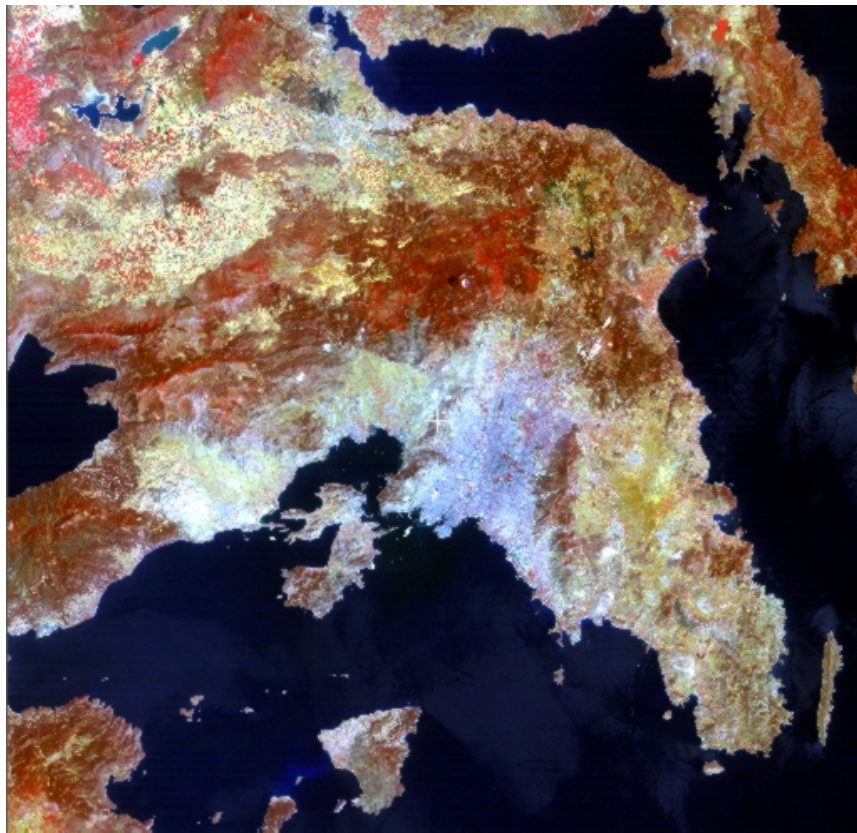


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΑΘΗΝΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ
ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ
ΤΗΣ 7 - 9 - 1999.**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΛΚΑΝΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

Θεσσαλονίκη , 2003

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγγραφή της εργασίας αυτής έγινε στα πλαίσια του μαθήματος Διπλωματική Εργασία, με υπεύθυνο καθηγητή τον κ. Παυλίδη Σπ., τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ανάθεση του θέματος και την απεριόριστη βοήθεια που προσέφερε κατά την συγγραφή. Η όλη προσπάθεια περιλαμβάνει βιβλιογραφική έρευνα για την περιοχή των Αθηνών και της Πάρνηθας καθώς και για το σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 που έπληξε την περιοχή, με έμφαση στην πλειόσειστη περιοχή (ΒΔ Αθήνα). Πραγματοποιήθηκε, επίσης, λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση του ρήγματος των Θρακομακεδόνων.

Η εργασία υπαίθρου πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2002 με τη συνεργασία του Δρ. Γκανά Αθ., ερευνητή στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, τον οποίο και ευχαριστώ προσωπικά για το πολύτιμο υλικό που προσέφερε και τις συζητήσεις πάνω σε θέματα νεοτεκτονικής και γεωλογίας της περιοχής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Σμπόρα Σ., μεταπτυχιακό φοιτητή, και Γκαναβάρια Ι., για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφεραν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	1
1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	2
1.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	11
2. Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 7^{ης} ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1999	13
2.1 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	13
2.2 ΙΣΧΥΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΛΑΒΩΝ	18
2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΕΙΣ – ΤΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΡΗΓΜΑ	23
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ	27
3.1 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΝΗΘΑ - ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΗΣ ΦΥΛΗΣ	28
3.2 ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΩΝ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ	32
4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	47
4.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΑΘΗΝΑ – ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΙΣ ΒΛΑΒΕΣ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ 7-9-99	48
4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ	53
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 - ΔΟΜΙΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η περιοχή της Αττικής λόγω της πολύπλοκης γεωλογικής δομής, αλλά και του γεγονότος ότι φιλοξενεί το μητροπολιτικό κέντρο των Αθηνών, παρουσιάζει ιδιαίτερο γεωλογικό και σεισμολογικό ενδιαφέρον. Ο καταστρεπτικός σεισμός της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 που έπληξε τη βορειοδυτική περιοχή του Λεκανοπεδίου Αθηνών επιβεβαίωσε την ύπαρξη ενεργών τεκτονικών δομών στα όρια του οικιστικού ιστού και την ανάγκη περαιτέρω μελέτης τους, με σκοπό την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (seismic hazard) και την προσπάθεια για μείωση της τρωτότητας (vulnerability) των κατασκευών.

Αρχικά, γίνεται μια επισκόπηση των υπαρχόντων δημοσιεύσεων σχετικά με τη γεωλογία της Αττικής, αναφέρονται τα προβλήματα που παρουσιάζει η ερμηνεία της γεωλογικής δομής της και οι επικρατούσες σήμερα απόψεις, και, τέλος, παρατίθενται ορισμένοι προβληματισμοί και πιθανές ερμηνείες αυτών.

Για τον εντοπισμό των ενεργών τεκτονικών δομών και τον προσδιορισμό των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής μελέτη της γεωλογίας της περιοχής που επλήγη από τον σεισμό (Νότια Πάρνηθα – Δυτικό Λεκανοπέδιο), με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα, χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 και συλλογή στοιχείων από δορυφορικές εικόνες και παρατηρήσεις υπαίθρου. Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια συσχετισμού όλων των παραπάνω δεδομένων που προκύπτουν με τις βλάβες του σεισμού και εξαγωγή χρήσιμων στοιχείων όσον αφορά την οικιστική καταλληλότητα της περιοχής.

1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Μορφολογικά, η Αττική διαμορφώνεται από δυο κύρια ορογραφικά συστήματα:

- Το βορειοδυτικό με τα Γεράνεια, τον Κιθαιρώνα, τον Πατέρα, την Πάστρα, το Αιγάλεω και την Πάρνηθα
- Το νοτιοανατολικό, με το Πεντελικό, τον Υμηττό και τα όρη της Λαυρεωτικής

Το πεδινό τμήμα της Αττικής διαμορφώνεται από σχετικά μικρής έκτασης ασυνεχείς λεκάνες, ανοικτές προς τη θάλασσα. Οι σημαντικότερες από αυτές, είναι του Λεκανοπεδίου Αθηνών, των Μεσογείων, των Μεγάρων, της Ελευσίνας και των Θηβών.

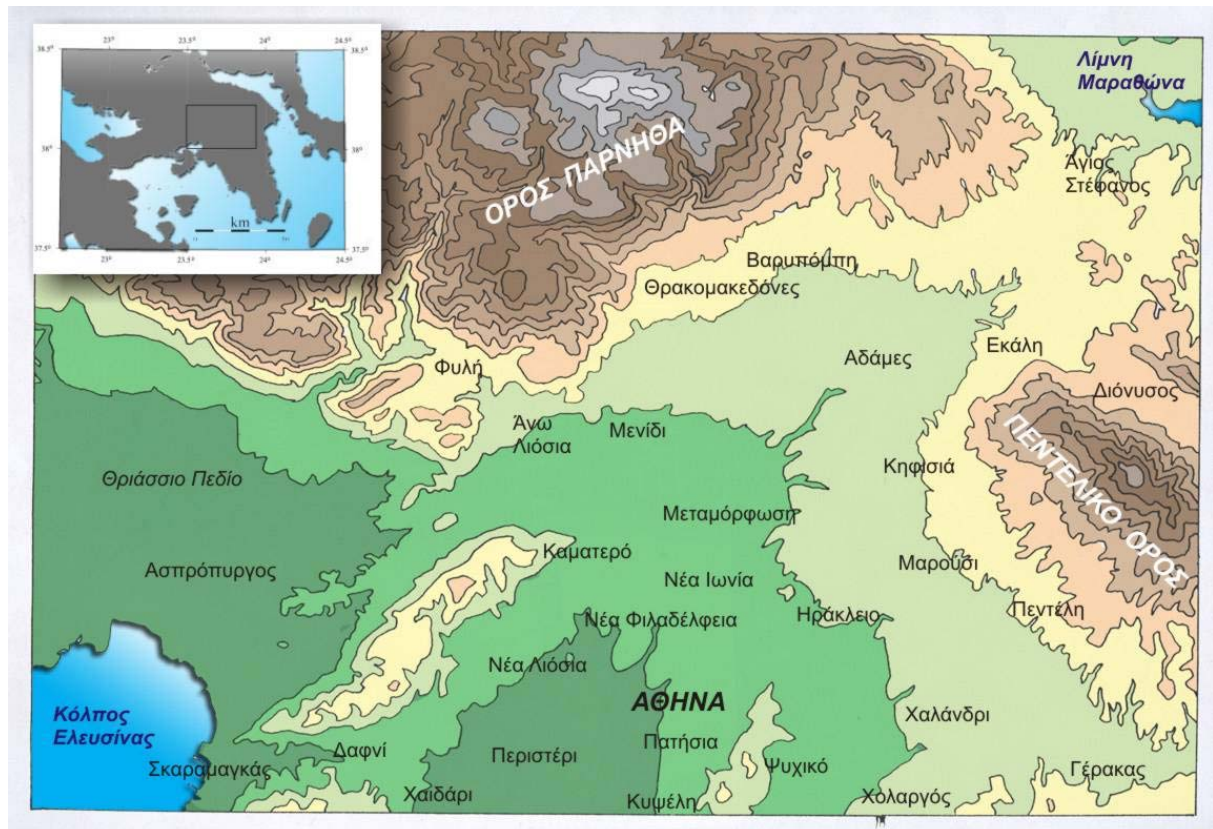
Η περιοχή ενδιαφέροντος αποτελεί το κεντρικό τμήμα της Αττικής. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει το δυτικό – βορειοδυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών, το βόρειο Αιγάλεω (Ποικίλο Όρος) και τη Νότια Πάρνηθα.

Το ορεινό κομμάτι της περιοχής αποτελείται από το Αιγάλεω (453m) στα νότια και στα βόρεια τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας (1413m). Κατά μήκος των προπόδων του Αιγάλεω, υψώνονται οι λόφοι Καματερού (183m), Πετρούπολης (205m), Λατομεία Άσπρων Χωμάτων (239m), Προφήτη Ηλία Χαϊδαρίου (189m) και Κορυδαλλού (299m). Στο εσωτερικό του Λεκανοπεδίου και εντός της πόλεως των Αθηνών, βρίσκεται σειρά υψωμάτων όπως οι λόφοι των Τουρκοβουνίων και των Πατησίων (339m), ο Λυκαβηττός (278m), ο λόφος Στρέφης (163m), η Ακρόπολη (156m), ο λόφος του Φιλοπάππου (147m), ο Αρδηττός (131m), ο λόφος Σικελίας (79m) κ.α.

Οι νότιες παρυφές της Πάρνηθας περιλαμβάνουν μια σειρά υψωμάτων, όπως το Πλάτωμα (245m), Βουνό Χασιάς (532m), Προφήτης Ηλίας Φυλής (419m), Πέτρα Βαρυμπόμπης (660m), Καραούλι (1126m), Βουνό Φυλής, Σχιστό, Μαύρη Πέτρα, Φλάμπουρο κ.α.

Δυτικά από το Αιγάλεω τοποθετείται η πεδιάδα της Ελευσίνας (Θριάσιο Πεδίο). Στα ανατολικά, το Λεκανοπέδιο των Αθηνών τερματίζει στο Πεντελικό όρος (1109m) και στον Υμηττό (1026m), ενώ στα νότια απλώνεται ο Σαρωνικός κόλπος.

Στην περιοχή αναπτύσσεται μικρός αριθμός ποταμών, με σημαντικότερο τον Κηφισό Ποταμό, ο οποίος διατρέχει το δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου, καθώς και το Ρέμα Γιαννούλας, που διασχίζει την νότια Πάρνηθα και καταλήγει στην περιοχή του Ασπροπύργου στην πεδιάδα της Ελευσίνας. Πολυάριθμα ρέματα περιοδικής λειτουργίας και χείμαρροι αναπτύσσονται στο ημι-ορεινό και λοφώδες τμήμα της περιοχής.



Σχήμα 1.1. Γενικός χάρτης της κεντρικής Αττικής. Ισοϋψείς ανά 100m.

1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Βιβλιογραφικά στοιχεία για την γεωλογία της Αττικής υφίστανται σε αφθονία, ήδη από τα πρώτα χρόνια της Απελευθέρωσης, τόσο λόγω της ιδιαίτερης σημασίας της περιοχής στους μελετητές του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού, όσο και στον πλούσιο ορυκτό πλούτο της Λαυρεωτικής, στην πλούσια Πικερμική πανίδα θηλαστικών αλλά και στην έντονη οικιστική ανάπτυξη που γνώρισε η μητρόπολη των Αθηνών τα τελευταία έτη.

Πρώτος ο Άγγλος φυσιοδίφης J. Wood δημοσίευσε ανακοίνωση επί της γεωλογικής κατασκευής της Αττικής (Wood 1822). Μετά από αυτόν, οι Puillon de Boblaye και Virlet, μέλη της γαλλικής επιστημονικής αποστολής, στο μνημειώδες έργο τους για την Πελοπόννησο (Boblaye de P. & Virlet 1833), επισκέφτονται για συγκριτικές μελέτες και την Αττική, και παραθέτουν σημαντικές παρατηρήσεις, ιδιαίτερα για το Σούνιο και το Πεντελικό όρος. Τα στρώματα του Πικέρμι ανακαλύφθηκαν τυχαίως από τον Άγγλο αρχαιολόγο Finley το 1835, και η πρώτη συστηματική μελέτη και χρονολόγησή τους στο Τριτογενές έγινε από τον καθηγητή του Μονάχου A. Wagner (Wagner 1840).

Την ίδια εποχή ο Gustav Fiedler, έχοντας εντολή της τότε Ελληνικής Κυβέρνησης να μελετήσει τον ορυκτό πλούτο της χώρας, δημοσίευσε μαζί με το δίτομο έργο του (Fiedler 1840) και τον πρώτο γεωλογικό χάρτη της Αττικής. Ο Spratt, αφού μελέτησε τους νεογενείς σχηματισμούς της Μ.Ασίας και της Σάμου, επισκέφθηκε για τον σκοπό αυτό την Κύμη και τον Ωρωπό (Spratt 1847) συλλέγοντας πλούσιο παλαιοντολογικό υλικό. Σταθμό στην γεωλογική μελέτη της Αττικής αποτελεί η δημοσιευθείσα το 1862 μονογραφία του Γάλλου ακαδημαϊκού Albert Gaudry. Η μελέτη αυτή (Gaudry 1862) περιλαμβάνει δύο μέρη: στο πρώτο περιγράφονται τα πλούσια παλαιοντολογικά ευρήματα του Πικερμίου, ενώ στο δεύτερο μελετάται η γεωλογική κατασκευή της Αττικής.

Ο Αυστριακός καθηγητής Neumar δημοσιεύει μερικά στοιχεία για τον ασβεστολιθικό βράχο της Ακρόπολης (Neumar 1875), ενώ αργότερα δημοσιεύεται η γνωστή μελέτη για την γεωλογική κατασκευή της νήσου Κω (Neumar 1880), όπου για πρώτη φορά αναφέρεται ότι δεν είναι το σύνολο των ερυθρών στρωμάτων της Αττικής πικερμικά αλλά τα περισσότερα από αυτά είναι πρόσφατης ηλικίας. Ο ειδικός επί της στρωματογραφίας του Νεογενούς Th. Fuchs δημοσιεύει ειδική μονογραφία για τους νεώτερους τριτογενείς σχηματισμούς της Ελλάδος (Fuchs 1877, επίσης Fuchs 1876), περιλαμβάνοντας τους σχηματισμούς γλυκών υδάτων της Αττικής και τα στρώματα του Πικερμίου. Μετά από αυτόν, ο Bittner εξετάζει την γεωλογική δομή της Αττικής, Βοιωτίας, Λοκρίδας και Παρνασσού (Bittner 1880). Στο έργο του, που συνοδεύεται από γεωλογικό χάρτη, ασχολείται κυρίως με τα αλπικά στρώματα της Αττικής. Εργασία για τα κρυσταλλοσχιτώδη στρώματα της Αττικής δημοσιεύεται και από τον Γερμανό Bucking (Bucking 1881).

Οι γνώσεις μας για την γεωλογική δομή της Αττικής προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από την μνημειώδη εργασία του R. Lepsius “Γεωλογία της Αττικής” (Lepsius 1893), οι απόψεις του οποίου λίγο έχουν διαφοροποιηθεί έως σήμερα (Petrascheck & Marinos 1953, Katsikatsos 1977). Ο Lepsius, θεωρώντας ότι στην Αττική ήταν δυνατόν να λυθεί το ζήτημα της γένεσης των μαρμάρων και των κρυσταλοπαγών σχιστολίθων, έρχεται στην Ελλάδα και μετά από λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση (1:25.000) δημοσιεύει το ογκώδες αυτό έργο. Σύμφωνα με τον Lepsius, στην γεωλογική δομή της Αττικής συμμετέχουν:

A) το “Κρυσταλλοπαγές των ορέων απόθεμα”, Προκάμβριας ηλικίας, το οποίο περιλαμβάνει:

- Ασβεστομιγείς μαρμαρυγακούς σχιστολίθους με χαλαζιακούς φακούς (Σχιστόλιθοι Βάρης)
- Δολομιτικούς και ασβεστολιθικούς σχιστόλιθους (Δολομίτες Πιρνάρης)
- Το Κατώτερο Μάρμαρο
- Μαρμαρυγακούς σχιστολίθους της Καισαριανής και τον γρανίτη της Πλάκας
- Το Ανώτερο Μάρμαρο

B) το “Κρητιδικό σύστημα”, το οποίο περιλαμβάνει:

- Μάργες της κατώτερης βαθμίδας (Στρώματα Καρά)
- Κατώτερη ασβεστολιθική βαθμίδα
- Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι
- Ανώτερη ασβεστολιθική βαθμίδα

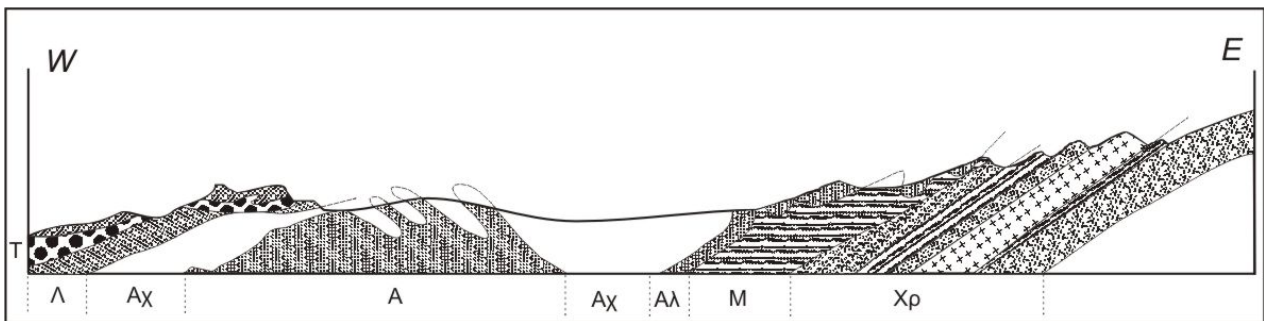
Γ) το “Τριτογενές σύστημα”, το οποίο διαχωρίζεται σε κατώτερα και ανώτερα βαθμίδα και

Δ) τις “Τεταρτογενείς επιστρώσεις” τις οποίες διακρίνει σε “Αλλούβιον” και “Διλούβιον”.

Ο Lepsius θεωρεί την πλειονότητα των νεογενών αποθέσεων της Αττικής ως μειοκαινικής ηλικίας, επομένως ο γεωλογικός χάρτης, όσον αφορά την εξάπλωση του Τριτογενούς, χρήζει πλήρους αναθεώρησης. Ο Renz ασχολήθηκε ειδικότερα με τη γεωλογία του όρους Πάρνηθα (Renz 1908, 1909 και 1945), όπως και ο Κτενάς (Ktenas 1908). Με μια σειρά εργασιών (Negris 1912, 1913) και μια μονογραφία για τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Negris 1915), ο Νέγρης ασχολείται με την γεωλογία του Λεκανοπεδίου αλλά και των ορέων που το περικλείουν.

Το πρόβλημα της γεωτεκτονικής τοποθέτησης των σχηματισμών της Αττικής προσπαθεί να επιλύσει ο Kober, ο οποίος κατασκεύασε γεωλογικές τομές εντός του Λεκανοπεδίου με σκοπό να δείξει την τεκτονική δομή καλυμμάτων που, σύμφωνα με αυτόν, χαρακτηρίζουν τον χώρο (Kober 1929a, 1929b).

