

# ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ Νο 22

---

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

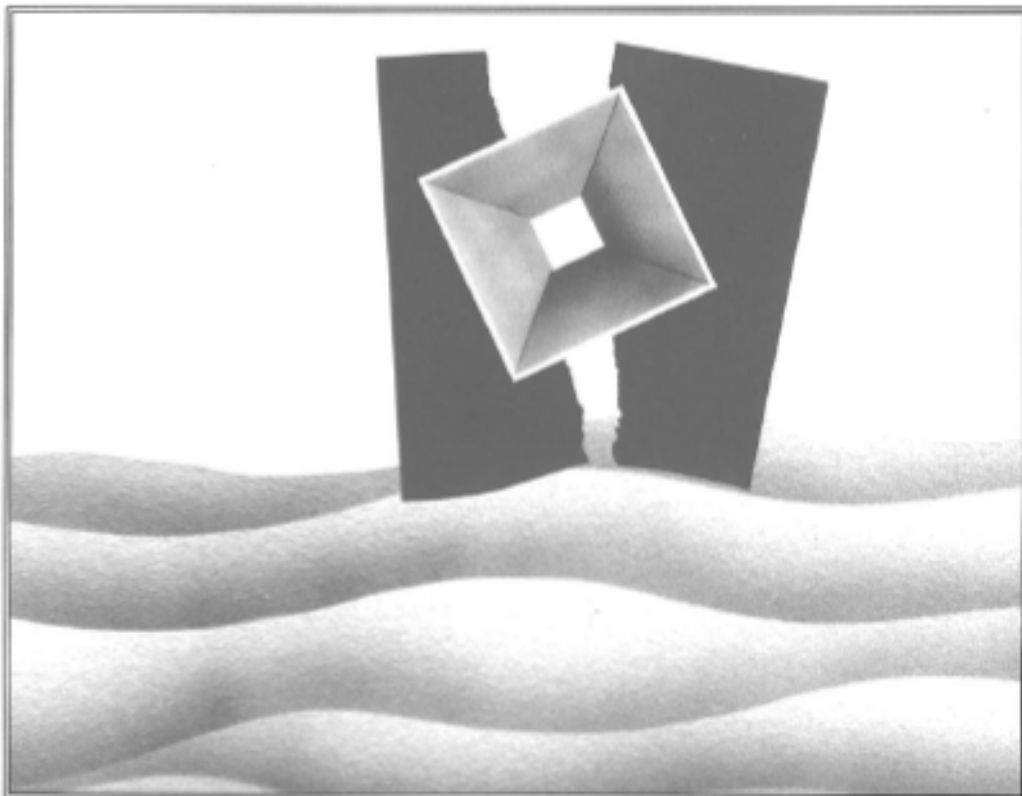
2ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ  
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Θεσσαλονίκη, 21-23 Οκτωβρίου 1992

PROCEEDINGS

2nd GREEK NATIONAL CONFERENCE  
on GEOTECHNICAL ENGINEERING

Thessaloniki, October 21-23 1992



ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ  
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

**ΒΡΑΧΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΟΣ ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ  
ΣΤΟ ΕΛΑΙΟΧΩΡΙ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ (13/9/1986)**

**STRUCTURAL ROCK-MASS UNITS ACTIVE TECTONISM AND DAMAGES AT  
ELEOCHORI VILLAGE DURING THE KALAMATA EARTHQUAKES (1/9 /1986)**

**Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ(1) - Ε. ΛΟΓΟΣ(2) - Σ. ΛΟΖΙΟΣ(2) - Ι.ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ(2)**

(1. Καθηγητής, 2. Επιστ. Συνεργάτες / Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Αθηνών)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η κατανομή των καταστροφών στο οικισμό του Ελαιοχωρίου κατά τους σεισμούς της Καλαμάτας έδειξε ότι αυτές κατά κύριο λόγο ελέγχθηκαν από την επαναδραστηριοποίηση ρηγμάτων και διαρρήξεων που διαδραμάτισαν ένα ενεργητικό ρόλο σε αντίθεση με τους υπόλοιπους παράγοντες (ανενεργές ασυνέχειες, μορφολογικές κλίσεις – κλπ.) που ο ρόλος τους ήταν παθητικός. Η συχνότητα, τα γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά αυτών των ενεργών ασυνεχειών καθορίζουν τη συμπεριφορά της βραχομάζας κατά τη διάρκεια ενός σεισμού με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η διάκρισή της σε “χαλαρές” και “συνεκτικές” βραχοτεκτονικές ενότητες.

**ABSTRACT:** The study of the damage distribution caused during the Kalamata earthquakes at the Eleochori village, pointed out that the damages were mainly due to fault and fracture reactivation as well as to the creation of new fractures. These faults and fractures were the main active factors for causing the damages, in contrast to other ones (non active discontinuities, morphological gradient, ".etc), which played a secondary passive role. The density , the geometrical and kinematic characteristics of these active tectonic discontinuities define the behaviour of the rock mass during an earthquake, As a result, the distinction of the rock mass into "loose" or "compact" structural rock mass units is necessary.

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας αποτελεί όπως είναι γνωστό μία από τις πλέον σεισμόπληκτες περιοχές της χώρας μας, γεγονός που οφείλεται στη σημερινή της γεωτεκτονική θέση αφού βρίσκεται κοντά στην “Ελληνική Τάφρο” που αποτελεί την περιοχή σύγκλισης της Ευρωπαϊκής με την Αφρικανική πλάκα. Στις 13.9.1986 η ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας εσεισθη από ένα ισχυρότατο σεισμό ( $M_s=6.2$ ) που ακολουθήθηκε στις 15.9.1986 από ένα ισχυρό μετασεισμό ( $M_s=5.6$ ), προκαλώντας μεγάλες καταστροφές και πολλά θύματα. Το Ελαιχώρι, ένα μικρό χωριό ανατολικά της Καλαμάτας, αποτελεί μία από τις περιοχές που επλήγησαν περισσότερο, αφού το σύνολο σχεδόν των κτισμάτων υπέστησαν σημαντικότερες βλάβες ή κατέρρευσαν εντελώς. Ελάχιστα έμειναν ανέπαφα και μάλιστα δύο από αυτά συγκαταλέγονται ανάμεσα στα παλαιότερα σπιτία του χωριού.

Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης, στα πλαίσια της Μικροζωνικής μελέτης της Καλαμάτας [1], που χρηματοδοτήθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π., έγινε προσπάθεια να

**ΒΡΑΧΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΟΣ ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ  
ΣΤΟ ΕΛΑΙΟΧΩΡΙ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ (13/9/1986)**

**STRUCTURAL ROCK-MASS UNITS ACTIVE TECTONISM AND DAMAGES AT  
ELEOCHORI VILLAGE DURING THE KALAMATA EARTHQUAKES (1/9 /1986)**

**Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ(1) - Ε. ΛΟΓΟΣ(2) - Σ. ΛΟΖΙΟΣ(2) - Ι.ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ(2)**

(1. Καθηγητής, 2. Επιστ. Συνεργάτες / Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Αθηνών)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η κατανομή των καταστροφών στο οικισμό του Ελαιοχωρίου κατά τους σεισμούς της Καλαμάτας έδειξε ότι αυτές κατά κύριο λόγο ελέγχθηκαν από την επαναδραστηριοποίηση ρηγμάτων και διαρρήξεων που διαδραμάτισαν ένα ενεργητικό ρόλο σε αντίθεση με τους υπόλοιπους παράγοντες (ανενεργές ασυνέχειες, μορφολογικές κλίσεις – κλπ.) που ο ρόλος τους ήταν παθητικός. Η συχνότητα, τα γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά αυτών των ενεργών ασυνεχειών καθορίζουν τη συμπεριφορά της βραχομάζας κατά τη διάρκεια ενός σεισμού με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η διάκρισή της σε “χαλαρές” και “συνεκτικές” βραχοτεκτονικές ενότητες.

**ABSTRACT:** The study of the damage distribution caused during the Kalamata earthquakes at the Eleochori village, pointed out that the damages were mainly due to fault and fracture reactivation as well as to the creation of new fractures. These faults and fractures were the main active factors for causing the damages, in contrast to other ones (non active discontinuities, morphological gradient, ".etc), which played a secondary passive role. The density , the geometrical and kinematic characteristics of these active tectonic discontinuities define the behaviour of the rock mass during an earthquake, As a result, the distinction of the rock mass into "loose" or "compact" structural rock mass units is necessary.

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας αποτελεί όπως είναι γνωστό μία από τις πλέον σεισμόπληκτες περιοχές της χώρας μας, γεγονός που οφείλεται στη σημερινή της γεωτεκτονική θέση αφού βρίσκεται κοντά στην “Ελληνική Τάφρο” που αποτελεί την περιοχή σύγκλισης της Ευρωπαϊκής με την Αφρικανική πλάκα. Στις 13.9.1986 η ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας εσεισθη από ένα ισχυρότατο σεισμό ( $M_s=6.2$ ) που ακολουθήθηκε στις 15.9.1986 από ένα ισχυρό μετασεισμό ( $M_s=5.6$ ), προκαλώντας μεγάλες καταστροφές και πολλά θύματα. Το Ελαιχώρι, ένα μικρό χωριό ανατολικά της Καλαμάτας, αποτελεί μία από τις περιοχές που επλήγησαν περισσότερο, αφού το σύνολο σχεδόν των κτισμάτων υπέστησαν σημαντικότερες βλάβες ή κατέρρευσαν εντελώς. Ελάχιστα έμειναν ανέπαφα και μάλιστα δύο από αυτά συγκαταλέγονται ανάμεσα στα παλαιότερα σπιτία του χωριού.

Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης, στα πλαίσια της Μικροζωνικής μελέτης της Καλαμάτας [1], που χρηματοδοτήθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π., έγινε προσπάθεια να

ερμηνευθεί η κατανομή των καταστροφών στη συγκεκριμένη περιοχή. Σκοπός λοιπόν και στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι: (i) να προσδιορισθούν τα κρίσιμα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα της βραχομάζας των ανθρακικών πετρωμάτων, τα οποία δομούν τη στενή αλλά και την ευρύτερη περιοχή του Ελαιοχώριου, και (ii) να προταθεί ένας τρόπος ταξινόμησης της βραχομάζας σε "βραχοτεκτονικές ενότητες" ο οποίος στηρίζεται στο είδος (ενεργά, ανενεργά), τη συχνότητα, τα γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά των ρηγμάτων, διαρρήξεων και λοιπών ασυνχειών που τη διασχίζουν και καθορίζουν τη συμπεριφορά της σαν έδαφος θεμελίωσης.

Το Ελαιοχώρι είναι χτισμένο πάνω σε ένα επίμηκες αντέρισμα με διεύθυνση E-W και σε υψόμετρο 530m περίπου. Κατά μήκος του υδροκρίτη οι μορφολογικές κλίσεις είναι πολύ μικρές και δεν υπερβαίνουν το 15%. Αντίθετα στις κλιτείες του αντερίσματος η μορφολογία είναι πολύ πιο έντονη με κλίσεις που κατά θέσεις υπερβαίνουν και το 120%.

Το σύνολο σχεδόν των κτισμάτων ήταν θεμελιωμένο πάνω στους άστρωτους ή με ασαφή στρώση νηρητικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της ενότητας της Τρίπολης των οποίων το πάχος υπερβαίνει τα 1000m. [1]. Τα ανθρακικά πετρώματα γενικά και εφόσον δεν είναι τεκτονισμένα είναι συνεκτικά, ενώ οι παράμετροι ελαστικότητας και αντοχής είναι σχετικά καλοί με φυσικομηχανικούς δείκτες που φανερώνουν ικανοποιητική αντίσταση στη σεισμική φόρτιση αφού τα πετρώματα αυτά αντιδρούν με μεγαλύτερες ελαστικές και παραμένουσες παραμορφώσεις [2]. Σε ότι αφορά όμως την περιοχή της μελέτης (αλλά και πολλές άλλες περιοχές) η "αναμενόμενη" αυτή συμπεριφορά είναι εντελώς θεωρητική επειδή η ανθρακική μάζα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διαφόρων τύπων ασυνχειών που σε ορισμένες περιπτώσεις η πυκνότητά τους είναι τόσο μεγάλη και τα χαρακτηριστικά τους είναι τέτοια ώστε, η βραχομάζα να συμπεριφέρεται στην ουσία ως χαλαρό λατυποπαγές με πολύ χαμηλή αντοχή και πολύ άσχημη συμπεριφορά κάτω από τη σεισμική φόρτιση.

