

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΝΑΥΠΛΙΟΥ

Δρακάτος Γ.¹, Βαλαδάκη – Πλέσσα Α.², Γαϊτανάκης Π.³, Σώκος Ε.⁴

¹ Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Γ.Ι.-Ε.Α.Α.)

² Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)

³ Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)

⁴ Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Πατρών

Περίληψη

Σύμφωνα με τις νέες αντιλήψεις, ο σχεδιασμός του χώρου για την ανάπτυξη ειδικών χρήσεων γης, συνδυάζεται με τον αντισεισμικό αστικό προγραμματισμό. Στα πλαίσια αυτά όλο και περισσότεροι ερευνητές προτείνουν μεθοδολογίες για την καλύτερη είτε για την ταχύτερη προσέγγιση του θέματος. Μια ανάλογη προσπάθεια πραγματοποιήθηκε για την ιστορική πόλη του Ναυπλίου. Στα πλαίσια αυτά έγινε κατ' αρχήν, λεπτομερής γεωλογική - γεωτεχνική χαρτογράφηση και διερεύνηση της σεισμικής επικινδυνότητας, δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας και του σεισμικού κινδύνου. Σύμφωνα με τους προηγούμενους ερευνητές, οι χάρτες εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας διακρίνουν την περιοχή μελέτης σε κατηγορίες βασισμένοι αποκλειστικά στα γεωλογικά και στα γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την περιοχή του Ναυπλίου, για την εκπόνηση του χάρτη της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, εκτός των παραπάνω, ελήφθησαν υπόψη και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας αξιοποιήθηκε τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Η ίδια τεχνολογία, στη συνέχεια, έδωσε την δυνατότητα να συνδυασθούν τα χωρικά και περιγραφικά δεδομένα που περιλαμβάνονταν τόσο στον προηγούμενο χάρτη της σεισμικής επικινδυνότητας, όσο και στο χάρτη της σεισμικής τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος και να προκύψει ο τελικός χάρτης του σεισμικού κινδύνου για την ιστορική πόλη του Ναυπλίου.

PRESENTATION OF THE METHODOLOGY FOR THE ESTIMATION OF SEISMIC RISK IN THE HISTORICAL CITY OF NAUPLIUM.

Drakatos G.¹, Valadaki- Plessa A.², Gaitanakis P.³, Sokos Euthimios⁴

¹Geodynamic Institute - National Observatory of Athens

²Ministry for Environment, Urban Planning and Public Works

³Institute of Geological and Mining Researches

⁴Geological Department of the University of Patras

Abstract

According to new beliefs, during the recent years, the spatial planning for the development of special land use is combined with the antiseismic urban planning. For this matter many researchers propose different methodologies for better and/or faster approach to the subject of antiseismic planning. This is the presentation of the methodology used for the compilation of the seismic risk map of Nauplium. For this compilation, a detailed geological mapping and an investigation of seismic hazard took place. The data collected were used for the estimation of the seismic risk. According to previous researchers, the seismic hazard maps of the ground distinguish it to categories, as stated in Greek Antiseismic Regulation. Older reports are based exclusively in the geological and geotechnical data of the area of interest. In contrast to previous reports, this one takes into consideration older methodology, as well as the geomorphologic data of the studied area.

The process of the collected data for the city of Nauplium was made utilizing Geographical Information Systems (G.I.S.). Finally using this modern technique all the data collected from both the seismic hazard map of the ground and the map of seismic vulnerability were analyzed. Through this combination, the map of seismic risk of Nauplium was compiled.

Λέξεις κλειδιά: Σεισμική επικινδυνότητα, σεισμικός κίνδυνος, Γ.Σ.Π.

Key words: Seismic hazard, seismic risk, Geographical Information Systems.