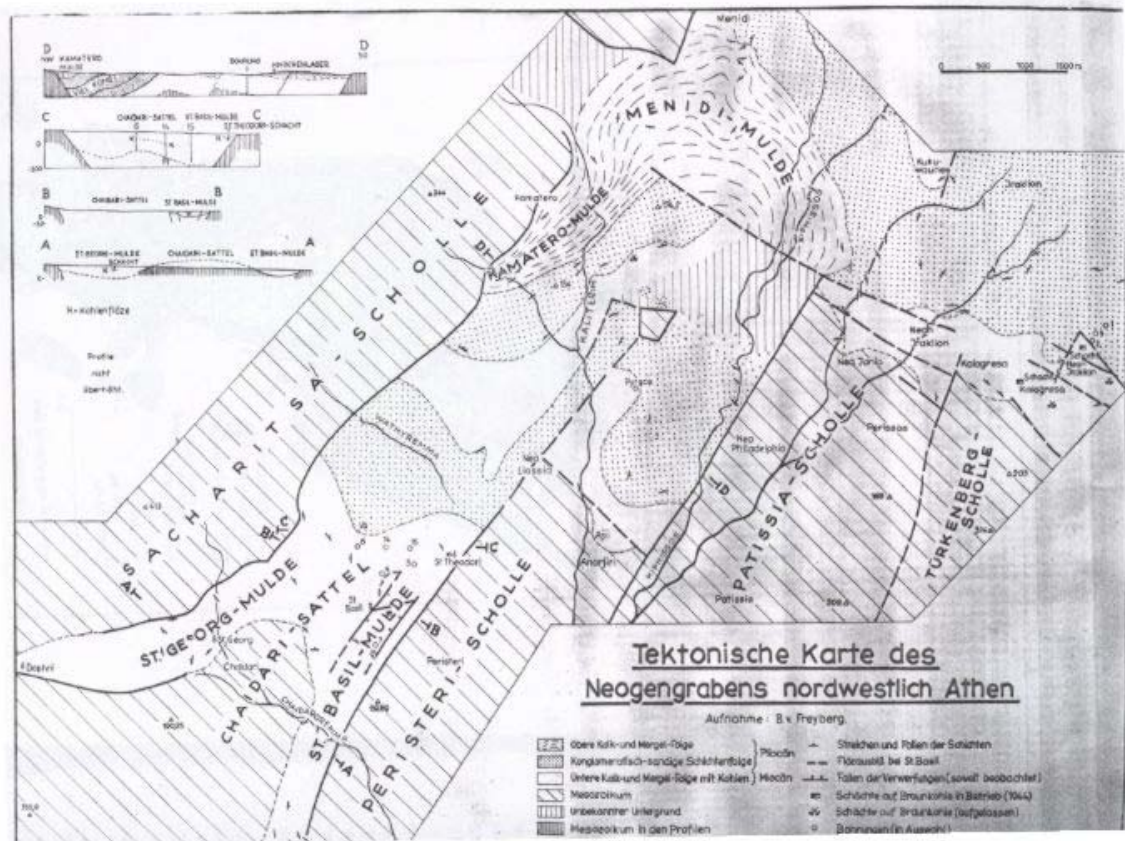
Ο Kober τροποποίησε μερικώς τη στρωματογραφική διάρθρωση της Αττικής που έδωσε ο Lepsius, ονομάζοντας την κατώτερη ασβεστολιθική βαθμίδα ως Ασβεστόλιθο Αλεποβουνίου και Αρδηττού, ο οποίος μαζί με τον Σχιστόλιθο Αθηνών επωθείται πάνω στα Στρώματα Καρά, και με τη σειρά αυτά επιπυεύονται από τα Στρώματα Λυκαβηττού και Τουρκοβουνίων (Ανώτερη Ασβεστολιθική βαθμίδα). Το Προκάμβριο “Κρυσταλλοπαγές των ορέων απόθεμα” του Lepsius, το τοποθετεί στο Α. Παλαιοζωικό – Λιάσιο (Κατώτερα Αττική Σειρά), θεωρώντας ότι τα στρώματά του σχηματίζουν σειρά λεπίων, πάνω στα οποία κάθονται επικλυσιγενώς τα Στρώματα Καρά.



Σχήμα 1.2. Σχηματική τομή στην περιοχή της Αθήνας, σύμφωνα με Kober (1929a): T=ασβεστόλιθοι Τουρκοβουνίων (λέπι), Α=ασβεστόλιθοι Λυκαβηττού, Ακρόπολης, Φιλοπάππου (λέπι), Αχ=Αθηναϊκός σχιστόλιθος, Α=ασβεστόλιθος Αρδηττού, Αλ=στρώματα Καρά, Μ=μάργα, Χρ=κρυσταλλικά (Υμηττός).

Με τις μελέτες τους στο Λαύριο, οι Μαρίνος και Petrascheck τροποποιούν με τη σειρά τους την στρωματογραφία του Kober. Διαχωρίζουν ένα αυτόχθονο σύστημα και ένα αλλόχθονο επωθημένο κάλυμμα. Ως αυτόχθονο θεωρούν την Κατώτερη Αττική Σειρά του Kober, την οποία τοποθετούν στο Α.Τριαδικό – Ιουρασικό. Πάνω στην αυτόχθονη ενότητα επωθείται το κάλυμμα του φυλλιτικού συστήματος με ενστρώσεις χαλαζιτών, πρασινίτων και μαρμάρων (Στρώματα Καρά – Ασβεστόλιθοι Αλεποβουνίου/Αρδηττού) (Petrascheck & Marinos 1953).

Για την γεωλογία της Αττικής μιλάει και ο Philippson (1898 και 1930), ενώ ο ΑΙ. Kieslinger αναφέρεται στην Ακρόπολη (Kieslinger 1933). Ο καθηγητής Ι. Τρικκαλινός δημοσίευσε εργασίες για την τεκτονική και παλαιογεωγραφία της περιοχής, καθώς και τις ορογενέσεις που υπέστη (Trikkalinos 1935, 1940). Κατά τους χρόνους της γερμανικής κατοχής, συντάχθηκε λεπτομερής γεωλογικός χάρτης του Λεκανοπεδίου σε κλίμακα 1:10.000, από τους γεωλόγους του Γερμανικού Στρατού Niedermayer και Sindowski (Sindowski 1949, 1951, Niedermayer 1971, 1973). Με τους νεογενείς σχηματισμούς που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών ασχολήθηκαν ο Χαραλαμπίδης (1952) και ο von Freyberg, ο οποίος μάλιστα παραθέτει (Freyberg 1951) γεωλογικό χάρτη των νεογενών – τεταρτογενών σχηματισμών της ΒΔ Αθήνας.



Σχήμα 1.3. Τεκτονικός χάρτης των νεογενών τάφων της βορειοδυτικής Αθήνας (Freyberg 1951).

Λεπτομερής χάρτης του κέντρου των Αθηνών κατασκευάστηκε από τους Κατσικάτσο κ.α. (1976), στα πλαίσια των γεωλογικών ερευνών για την κατασκευή του Μετρό Αθηνών.

Με τη γεωλογία του Λεκανοπεδίου ασχολήθηκαν σε εργασίες τους επίσης οι Μαρίνος (1937, 1955), Petrascheck & Marinos (1953), Τάταρης (1967, 1972, 1990), Μαρίνος κ.α. (1971, 1974), Clement (1976), Μησάρδης (1961), Clement et al. (1971), Leleu & Neumann (1969), Katsikatsos (1977), Παρασκευαΐδης & Χωριανοπούλου (1978), Δούνας & Γαιτανάκης (1981), Παπαδέας (1986), Σιδέρης (1986), Katsikatsos et al. (1986), Τάταρης & Σιδέρης (1989), Παπανικολάου (1986), Kessel (1990), Κατσικάτσος (1992) και άλλοι.

Σχήμα 1.4. Η περιοχή της Αττικής σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000 (ΓΓΜΕ 1984).

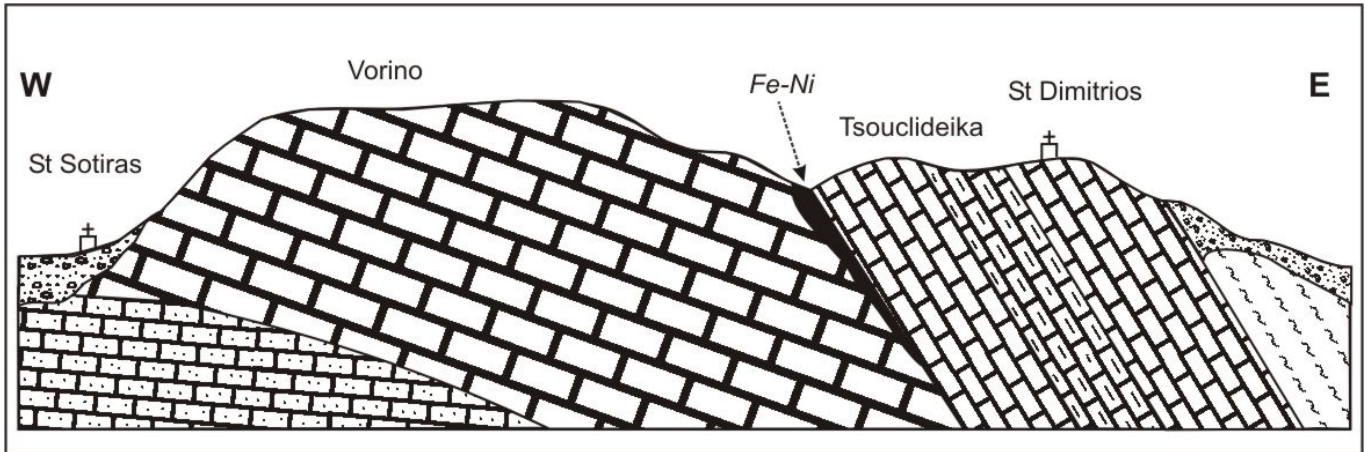


Σύμφωνα με τις σημερινές αποδεκτές απόψεις, η αλπική γεωλογία της Αττικής χαρακτηρίζεται από την παρουσία του σχετικά αυτόχθονου κατώτερου μεταμορφωμένου συστήματος, της **Ενότητας Αττικής – Αλμυροποτάμου**. Εμφανίσεις της Ενότητας απαντώνται στην ανατολική Αττική (Υμηττός, Πεντέλη, Ωρωπός, Λαυρεωτική). Την στρωματογραφική διάρθρωση της ενότητας δίνει ο Κατσικάτσος (2002), και από πάνω προς τα κάτω περιλαμβάνει: α) Σχηματισμούς μεταφλύσχη του Μέσου Ηωκαίνου, β) Μάρμαρα ΒΑ/κης Αττικής, γ) Σχιστολιθικοί σχηματισμοί ΒΑ/κης Αττικής με ενστρώσεις μαρμάρων και σερπεντινιτών, του Μέσου-Ανώτερου Τριαδικού, και δ) Μάρμαρα Πεντέλης του Κατώτερου-Μέσου Τριαδικού. Η Ενότητα Αττικής – Αλμυροποτάμου παλαιότερα είχε τοποθετηθεί στην ΑττικοΚυκλαδική Μάζα (Philippson 1930, Clement 1976, Μαρίνος κ.α. 1971, 1974 Παρασκευαΐδης & Χωριανοπούλου 1978) ενώ σήμερα θεωρείται πως αποτελεί τεκτονικό παράθυρο και ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως (Bonneau 1984, Katsikatsos et al. 1986, Κατσικάτσος 1992, 2002, Avigad et al. 1997). Πάνω στην Ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής, βρίσκονται επωθημένοι οι σχηματισμοί της Υποπελαγονικής και του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος.

Σχηματισμοί της ενότητας του **Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος** (Katsikatsos et al. 1986, Κατσικάτσος 1992) απαντώνται στις περιοχές Βαρνάβα-Λίμνης Μαραθώνα-Αγίου Στεφάνου και Υμηττού, σε μικρές, γενικά, εμφανίσεις, επειδή ο χώρος αυτός καλύπτεται από μεταλλικές αποθέσεις. Έχουν υποστεί μεταμόρφωση σε συνθήκες HP/LT (Kessel 1990), είναι επωθημένοι πάνω στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της αυτόχθονης Ενότητας Αλμυροποτάμου-Αττικής και αποτελούν τμήμα του μεγάλου Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύματος που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Νότιας Εύβοιας και σημαντικό τμήμα της Νότιας Αττικής (Κατσικάτσος 2002). Πρόκειται κυρίως για γλαυκοφανιτικούς, μοσχοβιτικούς, χλωριτικούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, με πολλές ενστρώσεις λεπτοστρωματώδων μαρμάρων και σιπολινομαρμάρων, ενώ περιέχονται και σώματα σερπεντινιτών. Στην περιοχή Υμηττού αποτελούν τα Στρώματα Καρά και τους Ασβεστολίθους Αλεποβουνίου (Lepsius 1893) και επανεμφανίζονται, σε μεγάλη έκταση, στη Νότια Αττική, όπου αυτοί αναφέρονται από τους Petrascheck & Marinos (1953) ως «Επωθημένο Φυλλιτικό Κάλυμμα». Άλλοι μελετητές (Παπανικολάου 1986, Jacobshagen 1986, Avigad et al. 1997) τοποθετούν τους σχηματισμούς αυτούς στην Κυκλαδική κυανοσχιστολιθική ενότητα (Cycladic blueschist belt).

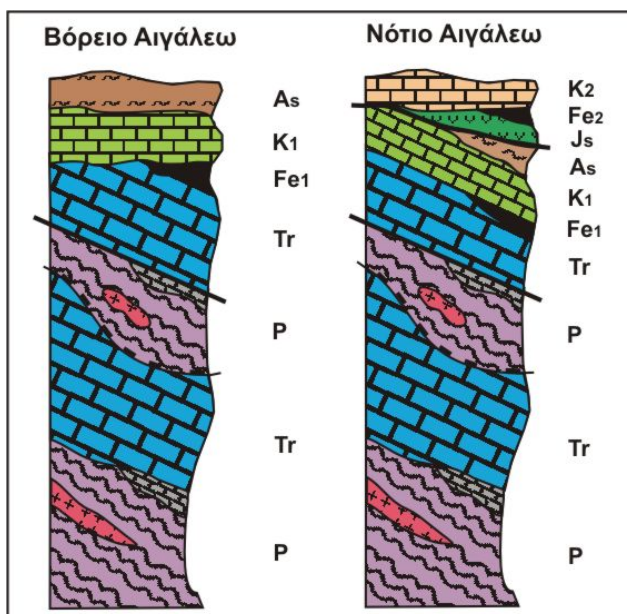
Το τμήμα της Αττικής που βρίσκεται δυτικά από το Λεκανοπέδιο των Αθηνών (Πάρνηθα, Αιγάλεω, Γεράνεια, Πατέρας, Σαλαμίνα) δομείται, σχεδόν αποκλειστικά, από τους σχηματισμούς της **Υποπελαγονικής ζώνης**. Η στρωματογραφική διάρθρωση της Υποπελαγονικής (Lepsius 1893, Δούνας & Γαιτανάκης 1981, Κατσικάτσος κ.α. 1986, Σιδέρης 1986, Μαριολάκος κ.α. 2001b) είναι, από κάτω προς τα πάνω:

- Το *ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα* με ηλικία Κατώτερο – Μέσο Τριαδικό, που αποτελεί τη βάση της στήλης της Υποπελαγονικής. Περιλαμβάνει ψαμμίτες, γραουβάκες, αργιλικό σχιστόλιθο, φυλλίτες καθώς και ηφαιστίτες, έντονα εξαλλοιωμένους, κυρίως βασάλτες, κερατοφύρες και σχιστοποιημένους τόφφους (Σιδέρης 1986). Περιέχει ολισθόλιθους από σκουρόχρωμους απολιθωματοφόρους ασβεστολίθους ηλικίας Μέσο Λιθανθρακοφόρο έως Ανώτερο Πέρμιο (Renz 1908, Renz & Reichel 1945, Clement et al. 1971, Baud & Papanikolaou 1981, Baud et al. 1991). Το Παλαιοζωικό αναφέρεται επίσης και στο όρος Αιγάλεω (Παρασκευαΐδης & Χωριανοπούλου 1978, Δούνας & Γαιτανάκης 1981, Τάταρης & Σιδέρης 1989). Η επαφή ανάμεσα στους Περμοτριαδικούς σχηματισμούς και τα υπερκείμενα Τριαδικά στρώματα είναι ασύμφωνη και σε πολλές θέσεις δίνει την εντύπωση τεκτονικής επαφής, όμως πρόκειται για επικλυσιογενή ασυμφωνία. Χαρακτηριστική είναι η θέση που περιγράφουν οι Παρασκευαΐδης και Χωριανοπούλου (1978) στην περιοχή της Πετρούπολης: οι τριαδικοί ασβεστόλιθοι, με κλίση ~30° προς ΝΑ, έρχονται σε επαφή με τα υποκείμενα Περμοτριαδικά αργιλοψαμμιτικά που εμφανίζουν σχεδόν οριζόντια στρώση.

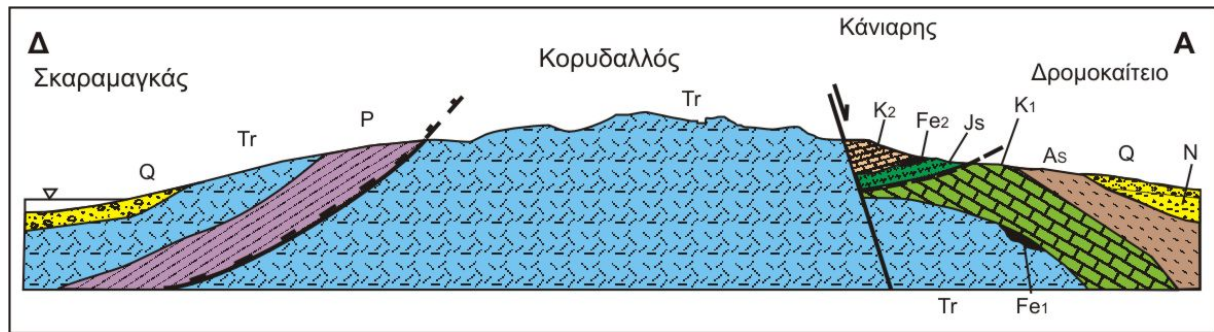


Σχήμα 1.5. Γεωλογική τομή κάθετα στο Αιγάλεω (Παρασκευαϊδης & Χωριανοπούλου 1978). Στο αριστερό άκρο διακρίνονται τα στρώματα της Περιοτριάδικης ηφαιστειοϊζηματογενούς σειράς (οριζόντια στρώση), πάνω στα οποία κάθονται επικλυσιογενώς οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι.

- Ο παχύς νηριτικός ανθρακικός σχηματισμός με ηλικία Κάρνιο έως Μέσο Ιουρασικό, που υπέρκειται του ηφαιστειοϊζηματογενούς συμπλέγματος. Στη βάση του απαντούν ροδίζοντες ασβεστόλιθοι που εξελίσσονται σε ανοικτόχρωμους παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις λατυποπαγείς.
- Πετρώματα του οφειολιθικού συμπλέγματος, κυρίως περιδοτίτες, με έντονο βαθμό εξαλλοίωσης (σερπεντινίωση) των υπερβασικών πετρωμάτων. Συνοδεύονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας και τεκτονικά αποσπασμένα τεμάχια πελαγικών ασβεστολίθων.
- Οι επικλυσιογενείς *ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι* της Ανατολικής Ελλάδος, μαργαικοί στη βάση, σκουρόχρωμοι ρουδιστοφόροι στη συνέχεια με μεταβατικά προς το φλύσχη στα κορυφαία. Η βάση της επίκλυσης χαρακτηρίζεται κατά θέσεις από την παρουσία εμφανίσεων σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων καθώς και βωξιτών σε φακοειδή-στρωματοειδή μορφή.
- Ο *Παλαιοκαινικός φλύσχης*, ο οποίος κλείνει τον αλπικό κύκλο ιζηματογένεσης, και περιλαμβάνει εναλλασσόμενα στρώματα αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών, μεσόκοκκων και συχνά χονδρόκοκκων, χρώματος υποπράσινου, με παρεμβολές ψηφιδωπαγών και ενστρώσεις ψαμμούχων και λατυποπαγών ασβεστολίθων με λατύπες κυρίως ανθρακικές. Απολιθώματα έδειξαν ηλικία Μαιστρίχτιο έως Παλαιόκαινο.



Σχήμα 1.6. Στρωματογραφικές στήλες της Υποπελαγονικής στο όρος Αιγάλεω (Δούνας & Γαιτανάκης 1981). As= Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι, K1-2= ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, Fe1= σιδηρονικελιούχα ιζηματογενή, Tr= Μέσο - ανωτριάδικοί ασβεστόλιθοι, P= νεοπαλαιοζωικό, Fe2= σιδηρονικελιούχα λατεριτικά, Js= σερπεντινίτες.



Σχήμα 1.7. Γεωλογική τομή κάθετα στο όρος Αιγάλεω (Δούνας & Γαιτανάκης 1981). Υπόμνημα ίδιο με σχήμα 1.6.



Φωτ. 1.1. Εμφάνιση Αθηναϊκού Σχιστολίθου (φωτογραφία από E. Hoek, www.rocscience.com).

