηκαν δύο κατηγορίες εφαρμογών με σκοπό τον εντοπισμό κρίσιμων δομικών κατασκευών (νοσοκομεία, σχολεία κλπ.) της χώρας για τις οποίες μπορούν να εκπονηθούν κατάλληλα προγράμματα αντισεισμικής θωράκισης των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, με την πρώτη κατηγορία εφαρμογών, δομήθηκε ένα εξειδικευμένο υπολογιστικό περιβάλλον ικανό να υποστηρίξει τη στατιστική ανάλυση ορισμένων κρίσιμων ιδιοτήτων των δομικών κατασκευών που σχετίζονται άμεσα με παραμέτρους ενίσχυσης ώστε να θωρακιστούν απέναντι σε πιθανά μελλοντικά σεισμικά γεγονότα. Με τη δεύτερη κατηγορία εφαρμογών, υπολογίστηκαν δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης του δομικού πλούτου της χώρας για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων. Τέλος, παρουσιάζονται οι δυνατότητες ανάλυσης και οπτικοποίησης του συστήματος καθώς και η λειτουργικότητά του εστιάζοντας στην πόλη της Κοζάνης.

Abstract

In this paper we present a system for managing and visualizing the outcome of buildings census carried out in 2001 by the National Statistical Service of Greece (NSSG) by exploiting the technology of geographic information systems. Our aims were to develop two categories of applications able to identify critical constructions (hospitals, schools, etc.) through the country for which we can elaborate programs of earthquake-proofing buildings. Most specifically, a specialized computing environment was designed and implemented able to support the statistical analysis of some key properties of constructions directly related to critical parameters in order to shield buildings against potential future

seismic events. In addition a special index of seismic vulnerability of building was calculated for entire the country by retrieving appropriate data of the census as well as a model of the seismic vulnerability of buildings was created. Finally, we present the system's capabilities on data analysis, visualization and its functionality by focusing on the city of Kozani.

Λέξεις κλειδιά: γενική απογραφή κτιρίων, δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης κτιρίων, οπτικοποίηση, θεματικοί χάρτες.



1. Εισαγωγή

Στα στοιχεία της απογραφής των κτιρίων περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την περίοδο κατασκευής των κτιρίων, τον αριθμό ορόφων, το είδος του φέροντος οργανισμού, την κύρια ή δευτερεύουσα χρήση, την ύπαρξη πιλοτής, την ύπαρξη επαφής με τα γειτονικά κτίρια κ.ά. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη προγραμμάτων ενίσχυσης των κτιρίων, από τους φορείς της τοπικής, της κεντρικής διοίκησης αλλά και ιδιώτες, σε σχέση με σεισμικά γεγονότα που πιθανά να συμβούν στο μέλλον, 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 κτιρίων του έτους 2001 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος (πλέον Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, όπως μετονομάστηκε το έτος 2010), άμεσα συσχετισμένου με τα ψηφιακά υπόβαθρα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης της χώρας, σε περιβάλλον τεχνολογίας συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών¹. Στο ίδιο σύστημα, επιπλέον, δημιουργήθηκε ένα χωρικό μοντέλο δεικτών σεισμικής διακινδύνευσης των δομικών κατασκευών ανά οικοδομικό τετράγωνο, που αξιοποιεί τα παραπάνω στοιχεία. Τέλος, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα ειδικό λογισμικό διαπαφής για τη χρήση του συστήματος, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί από τους μελλοντικούς χρήστες που χαρακτηρίζεται φιλικότητα στη χρήση του.

2. Δεδομένα συστήματος

Το σύστημα χρησιμοποιεί 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 κτιρίων του έτους 2001 της Ε.Σ.Υ.Ε., μια καθολική καταγραφή, στην οποία είναι καταχωρημένες οι ιδιότητες περίπου τεσσάρων εκατομμυρίων κτιρίων. Η τρίτη ομάδα δεδομένων περιλαμ-

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.

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

2.1. 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 διοικητικό θεσμικό πλαίσιο του «Καποδίστρια» περιελάμβανε 1.034 Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Σε κάθε ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο οικισμού απεικονίζονται οι ακόλουθες χωρικές ενότητες:

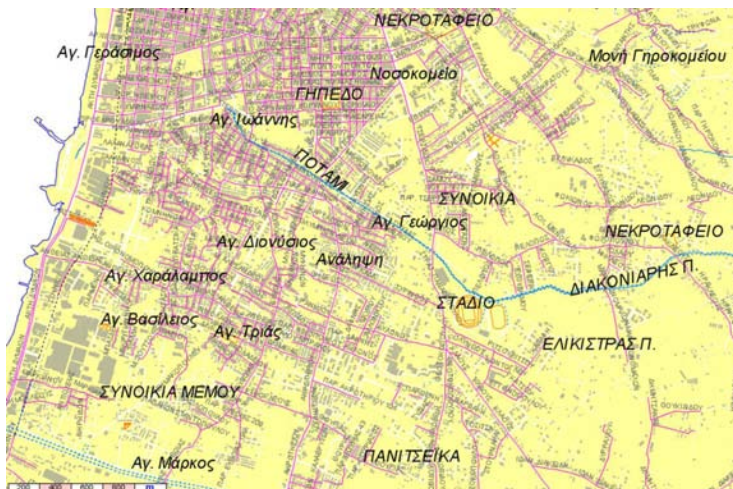
Οδοί άξονες. Η χωρική ενότητα των οδικών αξόνων έχει γεωμετρική δομή τοπολογικά δομημένων γραμμών. Στις ιδιότητες της χωρικής ενότητας περιλαμβάνεται η ονομασία των δρόμων με αλφαριθμητικούς χαρακτήρες.