1. Εισαγωγή

Το Ναύπλιο έχει μια συνεχή νεότερη ιστορία το λιγότερο δεκατεσσάρων αιώνων. Η πλούσια ιστορία του Ναυπλίου έχει αποτυπωθεί στον πολεοδομικό ιστό όπου περιλαμβάνονται σημαντικά ιστορικά κτίρια και μνημεία τα οποία αφενός μεν δίνουν τη μοναδική ομορφιά στην πόλη, αφετέρου δε απαιτούν αυξημένη φροντίδα και προστασία.

Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην εκπόνηση αναλυτικών γεωλογικών και σεισμολογικών ερευνών για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος στην πόλη του Ναυπλίου. Οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.) και ενώ αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή, εστιάσθηκαν στο ιστορικό τμήμα της πόλης.

Στην πορεία των παραπάνω εργασιών, έχοντας υπόψη τις ερευνητικές προσπάθειες που πραγματοποιούνται διεθνώς για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου, και εφόσον ήταν διαθέσιμα τόσο το πλούσιο γεωλογικό και σεισμολογικό υλικό που είχε προκύψει από τις εργασίες της έρευνας, όσο και ο χάρτης τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος του ιστορικού κέντρου, οι εργασίες στράφηκαν προς την εκπόνηση ενός χάρτη που θα παρουσίαζε το σεισμικό κίνδυνο για την περιοχή μελέτης, ο οποίος θα μπορούσε να συνταχθεί εύκολα με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π. – G.I.S.). Στη διαδικασία αυτή και με την χρήση της ίδιας τεχνολογίας εκπονήθηκε επίσης με μεγαλύτερη πιστότητα, ο χάρτης της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, η οποία προτείνεται ως μια προεργιστική μέθοδος για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε οικιστικές περιοχές, που μπορεί να αναπτυχθεί άμεσα και με ευκολία, σε κάθε ανάλογη περίπτωση, εφόσον είναι διαθέσιμα τα σχετικά στοιχεία.

2. Μεθοδολογία

Για τις ανάγκες της έρευνας κατ' αρχήν πραγματοποιήθηκε γεωμορφολογική αναγνώριση, από όπου προέκυψε ο χάρτης των μορφολογικών κλίσεων. Στη συνέχεια εξελίχθηκαν οι γεωλογικές έρευνες που περιλάμβαναν την πιστοποίηση και συμπλήρωση της γεωλογικής χαρτογράφησης και της τεκτονικής, ώστε να γίνουν σαφή τα ειδικά γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών οι οποίοι δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί αξιολογήθηκαν ως προς την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά τους και ακολούθως συντάχθηκε ο τεχνικογεωλογικός χάρτης. Συγχρόνως στην περιοχή ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής μελέτη της σεισμικότητας και της σεισμικής επικινδυνότητας. Από το συνδυασμό των γεωλογικών, τεχνικογεωλογικών στοιχείων και των αποτελεσμάτων της εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας, προέκυψε ο χάρτης της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας.

Στα πλαίσια της έρευνας σχεδιάσθηκε και αναπτύχθηκε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), όπου αποθηκεύθηκαν όλα τα χαρτογραφικά και περιγραφικά στοιχεία. Τελικά, από την επεξεργασία των δεδομένων και από τις χωρικές αναλύσεις (special analysis), στα πλαίσια του Γ.Σ.Π., προέκυψαν ο συνδυαστικός χάρτης της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας (Seismic Hazard), καθώς και ο χάρτης του σεισμικού κινδύνου (Seismic Risk).

3. Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το Ναύπλιο αναπτύσσεται εντός του Αργολικού πεδίου, το οποίο αποτελεί μια ιζηματογενή λεκάνη που έχει πληρωθεί με μεταλλικά ιζήματα. Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ήπιο ανάγλυφο, με χαμηλές γενικά κλίσεις, όπου αναπτύσσονται αρκετοί λόφοι, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται και εκείνοι του Παλαμηδίου και της Ακροναυπλίας, που αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα της πόλης. Η μορφολογία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τη λιθολογία και την τεκτονική της περιοχής. Το νοτιότερο τμήμα (νότιο τμήμα Ακροναυπλίας) της περιοχής μελέτης είναι κρημνώδες και ελέγχεται πλήρως από την τεκτονική της περιοχής.