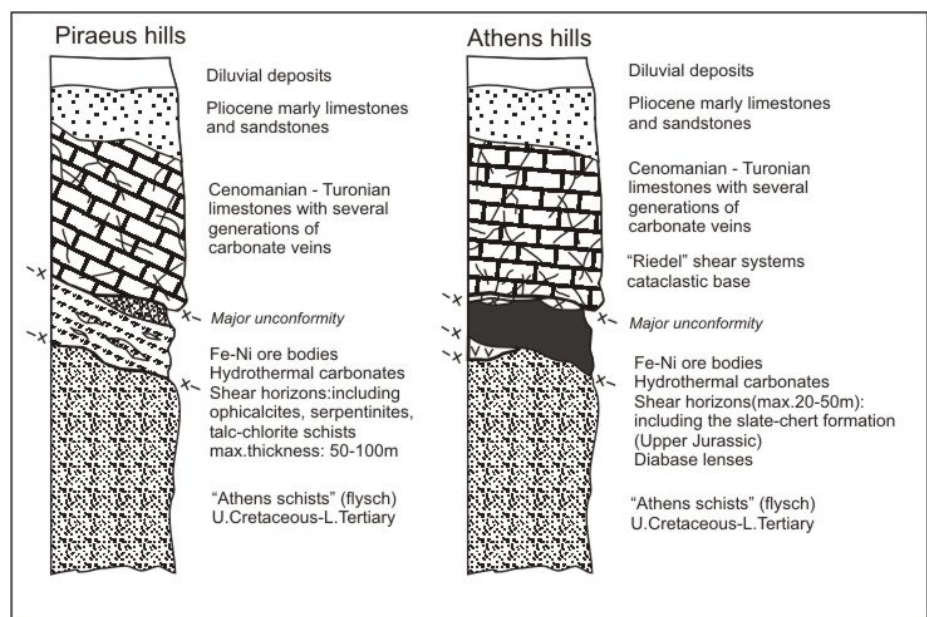
Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της γεωλογίας της Αττικής είναι ο **Αθηναϊκός Σχιστόλιθος**. Εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα του Λεκανοπεδίου και αποτελεί το υπόβαθρο της πόλης των Αθηνών (Μαρίνος κ.α. 1971, Ανδρονόπουλος 1981). Αποτελείται, κυρίως, από εναλλασσόμενα στρώματα σερικιτικών ψαμμιτών, αργιλικών σχιστολίθων και φυλλιτών, με κατά θέσεις ενστρώσεις και φακούς κρυσταλλικών ασβεστολίθων, συνήθως μικροκλαστικών. Απαντώνται, επίσης, παρεμβολές μικροκροκαλολατυποπαγών, κυρίως στα ανώτερα μέλη τους, καθώς και μικρά διαβασικά σώματα. Στα βαθύτερα μέλη του εμφανίζονται χλωριτικοί και σερικιτικοί σχιστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και σιπολίνες. Προς τα πάνω, μεταβαίνει σε παχυστρωματώδεις, ανακρυσταλλωμένους, καρστικούς και έντονα διαρρηγμένους ασβεστολίθους *Ανωκρητιδικής ηλικίας* (**Ασβεστόλιθοι Τουρκοβουνίων** ή Λυκαβηττού - πρόκειται για τους ασβεστολίθους που κατέχουν τις κορυφές των λόφων της πόλης των Αθηνών), με την παρεμβολή ενός *μαργαϊκού οριζοντα* από σκληρές ψαμμιτικές μάργες, ψαμμίτες και κροκαλολατυποπαγή (Κατσικάτσος 2002). Πρόκειται για σχηματισμό έντονα πτυχωμένο και τεκτονισμένο, χωρίς να μπορεί να διακριθεί κάποια σαφή παραμόρφωση.

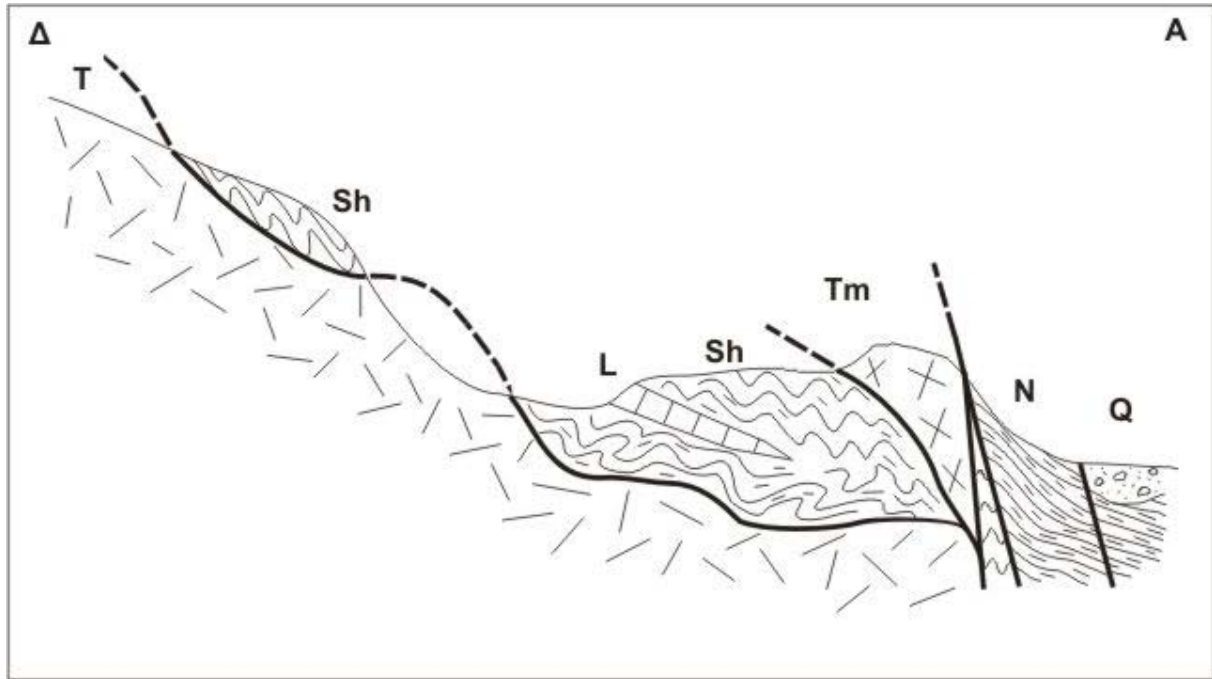
Το πρόβλημα της γεωτεκτονικής τοποθέτησης και σημασίας του Αθηναϊκού σχιστολίθου ανάγεται από τα πρώτα χρόνια της γεωλογικής έρευνας της Αττικής. Ο Lepsius (1893) τον θεωρεί κρητιδικό φλύσχη και τον τοποθετεί σε ασυμφωνία με την Κατώτερα Ασβεστολιθική βαθμίδα. Φλύσχη τον χαρακτηρίζει και ο Kober (1929), τον θεωρεί ιουρασικό, και τον τοποθετεί επωθημένο πάνω στα Στρώματα Καρά μαζί με τους Ασβεστολίθους Αλεποβουνίου

– Αρδηττού. Οι Μαρίνος κ.α. (1971) τον θεωρούν πλευρική μετάβαση των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων του ανατολικού Αιγάλεω και τον τοποθετούν, ανακριβώς, στο Άνω Κρητιδικό (βλ. επιστολή του καθηγητή Χριστοδούλου δημοσιευμένη στο Τάταρης 1972). Οι περισσότεροι μελετητές έβλεπαν πιο πολύ τη σύνδεσή του ανατολικά με τις μεταμορφωμένες σειρές. Η μελέτη της Λαυρεωτικής έδωσε τη δυνατότητα να διαχωρισθεί από τους φυλλίτες (Petrascheck & Marinos 1953). Δυτικά, δεν έβλεπαν καμία σύνδεση με την Υποπελαγονική και τον θεωρούσαν επωθημένο κομμάτι. Ο Τάταρης (1967, 1972, 1990) τον θεωρεί αντίστοιχο της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης της Ανατολικής Ελλάδος. Ο Niedermayer (1971, 1973) συμφωνεί με τις απόψεις των Μαρίνος κ.α. (1971), αλλά παρουσιάζει λάθη στον χάρτη του Λεκανοπεδίου εμφανίζοντας τον σε κανονική επαφή με τα τριαδικά στρώματα του Υμηττού. Μια άλλη άποψη παρουσιάζουν οι Παρασκευαΐδης & Χωριανοπούλου (1978), θεωρώντας τον ως τον φλύσχη της στρωματογραφικής σειράς του Αιγάλεω, με τους ασβεστολίθους των λόφων των Αθηνών να αποτελούν φακούς μέσα στην κύρια αργιλοψαμμιτική μάζα. Ο Κατσικάτσος προχωράει πιο πολύ και τοποθετεί τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο, μαζί με τον Ασβεστόλιθο Τουρκοβουνίων και τον Σχηματισμό Αφιδνών (Katsikatsos 1977), σε μια ενότητα, τοποθετημένη μαζί με το Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα ανάμεσα στο κάλυμμα της Υποπελαγονικής και την αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής, το οποίο ονομάζει «*Ενότητα Αφιδνών – Τουρκοβουνίων*». Σύμφωνα με τον ίδιο, οι σχηματισμοί της Ενότητας Αφιδνών Τουρκοβουνίων είναι αμεταμόρφωτοι και είναι πιθανότατα μέλη της Βοιωτικής ζώνης (Κατσικάτσος 2002). Αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση των Δούνας κ.α. (1980) ότι σε γεωτρήσεις της περιοχής Καλάμου, βρέθηκαν οι σχηματισμοί αυτοί υπερκείμενοι της Υποπελαγονικής.

Όσον αφορά την τοποθέτηση των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων πάνω στους Αθηναϊκούς Σχιστολίθους, επίσης υπάρχει διχογνωμία των μελετητών. Τόσο ο Carl Renz όσο και αργότερα ο Kober (Renz 1908, Kober 1929a, 1929b) βλέπουν μια καλλυματική τοποθέτηση των ασβεστολίθων πάνω στους σχιστολίθους. Την ίδια άποψη την στηρίζει και ο καθηγητής Τρικκαλινός, στο γεγονός ότι η έντονη καρστικοποίηση που παρουσιάζουν οι λόφοι των Αθηνών δεν δικαιολογείται με βάση τις σημερινές διαστάσεις τους (Trikkalinos 1935, 1940). Οι Niedermayer και Sindowski υποστηρίζουν, επίσης, την άποψη περί τεκτονικής τοποθέτησης του ασβεστολιθικού καλύμματος, τη λεγόμενη «*Athener Klippenzone*». Οι Μαρίνος κ.α. (1971, 1974) και οι Παρασκευαΐδης & Χωριανοπούλου (1978) τους θεωρούν φακούς μέσα στην αργιλοψαμμιτική μάζα, ενώ ο Τάταρης (1967, 1972) ως την ανωκρητιδική επίκλυση της Ανατολικής Ελλάδος. Οι Gaitanakis & Dietrich (1993) επιστρέφουν στην παλιά άποψη του Sindowski για επωθημένο κάλυμμα και περιγράφουν το τεκτονικό λατυποπαγή σχηματισμό που είναι τοποθετημένος ανάμεσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο και τους

Σχήμα 1.8. Επαφή ανάμεσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο και τους Ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους στο βράχο της Ακρόπολης και στην περιοχή του Πειραιά.





Σχήμα 1.9. Τομή στις ανατολικές παρυφές του Αιγάλεω, θέση Πηγάδια Καματερού (Μαρίνος κ.α. 1971). Διακρίνεται η τοποθέτηση των Αθηναϊκών Σχιστολίθων (sh) πάνω στους Τριαδικούς ασβεστολίθους (T), επώθηση(?) σύμφωνα με τους συγγραφείς.

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί καλύπτουν ασύμφωνα τους υποκείμενους αλπικούς στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και αντιπροσωπεύονται από νεογενή και πλειοτεταρτογενή ιζήματα.

- ο **Νεογενείς αποθέσεις.** Πρόκειται για αποθέσεις του Ανώτερου Μειοκαίνου. Είναι λιμναίας φάσης, συνοδευόμενες κατά κανόνα από ποταμολιμναίες και λιμνοχερσαίες αποθέσεις. Καταλαμβάνουν, σχεδόν εξ' ολοκλήρου, το βόρειο ήμισυ του Λεκανοπεδίου των Αθηνών και συνεχίζονται, τόσο προς τα βόρεια, προς τους ανωμειοκαινικούς σχηματισμούς της μεγάλης λιμναίας λεκάνης Θηβών-Τανάγρας-Ωρωπού, όσο και προς ανατολάς, προς τους ανωμειοκαινικούς λιμναίους σχηματισμούς της περιοχής Μεσογείων. Παρουσιάζουν, επίσης, μεγάλες εμφανίσεις στο δυτικό άκρο του Λεκανοπεδίου, ανάμεσα στο Αιγάλεω και τους λόφους των Αθηνών (Freyberg 1951), καθώς και στις λεκάνες Φυλής και Σκούρτων της Πάρνηθας. Επομένως, σήμερα βλέπουμε τα υπολείμματα αποθέσεων μιας μεγάλης λίμνης στην περιοχή του Λεκανοπεδίου, το οποίο σημαίνει ότι την περίοδο Άνω Μειοκαίνου – Κάτω Πλειοκαίνου (?), ο ευρύτερος χώρος της Πάρνηθας περιβαλλόταν από μια μεγάλη ενιαία (?) λίμνη ή από λίμνες, μακριά από την επίδραση της θάλασσας. Στο Μεγάλο Ρέμα κοντά στο Άνω Πικέρμι, μέσα σε ερυθρούς πηλούς, αμμούχες μάργες και κροκαλοπαγή, βρέθηκε η γνωστή πλούσια *πικερμική πανίδα* Σπονδυλωτών. Η ίδια πανίδα Σπονδυλωτών βρέθηκε και στη θέση «Χωματερή» που βρίσκεται περί τα 2,5 km ανατολικά του Μεγάλου Ρέματος και στην περιοχή του Πύργου της Βασιλίσσας (περιοχή Αγ.Αναργύρων) στην οποία απαντώνται οι ίδιοι σχηματισμοί. Άλλοι χαρακτηριστικοί σχηματισμοί του Άνω Μειοκαίνου μεγάλης έκτασης, είναι τα *Κροκαλοπαγή Καπανδριτίου*, που καταλαμβάνουν την περιοχή ανάμεσα στο Λεκανοπέδιο και την λεκάνη του Ωρωπού, και οι *Λιμνοχερσαίοι σχηματισμοί του Κηφισού*. Στα κατώτερα μέλη των Ανωμειοκαινικών σχηματισμών εντοπίζονται εμφανίσεις λιγνιτοφόρων στρωμάτων (Freyberg 1951, Mettos et al. 2000), τα οποία κατά καιρούς έτυχαν τοπικής εκμετάλλευσης.

- ο **Πλειο-τεταρτογενείς αποθέσεις.** Ποτάμιοι-θαλάσσιοι σχηματισμοί, απολιθωματοφόροι, εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της Αττικής (Ραφήνα, Ωρωπός) όσο και κατά μήκος της ζώνης Πειραιά – Φαλήρου – Γλυφάδας – Βούλας (Χαραλαμπίκης 1952). Η πλειονότητά τους έχει ηλικία Ανώτερου Πλειοκαίνου – Κατώτερου Πλειστοκαίνου (Άστιο). Τέλος, έχουμε μια μεγάλη ποικιλία πρόσφατων χαλαρών σχηματισμών, όπως πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων, αποθέσεις κοίτης χειμάρρων, αλλουβιακές προσχώσεις πεδινών περιοχών, ερυθροστρώματα, συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή, υλικά αλλουβιακού μανδύα, παράκτιοι σχηματισμοί από άμμους, κροκάλες και συνεκτικούς ψαμμίτες (beachrocks), λεπτομερείς προσχωματικές αποθέσεις (Μηστάρδης 1961, Κατσικάτσος κ.α. 1986, Κατσικάτσος 2002, Παυλόπουλος κ.α. 2002).

1.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Όσον αφορά την περιοχή της Αττικής, μπορούμε να διακρίνουμε δύο περιόδους τεκτονικής παραμόρφωσης: την αλπική και την μεταλπική – νεοτεκτονική περίοδο.

Αλπική παραμόρφωση: Σύμφωνα με τις έως σήμερα μελέτες για την περιοχή, η τοποθέτηση των σχηματισμών οφείλεται στην Αλπική ορογένεση, η οποία έδρασε στο Κρητιδικό – Παλαιογενές. Η *καλλυματική τεκτονική* εκφράζεται με την επώθηση των διάφορων ενοτήτων (επώθηση Υποπελαγονικής πάνω στην Ενότητα Αλμυροποτάμου - Αττικής) και την εσωτερική λεπίωση των σχηματισμών των ενοτήτων. Κατά το Ηώκαινο – Ολιγόκαινο, η περιοχή αποτελούσε το μέτωπο του ορογενούς, με αποτέλεσμα η συσσώρευση καλυμμάτων να οδηγήσει σε αύξηση του πάχους του φλοιού και σε μεταμόρφωση των σχηματισμών σε συνθήκες HP/LT (Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα ή Κυκλαδική κυανοσχιστολιθική ενότητα). Οι επιπτώσεις αυτές εμφανίζουν μια γενική διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Χαρακτηριστικό αποτελεί το ότι οι σημαντικότερες μορφοτεκτονικές δομές στην Ανατολική ακολουθούν τις αλπικές δομές (Αντωνίου & Μιγκίρος 2002). Κατά το Ολιγόκαινο – Μειόκαινο, η μετατόπιση του ενεργού μετώπου του ορογενούς προς ΝΔ, οδήγησε στην εμφάνιση εφελκυστικών τάσεων με *κατάρρευση του ορογενούς* και στην επακόλουθη λέπτυνση του φλοιού (Dewey 1988, Κίλιας 2001). Ο εφελκυσμός αυτός εμφανίστηκε με τη μορφή μεγάλων κανονικών ρηγμάτων μικρής γωνίας κλίσης (low-angle detachment faults) και οδήγησε στην δημιουργία τεκτονικών παραθύρων, όπως αυτό της Ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής. Η αποκόλληση των καλυμμάτων λόγω του εφελκυσμού αυτού, πιθανώς να διήρκεσε έως και το Άνω Μειόκαινο, όπως δείχνει η συντεκτονική διείδυση των γρανιτικών σωμάτων στην επαφή καλύμματος - αυτόχθονου στην Πλάκα του Λαυρίου (Παπανικολάου & Συσκάκης 1991).

Νεοτεκτονική παραμόρφωση: Ο ευρύτερος χώρος της Αττικής παρουσιάζει μια σύνθετη μεταλπική μορφοτεκτονική δομή, η οποία αποτελείται από τα εξής μεγάλα ρηξιτεμάχη 1^{ης} τάξης: τα τεκτονικά κέρατα της Πάρνηθας, του Αιγάλεω, των Γερανείων, του Πατέρα, του Κιθαιρώνα, του Υμηττού και της Πεντέλης και τα τεκτονικά βυθίσματα του Θριάσιου Πεδίου, των Μεγάρων, του κόλπου των Αλκυονίδων, του Λεκανοπεδίου των Αθηνών και της λεκάνης των Μεσογείων. Μέσα σε αυτές τις 1^{ης} τάξης δομές απαντώνται 2^{ης}, 3^{ης} κλπ. μικρότερης τάξης βυθίσματα και κέρατα (Mariolakos & Fountoulis 2000). Ολόκληρη η περιοχή είναι, λοιπόν, κατακερματισμένη σε πολλά ρηξιτεμάχη. Η γεωμετρία αυτών των ρηξιτεμαχών είναι σύνθετη με επικρατούσες διευθύνσεις ΔΒΔ – ΑΝΑ και ΒΑ – ΝΔ.

Μελετώντας τα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά της Αττικής, οι Αντωνίου & Μιγκίρος (2002), διαχωρίζουν την Αττική σε δυο τομείς: στον ανατολικό, με διεύθυνση κύριου συστήματος διάρρηξης Β30°-40° και σε δυτικό τομέα με διεύθυνση Β80°-100°. Ο διαχωρισμός γίνεται στον άξονα Σαλαμίνα – Ελευσίνα – Πάρνηθα.

Οι Παπανικολάου & Λόζιος (1990) χρησιμοποιώντας το σύνολο των ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών (δεδομένα ξηράς και υποθαλάσσια), χωρίζουν την περιοχή Αν. Στερεάς, Αν. Πελοποννήσου, Σαρωνικού και Κυκλάδων σε τρεις τομείς (I, II, και III) με βάση τις διευθύνσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ρηξιγενών δομών. Ο πρώτος Τομέας (I) περιλαμβάνει τις περιοχές της Κορινθίας, Αν. Κορινθιακού Κόλπου, ΒΔ Αττικής και ΝΑ Βοιωτίας. Χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών με διεύθυνση E – W, αλλά και την ύπαρξη 1^{ης} τάξεως ρηξιγενών δομών, που είναι εγκάρσιες προς τον ρηξιγενή ιστό που επικρατεί, με διεύθυνση NNW – SSE και NE – SW. Ο δεύτερος Τομέας (II) περιλαμβάνει τις περιοχές Αττικής, Τραπεζώνας, Κ. Εύβοιας και Σαρωνικού Κόλπου. Στις οποίες κυριαρχεί η ύπαρξη ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών WNW – ESE διεύθυνσης. Παρουσιάζονται εγκάρσιες ρηξιγενείς δομές – ζώνες με διεύθυνση N – S, με χαρακτηριστικότερη αυτή στον άξονα Μέθανα – Αίγινα – Σαλαμίνα, που ενώνει την Αργολίδα με την Αττική και χωρίζει τον Σαρωνικό κόλπο σε δύο τμήματα (Ανατολικό και Δυτικό). Ο τρίτος Τομέας (III) περιλαμβάνει κυρίως την περιοχή της παλαιότερα ονομαζόμενης Αττικοκυκλαδικής ενότητας και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών NW – SE διεύθυνσης. Οι εγκάρσιες ρηξιγενείς δομές ακολουθούν την διεύθυνση NE – SW. (Αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση των συγγραφέων για τον Τομέα II, ότι τα παλαιότερα συστήματα γραμμών προστριβής είναι κατά παράταξη με σχεδόν οριζόντιες γραμμές WNW – ESE διεύθυνσης που εμφανίζονται συνήθως κάτω από επιφλοιώσεις και τεκτονικά μικρολατυποπαγή. Αντίθετα, το νεώτερο σύστημα γραμμών προστριβής φανερώνει μια κίνηση κατά κλίση με τιμές βύθισης των γραμμών περίπου 70° - 80° και διεύθυνση NE – SSW).