Κτίρια. Η χωρική ενότητα των κτιρίων αναπαριστά το περίγραμμα των κτιρίων 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 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 τοπωνύ-



Εικόνα 1. Οι χωρικές ενότητες του ψηφιακού χαρτογραφικού υποβάθρου.

μια (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 1 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.

Το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο 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 αναφέρεται στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987.

2.2. Γενική απογραφή κτιρίων του 2001

Η γενική απογραφή κτιρίων του έτους 2001 διεξήχθη κατά το τέλος του προηγούμενου έτους (Δεκέμβριος 2000) από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος. Ύστερα από συνεργασία με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος και λόγω της σημασίας της διακινδύνευσης του δομικού πλούτου της χώρας από πιθανά σεισμικά μελλοντικά γεγονότα, κατά την απογραφή, καταγράφηκαν ορισμένες σημαντικές ιδιότητες των κτιρίων σχετικές με τη δυνατότητα εκτίμησης της σεισμικής τους διακινδύνευσης. Οι ιδιότητες αυτές αφορούν σε κρίσιμες πληροφορίες όπως είναι η περίοδος κατασκευής, ο φέροντας οργανισμός, ο αριθμός των ορόφων, η ύπαρξη πιλοτής ή πληροφορίες που αφορούν στη χρήση του κτιρίου (κύρια και δευτερεύουσα) κ.ά. Κατά τη γενική απογραφή καταγράφηκαν συνολικά περίπου 4.000.000 κτίρια σε ολόκληρη τη χώρα.

2.3. Πίνακες αντιστοίχισης

Παρατηρώντας τη χρονική αναντιστοιχία που παρουσιάζεται μεταξύ των δύο πρώτων ομάδων δεδομένων, δηλαδή μεταξύ των ψηφιακών υποβάθρων και των στοιχείων της απογραφής κτιρίων, είναι προφανές ότι η προσπάθεια εκχώρησης γεωγραφικής αναφοράς στα στοιχεία της απογραφής κτιρίων μέσω των ψηφιακών υποβάθρων είναι προβληματική. Στο χρονικό διάστημα μεταξύ των ετών 1996 και 2001, είναι γεγονός ότι δομήθηκαν πολλά κτίρια για τα οποία συλλέχθηκαν τα στοιχεία τους κατά την απογραφή αλλά δεν απεικονίζονται στα ψηφιακά υπόβαθρα. Επιπλέον, η κωδικοποίηση των κτιρίων στα στοιχεία της γενικής απογραφής είναι ασύμβατη με την κωδικοποίηση που υπάρχει στα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα.

Η κωδικοποίηση των κτιρίων στα στοιχεία της γενικής απογραφής κτιρίων ακολουθεί ένα αυθαίρετο σχήμα αρίθμησης που ορίστηκε από τους απογραφείς. Από την άλλη, η κωδικοποίηση των κτιρίων στα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα ορίστηκε με την αυτοματοποιημένη διαδικασία αρίθμησης του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία τους. Το γεγονός αυτό καθιστά αδύνατη τη συσχέτιση των στοιχείων της γενικής απογραφής κτιρίων με τη χωρική ενότητα των κτιρίων των ψηφιακών χαρτογραφικών υποβάθρων. Επιπλέον, λόγω του χαρακτήρα του απορρήτου της χρήσης των πρωτογενών στοιχείων κάθε απογραφής, η γεωαναφορά τους αποδόθηκε με τη βοήθεια της χωρικής

ενότητας των οικοδομικών τετραγώνων. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι κατά το διάστημα 1996-2001 έχουν γίνει στο σύνολο των οικισμών της χώρας πολλές μεταβολές της δομής των οικοδομικών τετραγώνων, μεταβολές που αφορούν είτε σε συγχώνευση ή σε δημιουργία νέων οικοδομικών τετραγώνων. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της πιθανής ασυμβατότητας μεταξύ απογραφής και ψηφιακών υποβάθρων, με βάση τα πρωτογενή στοιχεία που διατηρεί η Ε.Σ.Υ.Ε. και κυρίως τα αναλογικά διαγράμματα που χρησιμοποίησαν οι απογραφείς κατά τη διαδικασία της γενικής απογραφής κτιρίων, δημιουργήθηκαν πίνακες αντιστοίχισης των κωδικών των οικοδομικών τετραγώνων μεταξύ των αρχείων της αντίστοιχης χωρικής ενότητας του ψηφιακού χαρτογραφικού υπόβαθρου και των στοιχείων της γενικής απογραφής κτιρίων του έτους 2001 ανά οικισμό. Οι πίνακες αυτοί καλύπτουν 537 οικισμούς επί συνόλου 603 οικισμών για τους οποίους είναι διαθέσιμα τα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα.