Η γεωμορφολογία της περιοχής για τις ανάγκες της εργασίας αποτυπώθηκε στο χάρτη κλίσεων που δημιουργήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (D.E.M.), μέσω του Γ.Σ.Π.

4. Γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εντάσσεται στη γεωδυναμική ρηξιγενή τεκτονική, που έχει προσβάλει τον ευρύτερο χώρο της Αργολίδας με κατακόρυφες μεταπτώσεις, οι οποίες έχουν δημιουργήσει δομές με Horst (κέρατα) και Graben (τάφρους).

Ο λόφος της Ακροναυπλίας, όπου αναπτύσσεται και το μεγαλύτερο τμήμα του παραδοσιακού οικισμού, αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς και φλύσχη, σε δομή καλυμμάτων. Οι υποκείμενοι ασβεστόλιθοι έχουν υποστεί έντονη πτύχωση. Στη βάση του το τεκτονικό κάλυμμα φέρει έντονα τα στοιχεία των πιεστικών κινήσεων με τεκτονικά λατυποπαγή και πυκνό σύστημα διακλάσεων, κατατμήσεων αλλά και επιφάνειες ολίσθησης που δίνουν στο πέτρωμα δομή πάγκων, ενώ δεν απουσιάζουν οι διαγώνιες και ρομβοειδείς κατακλάσεις. Ανάλογα τεκτονικά χαρακτηριστικά παρουσιάζει και ο λόφος του Παλαμηδίου.

Τα μεταλλικά ιζήματα που αναπτύσσονται στην περιοχή του Ναυπλίου αποτελούνται από τεταρτογενείς αποθέσεις διαφόρων φάσεων.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής.



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Ναυπλίου

5. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών

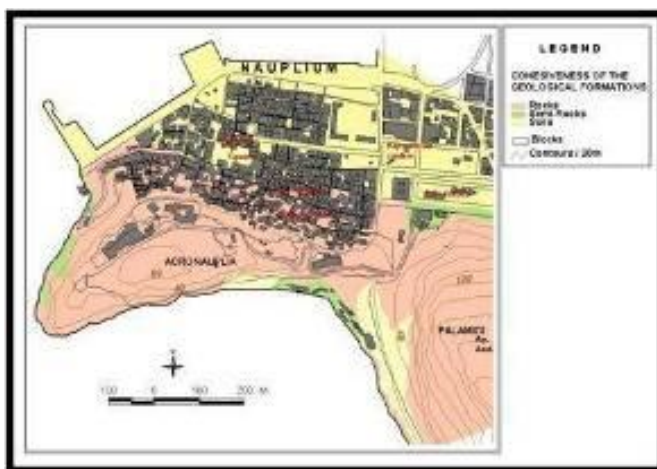
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι συνέρχονται στη δομή της υπό μελέτη περιοχής, ανάλογα με τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, διαχωρίζονται σε τρεις ενότητες:

Γεωτεχνική ενότητα I: Πλακώδεις παχυπλακώδεις – λεπτοπλακώδεις Ασβεστόλιθοι και Ψαμίτες (Φλύσχης). Κατατάσσονται στους «βραχώδεις» σχηματισμούς παρουσιάζοντας, γενικά, καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και μέσες έως υψηλές αντοχές.

Γεωτεχνική ενότητα II: Παλαιά πλευρικά κορήματα. Αποτελούνται από λατύπες διαφόρων μεγεθών με συνδεδετικό υλικό κυρίως αργιλικό. Πρόκειται για συνεκτικό σχηματισμό. Αναμένεται να εμφανίζει μέτριες τιμές αντοχής. Για το λόγο αυτό κατατάσσεται στους «ημίβραχους».