Παρατηρείται, επομένως, μια σταδιακή μεταβολή των διευθύνσεων των ρηγμάτων και των ρηξιγενών ζωνών από τον Ανατολικό Κορινθιακό μέχρι την Ν. Αττική – Ν. Εύβοια – Κυκλάδες από E – W σε NW – SE, με ενδιάμεση διεύθυνση την WNW – ESE, που στην ουσία αντιπροσωπεύει μια κάμψη μεγάλης κλίμακας του νεοτεκτονικού ρηξιγενούς ιστού και των νεοτεκτονικών μακροδομών.

Η σημερινή ενεργός τεκτονική της περιοχής, αλλά και του ευρύτερου Ελληνικού χώρου, ελέγχεται από δυο γεγονότα: την προς δυσμάς μετακίνηση της Τουρκικής πλάκας λόγω της κίνησης του *ρήγματος της Ανατολίας* (North Anatolian Fault) και της καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από το Αιγαίο κατά μήκος του **Ελληνικού τόξου** (Hellenic Arc – Trench). Με βάση μηχανισμούς γένεσης σεισμών και κινηματική ανάλυση ρηγμάτων, κατανέμεται το πεδίο τάσεων στον Ελληνικό χώρο (Mercier et al. 1989, Taymaz et al. 1991, Παπαζάχος & Παπαζάχου 2002): κατά μήκος του μετώπου καταβύθισης παρατηρείται έντονα συμπίεστικό πεδίο, με διεύθυνση της σ_1 σχεδόν κάθετα σε αυτό, ενώ λίγο πιο εσωτερικά έχουμε εφελκυσμό με διεύθυνση της σ_3 επίσης κάθετα στο τόξο. Στο εσωτερικό του χώρου του Αιγαίου, επικρατεί ο εφελκυσμός με διεύθυνση του άξονα σ_3 περίπου NNE – SSW. Αντίθετα, στην ρηξιγενή ζώνη της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου, που αποτελεί επέκταση του Ρήγματος της Ανατολίας, εμφανίζεται μια σημαντική δεξιόστροφη οριζόντια συνιστώσα.

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 7^{ης} ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1999

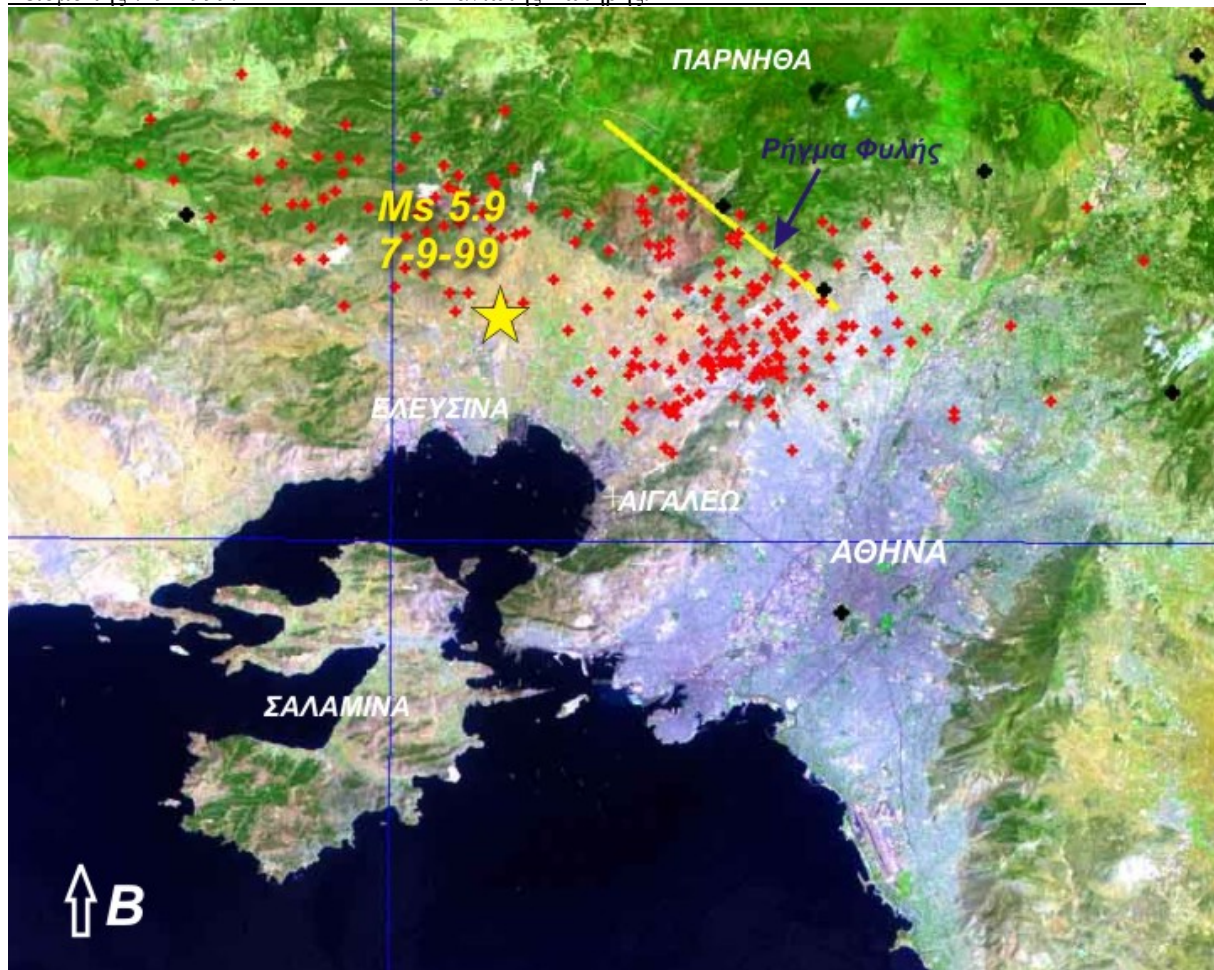


Φωτ. 2.1. Αθήνα, Σεπτέμβριος 1999. Αυτοκίνητα καταπλακωμένα από κτίριο που κατέρρευσε. (Πηγή:ΟΑΣΠ)

2.1 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στις 7 Σεπτεμβρίου 1999, και τοπική ώρα 14:56:50 (11:56:50.5 GMT), ένας καταστροφικός σεισμός έπληξε την Μητροπολιτική περιοχή των Αθηνών, προκαλώντας μεγάλες καταστροφές και απώλειες αλλά και έκπληξη στην επιστημονική κοινότητα. Η περιοχή που κυρίως επλήγη ήταν αυτή των βόρειων και δυτικών συνοικιών των Αθηνών. Αυτός ο σεισμός υπήρξε, ίσως, ο πιο σημαντικός στη νεότερη ιστορία της Ελλάδος για τρεις λόγους: α) είναι ο πρώτος που επιβεβαιωμένα έγινε με τόσο μεγάλο μέγεθος και σε τόσο μικρή απόσταση από το ιστορικό κέντρο των Αθηνών, αποκαλύπτοντας μια νέα σεισμική πηγή μέσα στα όρια του μητροπολιτικού κέντρου της χώρας, β) είναι ο πρώτος στην μακρά ιστορία που γνωρίζουμε ότι προκάλεσε θύματα μέσα στα όρια του μητροπολιτικού κέντρου και γ) συγκαταλέγεται στους καταστροφικότερους σεισμούς της νεότερης ιστορίας της Ελλάδος (Παπαδόπουλος κ.α. 2001).

Η κύρια σεισμική δόνηση, μεγέθους $M_s = 5.9$ σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Ε.Α.Α. και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. και $M_w = 5.9$ σύμφωνα με τα διεθνή σειсмоγραφικά κέντρα, είχε επίκεντρο με συντεταγμένες $38,08^\circ \text{ N} / 23,58^\circ \text{ E}$ (επανα - προσδιορισθείσα εστία - Papadopoulos et al. 2000, 2001) και βάθος 16,7 km. Οι Papadimitriou et al. (2000) προσδιορίζουν παραπλήσιο επίκεντρο αλλά διαφορετικό εστιακό βάθος (~8 km), ενώ οι Louvari & Kyratzi (2001) 11 km.



Σχήμα 2.1. Δορυφορική εικόνα της περιοχής των Αθηνών. Με το κίτρινο αστέρι συμβολίζεται το επίκεντρο του σεισμού της 7-9-99. Διακρίνεται επίσης το Ρήγμα της Φυλής, ενώ με κόκκινους κύκλους συμβολίζονται τα επίκεντρα μετασεισμών.

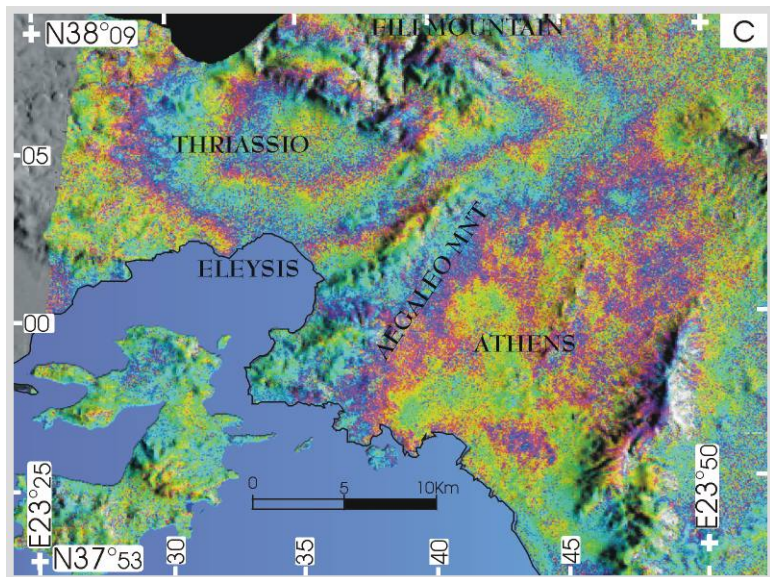
Ο σεισμός έγινε αισθητός σε ολόκληρη σχεδόν την Αθήνα με εντάσεις πάνω από VI (MM). Οι πιο σοβαρές καταστροφές έγιναν στην περιοχή των δήμων Άνω Λιοσίων, Αχαρνών (Μενιδίου) και Αδάμων, όπου οι μακροσεισμικές εντάσεις σημείωσαν τις μεγαλύτερες τιμές με $I_0 = VIII$ και τοπικά IX+ (MM). Οι καταγραφές των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων ποικίλουν από 0,02 g έως 0,32 g, και σε μία περίπτωση 0,50 g σε απόσταση 15 – 20 km από τη σεισμική πηγή. Το μέγεθος της σεισμικής ροπής υπολογίστηκε $M_0 = 0,75 \times 10^{25}$ dyn.cm από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (Papanastassiou et al. 2000) ενώ οι Papadimitriou et al. (2000), το υπολογίζουν ως $M_0 = 1,75 \times 10^{25}$ dyn.cm.

Από τις σεισμικές καταγραφές έγινε προσπάθεια να επιλυθεί ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού. Οι μηχανισμοί γένεσης που υπολογίστηκαν από διάφορα σειсмоγραφικά κέντρα και ερευνητές, έρχονται σε γενική συμφωνία μεταξύ τους, και υποδεικνύουν ως σεισμική πηγή ένα κανονικό ρήγμα κλίσης, διεύθυνσης WNW – ESE έως NW – SE και άξονες P κάθετο και T οριζόντιο με διεύθυνση NE – SW. Οι Louvari & Kiratzi (2001) προσδιορίζουν το επίπεδο του ρήγματος με παράταξη 115° , κλίση 57° και ολίσθηση (rake) -80° , και βοηθητικό επίπεδο με παράταξη 277° , κλίση 34° και ολίσθηση -105° . Παρόμοιους μηχανισμούς γένεσης για το σειсмоγόνο ρήγμα δίνει και το Πανεπιστήμιο Αθηνών (Papadimitriou et al. 2000) με επιφάνεια ρήγματος $105^\circ / 55^\circ$ SW / $\lambda = -80^\circ$, καθώς και το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (Papadopoulos et al. 2000) με στοιχεία $113^\circ / 39^\circ$ SW / $\lambda = -90^\circ$. Μια δεξιόστροφη συνιστώσα είναι ορατή σε όλες τις περιπτώσεις. Εντελώς διαφοροποιημένα είναι τα στοιχεία που παρουσιάζουν οι Fountoulis et al. (2000), που παρουσιάζουν ένα εφελκυστικό πεδίο τάσεων με άξονα σ_3 οριζόντιο σε διεύθυνση $B100^\circ$. Οι μηχανισμοί

γένεσης φαίνεται να έρχονται σε συμφωνία με το ενεργό πεδίο των τάσεων στην περιοχή, το οποίο υποδεικνύει εφελκυσμό με τον σ_3 άξονα να διευθύνεται προς NNE (Mercier et al. 1989, Taymaz et al. 1991, Clarke et al. 1997, Meijer & Wortel 1997).

Σχετικά με τις παραμέτρους της σεισμικής εστίας, υπολογίστηκαν: σχετικά χαμηλή πτώση τάσης 4 – 9 bars, μέση μετατόπιση στο επίπεδο του ρήγματος $u=300\text{mm}$, διάρκεια πηγής 4,2 sec, χρόνος ανάδυσης 0,1 – 0,4 sec και ταχύτητα διάρρηξης από 2 km/sec έως 3 km/sec. Η φασματική ανάλυση, δεχόμενη ένα παραλληλόγραμμο ρήγμα, έδειξε μήκος ρήγματος $L = 18 \text{ km}$ και πλάτος $w = 10 \text{ km}$. Παράλληλα, ποσοστό της ενέργειας μεγαλύτερο από 95% εκλύθηκε απότομα κατά τα πρώτα 2,2 sec (Stavrakakis et al. 2000, Louvari & Kiratzi 2001, Roumelioti et al. 2003a). Οι Roumelioti et al. (2003a, 2003b), χρησιμοποιώντας την μέθοδο *eGf* (empirical Green's function), βρήκαν ότι η μετατόπιση στην επιφάνεια του ρήγματος επικεντρώνεται σε δύο τμήματα. Το μεγαλύτερο τμήμα της μετατόπισης (~50 % της συνολικής) συνέβη σε βάθη μεγαλύτερα του υποκέντρου, ενώ ένα σημαντικό (25%) ποσοστό επικεντρώθηκε σε μικρότερο βάθος, χωρίς όμως να φθάσει στην επιφάνεια. Η μοντελοποίηση των ισχυρών εδαφικών κινήσεων έδειξε μια καθαρή αύξηση τους στα A – NA του επιπέδου του ρήγματος και μια **κατευθυντικότητα** προς την ίδια διεύθυνση. Σε παρόμοια συμπεράσματα από την χρήση της ίδιας μεθόδου κατέληξαν και οι Plicka & Zahradnik (2002)

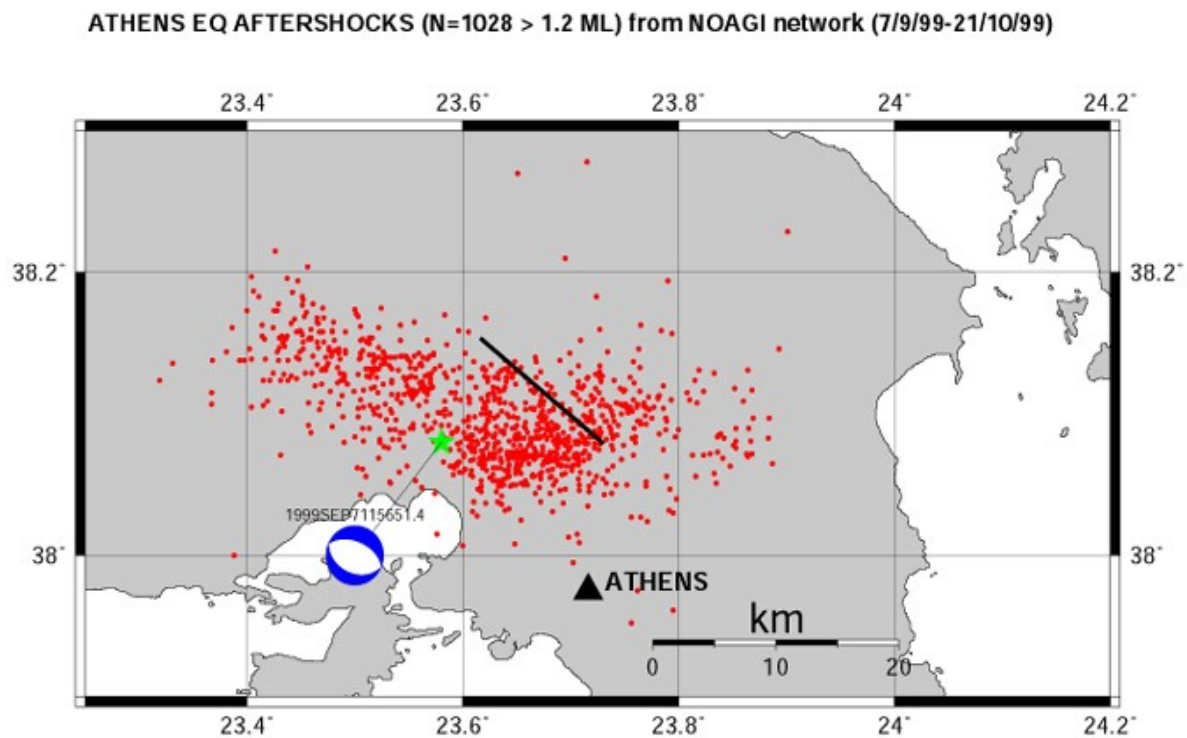
Προκειμένου να μελετηθεί η παραμόρφωση του σεισμού, χρησιμοποιήθηκε από αρκετούς ερευνητές η μέθοδος της **συμβολομετρίας** (interferometry) με τη χρήση δορυφορικών απεικονίσεων ραντάρ (SAR: Synthetic Aperture Radar) (Kontoes et al. 2000, Ganas et al. 2001, Metaxas et al. 2001, Papadimitriou et al. 2002, Papadopoulos et al 2003). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η περιοχή που υπέστη επιφανειακή παραμόρφωση λόγω της σεισμικής δόνησης σχηματίζει ένα ελλειψοειδές διαστάσεων 10 km στον άξονα B – N και περισσότερο από 20 km στον άξονα A – Δ. Η παραμόρφωση μέσα σε αυτή την περιοχή μεταβάλλεται, αυξανόμενη από το κέντρο προς την περιφέρεια, με τιμές κυμαινόμενες από 2 – 7 cm.



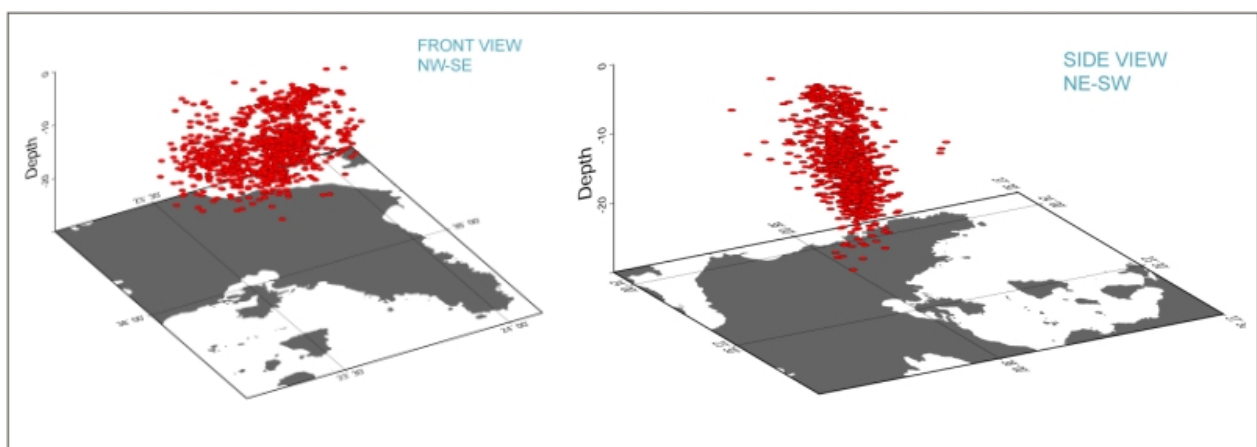
Σχήμα 2.2. Συνσεισμικό συμβολογράφημα (Kontoes et al. 2000). Διακρίνονται τουλάχιστον δυο κροσσοί παραμόρφωσης, που αντιστοιχούν έκαστος σε 56mm.