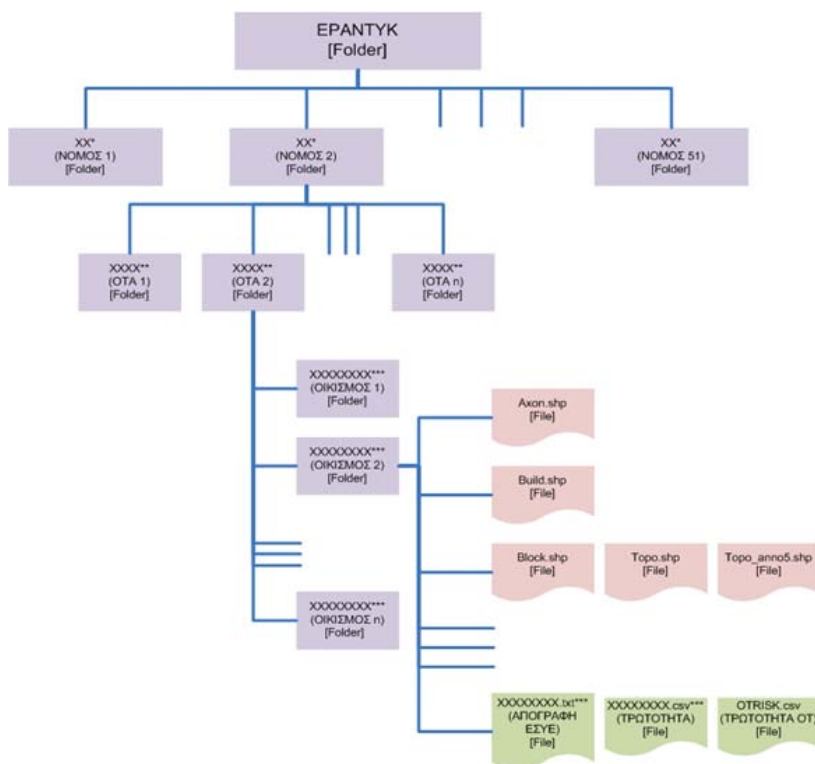
Εξετάζοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς αντιστοίχισης των κωδικών των οικοδομικών τετραγώνων, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι οι πιθανές σχέσεις μεταξύ των κωδικών, είναι εν γένει σχέσεις του τύπου: ορισμένα-προς-κάποια. Η επισήμανση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στο δημιουργούμενο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών του δομικού πλούτου ένας αριθμός οικοδομικών τετραγώνων σε κάθε οικισμό πρέπει να συγχωνευτεί σε σύνθετες χωρικές οντότητες.

3. Σχεδιασμός και ανάπτυξη συστήματος

Για τις ανάγκες του συστήματος σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μια χωρική βάση δεδομένων με σκοπό την αναπαράσταση του δομικού πλούτου της χώρας. Η ανάπτυξη της χωρικής βάσης βασίζεται στο ιεραρχικό μοντέλο δόμησης ώστε να 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.

3.1. 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 που χρησιμοποιεί η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος. Σε κάθε υποκατάλογο νομού παρουσιάζονται οι υποκατάλογοι των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) που περιλαμβάνονται σε αυτόν. Η ονομασίες των υποκαταλόγων των ΟΤΑ ταυτίζονται με τον τετραψήφιο κωδικό που χρησιμοποιεί η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος. Τέλος, σε κάθε υποκατάλογο ΟΤΑ παρουσιάζονται με μορφή υποκαταλόγου οι οικισμοί που περιλαμβάνονται σε αυτόν με ονομασία που ταυτίζεται με το οκτα-ψήφιο κωδικό που χρησιμοποιεί η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος. Σε κάθε υποκατάλογο οικισμού παρουσιάζονται τα αρχεία του ψηφιακού του χαρτογραφικού υποβάθρου, τα αρχεία των στοιχείων της γενικής απογραφής κτιρίων, τα αρχεία με τους υπολογισμένους δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων καθώς και διάφορα 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 ψη-



Εικόνα 2. Δομή της χωρικής βάσης δεδομένων του δομικού πλούτου (* Διψήφιος κωδικός νομού, ** τετραψήφιος κωδικός Ο.Τ.Α. και *** οκτα-ψήφιος κωδικός οικισμού κατά Ε.Σ.Υ.Ε.).

φιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο, ο υποκατάλογος του οικισμού περιλαμβάνει το σχετικό αρχείο με τα στοιχεία της γενικής απογραφής κτιρίων και των δεικτών της σεισμικής διακινδύνευσης του δομικού πλούτου.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται σε διαγραμματική μορφή η δομή της χωρικής βάσης δεδομένων του δομικού πλούτου.