## ΡΗΞΙΓΕΝΕΙΣ ΖΩΝΕΣ – ΡΗΓΜΑΤΑ – ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ

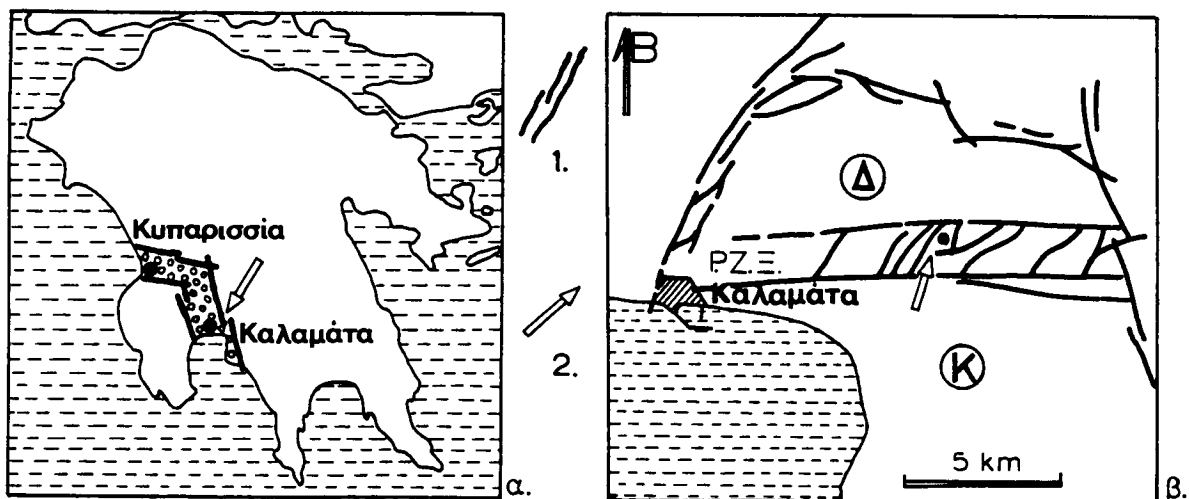
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο ανατολικό περιθώριο του μεγάλου τεκτονικού βύθισματος Καλαμάτας - Κυπαρισσίας (Εικ.1α), το οποίο αποτελεί την προς Βορρά προέκταση του Μεσσηνιακού κόλπου και αντιπροσωπεύει μια πρώτης (1ης) τάξης νεοτεκτονική μακροδομή της οποίας τα περιθώρια καθορίζονται από μεγάλες και σύνθετες ρηξιγενείς ζώνες. Τόσο στο εσωτερικό, όσο και στα περιθώρια του μεγάλου αυτού βύθισματος αναπτύσσονται δεύτερης (2ης) τάξης μακροδομές, δηλαδή μικρότερα τεκτονικά βυθίσματα ή κέρατα, που οριοθετούνται και αυτά από μεγάλα ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες. Η κινηματική εξέλιξη αυτών των νεοτεκτονικών ρηξιγενών ζωνών είναι πολύπλοκη και διαφορετική σε κάθε μία ζώνη, ενώ η πιο έντονη κινηματική δραστηριότητα εντοπίζεται κατά κύριο λόγο κατά μήκος των ζωνών αυτών "προδιαγράφοντας" σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας στις περιοχές αυτές.

Το Ελαιοχώρι βρίσκεται χτισμένο στη μεταβατική ρηξιγενή ζώνη που αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος του ρέματος του Ξερίλα και χωρίζει τη δεύτερης (2ης) τάξης νεοτεκτονική μακροδομή του τεκτονικού κέρατος του Καλάθιου όρους προς Νότο, από την αντίστοιχης τάξης νεοτεκτονική μακροδομή του τεκτονικού βύθισματος Δίμοβας-Περιβολακίων προς Βορρά (Εικ.1β). Πρόκειται για μία ρηξιγενή ζώνη που αποτελείται από ένα αριθμό παράλληλων μεγάλων ρηγμάτων με κλιμακωτή διάταξη και διεύθυνση E-W. Το μεγαλύτερο συνολικό άλμα παρατηρείται στο δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης, όπου πρέπει να υπερβαίνει τα 2000m, ενώ μειώνεται όσο προχωράμε προς τα ανατολικά [1],[3].

Ανάμεσα στα μεγάλα αυτά ρήγματα αναπτύσσεται ένας αριθμός μικρότερων ρηγμάτων με διεύθυνση εγκάρσια προς τα προηγούμενα (Εικ.1β), τεμαχίζοντας την περιοχή σε μικρότερα ρηξιτεμάχη που αποτελούν στην ουσία μακροδομές

μικρότερης τάξης. Το Ελαιοχώρι είναι κτισμένο πάνω σε μία τέτοια μακροδομή που αποτελεί ένα ενεργό νεοτεκτονικό ημικέρας τρίτης (3ης) τάξης του οποίου τα περιθώρια καθορίζονται από δύο συστήματα παράλληλων ρηγμάτων. Με βάση την ίδια λογική, στο εσωτερικό του ημικέρατος αυτού αναπτύσσεται ένας μεγάλος αριθμός ακόμη μικρότερης κλίμακας ρηγμάτων.

Η λεπτομερής μελέτη του ρηξιγενούς τεκτονικού ιστού, σε όλες τις κλίμακες παρατήρησης, έδωσε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη "συμπεριφορά" των διαφόρων τύπων ρηγμάτων και διαρρήξεων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και κατ'επέκταση για τη "σεισμογεωλογική" συμπεριφορά των ανθρακικών



Εικ. 1 Σχηματική απεικόνιση της 1ης τάξης νεοτεκτονικής μακροδομής του βυθίσματος Καλαμάτας-Κυπαρισσίας (α.) και των 2ης τάξης νεοτεκτονικών μακροδομών στην ευρύτερη περιοχή της μελέτης (β.). (1. ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες, 2. θέση περιοχής μελέτης, Δ. τεκτονικό βύθισμα Δίμοινας-Περιβολακίων, Κ. τεκτονικό κέρασ Καλάθιου όρους, P.Z.Ξ. ρηξιγενής ζώνη Ξερίλα).

Fig. 1 The 1st order neotectonic macrostructure of Kalamata-Kyparissia graben (a.) and the 2nd order neotectonic macrostructures of the study area (β.). (1. faults and fault zones, 2. position of the study area, Δ. Dimiova-Perivolakia tectonic graben, K. Kalathion mt. tectonic horst, P.Z.Ξ. Xerilas river fault zone).

