

ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Διαχείριση σεισμικού κινδύνου με το λογισμικό Hazus"



ΜΟΥΤΣΟΚΑΠΑΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ

Επιβλέπων: Dr. Παπαθεοδώρου Κωνσταντίνος

ΣΕΡΡΕΣ 2005

## Περίληψη

## Εισαγωγή

## Ευχαριστίες

Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> Στοιχεία Φυσικών Καταστροφών	
1.1	Φυσικές καταστροφές ..... 1
1.2	Μακροσεισμικά αποτελέσματα ..... 2
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Ο σεισμικός κίνδυνος στην Ελλάδα	
2.1	Ιστορική αναδρομή (από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα)..... 7
2.2	Σεισμικότητα του ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών. Σεισμικός κίνδυνος στην Ελλάδα ..... 9
2.3	Σεισμικός χάρτης της Ελλάδας ..... 12
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> Μέτρα αντιμετώπισης	
3.1	Πρόγνωση των σεισμών ..... 14
3.2	Μέτρα αυτοπροστασίας από τους σεισμούς ..... 15
3.3	Αντισεισμική πολιτική στην Ελλάδα - η κατάσταση σήμερα ..... 16
3.4	Θεομοθετημένοι φορείς. Επιστημονική και τεχνολογική υποδομή ..... 16
3.5	Σχετική έρευνα ..... 18
3.6	Μέτρα αντιμετώπισης του σεισμικού κινδύνου ..... 19
3.7	Η διαχείριση του σεισμικού κινδύνου με τη χρησιμοποίηση ΓΣΠ..... 19
3.8	Διαχείριση σεισμικού κινδύνου. Διαθέσιμο λογισμικό ..... 21
3.9	Σκοπός της εργασίας ..... 24
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> Εφαρμογή του λογισμικού HAZUS στην Λευκάδα	
4.1	Γενικά ..... 25
4.2	Στοιχεία του σεισμού της Λευκάδας 14/8/2003 (M6.2) ..... 25
4.3	Η Ισχυρή σεισμική κίνηση ..... 25
4.4	Καταγραφές Ισχυρής Κίνησης ..... 27
4.5	Γεωλογικά στοιχεία Ν. Λευκάδας ..... 27
4.6	Γεωτεχνικά στοιχεία πόλης Λευκάδας ..... 28
4.7	Βλάβες και επιπτώσεις γεωτεχνικού χαρακτήρα του σεισμού ..... 28
4.8	Ισχυρή εδαφική κίνηση σε σχέση με τους σεισμικούς συντελεστές των κανονισμών ..... 32
4.9	Κατανομή βλαβών στο νησί ..... 33

Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> Αναλυτική παρουσίαση της έρευνας	
5.1	Σκοπός της έρευνας ..... 35
5.2	Μεθοδολογία εκτίμησης σεισμικών απωλειών..... 36
5.3	Απαιτούμενα δεδομένα ..... 36
5.4	Αναλυτικά βήματα εργασίας ..... 41

5.4.1	Χάρτης κατανομής της Κορυφαίας Εδαφικής Επιτάχυνσης PGA(g) με πιθανοκρατική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας και κατάταξη των εδαφικών σχηματισμών σε 3 κατηγορίες (βράχος – ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες – έδαφος) ..... 48
5.4.2	Χάρτης Κορυφαίας Εδαφικής Επιτάχυνσης PGA(g) στο δομημένο περιβάλλον της Λευκάδας ..... 52
5.4.3	Χάρτης κατανομής της Κορυφαίας Εδαφικής Επιτάχυνσης PGA(g) με πιθανοκρατική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε συνθήκες βράχου και χρήση συντελεστών ενίσχυσης με βάση την εδαφική κατάταξη κατά NEHRP “1997” ..... 54
5.4.4	Χάρτης Επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση..... 59
5.4.5	Χάρτης Δεσμευμένης ή υπό συνθήκες πιθανότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης ..... 66
5.4.6	Χάρτης Οριζόντιας Εδαφικής Εξάπλωσης ..... 72
5.4.7	Χάρτης Δυναμικής Καθίζησης ..... 76
5.4.8	Χάρτης επιδεκτικότητας γεωλογικών σχηματισμών σε κατολίσθηση υπό σεισμικά φορτία ..... 78
5.4.9	Χάρτης επιδεκτικότητας γεωλογικών σχηματισμών σε κατολίσθηση υπό στατικές συνθήκες ..... 83
5.4.10	Χάρτης με τα ποσοστά της κατολισθαίνουσας περιοχής ανά κατηγορία επιδεκτικότητας ..... 86

Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> Συμπεράσματα	
6.1	Σύνοψη..... 88
6.2	Συμπεράσματα ..... 90

Παράρτημα	
I.	Κατάλογος χαρτών ..... 93
II.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ..... 95
III.	ΕΝΤΟΛΕΣ ..... 103

Βιβλιογραφία	
IV.	Βιβλιογραφία ..... 104
V.	Πηγές από το διαδίκτυο ..... 104

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά την αξιολόγηση της μεθοδολογικής προσέγγισης που προέρχεται από το λογισμικό HAZUS και η οποία εφαρμόστηκε στο λογισμικό ArcMap8.3 και ArcView3.2 με σκοπό να προσδιορισθεί σενάριο σεισμικής διακινδύνευσης ανάλογο του σεισμικού συμβάντος της 14/08/2003 (M6.2) και των επιπτώσεών του στο νησί της Λευκάδας. Η εργασία αυτή εστιάζει κυρίως στις επιπτώσεις γεωτεχνικού χαρακτήρα και ιδιαίτερα σε θέματα κατολισθήσεων, ρευστοποίησης, οριζόντιων εδαφικών μετακινήσεων, δυναμικών καθιζήσεων κ.λ.π.