3.2. Μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης κτιρίων

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

$$R = n D S, \text{ όπου: } n \text{ είναι ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου, } D \text{ είναι ο μέσος βαθμός βλάβης και } S \text{ είναι ο δείκτης σεισμικής δράσης.}$$

Ο μέσος βαθμός βλάβης (D) συσχετίζεται με την περίοδο κατασκευής του κτιρίου, 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

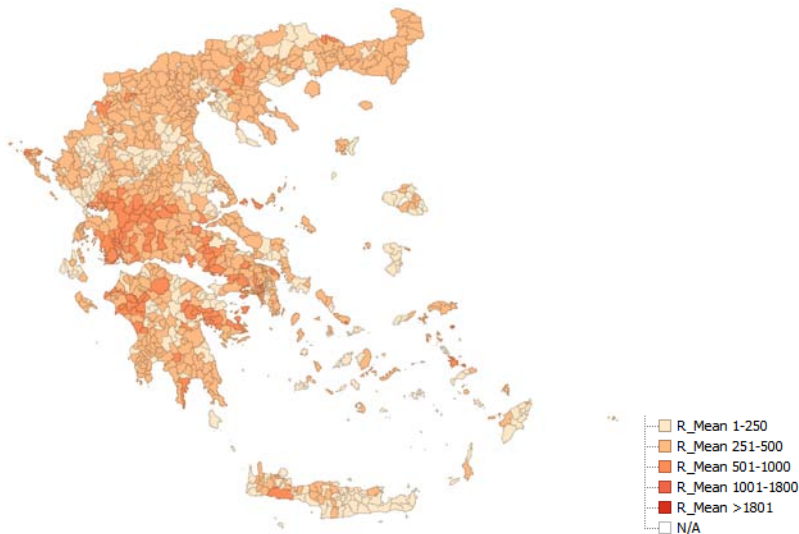
το κτίριο ανάλογα με τον υφιστάμενο κατασκευαστικό θεσμικό πλαίσιο της περιόδου κατασκευής.

Με βάση την αριθμητική μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης κτιρίων, υπολογίστηκε η τιμή της σεισμικής διακινδύνευσης (R) για τα περίπου 4.000.000 κτίρια που περιλαμβάνονται στη γενική απογραφή κτιρίων.

3.2.1. 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 κτιρίων εκφράζει την αντιπροσωπευτική τιμή της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων που περιλαμβάνονται στο οικοδομικό τετράγωνο. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται με τη μορφή χωροπληθή χάρτη η μέση τιμή της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων σε επίπεδο ανάλυσης Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης της χώρας.



Εικόνα 3. Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης σε επίπεδο ανάλυσης ΟΤΑ της χώρας.

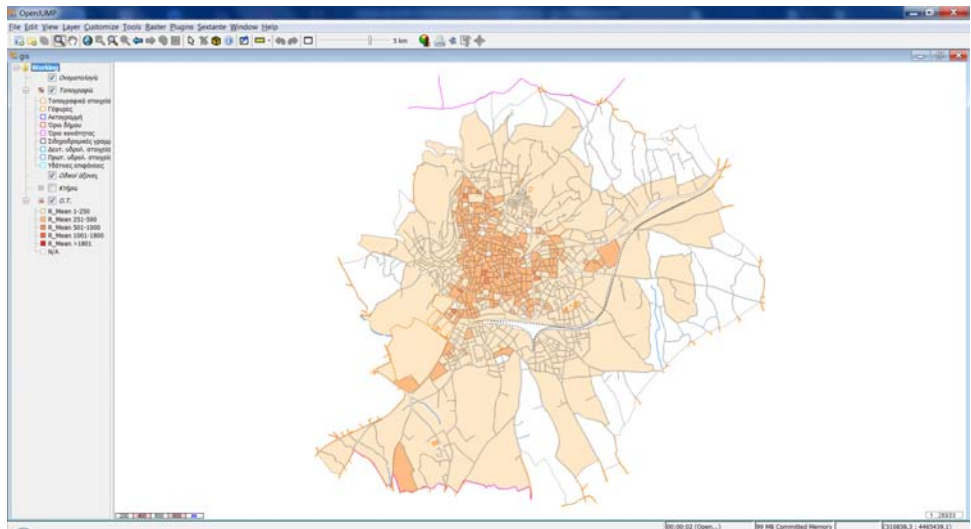
Μεταβλητότητα. Ο δείκτης της μεταβλητότητας της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων εκφράζει τη διασπορά των τιμών της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων που περιλαμβάνονται στο οικοδομικό τετράγωνο.

Μέγιστη τιμή. Ο δείκτης της μέγιστης τιμής της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων εκφράζει τη δυσμενέστερη περίπτωση όλων των τιμών της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων 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 κτιρίων 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 προ-

γράμματος επιτυγχάνοντας τη συσχέτιση με την χωρική ενότητα των οικοδομικών τετραγώνων. Οι χρήστες στο περιβάλλον του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών μπορούν να οπτικοποιήσουν τις τιμές των δεικτών υπό τη μορφή θεματικών χωροπληθών χαρτών για όσες περιοχές υπάρχουν τα ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα. Στις περιοχές που δεν καλύπτονται από ψηφιακά χαρτογραφικά υπόβαθρα, οι χρήστες μπορούν να οπτικοποιήσουν τις τιμές των δεικτών σεισμικής διακινδύνευσης με τη βοήθεια στατιστικών διαγραμμάτων.