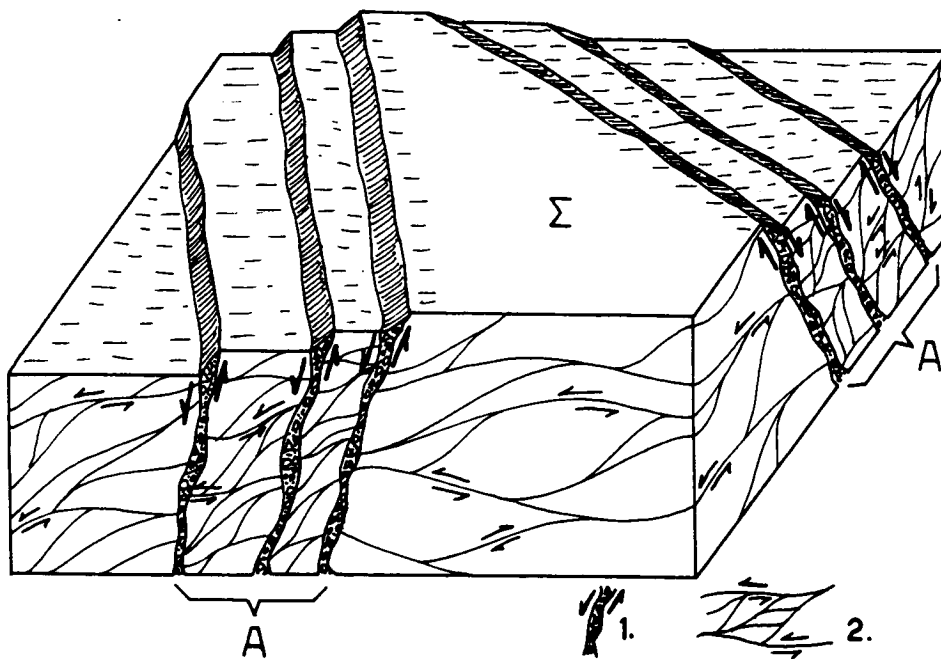
πετρωμάτων. Έτσι, στην ανθρακική μάζα είναι δυνατό να διακριθούν περιοχές που είναι έντονα διαρρηγμένες και άλλες όπου τα ρήγματα είναι σχετικά λίγα. Τη διαφορά αυτή στο βαθμό της έντασης της διάρρηξης την αντιλαμβάνεται κανείς εύκολα τόσο στη στενή περιοχή της μελέτης, όσο και σε γειτονικές περιοχές όπως για παράδειγμα στη τομή του δρόμου προς Πολιανή κατά μήκος του Τζιρορέματος.

Στις έντονα διαρρηγμένες ζώνες παρατηρείται μεγάλο πλήθος μικρορηγμάτων και διαρρήξεων με αποτέλεσμα σε ορισμένες θέσεις τα μόνα στοιχεία που κυριαρχούν είναι οι ρηξιγενείς επιφάνειες, οι οποίες μπορούν να διακριθούν σε πρώτη φάση σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ήτοι σε αυτές που είναι καμπύλες (και ανενεργές) και σε αυτές που είναι σχεδόν επίπεδες ή λιστρικού τύπου (και ενεργές), [1],[4].

Οι καμπύλης μορφής ρηξιγενείς δομές μπορούν να διακριθούν από άποψη μεγέθους σε διάφορες τάξεις. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι οι μικρότερης τάξης ρηξιγενείς ζώνες περιορίζονται μεταξύ των μεγαλύτερης τάξης και συνήθως έχουν μορφή "S" και διάταξη en echelon, γεγονός ενδεικτικό της δυναμικής και κινηματικής εξάρτησης των μικροτέρων από τις μεγαλύτερες διαρρήξεις (Εικ.2). Πολύ συχνά παρουσιάζουν στιλβωμένες κατοπτρικές επιφάνειες με γραμμές προστριβής ποικίλης διεύθυνσης και χαρακτηρίζονται από την απουσία

τεκτονικού λατυποπαγούς ή ζώνης χαλάρωσης κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούν παλιές δομές των τελευταίων σταδίων του αλπικού κύκλου ή των πρώτων σταδίων του νεοτεκτονικού κύκλου και ως εκ τούτου είναι ανενεργές [1],[3],[4].

Αντίθετα, οι ενεργές νεοτεκτονικές ρηξιγενείς επιφάνειες τέμνουν τις ανενεργές, έχουν κλίση μεγαλύτερη συνήθως από 70°, και συνήθως σχηματίζουν ένα συζυγές σύστημα ρηξιγενών επιφανειών τύπου ύψιλον (Y) ίδιας διεύθυνσης αλλά αντίθετης φοράς κλίσης που είναι γνωστές και ως αντιθετικές (Εικ.2). Σ'αυτού του είδους τα ρήγματα, στιλβωμένες κατοπτρικές επιφάνειες και γραμμές προστριβής παρατηρούνται σε ελάχιστες περιπτώσεις. Απεναντίας χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη τεκτονικού λατυποπαγούς σχηματίζοντας συνήθως μια χαλαρωμένη ζώνη μεγάλου πλάτους. Κατά θέσεις παράλληλα προς τις εν λόγω ενεργές ρηξιγενείς επιφάνειες παρατηρείται έντονη καρστικοποίηση. Αρκετές από αυτές τις ρηξιγενείς επιφάνειες επαναδραστηριοποιήθηκαν με τον κύριο σεισμό ενώ ορισμένες άλλες μόνο κατά το δεύτερο ισχυρό μετασεισμό.