Γεωτεχνική ενότητα III: Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και αλλουβιακές αποθέσεις. Τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα είναι χαλαρά έως συνεκτικά υλικά με λατύπες. Γενικά παρουσιάζουν μέτρια έως ασθενή μηχανικά χαρακτηριστικά και αναμένεται να εμφανίζουν μικρότερες σχετικά τιμές αντοχής. Για τον λόγο αυτό, οι σχηματισμοί αυτοί κατατάσσονται στους «εδαφικούς σχηματισμούς».

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, σε τρεις (3) ενότητες.



Σχήμα 2. Τεχνικογεωλογικός Χάρτης, όπως προέκυψε από τη γεωτεχνική έρευνα

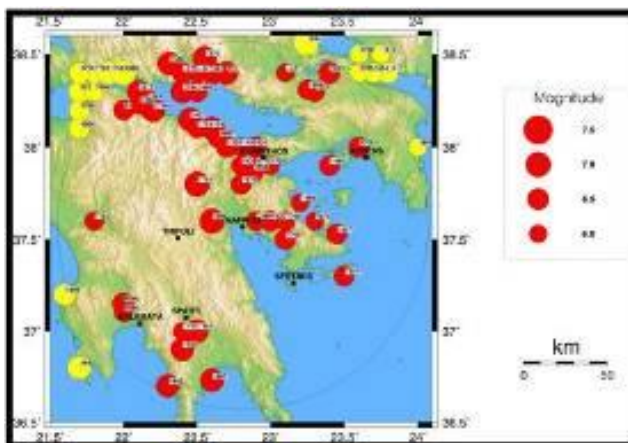
6. Σεισμικότητα και σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή του Ναυπλίου

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής μελέτη σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας.

6.1 Σεισμική επικινδυνότητα

Για τη μελέτη της ιστορικής σεισμικότητας συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία που αφορούν την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιήθηκαν κατάλογοι ιστορικών σεισμών όπως των Parazachos και Parazachou 1989, Galanopoulos 1981, Parazachos και Comninakis 1982, Parazachos και Parazachou 1997, 2003, στους οποίους περιέχονται πληροφορίες από το 500 π.Χ. έως το 1900 μ.Χ. Τα αποτελέσματα από την

ανάλυση των ιστορικών σεισμών (Σχήμα 3) είναι τα εξής: 1) Το λιγότερο τέσσερις ισχυροί σεισμοί (>6.0) σημειώθηκαν κατά την ιστορική περίοδο πολύ κοντά στην πόλη του Ναυπλίου. Αυτοί οι σεισμοί μπορούν να δημιουργήσουν σημαντική μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στο υπέδαφος της πόλης. Οι ακριβείς τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης κυμαίνονται ανάλογα με τις σχέσεις εξασθένησης και οι αναμενόμενες τιμές είναι από 0.2g μέχρι και 0.5g., 2) Ενδεικτικά μέγιστα εδαφικής επιτάχυνσης αναμένονται από τρία σχετικά ισχυρά σεισμικά γεγονότα, ένα κοντά στην Τρίπολη (~7) με σχετικά μικρή επικεντρική απόσταση (~30km) από το Ναύπλιο (π.χ. 1898, 0.15g ή 0.5g). Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί είναι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους και από τη στιγμή που αυτά τα γεγονότα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά εξασθένησης από τους επιφανειακούς σεισμούς είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι τελικές επιπτώσεις χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις εξασθένησης. Παρόλα αυτά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και 3) Ο ισχυρότερος ιστορικός σεισμός ήταν το 1898 με μέγεθος 7.0 και επίκεντρο την περιοχή της Τρίπολης. Γενικότερα, από τα ιστορικά δεδομένα μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι η περιοχή μελέτης έχει υψηλή σεισμικότητα με ισχυρούς σεισμούς σε μικρή απόσταση από την περιοχή του Ναυπλίου. Αν και δεν μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός επίκεντρου και βάθους αυτών των γεγονότων, εντούτοις φαίνεται πως τα ισχυρότερα (~7) συσχετίζονται με εστίες σε μεγάλα βάθη, που έχουν άμεση σχέση με τη ζώνη υποβύθισης κάτω από την Πελοπόννησο.