Εικόνα 4. Το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών δομικού πλούτου της Κοζάνης

3.3. Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών 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 (Εικόνα 4). Στον ψηφιακό χάρτη χρησιμοποιούνται χαρτογραφικά σύμβολα που έχουν προεπιλεγεί ειδικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. 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).

Εκτός των βασικών χωρικών ενότητων που περιγράφηκαν, απεικονίζεται ο δείκτης της μέσης σεισμικής διακινδύνευσης με χωροπληθή χάρτη, εφαρμόζοντας την ίδια ομαδοποίηση σε όλους τους οικισμούς για λόγους ενιαίας αναφοράς και σύγκρισης. Ο χρήστης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να απενεργοποιήσει ή να επαναφέρει όποιο από τα επίπεδο πληροφορίας επιθυμεί ή να τροποποιήσει το συμβολισμό του. Επισημαίνεται ότι, ανάλογα με το επίπεδο μεγέθυνσης, παρουσιάζονται στην οθόνη του υπολογιστή όσες από τις χωρικές ενότητες είναι οπτικά αντιληπτές στη συγκεκριμένη κλίμακα.

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

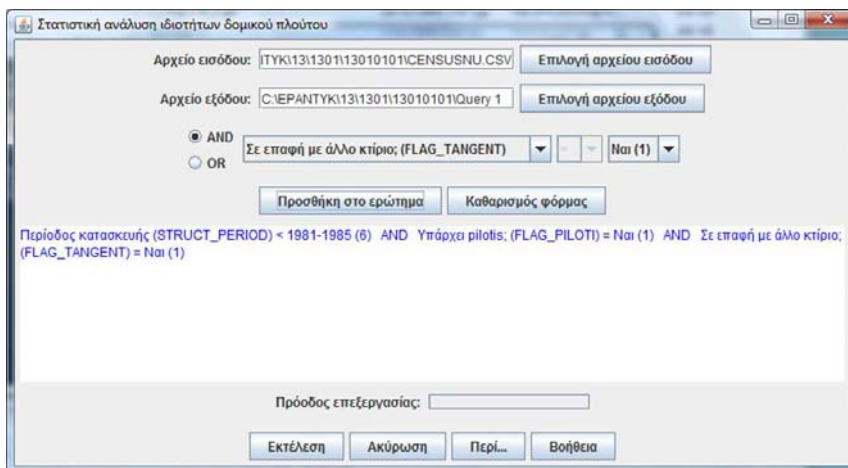
Για την ανάλυση του δομικού πλούτου και τον υπολογισμό στατιστικών μεγεθών των ιδιοτήτων του σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μια ειδική εφαρμογή η οποία, αξιοποιώντας τα πεδία της βάσης δεδομένων, επιτρέπει τον σχηματισμό ερωτημάτων για τον υπολογισμό συχνοτήτων. Η εφαρμογή σχεδιάστηκε έτσι ώστε: (α) να μην εξαρτάται από το περιβάλλον εργασίας του υπολογιστή (φορητότητα), και (β) 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 βάση δεδομένων για κάθε οικισμό, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και οι δείκτες σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων, 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 συνδυασμό 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 συνδυασμό 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, κ.ά. (Εικόνα 5).

Στο δεύτερο στάδιο, αυτό της ανάπτυξης, υλοποιήθηκε η εφαρμογή αξιοποιώντας τις βιβλιοθήκες της γλώσσας *Python*. Επισημαίνεται ότι η εφαρμογή υλοποιήθηκε πρώτα σε γλώσσα προγραμματισμού *Jython*, ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεσή της από το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού *OpenJUMP*. Στη συνέχεια, και αφού έγιναν κάποιοι βασικοί έλεγχοι για την ποιότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, ο κώδικας τροποποιήθηκε έτσι ώστε να χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες της γλώσσας *Python* που είναι γραμμένες σε γλώσσα προγραμματισμού *C*. Η τροποποίηση αυτή κρίθηκε σκόπιμη για δύο κυρίως λόγους. Αφενός επειδή ο χρόνος εκτέλεσης της γλώσσας *C* είναι σημαντικά μικρότερος σε σχέση με τη γλώσσα προγραμματισμού *Java*, αφετέρου επειδή η γλώσσα προγραμματισμού *CPython* δεν απαιτεί την εγκατάσταση πρόσθετων εφαρμογών (*Java*)



Εικόνα 5. Λογισμικό στατιστικής ανάλυσης ιδιοτήτων δομικού πλούτου.