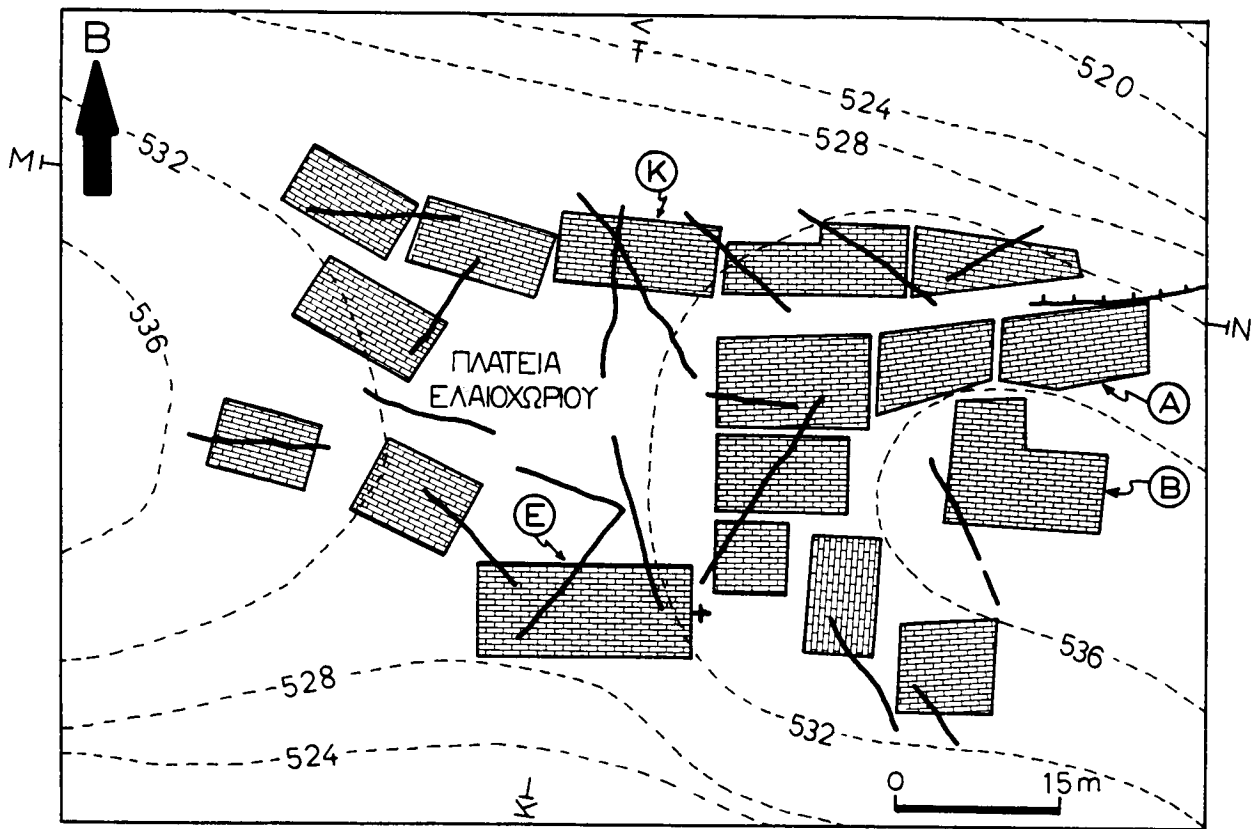




Εικ. 2 Σχηματική απεικόνιση των δύο κατηγοριών τεκτονικών ασυνεχειών (1. ενεργά και σεισμικά ρήγματα και διαρρήξεις, 2. παλιές ανενεργές επιφάνειες, Σ. σχετικά "σταθερές" περιοχές, Α. έντονα διαρρηγμένες ζώνες).

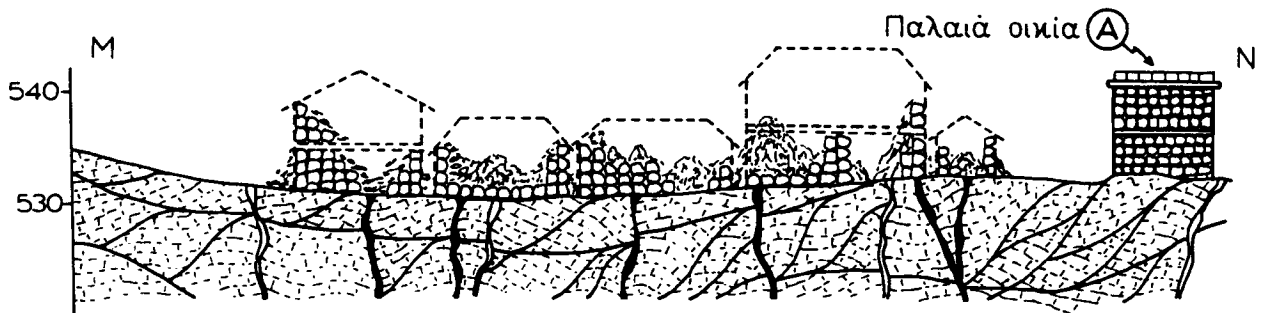
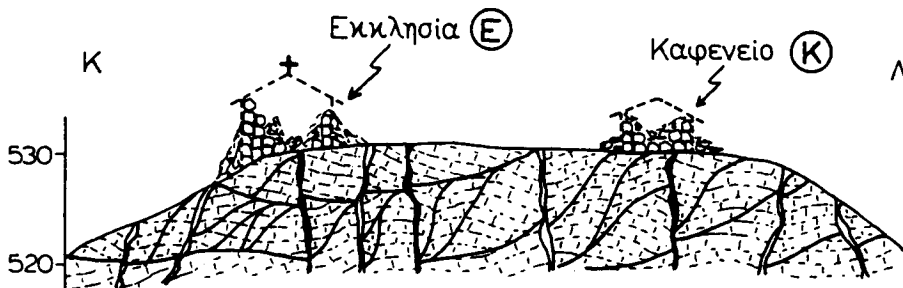
Fig. 2 The two types of tectonic discontinuities (1. active and seismic faults and fractures, 2. old non-active surfaces, Σ. "stable" areas, Α. intensively fractured areas).



Αυτό υποδηλώνει ότι με κάθε σεισμό είναι δυνατόν να επαναδραστηριοποιηθεί και διαφορετικό σύστημα ενεργών διαρρήξεων (σεισμικά ρήγματα και διαρρήξεις). Στην επιφάνεια του εδάφους οι εν λόγω ρηξιγενείς επιφάνειες δημιουργούν αλλού μικρότερη και αλλού μεγαλύτερη ανωμαλία στο ανάγλυφο, χαρακτηριστικό που διευκολύνει τη χαρτογράφισή τους και την αναγνώριση πολλών από αυτές ακόμα και από τις αεροφωτογραφίες [1],[3],[4].


Η πυκνότητα των διαφόρου μεγέθους νεοτεκτονικών ρηγμάτων είναι γενικώς μεγάλη. Αυτό παρατηρείται σε πολλές περιοχές του Ελλαδικού χώρου, και φαίνεται να συνδέεται, εκτός των άλλων, και με το τοπικό δυναμικό και κινηματικό καθεστώς της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης των επί μέρους περιοχών. Η μεγάλη όμως πυκνότητα των ενεργών νεοτεκτονικών ρηγμάτων από μόνη της δεν είναι



 Ενεργές διαρρήξεις και ρήγματα που δραστηριοποιήθηκαν με τους σεισμούς της Καλαμάτας.
  Ρήγμα ανενεργό



 Ενεργές διαρρήξεις και ρήγματα που δραστηριοποιήθηκαν με τους σεισμούς της Καλαμάτας.
  Ενεργές διαρρήξεις και ρήγματα που δεν δραστηριοποιήθηκαν με τους σεισμούς.