Σχήμα 3. Επίκεντρα ιστορικών σεισμών σε απόσταση 1^ο γύρω από το Ναύπλιο (Papazachos και Papazachou 2003).

Για τη μελέτη της ενόργανης σεισμικότητας, με στόχο να χρησιμοποιηθούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, δημιουργήθηκε ένας κατάλογος από διάφορες πηγές και εφαρμόστηκαν κατάλληλες σχέσεις στις κλίμακες μεγέθους. Ο τελικός κατάλογος περιλαμβάνει δεδομένα από τρεις πηγές : α) 1900 – 1950 Makropoulos και Burton 1981, β) 1950 – 2000 Papanastasiou et al, 2001 και γ) 2000 – 2004 κατάλογος Γ.Ι.Ε.Α.Α. (<http://www.gein.noa.gr>). Τα συμπεράσματα από τη μελέτη της ενόργανης σεισμικότητας (Σχήμα 4) δείχνουν ότι: 1) Σε αντίθεση με τα ιστορικά δεδομένα δεν υπάρχει κανένας ισχυρός (>6) κοντά στην πόλη του Ναυπλίου, στον κατάλογο των πρόσφατων σεισμολογικών δεδομένων. Η σεισμικότητα συγκεντρώνεται στον Κορινθιακό κόλπο και στις δυτικές ακτές της Πελοποννήσου όπως επίσης και κοντά στην Καλαμάτα και τη Σπάρτη, 2) Μερικοί σεισμοί εντοπίζονται στον Αργολικό κόλπο, στα ανατολικά του Ναυπλίου στη Ξηρά και στο Σαρωνικό κόλπο, αλλά τα μεγέθη τους δεν είναι μεγάλα, 3) Ο ισχυρότερος σεισμός κοντά στην πόλη είναι αυτός του 1962 (28 Αυγούστου, h=95km, M=6.8) και 4) Το βάθος των σεισμών αυξάνει στα ανατολικά, σύμφωνα με την καταβύθιση κάτω από την Πελοπόννησο, κατά συνέπεια κοντά στο Ναύπλιο υπάρχουν μερικά επίκεντρα σεισμών ενδιάμεσου βάθους, όπως αυτό του 1962.

αναλύσεων της τοπικής σεισμικής απόκρισης του εδάφους. Οι εργασίες αυτές αποτελούν το κύριο μέρος μιας λεπτομερούς σεισμικής μικροζωνικής έρευνας, η οποία απαιτεί σχετικά μακρύ χρόνο εκπόνησης και μεγάλη δαπάνη. Γι' αυτό είναι χρήσιμο να αναπτυχθούν μεθοδολογίες, σύμφωνα με τις οποίες θα είναι δυνατόν να προκύψουν χάρτες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, σε βραχύτερο χρονικό διάστημα και με μικρότερο κόστος.

Στο παρελθόν διάφορες ερευνητικές ομάδες, σε διαφορετικές περιοχές έχουν συντάξει χάρτες όπου οι εδαφικοί σχηματισμοί διακρίνονται με βάση την σεισμική επικινδυνότητά τους, σύμφωνα με την κατάταξη των εδαφών που περιλαμβάνονται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό. Σχετικά μπορούν να αναφερθούν οι χάρτες που συντάχθηκαν για το Ηράκλειο και την Θήβα στα πλαίσια των Μικροζωνικών Μελετών (AUTO-SEISMO-GEOTECH 2000), ο ανάλογος χάρτης για την πόλη της Μυτιλήνης (Makropoulos *et al.*, 2004), καθώς και ο χάρτης για την πληγείσα, από τους σεισμούς του 1999, περιοχή των Αθηνών (Marinos *et al.*, 2002).



Σχήμα 5. Χάρτης Ζωνών Εδαφικής Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ. 2000, στην περιοχή του Ναυπλίου.