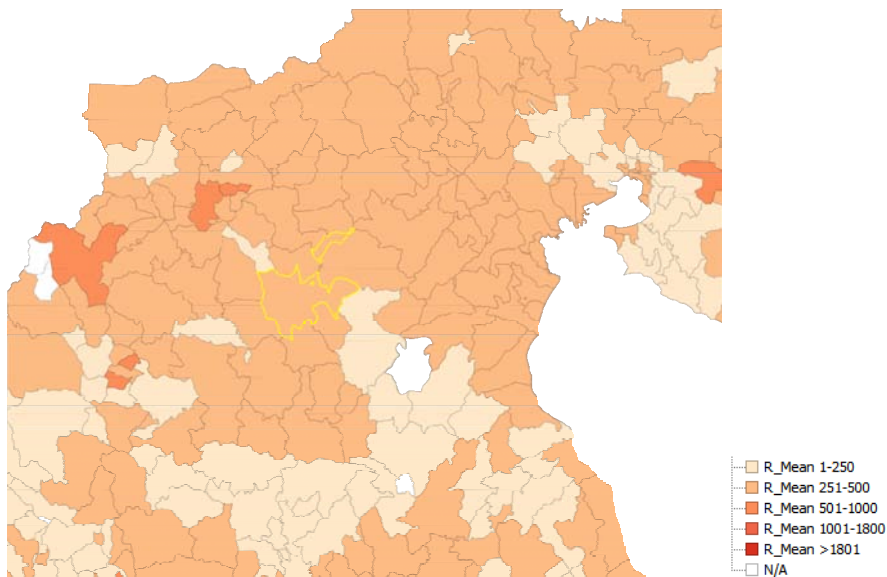
στον υπολογιστή. Παράλληλα, η εμφάνιση του περιβάλλοντος διεπαφής της ανεξάρτητης εφαρμογής προσαρμόζεται στο λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή του χρήστη, αφού η υλοποίηση έγινε χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη wxWidgets (wxWidgets), που στην πραγματικότητα αξιοποιεί τα γραφικά αντικείμενα (παράθυρα, πλήκτρα, κλπ.) του λειτουργικού συστήματος, σε αντίθεση με τη γλώσσα 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, αφετέρου τη σημαντική, σε ορισμένες περιπτώσεις, βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας.

4. Παραδείγματα εφαρμογής του συστήματος στην πόλη της Κοζάνης

Το αρχείο της απογραφής κτιρίων της πόλης της Κοζάνης περιέχει 5.841 κτίρια, καταμεμημένα σε 612 οικοδομικά τετράγωνα. Συνολικά η περιοχή του δήμου Κοζάνης εντάσσεται διαχρονικά στη χαμηλότερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται με τη μορφή χωροπληθή χάρτη η μέση τιμή της σεισμικής διακινδύνευσης των κτιρίων σε επίπεδο ανάλυσης Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Με τον υπολογισμό των συχνοτήτων εμφάνισης για τις διαφορετικές τιμές των ιδιοτήτων δομικού πλούτου, μπορούν να σχεδιασθούν στατιστικά διαγράμματα κατανομής που βοηθούν στην κατανόηση της γενικότερης ταυτότητας του οικισμού. Παράλληλα, τα διαγράμματα αυτά παρέχουν ένα πλαίσιο αναφοράς του εύρους των τιμών και της γενικότερης συμπεριφοράς των ιδιοτήτων των κτιρίων για την περιοχή μελέτης, που βοηθά το σχηματισμό ερωτημάτων και την οπτικοποίησή τους.



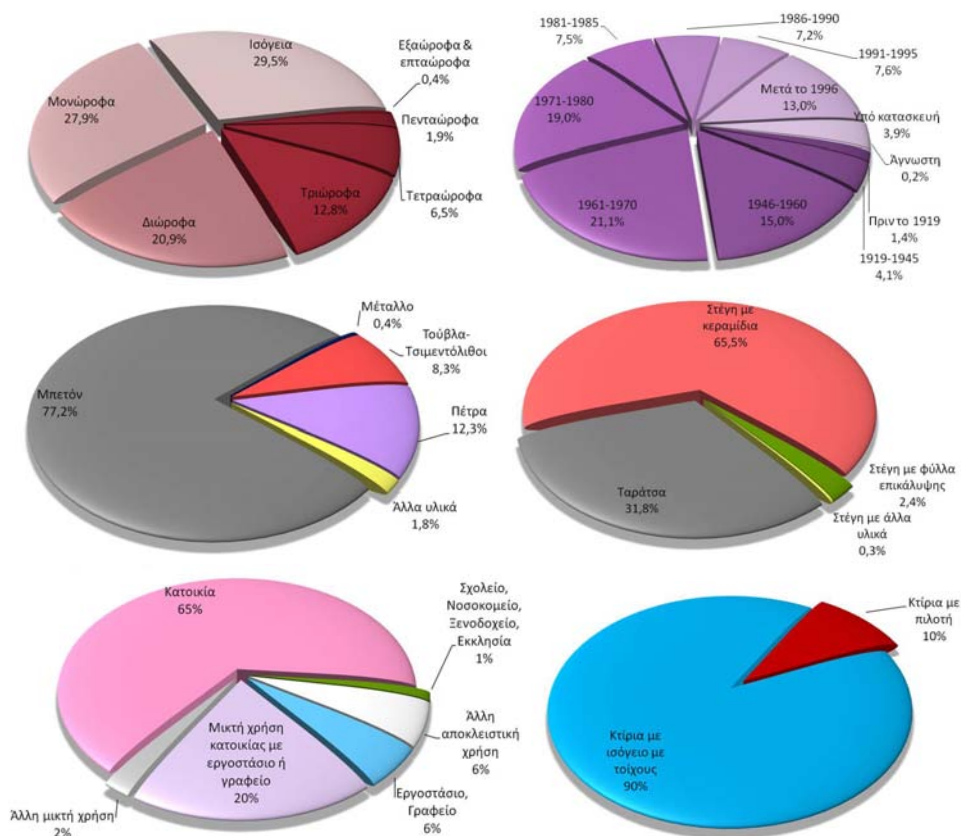
Εικόνα 6. Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης των ΟΤΑ της Δυτικής Μακεδονίας.