 Ανενεργά ρήγματα και διαρρήξεις.

Εικ. 3 Σχέση μεταξύ τύπου διαρρήξεων (ενεργές-ανενεργές) και καταστροφών.  
 Fig. 3 Correlation between type of fractures (active - non active) and damages.

δυνατόν να μεταβάλει μία συνεκτική βραχομάζα σε χαλαρή. Η μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας είναι πιο σύνθετο φαινόμενο και συνδέεται κυρίως με το είδος της κίνησης παράλληλα προς τις ρηξιγενείς επιφάνειες των ενεργών ρηγμάτων και τη γεωμετρία τους που κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις είναι δυνατόν να προκαλέσουν μετατοπίσεις ανενεργών τεμαχών επαναδραστηριοποιώντας κατ'αυτό το τρόπο παθητικά ανενεργά ρήγματα. Οι μικρές αυτές παθητικές μετατοπίσεις προκαλούν άλλες μετατοπίσεις, μικροτέρων τεμαχών κ.ο κ.. Εξαιτίας της γεωμετρίας όμως της επιφάνειας των ανενεργών ρηγμάτων και διαρρήξεων, που όπως ελέχθη είναι καμπύλες και σε τομή έχουν τη μορφή "S", ακόμα και πολύ μικρή μετακίνηση δημιουργεί τοπικά περιοχές θλίψης και εφελκυσμού, που με τη σειρά τους προκαλούν επαναδραστηριοποιήσεις άλλων ανενεργών τεμαχών. Κατ' αυτό το τρόπο και επειδή η επαναδραστηριοποίηση έχει επαναληφθεί πολλές φορές κατά το γεωλογικό παρελθόν, είναι δυνατόν ολόκληροι ορεινοί όγκοι να κατακερματιστούν σε μικρότερα ή μεγαλύτερα τεμάχια διαφόρων διαστάσεων και διαφορετικού βαθμού χαλάρωσης. Στην ουσία οι περιοχές που έχουν υποστεί αυτή τη διεργασία μετατρέπονται σ' ένα τεραστίων διαστάσεων τεκτονικό μακρολατυποπαγές. Σ' αυτή τη γενικά χαλαρωμένη βραχομάζα είναι δυνατόν να διασωθούν και ορισμένα τμήματα ποικίλλων διαστάσεων, που παραμένουν συνεκτικά (Εικ. 2). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι οι διεργασίες αυτές απαντούν στις μεταβατικές ρηξιγενείς ζώνες.

#### ΣΧΕΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Μετά τη λεπτομερή καταγραφή των τεκτονικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας στην περιοχή του Ελαιοχωρίου μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις σχετικά με τη συμπεριφορά της σαν έδαφος θεμελίωσης, κατά τη διάρκεια του σεισμού:

i) Με εξαίρεση τις σύγχρονες κατασκευές από ενισχυμένο σκυρόδεμα, που γενικά έδειξαν καλύτερη συμπεριφορά, δε φαίνεται να υπάρχει άμεση εξάρτηση των καταστροφών με τον τύπο και το είδος των κατασκευών, αφού καταστράφηκαν τόσο τα παλαιότερα όσο και τα νεώτερα κτίσματα του χωριού. Αλλωστε από τα λίγα κτίρια που έμειναν ανέπαφα, δύο ήσαν κατασκευές από λιθοδομή από τις παλαιότερες του χωριού.

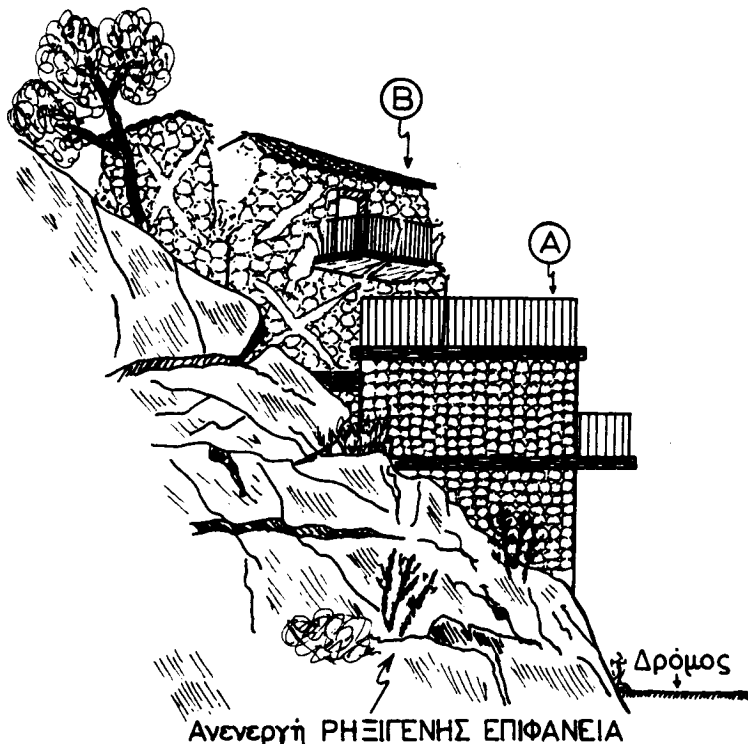
ii) Η κατανομή των καταστροφών στο Ελαιοχώρι παρουσιάζει πολύ μικρή εξάρτηση από τις τοπογραφικές κλίσεις, εφόσον ανεπανόρθωτες βλάβες ή μεγάλος αριθμός από ολικές καταρρεύσεις σημειώθηκαν ακόμα και στις σχεδόν οριζόντιες περιοχές του χωριού, ενώ δύο από τα κτίρια που έμειναν ανέπαφα (ένα παλιό και ένα καινούργιο), είναι θεμελιωμένα σε πρηνή με σχετικά μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις.

iii) Η συχνότητα και η πυκνότητα των τεκτονικών ασυνεχειών είναι δυνατόν να συσχετισθεί με την κατανομή των καταστροφών, αφού οι περισσότερες από τις ολικές καταρρεύσεις κτιρίων ή κτιρίων που υπέστησαν πολύ σημαντικές βλάβες παρατηρήθηκαν στις περιπτώσεις όπου τα κτίσματα ήταν θεμελιωμένα πάνω σε κατακερματισμένα βραχομάζα. Εν τούτοις όμως υπήρξαν εξαιρέσεις από τον κανόνα.