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας έγιναν ορισμένες τροποποιήσεις στα σεισμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα HAZUS, προκειμένου να υπάρξει κατάλληλη προσαρμογή στα σεισμοτεκτονικά και σεισμολογικά δεδομένα της εξεταζόμενης περιοχής. Ειδικότερα, με βάση τις καταγραφές του κύριου σεισμού της Λευκάδας (14/08/2003, M6.2) και τα σεισμολογικά δεδομένα του ρήγματος που προκάλεσε τον παραπάνω σεισμό πραγματοποιήθηκε μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας βασισμένη στις Ελληνικές σχέσεις απόσβεσης και δόθηκαν οι κορυφαίες εδαφικές επιταχύνσεις σε τρεις διαφορετικές εδαφικές συνθήκες σε μορφή κατάλληλου κινάβου καλύπτοντας το σύνολο του νησιού (*Μάρτυρας, 2005: προσωπική επικοινωνία*).

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και τις σχέσεις και συσχετίσεις που προτείνει η μεθοδολογία HAZUS σχετικά με δυνητικούς εδαφικούς κινδύνους (Potential Earth Science Hazards – PESH) διερευνήθηκαν θέματα σχετικά με ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών (επιδεκτικότητα εδαφικών σχηματισμών, δεσμευμένη πιθανότητα εκδήλωσης ρευστοποίησης κατά θέσεις, προσδιορισμός οριζόντιας εδαφικής εξάπλωσης και δυναμικών καθιζήσεων), καθώς επίσης και θέματα εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων σε πρανή (επιδεκτικότητα σε κατολίσθηση ή κατάπτωση εδαφικών ή και βραχωδών πρανών σε συνθήκες σεισμικής φόρτισης, επιδεκτικότητα σε κατολίσθηση ή κατάπτωση εδαφικών ή και βραχωδών πρανών υπό στατικές συνθήκες και εκτίμηση του ποσοστού επιφανείας στο οποίο αναμένεται να εκδηλωθούν κατολισθητικά φαινόμενα).

Επίσης, στην ίδια εργασία παρουσιάζονται και αντιπαραβάλλονται οι θεματικοί χάρτες με την κατανομή της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) του σεισμικού συμβάντος (14/08/2003, M6.2) σε όλη την έκταση του νησιού, έτσι όπως προέκυψαν:

1. από τη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας (πιθανοκρατική θεώρηση) με κατάταξη των εδαφών σε τρεις κατηγορίες (βράχος – ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες – μαλακά ή χαλαρά εδάφη), και

2. από τη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας (πιθανοκρατική θεώρηση) σε συνθήκες βράχου και εφαρμογή των προτεινόμενων συντελεστών ενίσχυσης της σεισμικής κίνησης κατά NEHRP 1997, όπου η μεν κατάταξη των εδαφικών σχηματισμών γίνεται με βάση τον NEHRP 1997 ο δε χρησιμοποιούμενος συντελεστής ενίσχυσης της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης είναι ο αντίστοιχος συντελεστής ενίσχυσης της φασματικής επιτάχυνσης για μικρές περιόδους.

Στην πρώτη περίπτωση η εκτίμηση των κορυφαίων εδαφικών επιταχύνσεων γίνεται με βάση την γραμμική ελαστική θεώρηση του εδάφους και την κατάταξη του με ποιοτικά κριτήρια σε μία από τις 3 παραπάνω κατηγορίες. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιούνται, αδιακρίτως θέσης, μόνον οι τιμές των κορυφαίων εδαφικών επιταχύνσεων σε συνθήκες βράχου (δηλ. χωρίς ενίσχυση της σεισμικής κίνησης) και στη συνέχεια, η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών υπεισέρχεται με τη μορφή συντελεστών ενίσχυσης που προβλέπονται από κανονιστικές διατάξεις (NEHRP 1997: όπως και στην περίπτωση του HAZUS), οι οποίες λαμβάνουν υπόψη (εμμέσως) τη μη-γραμμική απόκριση των εδαφικών σχηματισμών σε υψηλές σεισμικές διεγέρσεις.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας HAZUS, κατάλληλα προσαρμοσμένης στα δεδομένα του εξετιζόμενου προβλήματος, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες επί του ψηφιοποιημένου υποβάθρου του νησιού της Λευκάδας, τα αποτελέσματα των οποίων αντιπαραβάλλονται με τα μακροσεισμικά αποτελέσματα του σεισμού της Λευκάδας 14/8/2003 (M=6.2), έτσι όπως καταγράφηκαν από το ΠΣΑΚ μετά τον σεισμό (Margaris et al., 2003; Δημητρίου κ.α., 2004). Σκοπός των παραπάνω είναι η αξιολόγηση των δυνατοτήτων του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών και των προτεινόμενων σχέσεων κατά HAZUS συγκρίνοντας αυτά που θα προέβλεπε το συγκεκριμένο «εργαλείο» στην περίπτωση ενός σεισμού αντίστοιχου με αυτόν της Λευκάδας (2003) με τα πραγματικά δεδομένα των επιπτώσεων γεωτεχνικού χαρακτήρα που καταγράφηκαν μετά τον σεισμό.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων, όπως αυτή αποτυπώνεται στους διάφορους θεματικούς χάρτες που δημιουργήθηκαν από το ArcGIS, συγκλίνει σε ικανοποιητικό βαθμό με τα πραγματικά δεδομένα του σεισμού της 14/08/2003 (M6.2) στη Λευκάδα σε κλίμακα περιφέρειας, χωρίς φυσικά να είναι δυνατή η πρόβλεψη λεπτομερειακών συμπεριφορών, παρά μόνον γενικότερων τάσεων.