4.1. Στατιστικά διαγράμματα

Στην Εικόνα 7, παρουσιάζεται μια σειρά στατιστικών διαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν με το λογισμικό ανοικτού κώδικα, *LibreOffice Calc*, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του γραφήματος κυκλικών τομέων. Απεικονίζουν την κατανομή έξι βασικών ιδιοτήτων των δομικών κατασκευών στην πόλη της Κοζάνης: το πλήθος ορόφων, η περίοδος κατασκευής, το υλικό κατασκευής του φέροντος οργανισμού, το υλικό κατασκευής της οροφής, τη χρήση των κτιρίων και τη διαμόρφωση του ισόγειου (ύπαρξη πιλοτής ή ισόγειου με τοίχους).

Κατά την εξέταση των γραφημάτων, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η μεγάλη πλειοψηφία των κτιρίων της πόλης (91,1%) δεν έχει περισσότερους από τρεις ορόφους και δεδομένου ότι το πλήθος ορόφων είναι γραμμικώς ανάλογο της σεισμικής διακινδύνευσης -όπως υπολογίζεται με το παραπάνω μοντέλο- το γεγονός αυτό μειώνει τη συνολική διακινδύνευση της πόλης.
- Περίπου τα μισά κτίρια (68,1%) έχουν κατασκευασθεί προ του 1985 και άρα παρουσιάζουν υψηλότερο μέσο βαθμό βλάβης στις κατασκευές από μπετόν, οι οποίες αντιστοιχούν στο 77,2% των κτιρίων. Υπάρχει επίσης ένα μη αμελητέο ποσοστό κατασκευών βασισμένων σε τοιχοποιία (8,3%), οι οποίες θα έχουν το μέγιστο μέσο βαθμό βλάβης.
- Μεγάλο ποσοστό κτιρίων έχουν στέγη με κεραμίδια (65,5%), στοιχείο που έχει περιβαλλοντική αλλά και αισθητική σημασία.
- Η χρήση των περισσότερων κτιρίων (85%) είναι αποκλειστικά για κατοικία ή έστω μαζί με τη χρήση γραφείου ή εργοστασίου.
- Μόνο ένα 10% των κτιρίων έχει πιλοτή αντί για ισόγειο με τοίχους, στοιχείο που δυσχεραίνει ελαφρώς το μέσο βαθμό βλάβης και την σεισμική επικινδυνότητα.

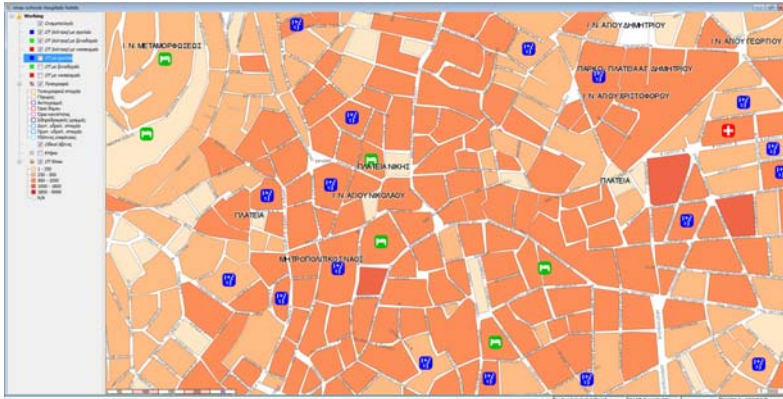


Εικόνα 7. Γραφήματα κυκλικών τομέων που απεικονίζουν την κατανομή βασικών ιδιοτήτων των κτιρίων της Κοζάνης: (α) πλήθος ορόφων, (β) περίοδος κατασκευής, (γ) κυρίως υλικό κατασκευής, (δ) υλικό οροφής, (ε) χρήση και (στ) διαμόρφωση ισογείου.

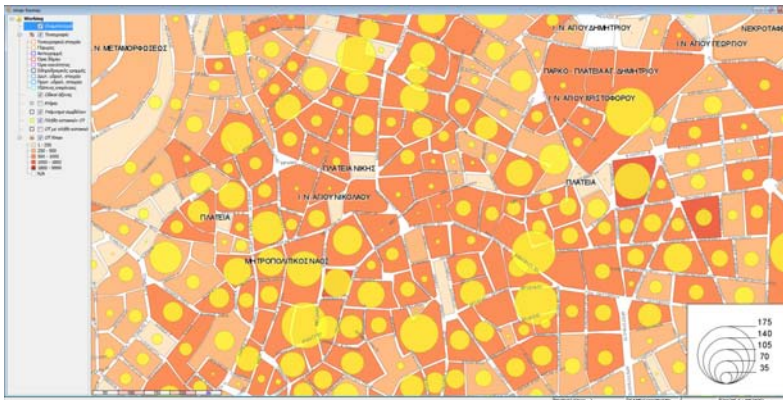
Τα παραπάνω συμπεράσματα χρησιμεύουν στο σχηματισμό κατάλληλων ερωτημάτων στη βάση δεδομένων δομικού πλούτου, που θα υποδεικνύουν κτίρια με δυσμενείς ιδιότητες ως προς τη σεισμική διακινδύνευση. Ένα τέτοιο ερώτημα είναι: «τα κτίρια με περίοδο κατασκευής προ του 1985, με κύριο υλικό το μπετόν, με περισσότερους από τρεις ορόφους και πιλοτή», το οποίο και οπτικοποιείται παρακάτω.