iv) Το σημαντικότερο όμως κριτήριο με το οποίο η κατανομή των καταστροφών είναι άμεσα συσχετίσιμη, είναι η παρουσία ενεργών ρηγμάτων και διαρρήξεων που επαναδραστηριοποιήθηκαν με τους σεισμούς (σεισμικά ρήγματα και διαρρήξεις). Σχεδόν στο σύνολο των κατεστραμμένων κτιρίων πιστοποιήθηκε η παρουσία σεισμικών ρηγμάτων ή διαρρήξεων στο έδαφος θεμελίωσης, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις για την ολική κατάρρευση ήταν αρκετή η παρουσία μίας και μόνο σεισμικής διάρρηξης άσχετα με την γενική κατάσταση της βραχομάζας. Πάντως, οι μεγαλύτερες καταστροφές παρατηρήθηκαν στα σημεία διασταύρωσης δύο τέτοιων συστημάτων διαρρήξεων. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή της κεντρικής πλατείας του χωριού όπου το σύνολο των κτισμάτων γύρω από αυτή



καταστράφηκαν εντελώς παρά το γεγονός ότι οι συνθήκες θεμελίωσης ήταν από τις πιά ευνοϊκές, αφού οι τοπογραφικές κλίσεις δεν υπερβαίνουν το 5% ενώ η γενική ποιότητα της βραχομάζας είναι σχετικά ικανοποιητική για την περιοχή εφόσον δεν διασχίζεται από μεγάλο αριθμό ασυνεχειών. Εν τούτοις όμως, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα σχήματα της Εικ.3, μετά από λεπτομερή χαρτογράφηση πιστοποιήθηκε η ύπαρξη σεισμικών διαρρήξεων (διαρρήξεων δηλαδή



Εικ. 4 Οι συνθήκες θεμελίωσης του ενός από τα παλαιά σπίτια που δεν καταστράφηκαν από τους σεισμούς.  
Fig. 4 The background conditions one's of the two old buildings that had not been destroyed by the earthquakes.

vi) Από τις δύο σύγχρονες κατοικίες που δεν καταστράφηκαν με τους σεισμούς η μία ήταν θεμελιωμένη σε περιοχή με πολύ μικρές τοπογραφικές κλίσεις (ενώ η άλλη σε περιοχή με μεγάλες σχετικά κλίσεις (περίπου 100%). Και στις δύο, περιοχές ένας σημαντικός αριθμός τεκτονικών ασυνεχειών διέσχισε τη βραχομάζα, καμμία όμως από αυτές δεν είχε τα χαρακτηριστικά των ενεργών, ούτε φυσικά δραστηριοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των σεισμών.

vii) Τα δύο παλαιά κτίρια του χωριού που έμειναν ανέπαφα αποτελούν ίσως το πιά χαρακτηριστικό παράδειγμα για το ρόλο που διαδραμάτισε η ενεργοποίηση συγκεκριμένων ρηγμάτων και διαρρήξεων στην κατανομή των καταστροφών (Εικ.3). Και οι δύο είναι κτισμένες πάνω στην κατοπτρική επιφάνεια ενός ρήματος με διεύθυνση περίπου Α-Δ που φέρνει σε επαφή τους ανθρακικούς σχηματισμούς με το φλύσχη της ενότητας Τρίπολης. Το γεγονός αυτό εκ πρώτης όψεως είναι εντυπωσιακό ερμηνεύεται δε, αν λάβει κανείς υπόψη του το είδος της ρηξιγενούς επιφάνειας, αφού αποτελεί μία τυπική περίπτωση παλαιού ανενεργού ρήματος και επιπλέον τα κτίσματα έχουν θεμελιωθεί πάνω σε συνεκτική βραχομάζα. Έτσι, παρά το γεγονός ότι, (α) τα δύο κτίσματα ήταν από τα παλαιότερα του χωριού, και (β) οι τοπογραφικές κλίσεις στο συγκεκριμένο σημείο είναι σχετικά μεγάλες, κανένα από αυτά δεν υπέστη σημαντικές βλάβες (Εικ.4).

που δραστηριοποιήθηκαν με τους σεισμούς), κάτω από κάθε κτίριο.

v) Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο που ενισχύει σε μεγάλο βαθμό τη σχέση ανάμεσα στη συμπεριφορά της βραχομάζας και τις σεισμικές διαρρήξεις αποτελεί το γεγονός ότι ορισμένα κτίρια καταστράφηκαν με τον κύριο σεισμό ενώ ορισμένα άλλα με τον επακόλουθο ισχυρό μετασεισμό. Από επί τόπου λεπτομερείς παρατηρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε ανάμεσα στις δύο σεισμικές δονήσεις πιστοποιήθηκε ότι για την κάθε μία περίπτωση δραστηριοποιήθηκε διαφορετικό σύστημα ρηγμάτων και διαρρήξεων, έτσι ώστε άλλα από αυτά "έδρασαν" κατά τον πρώτο σεισμό και ορισμένα άλλα κατά το δεύτερο.

ix) Αξιοπρόσεκτη είναι και η περίπτωση των υπολειμμάτων των παλαιών, Μυκηναϊκών τειχών που βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του χωριού. Αν και στο έδαφος θεμελίωσης παρατηρήθηκε ένας μεγάλος αριθμός σεισμικών διαρρήξεων και παρά το γεγονός ότι όλα τα διπλανά κτίρια κατεστράφησαν, αυτά έμειναν σχεδόν ανέπαφα. Η συμπεριφορά τους αυτή οφείλεται πιθανότατα στον τρόπο κατασκευής τους, όπου φαίνεται ότι η σεισμική ενέργεια απορροφάται από μικρομετακινήσεις ανάμεσα στα πολυγωνικά δομικά στοιχεία, επιτρέποντας κάποιες παραμορφώσεις στην κατασκευή όχι όμως και την κατάρρευσή της.

#### ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΒΡΑΧΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Από όλα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω γίνεται φανερό ότι για την αξιολόγηση και ταξινόμηση της βραχομάζας σύμφωνα με την αναμενόμενη συμπεριφορά της σαν έδαφος θεμελίωσης σε σεισμικά ενεργές περιοχές, εκτός από τους μέχρι σήμερα γνωστούς παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο ή λιγότερο την καταλληλότητά της [5], [6], πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον εντοπισμό των ενεργών τεκτονικών δομών, είτε πρόκειται για μεγάλης κλίμακας ρηξιγενείς ζώνες της τάξης ορισμένων km, είτε για μικρότερα ενεργά ρήγματα ή διαρρήξεις κλίμακας μερικών δεκάδων μέτρων ή και μικρότερα.