Ακολουθώντας τα βήματα των προηγούμενων ερευνητών και βασιζόμενοι στους λιθοστρωματογραφικούς χαρακτήρες, στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά (συνεκτικότητα, πυκνότητα, εκτιμώμενη δυσκαμψία), καθώς και στο πάχος των γεωλογικών σχηματισμών, σύμφωνα με τα δεδομένα της τεχνικογεωλογικής αναγνώρισης (Σχήμα 2), και επίσης στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, δημιουργήθηκε ο χάρτης του Σχήματος 5, όπου παρουσιάζονται οι ζώνες της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, στην περιοχή του Ναυπλίου, σύμφωνα με τις κατηγορίες του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000). Σύμφωνα με το χάρτη του Σχήματος 5, στην περιοχή του Ναυπλίου συναντώνται οι κατηγορίες των εδαφών (Α), (Β), και (Γ).

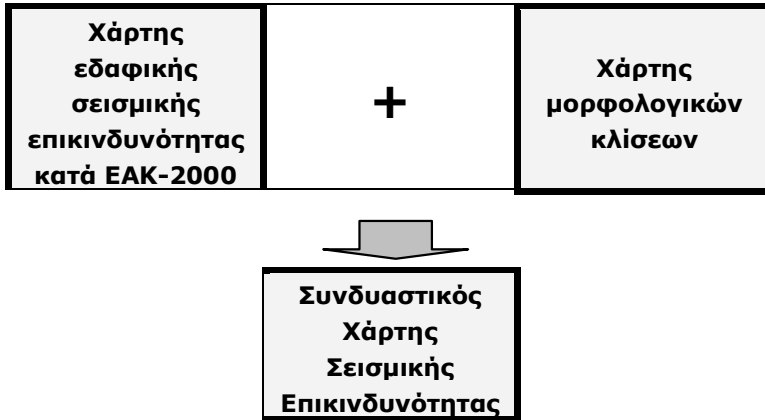
Ο χάρτης αυτός είναι ένα σημαντικό βοήθημα για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος στην περιοχή έρευνας, καθόσον είναι γενικής χρήσεως και μπορεί να αξιοποιηθεί σε κάθε είδους επιτελικό σχεδιασμό του χώρου, δίνοντας μια καλή εικόνα για τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και την αναμενόμενη συμπεριφορά τους σε περίπτωση σεισμού, προσφέροντας ένα ενιαίο υπόβαθρο πληροφόρησης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακολούθως και για τον προσδιορισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού.

Για τη σύνταξη του χάρτη του Σχήματος 5 ελήφθησαν υπόψη αποκλειστικά οι τοπικές γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες του εδάφους. Τα ρήγματα που διατρέχουν την περιοχή του Ναυπλίου απεικονίζονται στο γεωλογικό χάρτη.

Επειδή όμως, τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης στην επιφάνεια του εδάφους είναι

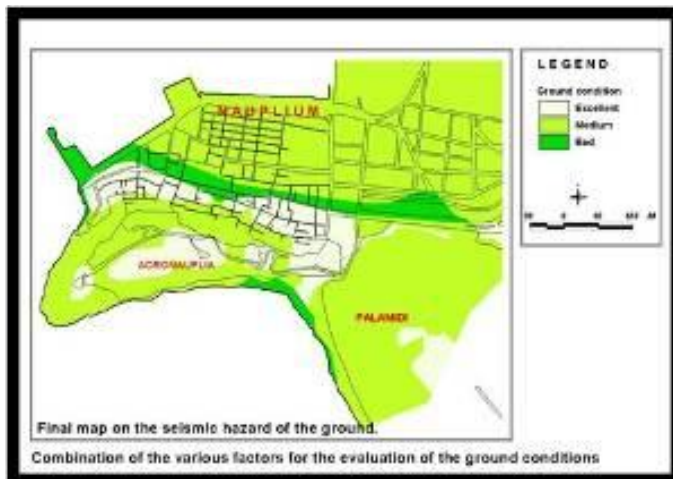
δυνατόν να διαφοροποιούνται τοπικά, όχι μόνο εξ αιτίας των εδαφικών συνθηκών, αλλά και λόγω της αλληλεπίδρασης της σεισμικής διέγερσης με τις γεωμορφολογικές συνθήκες, αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π., τα δεδομένα του χάρτη του Σχήματος 5 συνδυάστηκαν χωρικά με τα δεδομένα του χάρτη των μορφολογικών κλίσεων.