4.2. Οπτικοποίηση ιδιοτήτων δομικού πλούτου

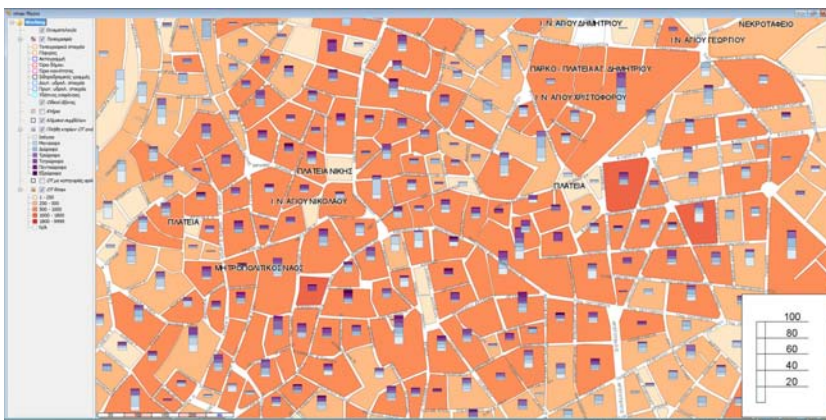
Στις παρακάτω Εικόνες, 8 έως 12, οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα ερωτημάτων που τέθηκαν στη βάση δεδομένων δομικού πλούτου της πόλης της Κοζάνης. Η οπτικοποίηση των ιδιοτήτων των κτιρίων γίνεται σε συνδυασμό με χωροπληθή απεικόνιση της μέγιστης σεισμικής διακινδύνευσης, προκειμένου να αξιολογηθούν παράλληλα. Για λόγους ευκρίνειας, η απεικονιζόμενη γεωγραφική έκταση έχει περιορισθεί σε κεντρική περιοχή της πόλης.



Εικόνα 8. Εντοπισμός οικοδομικών τετραγώνων με «ευαίσθητες» χρήσεις κτιρίων (σχολεία, νοσοκομεία και ξενοδοχεία) με εικονογραφικά σύμβολα.



Εικόνα 9. Απεικόνιση πλήθους κατοικιών με αναλογικά σημειακά σύμβολα.



Εικόνα 10. Απεικόνιση πλήθους κτιρίων ανά αριθμό ορόφων με τη βοήθεια γραφημάτων τύπου στήλης.



Εικόνα 11. Απεικόνιση πλήθους κτιρίων ανά περίοδο κατασκευής με τη βοήθεια γραφημάτων τύπου στήλης.



Εικόνα 12. Απεικόνιση πλήθους κτιρίων ανά κύριο υλικό κατασκευής με τη βοήθεια γραφημάτων τύπου στήλης.



Εικόνα 13. Εντοπισμός οικοδομικών τετραγώνων με κτίρια από μετόν που κατασκευάστηκαν προ του 1985 και έχουν τουλάχιστον 4 ορόφους και πιλοτή.

Στην Εικόνα 13, οπτικοποιούνται οι συχνότητες εμφάνισης «κτιρίων από μπετόν που έχουν κατασκευασθεί από το 1985 και πριν, με περισσότερους από τρεις ορόφους και πηλοτή», σύνθετο ερώτημα που προέκυψε από την επισκόπηση των γραφημάτων των κύριων ιδιοτήτων των κτιρίων για το σύνολο της πόλης.

5. Επίλογος

Το σύστημα διαχείρισης του δομικού πλούτου και αναπαράστασης της σεισμικής του διακινδύνευσης που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή, δημιουργήθηκε για να εγκατασταθεί στις τεχνικές υπηρεσίες των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης της χώρας και να αποτελέσει στο μέλλον 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 ενσωμάτωσης των απογραφών που θα διεξαχθούν στο μέλλον από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (γενικής απογραφής πληθυσμού και απογραφής κτιρίων) ή και νέων, αναθεωρημένων είτε ενημερωμένων χαρτογραφικών ψηφιακών υποβάθρων.

Βιβλιογραφία

- Brewer, C.A., 2003. "A Transition in Improving Maps: The ColorBrewer Example". *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 30, No 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*, Vol. 30, No 1, 5-32.
- Harrower, M. and Brewer C.A., 2003. "ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps". *The Cartographic Journal*, Vol. 40, No 1, 27-37.
- Νάκος, Β., Βουγιούκας, Μ., Τζελέπης, Ν., Ζάννου, Δ. και Ζαχαρίας, 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.
- Python Programming Language*, <http://python.org>
- The Jython Project: *Python for the Java Platform*, <http://www.jython.org>
- wxPython: *Cross-Platform GUI Library*, <http://www.wxwidgets.org>