Από το μόνιμο δίκτυο σειсмоγράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, τέσσερα γεγονότα με τοπικό μέγεθος $M_L=3.2, 2.5, 2.5$ και 3.2 προηγήθηκαν της κύριας δόνησης της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός, με $M_L=4.4$, έγινε στις 20:44:55 (GMT) στις 7 Σεπτεμβρίου και αποτέλεσε τμήμα μιας μεγάλης μετασεισμικής ακολουθίας που ακολούθησε τον σεισμό της 7-9-99. Τους επόμενους δύο μήνες, τοπικά δίκτυα φορητών σειсмоγράφων από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, το Πανεπιστήμιο Πατρών και το Πανεπιστήμιο Αθηνών, κατέγραψαν πάνω από 1500 μετασεισμούς μεγέθους $M>1$ (Tselentis & Zahradnik 2000, Papanastassiou et al. 2000, Papadopoulos et al. 2000, Papadimitriou et al. 2000, Voulgaris et al. 2000, Papazachos et al.

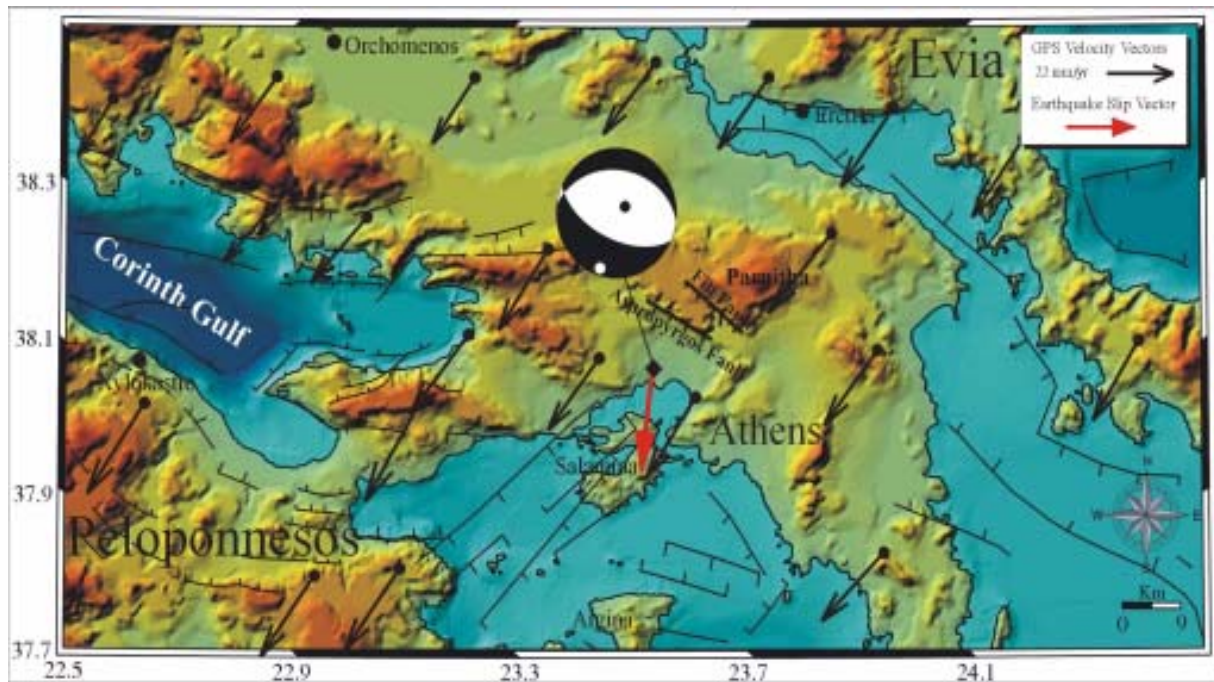
Γεωλογικές και Νεοτεκτονικές συνθήκες στη Δυτική Αθήνα και επιπτώσεις στο Δομημένο Περιβάλλον από το Σεισμό της 7-9-1999. Βαλκανιώτης Σωτήρης. 16
 2001, Voulgaris et al. 2001). Η διάταξη των επικέντρων των μετασεισμών γίνεται σε μία ζώνη με περίπου ελλειπτικό σχήμα με μέγιστο άξονα ΔΒΔ – ΑΝΑ διεύθυνσης μήκος 25 – 30 km και πλάτους 15 – 20 km. Επίσης, παρατηρείται η συγκέντρωση των επικέντρων σε δύο περιοχές, την δυτική και την ανατολική. Αυτή η συγκέντρωση υποδεικνύει ότι η διάρρηξη του κύριου σεισμού πρέπει να έγινε σε δύο κύρια ασθενή φράγματα (barriers) διαχωριζόμενα από σχετικά μικρού όγκου ισχυρό φράγμα που έμεινε άθραυστο κατά την κύρια διάρρηξη (Voulgaris et al. 2000, Παπαδόπουλος κ.α. 2001). Η σεισμοτεκτονική ανάλυση των μετασεισμών έδειξε συμφωνία με την διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ του μηχανισμού γένεσης του κύριου σεισμού (Voulgaris et al. 2001).



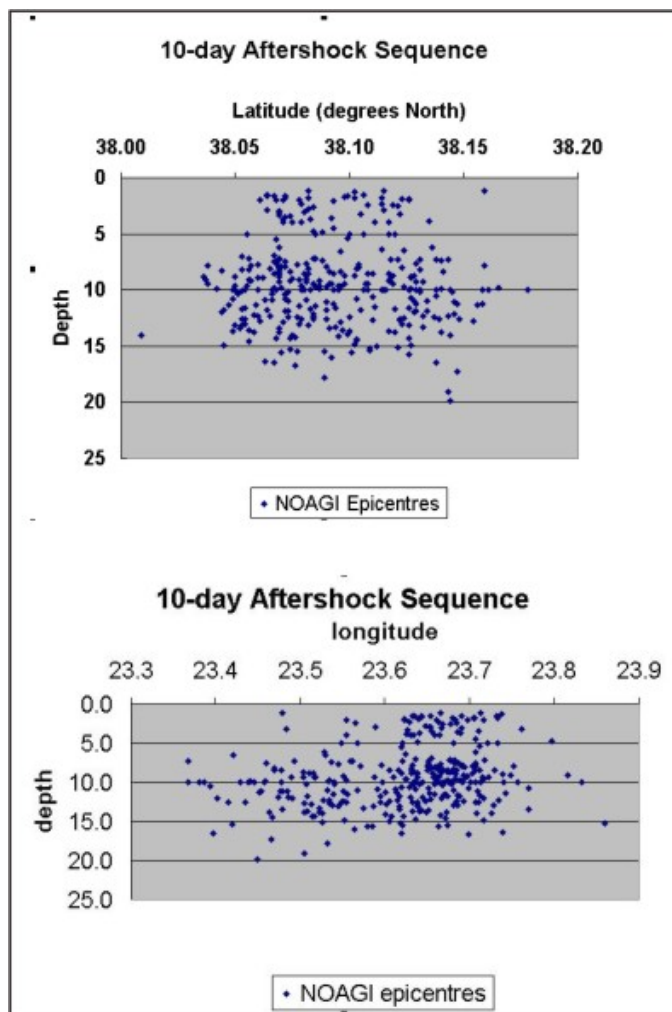
Σχήμα 2.3. Κατανομή των επικέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού της 7-9-99. Καταγραφή από το δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου. (Paradopoulos et al. 2003)



Σχήμα 2.4. Τρισδιάστατη απεικόνιση της μετασεισμικής ακολουθίας (Πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο)



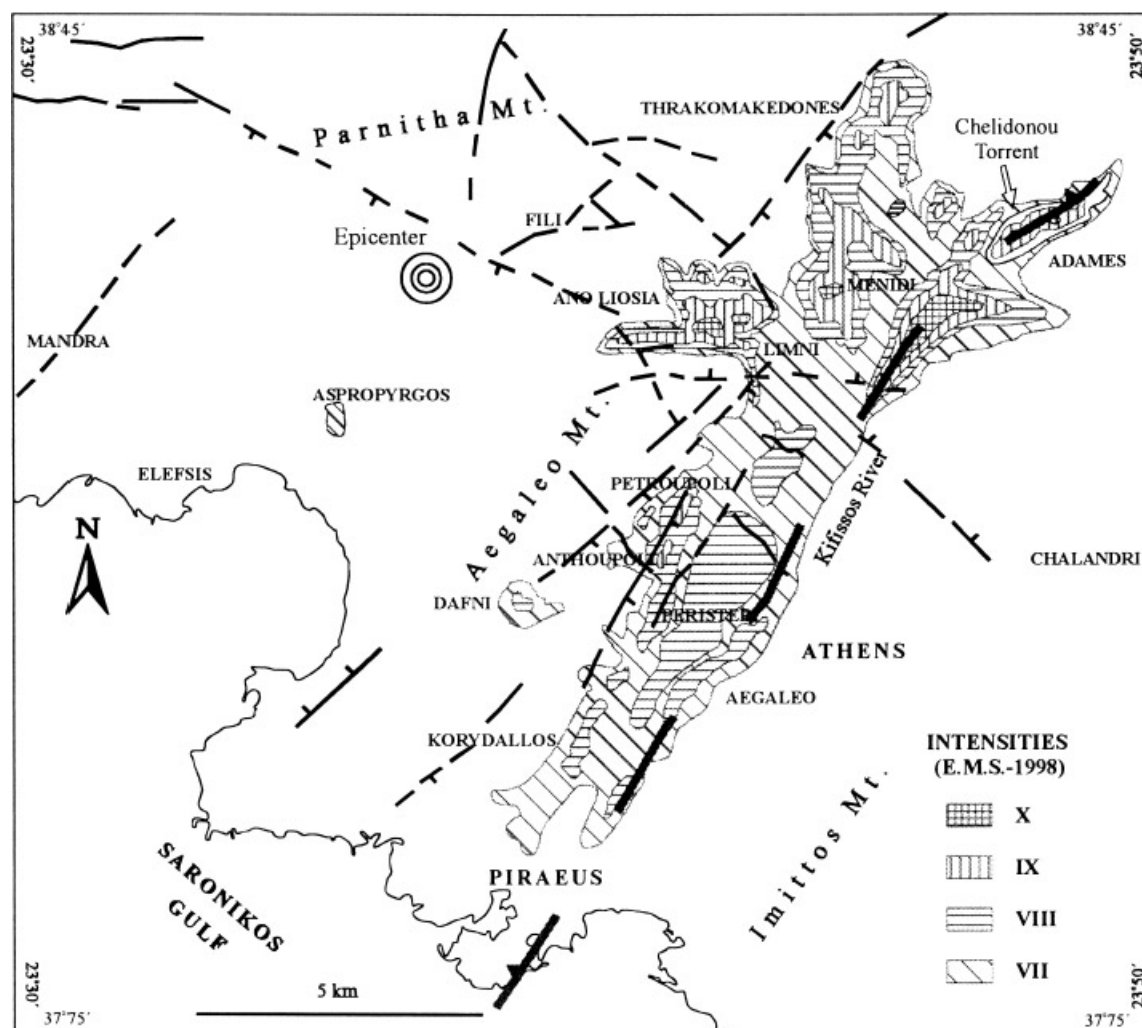
Σχήμα 2.5. Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού της Αθήνας τοποθετημένος σε ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής. Τα διανύσματα αντιπροσωπεύουν την οριζόντια μετακίνηση δικτύου GPS σε συνάρτηση με σταθερή Ευρασία (Louvari & Kiratzi 2001).



Σχήμα 2.6. Τομές κάθετα στη μετασεισμική ακολουθία, που απεικονίζουν την κατανομή των υποκέντρων με το βάθος (σε km). Οι τομές έχουν διεύθυνση N – B (επάνω) και Δ – Α (κάτω). Προβάλλονται οι εστίες μετασεισμών του πρώτου δεκαήμερου. Καταγραφές από το δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου.

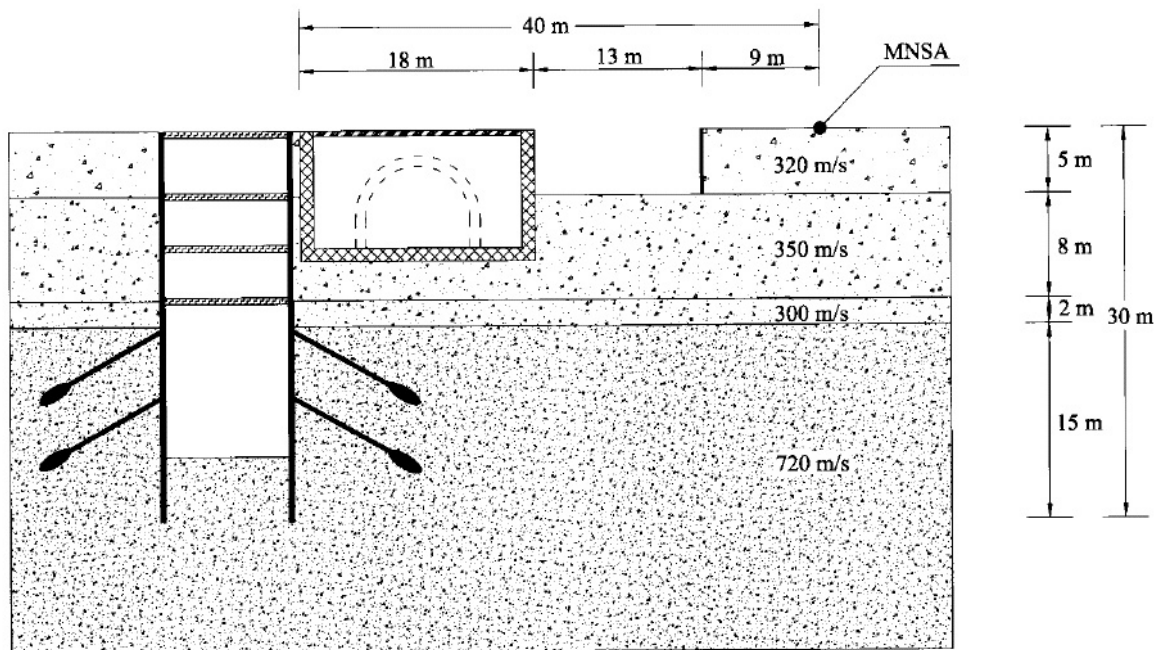
2.2 ΙΣΧΥΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΛΑΒΩΝ

Η **πλειόσειστος περιοχή** του σεισμού περιλαμβάνει τους δήμους Αχαρνών (Μενιδίου), Άνω Λιοσίων, Θρακομακεδόνων, Φυλής και την βιομηχανική περιοχή γύρω από το ρέμα της Χελιδονούς στις Αδάμες, όπου η ένταση ($I_{EMS-1998}$, Grunthal 1998) έφθασε τις τιμές IX - X. Οι μεγαλύτερες τιμές (VII - IX) παρατηρήθηκαν κατά μήκος μιας ζώνης στον άξονα Κορυδαλλού - Περιστερίου - Αιγάλεω - Νέων Λιοσίων - Πετρούπολης - Καματερού - Μενιδίου και Αδάμων, ενώ η δόνηση έγινε αισθητή στο μεγαλύτερο μέρος της πρωτεύουσας με εντάσεις >VI (Anastasiadis et al. 1999, Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Lekkas 2001, Pavlides et al. 2002). Η κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων δείχνει μια συγκέντρωση των μέγιστων εντάσεων στο ανατολικό τμήμα του σεισμικού ρήγματος (Ρήγμα Φυλής), στο οποίο συνέβαλλε η κατευθυντικότητα της διάρρηξης προς ανατολικά, καθώς και στην προαναφερόμενη ζώνη στις δυτικές συνοικίες της Αθήνας, με διεύθυνση σχεδόν κάθετα στη διάρρηξη. Η ζώνη αυτή αποτελείται από νεογενείς λεκάνες - τάφρους με διεύθυνση NNE - SSW και NE - SW. Φαινόμενα basin effect και boundary effects (Λέκκας κ.α. 2001, Lekkas 2001) όπου η δομή των λεκανών λειτούργησε ως ανακλαστήρας εγκλωβίζοντας και πολλαπλασιάζοντας τα σεισμικά κύματα, τα οποία διοχετεύτηκαν στην περιοχή με την προς E κατευθυντικότητα της διάρρηξης, με άμεσο αντίκτυπο και στον πολλαπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων, φαίνεται να συνέβαλλαν στην δημιουργία αυτής της επιμήκους ζώνης.



Σχήμα 2.7. Κατανομή εντάσεων ($I_{EMS-1998}$) του σεισμού στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών (Lekkas 2001).

Η ισχυρή σεισμική δόνηση καταγράφηκε από πολλούς σταθμούς επιταχυνσιογράφων σε διάφορες περιοχές του Λεκανοπεδίου (σταθμοί δικτύου Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, Ι.Τ.Σ.Α.Κ. και Δ.Ε.Η.), όμως δεν υπήρξαν καταγραφές στην πλειόσειστη περιοχή. Πρόκειται για ένα σύνολο 18 σταθμών, 14 από τους οποίους ήταν εγκατεστημένοι στο κέντρο των Αθηνών και 4 στις γειτονικές πόλεις Ραφήνα, Λαύριο, Αλιβέρι και Θήβα. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση κυμαίνεται από 0,5g στο σταθμό Μοναστηράκι, έως 0,075g στο σταθμό Δημόκριτο. Τα όργανα στην θέση Μοναστηράκι, ήταν εγκατεστημένα στην άμεση γειτονία του εργοταξίου του ΜΕΤΡΟ και του υπόγειου σταθμού του Ηλεκτρικού Σιδηρόδρομου, ενώ μια αρχαιολογική ανοικτή εκσκαφή διαστάσεων 30x30m και βάθους 5m βρίσκεται πλησίον. Η παρουσία των τριών αυτών υπόγειων κατασκευών προκάλεσε σοβαρή αύξηση του πλάτους της εδαφικής επιτάχυνσης, και η διάθλαση των κυμάτων στις γωνίες των κατασκευών προκάλεσε μια αύξηση της τάξης του 30% στην μέγιστη τιμή (PGA) (Gazetas et al. 2002). Η τιμή των 0,50g φαίνεται, σύμφωνα με υπολογισμούς, να αντιστοιχεί σε μία μέγιστη πραγματική τιμή 0,2 – 0,3g. Με βάση τις ακραίες τοπικές συνθήκες στο σταθμό Μοναστηράκι, η τιμή των 0,31g που καταγράφηκε στα Σεπόλια (SPLB), φαίνεται ως η πιο αντιπροσωπευτική τιμή μέγιστης καταγεγραμμένης επιτάχυνσης, ενώ ταυτόχρονα πρόκειται για την κοντινότερη καταγραφή από τη σεισμική διάρρηξη (Papadopoulos et al. 2002, Αποστόλου κ.α. 2001).



Σχήμα 2.8. Κάθετη τομή στη θέση εγκατάστασης του σειсмоγραφικού σταθμού ΜΟΝΑΣΤΗΡΑΚΙ (MNSA). (Gazetas et al. 2002).

Από τις καταγραφές των επιταχυνσιογράφων, είναι εμφανής μια κατανομή της διεύθυνσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης μεταξύ 45° και 180°, με μια μέση τιμή περίπου 109°. Η διεύθυνση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τους μηχανισμούς γένεσης που υπολογίστηκαν (Papadopoulos et al. 2000, Louvari & Kiratzi 2001), που δείχνουν ένα επίπεδο ρήγματος παράλληλο με αυτήν (113° - 115°). Τα συμπεράσματα αυτά ενισχύονται από παρατηρήσεις στα νεκροταφεία της πλειόσειστης περιοχής αμέσως μετά το σεισμό, που έδειξαν ότι επιτύμβιες πλάκες και διακοσμητικά είχαν ολισθήσει και ανατραπεί σε μια γενική κατεύθυνση E – W (Αποστόλου κ.α. 2001).

Λόγω έλλειψης καταγραφών, οι τιμές των επιταχύνσεων στην πλειόσειστη περιοχή δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν. Στατιστική ανάλυση, όμως, των διαθέσιμων καταγραφών, λαμβάνοντας υπόψιν τις τοπικές εδαφικές συνθήκες (Bouckovalas & Kouretzis 2001, Bouckovalas et al. 2002) και ανάλυση ολισθήσεως και ανατροπής τύμβων στα νεκροταφεία

της πλειόσειστης περιοχής (Αποστόλου κ.α. 2001) υποδεικνύουν ότι οι μέγιστες επιταχύνσεις πρέπει να ξεπέρασαν τις τιμές 0,55 και 0,75 στην επιφάνεια των σχηματισμών του υποβάθρου και των εδαφικών, αντίστοιχα. Στο Κάστρο Φυλής, και σε άλλες θέσεις κοντά στο ρήγμα της Φυλής παρατηρήθηκαν περιστροφές και αναπηδήσεις λίθων, γεγονός που υποδηλώνει ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της εδαφικής επιτάχυνσης προσέγγισε τοπικά το 1g (Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Pavlides et al. 2002).