Ο σχεδιασμός για την διάκριση και χαρτογράφηση των βραχοτεκτονικών ενοτήτων πρέπει να γίνεται σε όλες τις κλίμακες παρατήρησης, ξεκινώντας από μικρής κλίμακας χάρτες (1:100.000 ή 1:50.000) για τον βασικό σχεδιασμό, για να καταλήξει σε χάρτες μεγάλης κλίμακας (1:5.000, 1:1.000 ή και σε ακόμα μεγαλύτερη κλίμακα), όπου η χαρτογράφηση της βραχομάζας θα γίνεται σε κλίμακα που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της δόμησης. Η διαδικασία αυτή σε γενικές γραμμές, σε ένα βασικό πλαίσιο εφαρμογής πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1) Εντοπισμός, χαρτογράφηση και τεκτονική ανάλυση των νεοτεκτονικών μακροδομών με ιδιαίτερη έμφαση στις μεγάλες ενεργές ρηξιγενείς ζώνες που καθορίζουν κυρίως τα περιθώριά τους. Οι περιοχές στις ζώνες αυτές αποτελούν πολύ κακό έδαφος θεμελίωσης, αφ' ενός μεν γιατί η συχνότητα και η πυκνότητα των τεκτονικών ασυνεχειών αναμένεται πολύ μεγάλη σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές αλλοιώνοντας σε πολύ μεγάλο βαθμό τα πρωτογενή χαρακτηριστικά της βραχομάζας, αφ' ετέρου δε γιατί οι περισσότερες από αυτές έχουν τα χαρακτηριστικά των ενεργών οπότε αναμένεται να δραστηριοποιηθούν με κάποιο σεισμό. Το Ελαιοχώρι για παράδειγμα ήταν κτισμένο πάνω σε μία τέτοια μεγάλη ζώνη (ρηξιγενής ζώνη του Ξερίλα που οριοθετεί το νότιο περιθώριο του ενεργού τεκτονικού βυθίσματος Δίμιοβας - Περιβολακίων), που δραστηριοποιήθηκε με τους σεισμούς της Καλαμάτας, ενώ η ίδια η πόλη της Καλαμάτας βρίσκεται κτισμένη πάνω στη διασταύρωση των προεκτάσεων δύο τέτοιων μεγάλων ρηξιγενών ζωνών, του Ξερίλα και του Νέδοντα ποταμού (Εικ.1β).

2) Σε δεύτερο στάδιο γίνεται προσεκτικός εντοπισμός, χαρτογράφηση και λεπτομερής τεκτονική ανάλυση των μικρότερης κλίμακας συστημάτων ρηγμάτων και διαρρήξεων, που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των ενεργών -και αναμένεται να επαναδραστηριοποιηθούν με κάποιο σεισμό- και διαχωρισμός των συμπαγών βραχοτεκτονικών ενοτήτων, από τις οποίες δεν διέρχονται ασυνέχειες με τα χαρακτηριστικά των ενεργών (Εικ.2). Στα τμήματα όπου η συχνότητα των ενεργών ασυνεχειών είναι πολύ μεγάλη η βραχομάζα είναι κατακερματισμένη με χαρακτηριστικά αντίστοιχα ενός πολύ χαλαρού λατυποπαγούς (χαλαρή βραχοτεκτονική ενότητα) και φυσικά είναι εντελώς ακατάλληλη σαν έδαφος θεμελίωσης. Στο Ελαιοχώρι για παράδειγμα, το σύνολο της βραχομάζας παρουσιάζει τέτοια χαρακτηριστικά και οι συνεκτικές βραχοτεκτονικές ενότητες

που απομονώνονται περιβαλλόμενες από ενεργά ρήγματα, είναι πολύ μικρές γι'αυτό και η καταστροφή ήταν σχεδόν ολοκληρωτική.

3) Στο τρίτο στάδιο, στις περιοχές αυτές που έχουν χαρακτηριστεί σαν συνεκτικές γίνεται η τελική αξιολόγηση της βραχομάζας με κριτήρια τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η συχνότητα των ανενεργών ασυνεχειών, οι μηχανικοί δείκτες του συμπαγούς πετρώματος, ο βαθμός καρστικοποίησης, οι υδρολογικές συνθήκες, οι τοπογραφικές κλίσεις,...κλπ., με στόχο την τελική ταξινόμησή της σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την αναμενόμενη συμπεριφορά της σαν έδαφος θεμελίωσης.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΣΑΜΠΩ Β., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΔΑΝΑΜΟΣ Γ., ΛΕΚΚΑΣ Ε., ΛΟΓΟΣ Ε., ΛΟΖΙΟΣ Σ., ΜΕΡΤΖΑΝΗΣ Α. & ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι. (1986), "Μικροζωνική μελέτη Καλαμάτας. Γεωλογία-Νεοτεκτονική-Γεωμορφολογία". Ο.Α.Σ.Π. 1986.

[2] ΚΟΥΚΗΣ Γ., (1981), "Τεχνικογεωλογικές - Γεωμηχανικές συνθήκες στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τους σεισμούς". Δελτ. Κ.Ε.Δ.Ε. V.1-2.

[3] ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Ι., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., ΛΟΓΟΣ, Ε. & ΛΟΖΙΟΣ, Σ. (1989), "Surface faulting caused by the Kalamata (Greece) earthquakes (13.9.1986)". Tectonophysics, 163, p. 197-203.

[4] ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Ι. (1991), "Prediction of Natural Mass Movement in Tectonically Active Areas". In: Prevention and control of landslides and other mass movements (Editors: M.E. Almeida-Teixeira, R. Fantechi, R. Oliveira, A. Gomes Coelho). Commiss. Europ. Commun., EUR 12918 en, p. 69-81, Brussels.

[5] BIENIAWSKI, Z.T. (1979), "The Geomechanics classification in rock engineering applications". Proc. 4th Int. Cong. on Rock Mechanics, ISRM, Montreaux. Balkema, Chap. 5, p. 55-95, Boston.

[6] HOEK, E & BRAY, J. (1981), "Rock slope Engineering". The Institution of Mining and Metallurgy, 309 p., London.