Η διαδικασία της χωρικής ανάλυσης (special analysis) που ακολουθήθηκε εμφανίζεται σχηματικά στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Διαδικασία χωρικής ανάλυσης (Spacial Analysis) με αξιοποίηση του Γ.Σ.Π. για την εκπόνηση του Συνδυαστικού Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ναυπλίου.

Η διάκριση των περιοχών σε συνθήκες «Πολύ καλές», «Μέτριες» και σχετικά «Δυσμενέστερες», από την άποψη της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, έγινε με βάση τον Πίνακα 2, ενώ ο χάρτης που προέκυψε δίνεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. Συνδυαστικός Χάρτης Ζωνών Εδαφικής Σεισμικής Επικινδυνότητας, στην περιοχή του Ναυπλίου, όπου έχουν ληφθεί υπόψη οι συνθήκες των γεωλογικών σχηματισμών και οι γεωμορφολογικοί παράγοντες.

Πίνακας 2. Μήτρα συνδυασμού κριτηρίων, για την εκτίμηση της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (%)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		
	A	B	Γ
0-5	Πολύ καλή	Μέτρια	Μέτρια
5-15	Πολύ καλή	Μέτρια	Δυσμενής
15-25	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής
25-35	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής
35-45	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής
> 45	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής

7. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας και του σεισμικού κινδύνου στην ιστορική πόλη του Ναυπλίου, διεξήχθησαν λεπτομερείς γεωλογικές – γεωτεχνικές έρευνες, καθώς και έρευνες για την εκτίμηση της σεισμικότητας – σεισμικής επικινδυνότητας. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύθηκαν σε Γ.Σ.Π., το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.
- Αξιοποιώντας τα δεδομένα των ερευνητικών εργασιών και χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π., συντάχθηκαν οι χάρτες της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας και του σεισμικού κινδύνου για την περιοχή μελέτης.
- Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε δίνει καλύτερη εκτίμηση τόσο για την εδαφική σεισμική επικινδυνότητα, όσο και για το σεισμικό κίνδυνο και προτείνεται ως μια ταχεία προσεγγιστική μέθοδος για την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών, σε οικιστικές περιοχές.
- Η μέθοδος που αναπτύχθηκε παραπάνω μπορεί να εφαρμοσθεί και με περισσότερα δεδομένα, καθόσον οι σχετικοί συνδυασμοί στα Γ.Σ.Π. έχουν πρακτικά απεριόριστες δυνατότητες. Επισημαίνεται δε ότι όσο περισσότερα και ακριβέστερα είναι τα διαθέσιμα στοιχεία, τόσο μειώνονται και τα τυχόν σφάλματα που οφείλονται στη στρωγγυλοποίηση των ποσοτικών παραγόντων, προκειμένου να προσεγγισθεί καλύτερα ο πιθανός κίνδυνος λόγω σεισμού.
- Τέλος, επισημαίνεται ότι τα στοιχεία που παρουσιάζονται στους χάρτες του σεισμικού κινδύνου, της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, καθώς και στο συνδυαστικό χάρτη της σεισμικής επικινδυνότητας για την περιοχή του Ναυπλίου έχουν το χαρακτήρα γενικών οδηγιών, είναι όμως ιδιαίτερος χρήσιμα για την αντιμετώπιση του θέματος «προστασία έναντι σεισμού» σε επίπεδο επιτελικού σχεδιασμού. Συγχρόνως παρέχουν σημαντικές πληροφορίες και προσφέρουν το βασικό υπόβαθρο για την εκπόνηση οποιωνδήποτε λεπτομερών Σεισμικών Μικροζωνικών Μελετών, με σκοπό το προσδιορισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού των κατασκευών.