Πίνακας 1. Καταγραφές δικτύου επιταχυνσιογράφων (Bouckovalas et al. 2002)

	Συνιστώσα	Απόστασ η από διάρρηξη (km)	a _{max} (g)	v _{max} (m/sec)	Διεύθυνσ η της a _{max}	Κυρίαρχη περίοδος	Γεωλογικές συνθήκες	Θέση οργάνου
ΑΘΑ (Νέο Ψυχικό)	Long	12	0,084	0,053	60ο	0.18-0.27	τριτογενείς αποθέσεις	Ζόροφο ιδιωτικό κτίριο RC
	Trans		0,101	0,074		0.13-0.17		
	Vert		0,114	0,034		0.05-0.07		
MNSA (Μοναστηρ άκι)	Long	13	0,229	0,149	110ο	0.12-0.22	ανθρωπογενείς επιχώσεις/σχιστό λιθοι	Σταθμός Μετρό - ελεύθερο πεδίο
	Trans		0,512	0,149		0.13-0.19		
	Vert		0,162	0,035		0.04-0.07		
SPLB (Σεπόλια)	Long	9	0,324	0,214	180ο	0.20-0.34	ανθρωπογενείς επιχώσεις/σχιστό λιθοι	Ζόροφο μεταλλικό κτίριο-γκαράζ Μετρό
	Trans		0,312	0,189		0.15-0.33		
	Vert		0,192	0,074		0.08-0.14		
DMK (Αγ.Παρασκ ευή)	Long	16	0,046	0,025	45ο	0.08-0.13	ασβεστόλιθοι	μικρό κτίριο RC - Δημόκριτος
	Trans		0,076	0,025		0.09-0.13		
	Vert		0,038	0,030		0.10-0.14		
ΑΘΗ-02 (Χαλάνδρι)	Long	12	0,110	0,051	135ο	0.11-0.20	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	Ζόροφο κτίριο RC - Δημαρχείο
	Trans		0,159	0,069		0.08-0.25		
	Vert		0,092	0,034		0.08-0.11		
ΑΘΗ-03 (Καλλιθέα)	Long	13	0,264	0,161	100ο	0.09-0.13	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	μονώροφο κτίριο RC - Κ.Ε.Δ.Ε.
	Trans		0,303	0,147		0.19-0.26		
	Vert		0,157	0,070		0.04-0.07		
ΑΘΗ-04 (Κυψέλη)	Long	12	0,121	0,089	90ο	0.09-0.11	σχιστόλιθοι	Ζόροφο κτίριο RC - Γ.Υ.Σ.
	Trans		0,110	0,085		0.11-0.30		
	Vert		0,053	0,034		0.07-0.12		
ΚΕΡΑ (Κερατσίνι)	Long	14	0,223	0,100	125ο	0.17-0.40	τριτογενείς αποθέσεις	εργοστάσιο ΔΕΗ
	Trans		0,186	0,073		0.20-0.27		
	Vert		0,155	0,042		0.06-0.13		
SPLA (Σεπόλια)	Long	9	0,255	0,179	135ο	0.09-0.13	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	2 επίπεδα (13m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,221	0,128		0.19-0.52		
	Vert		0,082	0,059		0.05-0.07		
SGMA (Σύνταγμα)	Long	13	0,149	0,127	100°	0.10-0.18	σχιστόλιθοι	1 επίπεδο (7m) Σταθμός Μετρό
	Trans		0,239	0,134		0.13-0.17		
	Vert		0,054	0,030		0.11-0.21		
SGMB (Σύνταγμα)	Long	13	0,111	0,099	100°	0.19-0.29	σχιστόλιθοι	-3 επίπεδα (- 26m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,087	0,108		0.23-0.59		
	Vert		0,089	0,036		0.13-0.16		
DFNA (Δάφνη)	Long	16	0,045	0,044	55°	0.12-0.23	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	-2 επίπεδα (- 14m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,080	0,077		0.16-0.25		
	Vert		0,041	0,028		0.11-0.18		
PNT (Παπάγου)	Long	13	0,088	0,076	140°	0.16-0.25	τριτογενείς αποθέσεις	-2 επίπεδα (- 15m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,079	0,051		0.15-0.27		
	Vert		0,055	0,038		0.08-0.11		
FIX (Συγγρού- Φίξ)	Long	15	0,086	0,079	70°	0.17-0.22	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	-2 επίπεδα (- 15m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,124	0,110		0.16-0.29		
	Vert		0,046	0,035		0.08-0.14		

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους που οδήγησαν στην τοπική ενίσχυση των ισχυρών εδαφικών κινήσεων κατά το σεισμό της 7-9-99, ήταν η **τοπογραφική ενίσχυση** (topographic amplitude – topographic effects). Φαινόμενα τοπογραφικής ενίσχυσης παρουσιάστηκαν κυρίως στην βιομηχανική περιοχή στις Αδάμες, κοντά στις όχθες του Κηφισού (Gazetas et al. 2002). Οι μεγάλες κλίσεις των πρανών του Κηφισού (ρέμα Χελιδονούς) οδήγησαν στην ενίσχυση των εδαφικών επιταχύνσεων, με αποτέλεσμα την κατάρρευση τριών βιομηχανικών και δυο ιδιωτικών κτιρίων, τα οποία βρίσκονταν σε απόσταση 50 – 200 μέτρων από το ρέμα. Τις επιταχύνσεις φέρεται να ενίσχυσαν και οι μεγάλου πάχους νεογενείς λημναίες αποθέσεις που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής.

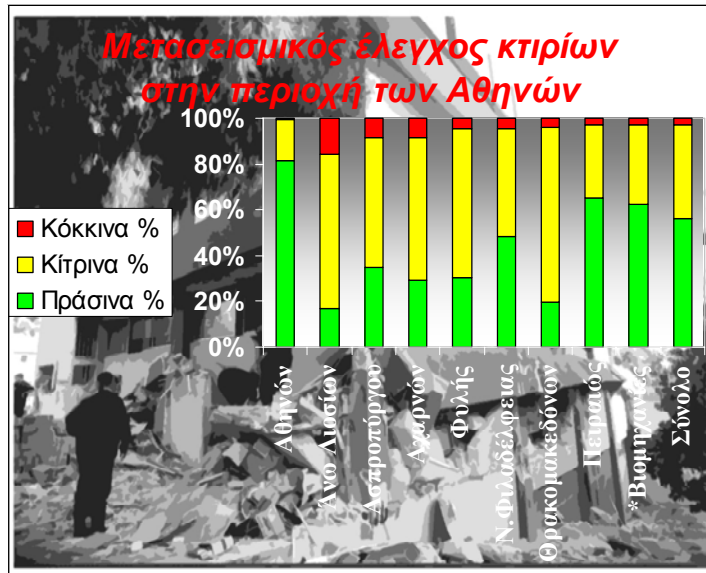
Σχήμα 2.9. Αεροφωτογραφία της κοινότητας Αδάμων. Με μπλε γραμμή σημειώνεται η κοίτη του Κηφισού. Ένθετες φωτογραφίες από Gazetas et al. 2002 και Psycharis et al. 1999.



Ο απολογισμός του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 έφθασε τους 143 νεκρούς. Πρόκειται για τον μεγαλύτερο αριθμό θυμάτων από σεισμό στη σύγχρονη Ελλάδα, ύστερα από τον σεισμό του 1953 στα Επτάνησα με 476 απώλειες. 24 ώρες μετά το σεισμό, οι νεκροί ανέρχονταν σε 49, με 250+ τραυματίες και άλλους ~30 παγιδευμένους κάτω από τα χαλάσματα των κτιρίων που κατέρρευσαν. Επιχειρήσεις **έρευνας και διάσωσης** (SAR) διεξήχθησαν σε 28 σημεία και 72 άτομα ανεύρθησαν ζωντανοί τις πρώτες 72 ώρες. Τα συνεργεία SAR επανδρώνονταν από άνδρες της ΕΜΑΚ, καθώς και ομάδες από 8 άλλες χώρες, ανάμεσα τους και η τουρκική ομάδα διάσωσης AKUT. Οι μισές από τις απώλειες προκλήθηκαν από την κατάρρευση 11 μεγάλων κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων τριών εργοστασίων (Ricomex, Fournalis, Faran) και 8 πολυκατοικιών. Οι υπόλοιποι νεκροί έχασαν τη ζωή τους από την κατάρρευση 17 μικρών κτιρίων (Λεκίδης & Καρακώστας 2001, Pomonis 2002). Στις πληγείσες περιοχές δημιουργήθηκαν γρήγορα καταυλισμοί με ένα συνολικό αριθμό 8000 σκηनों, ενώ επιπλέον 12000 σκηνές διανεμήθηκαν σε ανεξάρτητα άτομα. Περίπου ένα μήνα αργότερα, επιλέχθηκε ένας αριθμός 70 θέσεων εγκατάστασης ημι-μόνιμων κατοικιών (containers).

Το συνολικό κόστος από τον σεισμό εκτιμήθηκε από κυβερνητικές υπηρεσίες σε 3,77 δις. Ευρώ (1.286 δις δραχμές). Συνυπολογίζοντας ασφαλισμένες απώλειες και τυχόν μη δηλωμένες, το τελικό ποσό προσεγγίζει ή και ξεπερνάει ακόμη τα 4 δις Ευρώ, ποσό που αντιστοιχεί στο 3% του Α.Ε.Π. Μετά το σεισμό, περισσότερα από 1500 συνεργεία μηχανικών εκτέλεσαν πρωτοβάθμιους και δευτεροβάθμιους ελέγχους σε 64.349 κτίρια, τα οποία περιελάμβαναν 217.940 ιδιοκτησίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 6.519 ιδιοκτησίες χαρακτηρίστηκαν **‘κόκκινες’** (σοβαρές ζημιές – προς κατολίπηση), 88.784 χαρακτηρίστηκαν **‘κίτρινες’** (επιδιορθώσιμες δομικές βλάβες – προσωρινά μη κατοικήσιμες) και 122.637 **‘πράσινες’** (ελαφρές μη δομικές βλάβες). Ο αντίστοιχος αριθμός για τα κτίρια είναι 4682 για τα ‘κόκκινα’ και 38.165 για τα ‘κίτρινα’ (Pomonis 2002). Σύμφωνα με

επίσημα στοιχεία και εκτιμήσεις, ο συνολικός αριθμός των κτιρίων στην περιοχή της πρωτεύουσας και την περιφέρεια Αττικής υπολογίζεται σε ~650.000. Αυτό σημαίνει ότι ο σεισμός προκάλεσε ζημιές στο 7% περίπου των κτιρίων της Αθήνας και της Αττικής. Ζημιές στην υποδομή και τα δίκτυα ζωής (*lifelines* – δρόμοι, γέφυρες, σιδηρόδρομοι, αποχέτευση, ύδρευση, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο) της πρωτεύουσας δεν παρατηρήθηκαν, εκτός από τις εγκαταστάσεις του λιμανιού του Πειραιά. Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδρευσης που βρίσκονταν στην πλειόσειστη περιοχή (Ανω Λιόσια) δεν παρουσίασαν ζημιές (Λεκίδης & Καρακώστας 2001, Ρομονίς 2002).



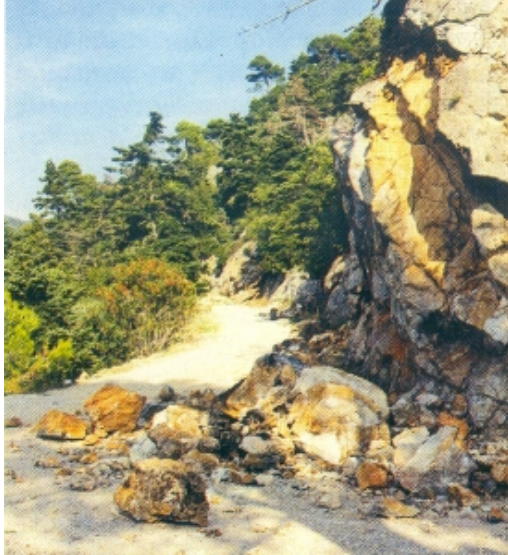
Σχήμα 2.10. Αποτελέσματα μετασεισμικών ελέγχων και κατανομή τους σε δήμους του Λεκανοπεδίου. Στοιχεία από Λεκίδη & Καρακώστα (2001).



Φωτ. 2.2. Το κτίριο της Ricomex, στις όχθες του Κηφισού, το οποίο κατέρρευσε στον σεισμό της Αθήνας. Με την κόκκινη στολή διακρίνεται μέλος του τουρκικού συνεργείου έρευνας & διάσωσης AKUT. (Πηγή: ΟΑΣΠ).

2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΕΙΣ – ΤΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΡΗΓΜΑ

Πτώσεις βράχων και κατολισθήσεις σημειώθηκαν σε ολόκληρη την κεντρική Πάρνηθα και ειδικά στο νοτιοανατολικό τμήμα της. Πολλές από τις περιπτώσεις προκάλεσαν προβλήματα στο οδικό δίκτυο στην περιοχή αυτή (Pavlidis et al. 2002). Ιδιαίτερα εντυπωσιακές και εκτεταμένες ήταν στην περίπτωση του φαραγγιού της Μονής Κλειστών, στην Φυλή. Οι πτώσεις βράχων από το σεισμό της 7-9-99 παρουσιάζουν ορισμένες ιδιαιτερότητες (Mariolakos et al. 2000):



- Η γεωγραφική κατανομή τους δείχνει ότι περιορίζονται κυρίως σε ορισμένες στενές λωρίδες των απότομων πρανών κατά μήκος των κύριων χειμάρρων ή κατά μήκος περιθωριακών ρηξιγενών ζωνών.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των πτώσεων βράχων παρατηρήθηκε σε περιοχές όπου η μέση κλίση των πρανών ήταν μεγαλύτερη από 1 προς 2.
- Οι πτώσεις περιορίζονται κυρίως σε στενές

λωρίδες όπου οι γωνιακές σχέσεις μεταξύ των επιφανειών των ασυνεχειών και της κλίσης του πρανούς δεν ήταν κατάλληλες προς ολίσθηση.

- Παρατηρήθηκε ότι σχεδόν όλες οι πτώσεις βράχων συνδέονται με επιφάνειες ρηγμάτων και ρωγμών.

- Σε πολλές περιπτώσεις, σε μικρή απόσταση από τις θέσεις όπου σημειώθηκαν πτώσεις βράχων, βρίσκονταν μη συνεκτικά κορήματα τα οποία δεν παρουσίαζαν καμία μετακίνηση.

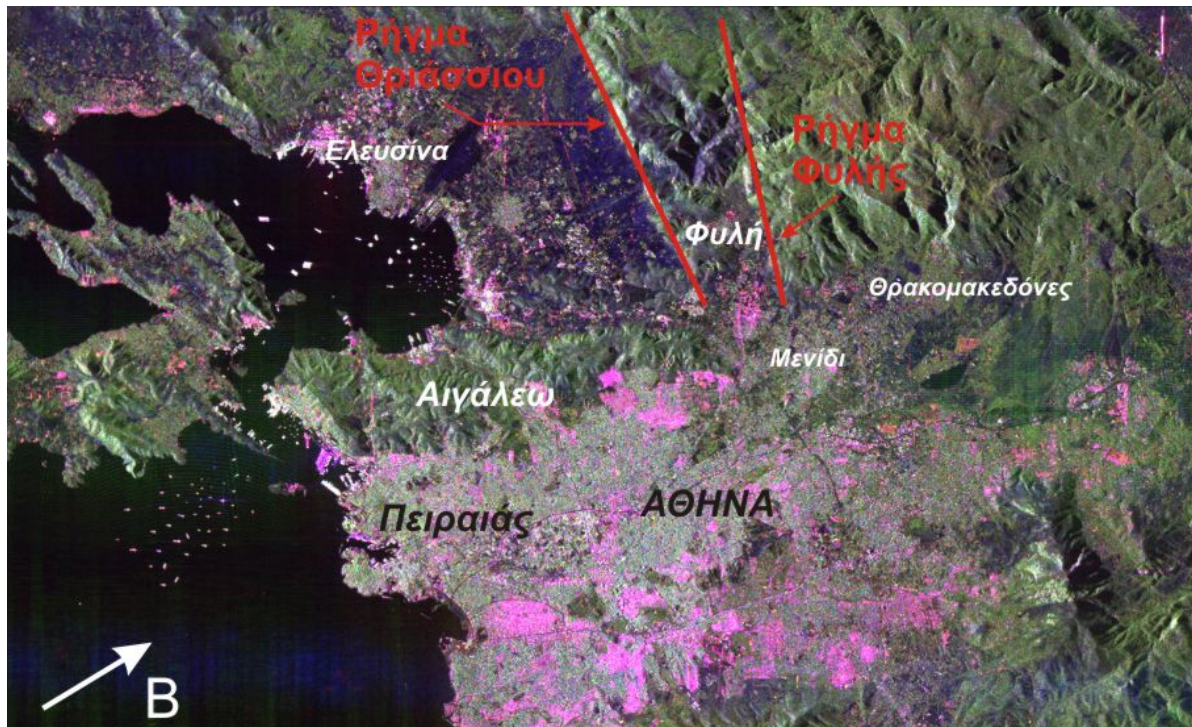
- Οι πτώσεις βράχων παρατηρήθηκαν κυρίως σε περιοχές όπου κυριαρχούσαν οι διαρρήξεις με διευθύνσεις WNW – ESE ή N – S και τα πρανή έκλιναν προς νότο.

Επιφανειακές διαρρήξεις παρατηρήθηκαν κυρίως στην περιοχή της ΝΑ Πάρνηθας. Οι μόνες πιθανές διαρρήξεις που συνδέονται με το σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 παρατηρήθηκαν σε θέσεις κατά μήκος ή πλησίον του ρήγματος της Φυλής (Mariolakos et al. 2000, Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Pavlidis et al. 2002). Η σημαντικότερη είναι εκείνη που εντοπίστηκε στα ΒΔ της Μονής του Αγίου Κυπριανού στην περιοχή της Φυλής. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μια διάρρηξη μήκους ~100m, με μετακίνηση 3 – 6 cm προς ΝΔ του κατερχόμενου τέμαχους. Σοβαρές ζημιές παρουσιάστηκαν στην εκκλησία του Αγ. Κυπριανού, η οποία αργότερα κατεδαφίστηκε. Μια εντυπωσιακή βαρυτική ρώγμωση περίπου 300m μήκους και διεύθυνσης N110°-N150°, εντοπίστηκε στην βάση ενός παλιού, διαβρωμένου πρανούς ρήγματος στην περιοχή μεταξύ Φυλής και Άνω Λιοσίων. Στο χώρο στάθμευσης του ΕΟΤ (lift για Καζίνο Πάρνηθας) στην περιοχή Θρακομακεδόνων, εμφανίστηκαν ρωγμές στο ασφαλτικό δάπεδο με άνοιγμα 1-2cm και με διευθύνσεις NE – SW και ENE – WSW. Δευτερεύοντες εδαφικές ρωγμές διεύθυνσης NNE – SSW έως N – S σημειώθηκαν στην τοποθεσία του Κάστρου της Φυλής, τα τείχη του οποίου (κατασκευασμένα από παραλληλόγραμμα ανθρακικά τεμάχια, κατέρρευσαν μερικώς και τα θεμέλια τους εμφάνισαν ρωγμές. Οι μετακινήσεις σε όλες τις περιπτώσεις είναι οριακές, κάτι που αναμένεται από το μέτριο μέγεθος του σεισμού. Παράλληλα, σε πολλές θέσεις κατά μήκος του ρήγματος της Φυλής, εμφανίζονται σε ρηξιγενείς επιφάνειες ‘φρέσκες’ λωρίδες που υποδεικνύουν παλαιότερες μετακινήσεις. Οι μετατοπίσεις αυτές είναι τυπικές συνσεισμικές της τάξης των 6-12 cm, και προσδιορίζουν αντίστοιχα μεγέθη παλαιοσεισμών της τάξης $M_s=6.0$ (Παπαδόπουλος κ.α. 2001).

Φωτ. 2.3. Εδαφική ρωγμή βαρύτητας στην θέση του Κάστρου Φυλής.



Από τις πρώτες ημέρες μετά το σεισμό της 7-9-99, επικράτησε διχογνωμία μεταξύ των επιστημόνων για τον προσδιορισμό του σεισμικού ρήγματος. Ο προσδιορισμός του επικέντρου και του μηχανισμού γένεσης του κύριου σεισμού, η μορφολογία της περιοχής και επί τόπου παρατηρήσεις, έδειξαν ότι επρόκειτο για ένα κανονικό ρήγμα παράταξης WNW – ESE, κλίσης προς SSW, το οποίο τοποθετείται βόρεια της πεδιάδος Ελευσίνας (Θριάσιο Πεδίο). Οι δομές που φαίνεται να ταιριάζουν, είναι το **ρήγμα του Θριάσιου** (ή Ασπροπύργου) και το **ρήγμα της Φυλής**. Το πρώτο, οριοθετεί στα βόρεια το βύθισμα της Ελευσίνας και πρόκειται για μια εντυπωσιακή νεοτεκτονική δομή, με μορφολογία η οποία διακρίνεται με ευκολία σε τοπογραφικούς χάρτες και δορυφορικές εικόνες. Παρ' όλα αυτά, απουσιάζουν οι αδιάβρωτες ρηξιγενείς επιφάνειες, ενώ οι μεγάλοι κώνοι κορημάτων φαίνονται απαραμόρφωτοι, κάτι που δείχνει ότι το ρήγμα του Θριάσιου δεν παρουσιάζει πρόσφατες μετακινήσεις. Αντίθετα, το ρήγμα της Φυλής, παράλληλο και βορειότερα του Θριάσιου, εμφανίζει πρόσφατες ρηξιγενείς επιφάνειες με γραμμώσεις ολίσθησης σε μεγάλο μέρος του, είναι διακριτό σε δορυφορικές εικόνες, ενώ παράλληλα συμπίπτει με την περιοχή όπου εμφανίστηκαν η πλειοψηφία των συνσεισμικών μετατοπίσεων και πτώσεων βράχων, και η γεωμετρία του έρχεται σε συμφωνία με την κατανομή των υποκέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας. Με το συμπέρασμα αυτό έρχονται σε συμφωνία οι περισσότεροι ερευνητές (Tselentis & Zahradnik 2000, Papadimitriou et al. 2000, Ganas et al. 2000, Sokos et al. 2000, Voulgaris et al. 2000, Louvari & Kiratzi 2001). Οι Mariolakos & Fountoulis (2000) δέχονται μια ρηξιγενή ζώνη WNW – ESE, την οποία ονομάζουν Ζώνη Θριάσιου – Καματερού. Οι Fountoulis et al. (2000) δέχονται για την περιοχή εφελκυσμό διεύθυνσης WNW – ESE και οριοθετούν ως πιθανό ρήγμα την γραμμή της επώθησης της Υποπελαγονικής (Katsikatsos 1977). Οι Rondoyianni et al. (2000) μιλούν για επαναδραστηριοποίηση του ρήγματος του Αγ. Γεωργίου, το οποίο οριοθετούν σε μια ζώνη βόρεια των ρηγμάτων Φυλής και Θριάσιου, η οποία εκτείνεται μέχρι τις ακτές του ανατολικού Κορινθιακού Κόλπου. Σε 'τυφλό' ρήγμα των νότιων παρυφών της Πάρνηθας αναφέρονται οι Papazachos et al. (2001), όπως και άλλοι ερευνητές, θεωρώντας ότι η διάρρηξη δεν έφθασε στην επιφάνεια και περιορίστηκε σε βάθος μερικών km, χωρίς να έχει επιφανειακή εκδήλωση.