Βιβλιογραφία

AUTO-SEISMO_GEOTECH, 2000: Αυτοποιημένο Γεωτεχνολογικό Πρόγραμμα "Πρόληψης - μείωσης σεισμικού κινδύνου πόλεων υψηλής σεισμικότητας", ΕΚΒΑΝ #654 ΕΠΕΤ ΙΙ". Ημερίδα με θέμα "Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Μικροζωνικής Μελέτης Ηρακλείου Κρήτης»,

ΤΕΕ – Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Ηράκλειο 22 Μαρτίου 2000.

Bender, B.K., και Perkins, D.M., 1987, SEISRISKIII -- A computer program for seismic hazard estimation.: U.S. Geological Survey Bulletin 1772, 48 p.

Dandoulaki M., Valadaki A., Panoutsopoulou M., Plessas S., Drakatos G. 2006: Rapid low cost vulnerability and risk assessment for earthquake planning: An application to Rhodes city (Greece). Abstr. IDRC Davos 2006 August 27th – September 1st, 2006 Davos, Switzerland

Galanopoulos, A.G., 1981. The damaging shocks και the earthquake potential of Greece. Ann. Geol. Hellen., XXX/2, 647-724.

Earthquake Engineering Handbook (EEH) 2003, Wai-Fah Chen και Charles Scawthorn (Editors), CRC press.

Kijko A. και Sellevoll I.A., 1989. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part I. Utilisation of extreme και complete catalogues with different threshold magnitudes. Bull. Seism. Soc. Am. 79, 645-654.

Makropoulos K., Kassaras I., Stournaras G., Kapourani E., Valadaki A., Plessas S. 2004: Results from a multidisciplinary microzonation study in the city of Mytelene (Lesvos Island, Greece). Proceedings of the 10th International Congress of the Geological Society of Greece, Thessaloniki, April 2004. (In Greek).

Makropoulos K.C. και Burton P.W. 1981. A catalogue of seismicity in Greece και adjacent areas. Geophys.J.R.astr.Soc. 65, 741-762.

Marinos P., Tsiambaos G., Boucouvalas G., Sambatakakis N., et al. 2002: Geological – Geotechnical Study of Athens Basin, Athens. Ministry for Environment, Physical Planning and Public Works. Earthquake Planning and Protection Organization (E.P.P.O.) (In Greek).

Papanastassiou D., Latoussakis J. και Stavrakakis G. 2001. A revised catalogue of earthquakes in the broader area of Greece for the period 1950-2000, Proceedings of the 9th International Congress of the Geological Society of Greece, Αθήνα, September 2001. Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/4, 1563-1566, 2001.

Papazachos, B.C. και Comninakis, P.E. 1982. A catalogue of historical earthquakes in Greece και surrounding area, 479 B.C. - 1900 A.D., University of Thessaloniki, Geophys. Lab. Publ., No.5, Thessaloniki.

Papazachos, B. και Papazachou C., 1989. The earthquakes of Greece, Editor Ziti, Thessaloniki (In Greek)

Papazachos, B. και Papazachou C., 1997. The earthquakes of Greece, Editor Ziti, Thessaloniki.

Papazachos, B. και Papazachou C., 2003. The earthquakes of Greece, Editor Ziti, Thessaloniki (In Greek).

SISMA: Integrated System for Prevention of Risk and Protection of Historical Pattern. www.sismaproject.eu

Tselentis, G-A. 1997. Modern Seismology, Publ. Papasotiriou, Vol 1-2, pages 1300 (In Greek).

Valadaki – Plessa, A., 2001: Geological – Geomorphological research in the surround regions of the Euboean Gulf. Integrated applications ulizing G.I.S technique. Doctoral thesis, N.T.U.A. (In Greek).