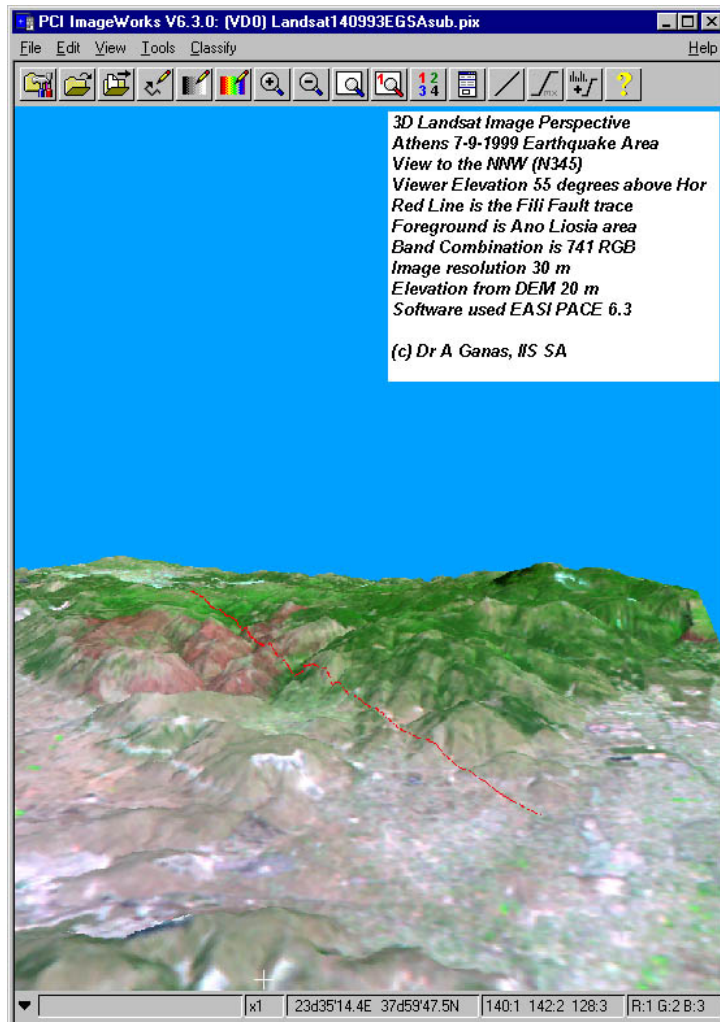


Σχήμα 2.11. Δορυφορική εικόνα της περιοχής Αθηνών. Διακρίνεται καθαρά το ρήγμα του Θριάσσιου να οριοθετεί την πεδιάδα της Ελευσίνας, ενώ βορειότερα αυτού διακρίνεται το ρήγμα της Φυλής.

Για την αναγνώριση του σεισμικού ρήγματος, πραγματοποιήθηκε μια εκτεταμένη έρευνα (Pavlidis et al. 1999, Ganas et al. 2000, Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Ganas et al. 2001, Pavlidis et al. 2002, Papadopoulos et al. 2003, Ganas et al. 2003) η οποία περιελάμβανε έρευνα πεδίου και γεωλογική – νεοτεκτονική χαρτογράφηση, μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις, ανάλυση δορυφορικών εικόνων, ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (DEM), τους μηχανισμούς γένεσης του σεισμού, αξιολόγηση μακροσεισμικών στοιχείων, ανάλυση της μετασεισμικής ακολουθίας και εφαρμογή συμβολομετρίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ρήγμα της Φυλής παρουσιάζει μια σειρά χαρακτηριστικών που το συνδέουν με το σεισμογόνο ρήγμα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συμπίπτουν με τους μηχανισμούς γένεσης, που δείχνει ένα ρήγμα με παράταξη WNW – ESE. Η τομή του επιπέδου του ρήγματος όπως καθορίζεται από τα υπόκεντρα των μετασεισμών (Tselentis & Zahradnik 2000, Παπαδόπουλος κ.α. 2001) συμπίπτει στην επιφάνεια με το ίχνος του ρήγματος της Φυλής. Οι Voulgaris et al. (2000) επίσης σημειώνουν ότι σύμφωνα με την κατανομή των μετασεισμών, το επίπεδο του πραγματικού ρήγματος βρίσκεται μέσα στον ορεινό όγκο της Πάρνηθας. Επίσης, η νεοτεκτονική ανάλυση του ρήγματος έδειξε ότι πρόκειται για μια ενεργό τεκτονική δομή, η οποία ενεργοποιήθηκε σε πρόσφατο γεωλογικό ή ιστορικό χρόνο. Αξιολογώντας τα μακροσεισμικά στοιχεία (πτώσεις βράχων, εδαφικές ρωγμές, μακροσεισμικές εντάσεις) παρατηρείται ότι η πλειονότητα αυτών συμπίπτει με μια ζώνη κατά μήκος του ρήγματος. Εξάλλου, η πλειοσειστη περιοχή αποτελεί την ανατολική απόληξη του ρήγματος της Φυλής, ενώ η συντριπτική πλειοψηφία των βλαβών και των πληγέντων περιοχών βρίσκονται στο κατερχόμενο τέμαχος (hangingwall) του ρήγματος, κάτι που αποτελεί γνώρισμα των σεισμών που προκαλούνται από κανονικά ρήγματα κλίσης.

Το ρήγμα της Φυλής έχει μήκος περίπου 10 km (Ganas et al. 2003) και είναι διακριτό σε δορυφορικές εικόνες μεγάλης διακριτικής ικανότητας, όσο και σε ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου, επιβεβαιώνοντας ότι πρόκειται για μια ενεργό δομή. Τα αποτελέσματα των εφαρμογών συμβολομετρίας δείχνουν, επίσης, την σύνδεση του ρήγματος με τον σεισμό της 7-9-99 (Kontoes et al. 2000, Ganas et al. 2001). Παρατηρήσεις στο Κάστρο της Φυλής, κοντά στην επιφανειακή εμφάνιση του ρήγματος (Papadopoulos 2000, Pavlidis et al. 2002),

πιθανολογούν την επαναδραστηριοποίηση του ρήγματος σε ιστορικούς χρόνους λόγω εκτεταμένων επιδιορθώσεων στην τοιχοποιία. Στην στενή ζώνη κατά μήκος του ρήγματος, παρατηρήθηκαν εξάλλου και τα πιο έντονα μακροσεισμικά φαινόμενα, όπως καταπτώσεις βράχων, σημαντικές βλάβες στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, αναπηδήσεις λίθων που υποδηλώνουν ακραίες (~1g) εδαφικές επιταχύνσεις, στοιχεία που υποδηλώνουν μικρή απόσταση από την σεισμική διάρρηξη. Ενδεικτική είναι και η πιθανή παρουσία συνσεισμικής μετατόπισης (3-6cm) στο ίχνος του ρήγματος (Παπαδόπουλος κ.α. 2001).



Σχήμα 2.12. Τρισδιάστατη άποψη της πλειόσειστης περιοχής του σεισμού της Αθήνας (άποψη προς ΒΒΔ). Σε πρώτο πλάνο απεικονίζεται η περιοχή των δήμων Α. Λιοσίων και Μενιδίου. Με κόκκινη γραμμή είναι σημειωμένο το ίχνος του ρήγματος της Φυλής. Δορυφορική εικόνα LANDSAT με υπόβαθρο ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου ανάλυσης 30 m. (Γκανάς Α.)



Φωτ. 2.4. Διάρρηξη αντιθετικού ρήγματος στην περιοχή Άνω Λιοσίων. Διακρίνεται η πρόσφατη και αδιάβρωτη επιφάνεια.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ



3.1 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΝΗΘΑ - ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΗΣ ΦΥΛΗΣ

Ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας (1413m), καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της Αττικής και τοποθετείται ανάμεσα σε δυο Τεταρτογενείς τάφρους, του Κορινθιακού Κόλπου και του Νότιου Ευβοϊκού. Αποτελείται κυρίως από αλπικά πετρώματα της Υποελαγονικής ζώνης (Κατσικάτσος κ.α. 1986). Πρόκειται για ένα τεκτονικό κέρασ που αποτελεί μιας 1^{ης} τάξης νεοτεκτονική δομή, η οποία οριοθετείται από περιθωριακά κανονικά ρήγματα. Στα βόρεια οριοθετείται από την ρηξιγενή ζώνη Καπαρελλίου – Ερυθρών – Ωρωπού, η οποία έδωσε 3 μεγάλους σεισμούς ($M > 6$) τα τελευταία 110 χρόνια (1893, 1938, 1981 - Παπαδοπουλος 2000). Η ζώνη αυτή (με γενική ανάπτυξη Δ – Α) διασχίζει την βόρεια Αττική και ενώνει τον Κορινθιακό με τον Ευβοϊκό. Αποτελείται από νεοτεκτονικά κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α – Δ έως ΝΑ – ΒΔ, τα οποία βυθίζουν την λεκάνη Ερυθρών – Θήβας – Τανάγρας με κατακόρυφη μετατόπιση $> 500m$ από το Πλειόκαινο (Παπανικολάου κ.α. 1988). Στα νότια της Πάρνηθας δεν είχε παρατηρηθεί σημαντική σεισμικότητα, ούτε είχαν εντοπιστεί ενεργά σεισμικά ρήγματα, μέχρι τον σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 ($M_w=5.9$), ο οποίος προκλήθηκε από το ρήγμα της Φυλής.

Η περιοχή ενδιαφέροντος (Θρακομακεδόνες) τοποθετείται στις ανατολικές παρυφές της Πάρνηθας, στα περιθώρια του Λεκανοπεδίου των Αθηνών.



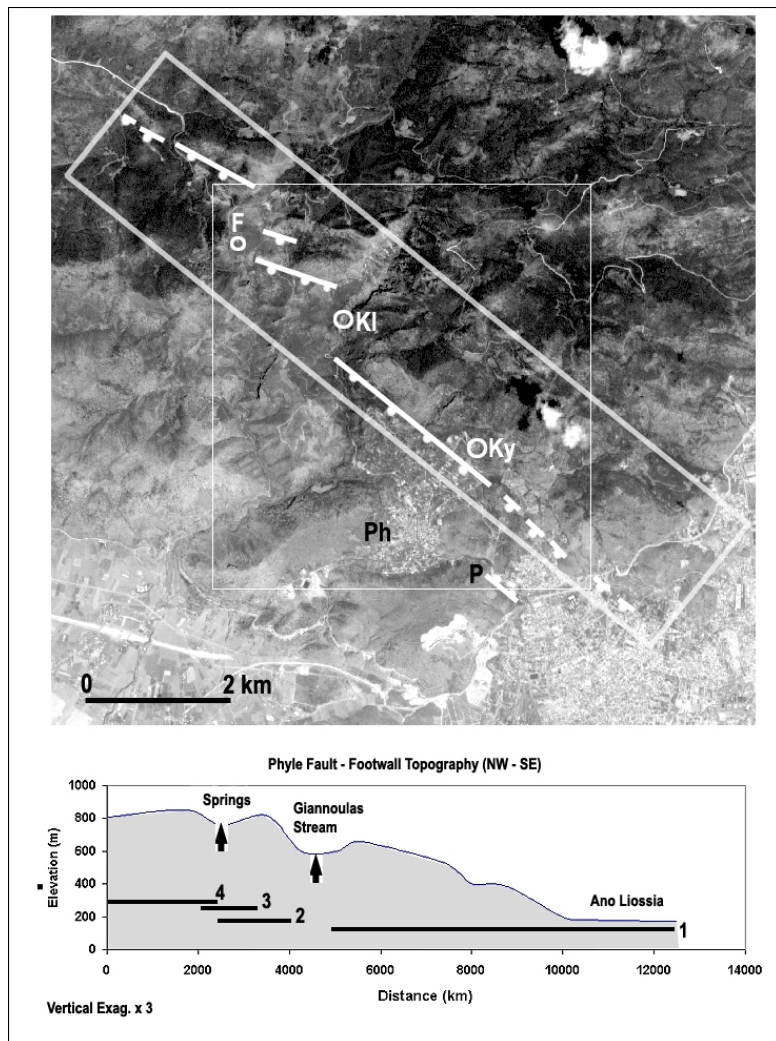
Σχήμα 3.1. Δορυφορική εικόνα (ορατό φάσμα) της ευρύτερης περιοχής της Πάρνηθας.

3.1.1 ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΗΣ ΦΥΛΗΣ

Το ρήγμα της Φυλής χαρτογραφήθηκε για πρώτη φορά, ως αλπική δομή, με διεύθυνση NW - SE, στο Φύλλο «Αθήναι – Ελευσίνα» του Γεωλογικού Χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. Στο κατερχόμενο τέμαχός του βρίσκεται η μικρή νεογενής λεκάνη της Φυλής, στην οποία έχουν αποθεθεί Άνω Μειοκαινικά – Πλειστοκαινικά ιζήματα, με πάχος που πρέπει να προσεγγίζει τα 300 m (Κατσικάτσος κ.α. 1986).

Λεπτομερής χαρτογράφηση και νεοτεκτονική ανάλυση (Pavlidis et al. 2002, Ganas et al 2003) έδειξαν ότι το ρήγμα της Φυλής αποτελείται από τέσσερα τμήματα (**segments**) διατηρώντας ταυτόχρονα την ίδια παράταξη (N120° - N130°) και διεύθυνση κλίσης προς SW.

Σχήμα 3.2. Δορυφορική εικόνα (IRS-C, ανάλυση 5.8m/pixel) της περιοχής της Φυλής. Σημειώνονται οι κλάδοι του ρήματος, και τοπογραφική τομή(κάτω) κατά μήκος των πρανών που οριοθετούν το σταθερό (footwall) τέμαχος του ρήματος (Ganas et al. 2003).



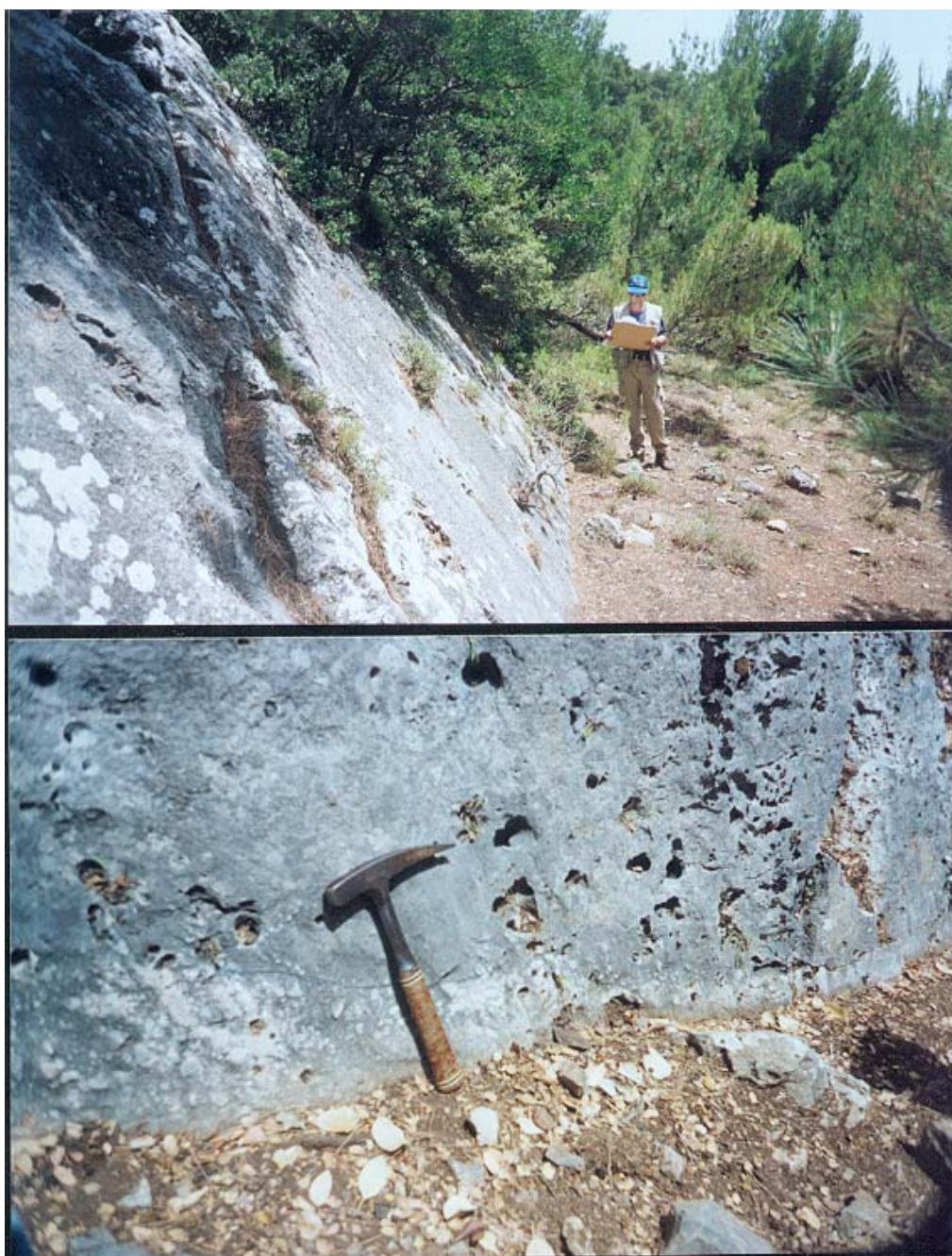
Ο κύριος κλάδος (1) του ρήματος έχει μήκος 4.5 km και οριοθετεί την λεκάνη της Φυλής. Ο δεύτερος και τρίτος κλάδος (2-3), με μήκη 1200 m και 900 m αντίστοιχα, εμφανίζουν λειασμένες επιφάνειες με γραμμώσεις προστριβής και λωρίδες αδιάβρωτου υποβάθρου, στοιχεία που υποδηλώνουν πρόσφατες συνσεισμικές μετακινήσεις. Πλησίον του τέταρτου κλάδου (4 –

1500m) βρίσκεται το μέτωπο καρστικών πηγών της Αγ. Παρασκευής, η λειτουργία του οποίου διακόπηκε για 3-4 ημέρες μετά τον σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 (Ganas et al. 2003).

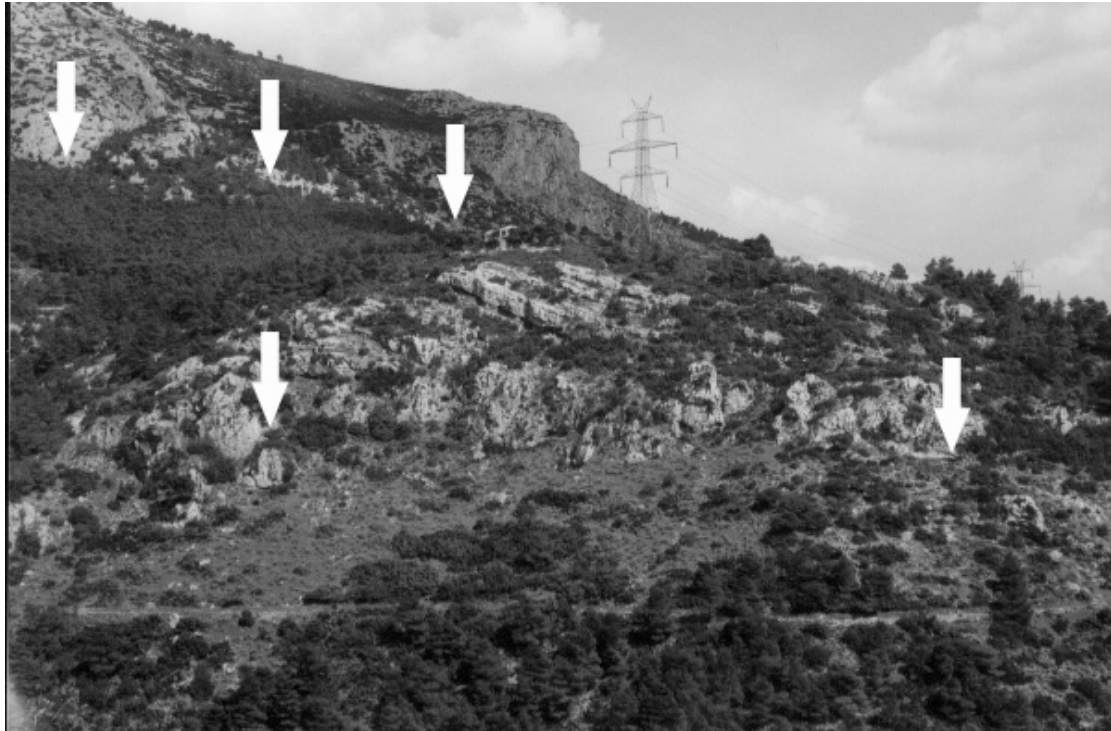
Η συνολική κατακόρυφη μετατόπιση για τον κύριο κλάδο υπολογίζεται σε περίπου 800 m, που αντιστοιχεί σε έναν ρυθμό ολίσθησης της τάξης του 0,16mm/yr. Ο ρυθμός ολίσθησης είναι συγκρίσιμος με αντίστοιχους ρυθμούς ολίσθησης κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων στην τάφρο του Ευβοϊκού Κόλπου, ενώ είναι αρκετά μικρότερος, κατά μια τάξη μεγέθους, σε σύγκριση με τη περιοχή του Κορινθιακού κόλπου. Επεξεργασμένα στοιχεία επιφανειακών γραμμώσεων ολίσθησης δείχνουν για το πεδίο τάσεων ένα υπο-οριζόντιο άξονα σ_3 με γενικό προσανατολισμό NNE –

SSW (N196° έως N206°). Η διεύθυνση αυτή του εφελκυσμού έρχεται σε συμφωνία με τη γενικότερη διεύθυνση που ισχύει για τον χώρο της Κεντρικής Ελλάδος, καθώς και με την περιοχή της Τάφρου του Ευβοϊκού (N14°), σε αντίθεση με την περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου (N353°).

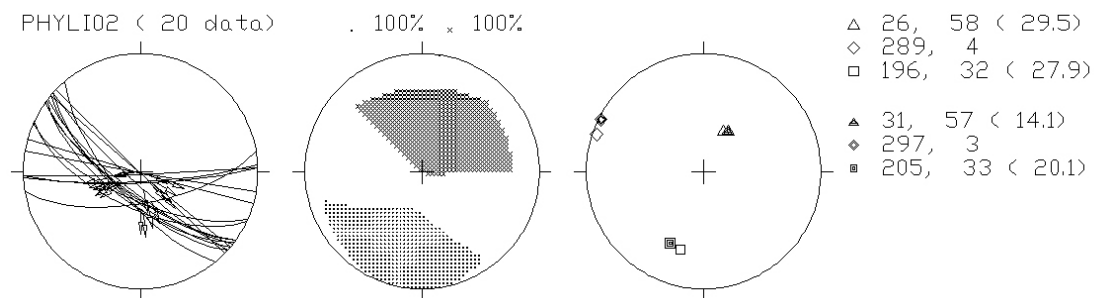
Ανάμεσα στους τέσσερις κλάδους του ρήγματος της Φυλής δεν σημειώνεται επικάλυψη μεταξύ τους μεγαλύτερη από 1000m. Οι τέσσερις κλάδοι φαίνεται να συνενώνονται σε κάποιο βάθος και να σχηματίζουν μια ενιαία επιφάνεια ρήγματος σε σεισμογενή βάθη (8-12 km).



Φωτ. 3.1 & 3.2. Επάνω: Κατοπτρική επιφάνεια στο ΒΔ τμήμα του ρήγματος της Φυλής (κλάδος 4). **Κάτω:** Κοντινή άποψη της επιφάνειας. Διακρίνεται στη βάση μια λεπτή λωρίδα αδιάβρωτου ασβεστόλιθου (Γκανάς Α.).



Φωτ. 3.3. Άποψη προς ΒΑ του κύριου κλάδου (1) του ρήγματος της Φυλής. Με βέλη σημειώνονται πρόσφατες ρηξιγενείς επιφάνειες. Οι πυλώνες της Δ.Ε.Η. που διακρίνονται, είχαν υποστεί σοβαρές ζημιές κατά το σεισμό της 7-9-99. (Ganas et al. 2003).



Σχήμα 3.3. Ποσοτική ανάλυση του πεδίου τάσεων για το ρήγμα της Φυλής. Αριστερά προβάλλονται στερεογραφικά οι ρηξιγενείς επιφάνειες με τη γράμμωση ολίσθησης, στο κέντρο υπολογισμός των αξόνων σ_1 - σ_2 - σ_3 με τη μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών και δεξιά, αποτελέσματα της μεθόδου των Caruto & Caruto (1988). Αξονες: σ_1 (τρίγωνα), σ_2 (ρόμβοι) και σ_3 (τετράγωνα).

3.2 ΤΟ ΡΗΓΜΑ ΤΩΝ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ

Στα πλαίσια της μελέτης της πλειόσειστης περιοχής του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999, αλλά και της νεοτεκτονικής έρευνας στην Πάρνηθα, πραγματοποιήθηκε γεωλογική – νεοτεκτονική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 της περιοχής του δήμου Θρακομακεδόνων. Η περιοχή των Θρακομακεδόνων είχε πληγεί ιδιαίτερα από την σεισμική δόνηση και παρουσίαζε σοβαρές καταστροφές.

Μεγάλο τμήμα της περιοχής έχει αξιοποιηθεί οικιστικά, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια λόγω της υπέρμετρης πολεοδομικής ανάπτυξης της πρωτεύουσας και των γειτονικών δήμων. Μορφολογικά, αποτελείται από τον μεγάλο χαρακτηριστικό αλλουβιακό κώνο (alluvial fan) των Θρακομακεδόνων που εκτείνεται προς το εσωτερικό του Λεκανοπεδίου των Αθηνών και τις νοτιοανατολικές παρυφές του ορεινού όγκου της Πάρνηθας. Το ορεινό μέτωπο σχηματίζει απότομες κλιτύες με γενική διεύθυνση NE – SW. Δύο κύρια ρέματα, περιοδικής λειτουργίας, διατρέχουν την περιοχή. Πρόκειται για το ρέμα του Αγίου Γεωργίου και το ρέμα Αγίας Τριάδας, τα οποία πηγάζουν στο εσωτερικό της Πάρνηθας και συνεχίζουν προς το εσωτερικό του Λεκανοπεδίου, αποτελώντας κλάδους του Κηφισού ποταμού. Τα δύο αυτά ρέματα ακολουθούν βαθιές χαράδρες μέσα στους σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου στο εσωτερικό της Πάρνηθας, και στην έξοδό τους στην λεκάνη αλλάζουν την διεύθυνσή τους από NW – SE σε σχεδόν N – S. Εμφανίζονται επίσης και μικρότερα ρέματα και χείμαρροι.

Ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας δομείται σχεδόν αποκλειστικά από τους σχηματισμούς της Υποπελαγονικής ισοπικής ζώνης. Η στρωματογραφική διάρθρωση των σχηματισμών της Υποπελαγονικής δίνεται από αρκετούς ερευνητές (Katsikatsos 1977, Δούνας & Γαιτανάκης 1981, Μουντράκης 1985, Παπανικολάου 1986, Κατσικάτσος κ.α. 1986, Katsikatsos et al. 1986) και περιλαμβάνει, με σειρά από κάτω προς τα πάνω:

- Ηφαιστειοϊζηματογενής σχηματισμός Πέρμιου(?) – Κατώτερου Τριαδικού. Περιλαμβάνει κλαστικά (κυρίως) ιζήματα, όπως γραουβάκες, ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστολίθους, μεταπηλίτες, φυλλίτες και κροκαλολατυποπαγή, και ηφαιστειακά πετρώματα που περιλαμβάνουν ρυόλιθους, διαβάσες και σχιστοποιημένους τόφφους και τοφφίτες. Μέσα στον σχηματισμό απαντώνται μεγάλοι ολισθόλιθοι και ολισθοστρώματα τεφρών απολιθωματοφόρων ασβεστόλιθων που χρονολογήθηκαν στο Λιθανθρακοφόρο – Πέρμιο (Σιδέρης 1986, Baud et al. 1993).
- Νηριτικοί ανθρακικοί σχηματισμοί Μέσου Τριαδικού – Λιάσιου. Μεσοπαχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, με πάχος που υπολογίζεται ότι φθάνει τα 700 m.
- Οφειολιθικά πετρώματα. Κυρίως περιδοτίτες, με διάφορους βαθμούς σερπεντινίωσης, τα οποία έχουν επωθηθεί πάνω στους Τριαδικοιουρασικούς ασβεστόλιθους.
- Επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι (Κενομάνιο – Σενώνιο). Νηριτικοί ασβεστόλιθοι, μαργαικοί στα ανώτερα τμήματα. Έχουν αποτεθεί με ασυμφωνία επικλύσεως πάνω στους παλαιότερους σχηματισμούς. Στη βάση των επικλυσιογενών ασβεστολίθων συναντούνται συχνά εμφανίσεις σιδηρονικελιούχων και βωξιτικών κοιτασμάτων, με φακοειδή-στρωματοειδή μορφή.

- Φλύσξης του Παλαιοκαίνου. Εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών με ενστρώσεις ασβεστολίθων. Αποτελεί τον σχηματισμό που τερματίζει την ακολουθία των σχηματισμών της Υποπελαγονικής.

Από τους αλπικούς σχηματισμούς, στην περιοχή χαρτογράφησης εμφανίζονται ο Περμοτριάδικός ηφαιστειοιζηματογενής σχηματισμός, και οι ασβεστόλιθοι Τριαδικού – Ιουρασικού. Στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000 σημειώνεται η ύπαρξη στην περιοχή εκτεταμένων εμφανίσεων της ηφαιστειοιζηματογενούς σειράς, κάτι που δεν επιβεβαιώθηκε από την χαρτογράφηση. Εντοπίστηκαν μόνο ορισμένες περιορισμένες εμφανίσεις μετακλαστικών (γραουβάκες) στρωμάτων, έντονα τεκτονισμένων. Κατά την χαρτογράφηση, δεν έγινε λεπτομερής στρωματογραφική υποδιαίρεση και τεκτονική αποτύπωση των αλπικών σχηματισμών του υποβάθρου, καθώς δόθηκε έμφαση στην νεοτεκτονική αποτύπωση των ρηξιγενών δομών και τη στρωματογραφία των μεταλλικών αποθέσεων.



Φωτ. 3.4. Επιφάνεια αλπικής επώθησης στους ασβεστόλιθους του Τριαδικού – Ιουρασικού (θέση N21).

Όσον αφορά τα μεταλλικά ιζήματα, πρόκειται για Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις, που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε στην βάση έναν Άνω Μειοκαινικό σχηματισμό **λιμναίων ιζημάτων** που αποτελείται από λευκές ως υποκίτρινες μάργες, αμιγείς έως αμμούχες με συχνές παρεμβολές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και αργιλοαμμώδων υλικών. Ο σχηματισμός αυτός συσχετίζεται με τους λιμναίους σχηματισμούς Καλογρέζας – Πικερμίου (Freyberg 1951, Mettos et al. 2000, Κατσικάτσος 2002) οι οποίοι παρουσιάζουν εκτεταμένη εμφάνιση στις περιοχές Πικερμίου – Καλογρέζας – Πύργου Βασιλίσσης – Καματερού – Μενιδίου. Το πάχος τους είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Εμφανίζονται σε μια ζώνη στην επαφή υποβάθρου – λεκάνης και στη συνέχεια καλύπτονται από τις αλλουβιακές αποθέσεις, αλλά επανεμφανίζονται νοτιότερα.



Φωτ. 3.5. Εμφάνιση των Ανωμειοκαινικών στρωμάτων σε εκσκαφή οικοδομής στο δήμο Θρακομακεδόνων (Γωνία Μεγάλου Αλεξάνδρου και Μακεδονομάχων – θέση G2). Τα στρώματα κλίνουν προς ΝΑ με 30°.

Οι σχηματισμοί που είναι υπερκείμενοι των λιμναίων στρωμάτων του Άνω Μειοκαίνου, ανήκουν στο Πλειστόκαινο (με πιθανή επέκταση στο Ανώτερο Πλειόκαινο) έως Ολόκαινο, και δεν δύναται να διαχωρισθούν, για αυτό χαρτογραφήθηκαν ως **αδιαίρετο Τεταρτογενές**. Πρόκειται, στην ουσία, για τις αποθέσεις του μεγάλου αλλουβιακού ριπιδίου των Θρακομακεδόνων. Συνίστανται από μια μεγάλη ποικιλία λιθολογικών τύπων, μη συνεκτικών, όπως κροκαλοπαγή, ερυθροστρώματα, κορήματα, κροκαλολατυποπαγή, άμμοι, άργιλοι, οργανικά στρώματα κ.α., οι οποίοι εναλλάσσονται και διαφοροποιούνται, τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, συνθέτοντας ένα ιδιαίτερα ετερογενές σχηματισμό, χαρακτηριστικό των αποθέσεων αλλουβιακών ριπιδίων (Κοντόπουλος 1998). Ενδεικτική είναι η διαφοροποίηση που παρουσιάζεται, ακόμα και σε κοντινές τομές, με εναλλαγές λεπτόκοκκων / αδρόκοκκων φάσεων. Το πάχος τους δεν είναι δυνατό να υπολογισθεί άμεσα, αλλά πιθανώς να φθάνει τα 100 m, το οποίο στις περιοχές νοτιότερα αυξάνει.

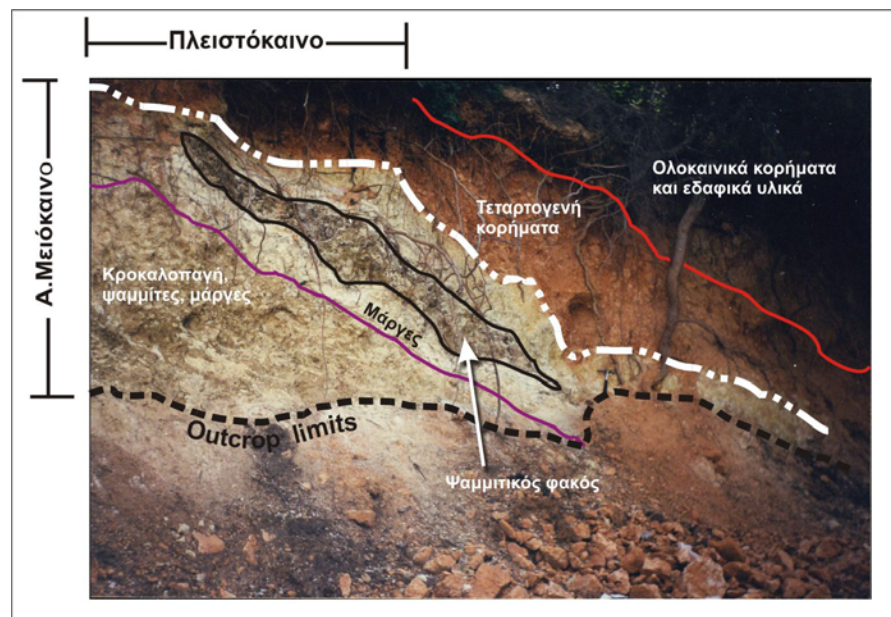
Δυο ιδιαίτεροι σχηματισμοί κατέστη δυνατό να διακριθούν από τα υπόλοιπα Πλειστοκαινικά ιζήματα και χαρτογραφήθηκαν. Ο πρώτος είναι ένα χαρακτηριστικό **ερυθρό κροκαλολατυποπαγές**. Είναι συνεκτικό (συμπαγοποιημένο) και μονόμεικτο, με ασβεστολιθικά τεμάχια διαστάσεων 5-6 cm, τα οποία μπορούν να ξεπεράσουν τα 50 cm, μέσα σε ένα ερυθρό – αργιλικό συνδετικό υλικό (matrix-supported). Ο σχηματισμός αυτός συναντάται ως μια σχετικά λεπτή επικάλυψη (μερικά μέτρα) των σχηματισμών του υποβάθρου και εμφανίζεται στον δρόμο προς το Καζίνο της Πάρνηθας και σε απόσταση μερικών μέτρων από το ρήγμα νότια το ρέματος Αγ. Γεωργίου. Με βάση μελέτες για τα ερυθροστρώματα της Αττικής (Μηστάρδης 1961) και παρόμοιους σχηματισμούς που συναντώνται σε άλλα μέρη της Ελλάδος (π.χ. Πτολεμαίδα) συνάγεται η πιθανή ηλικία του ως Μέσο – Ανώτερο Πλειστόκαινο (Βούρμιο).



Φωτ. 3.6. Το ερυθρό κροκαλολατυποπαγές σε εμφάνιση του στο δρόμο προς το Καζίνο Πάρνηθας (Θέση N16).

Ο δεύτερος σχηματισμός είναι ένα, επίσης συνεκτικό, τεφρό **ποτάμιο μικροκροκαλολατυποπαγές**, το οποίο παρουσιάζει εμφανή στρώση. Εμφανίζεται στις κοίτες των μεγάλων ρεμάτων, όπου διαμορφώνει πάγκους ανθεκτικούς στη διάβρωση και σε μικρότερες διάσπαρτες εμφανίσεις. Η ηλικία του είναι δύσκολο να διαπιστωθεί στρωματογραφικά. Πιθανώς να αποτελεί τοπική μετάβαση των αδιαίρετων Τεταρτογενών. Σε δυο θέσεις (N15, G18) εντοπίστηκε να υπέρκειται των λιμναίων ιζημάτων, στην πρώτη με πιθανή τεκτονική επαφή και στη δεύτερη με αποθετική ασυμφωνία.

Φωτ. 3.7. Χαρακτηριστική τομή των Ανωμειοκαινικών στρωμάτων, σε επαφή με τα Τεταρτογενή κορήματα (θέση G12).



Με βάση τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης και της έρευνας πεδίου, στην περιοχή Θρακομακεδόνων εντοπίζονται **δύο νεοτεκτονικά, πιθανώς ενεργά, ρήγματα**, υποπαράλληλα, και τα δύο κανονικά με παρόμοια παράταξη ($N60^\circ - N70^\circ$) και κλίση προς ΝΑ. Το πρώτο ρήγμα αποτελεί ένα συνεχές απότομο πρανές μήκους περίπου 4 km, κατά μήκος των κλιτύων της Πάρνηθας. Αποτελεί το όριο της παλιάς Νεογενούς λεκάνης και παρουσιάζει μερικές αντιπροσωπευτικές ρηξιγενείς επιφάνειες, ιδίως στο ανατολικό τμήμα του (θέσεις N6 και N13). Στο δυτικό και κεντρικό τμήμα του, οι ρηξιγενείς επιφάνειες εμφανίζονται διαβρωμένες, αλλά σχηματίζουν συνεχόμενα απότομα πρανή ύψους έως και πάνω από 10 m, τα οποία ορίζουν το ίχνος του ρήγματος. Το ρήγμα φαίνεται να τερματίζει στα ανατολικά, ενώ στα δυτικά η πυκνή βλάστηση και η ελαχιστοποίηση της μετατόπισης το καθιστούν δυσδιάκριτο, τόσο στο ύπαιθρο όσο και σε δορυφορικές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας.



Φωτ. 3.8. Πανοραμική άποψη προς ΒΑ, από τη θέση N14. Με τα βέλη σημειώνεται το ίχνος του ρήγματος, το οποίο είναι ευδιάκριτο από την έντονη μεταβολή της μορφολογικής κλίσης.

Το δεύτερο ρήγμα τοποθετείται στο κατερχόμενο τέμαχος του προηγούμενου, παράλληλο σε αυτό και με μία υψομετρική διαφορά περίπου 100-150 m. Η δράση των δυο αυτών ρηγμάτων δημιούργησε μια κλιμακωτή μορφολογική δομή, η οποία είναι ιδιαίτερα εμφανής στο ανατολικό τμήμα της περιοχής. Στο κομμάτι αυτό, δημιουργείται μια επίπεδη 'αναβαθμίδα' από Νεογενή ιζήματα, πάνω στην οποία είναι κτισμένη η συνοικία Πανόραμα Θρακομακεδόνων. Το δεύτερο ρήγμα εμφανίζεται ασυνεχές, με τις πιο χαρακτηριστικές επιφάνειες στην περιοχή κοντά στη Μονή Παναγίας. Η δυτική προέκτασή του καλύπτεται από τα ιζήματα του αλλουβιακού ριπιδίου. Αυτή ενισχύεται από ορισμένες παρατηρήσεις, όπως την μεταβολή της ροής του ρέματος της Αγ. Τριάδας στην προέκταση του ίχνους του ρήγματος (τοποθεσία Μετόχι), όπου η κοίτη εκτρέπεται σχεδόν κάθετα στη διεύθυνση ροής για 300 m περίπου. Επίσης, στα νότια της περιοχής, στο κατερχόμενο τμήμα του δεύτερου ρήγματος, παρουσιάζεται επιφανειακή εμφάνιση των Ανωμειοκαινικών ιζημάτων, η

οποία δικαιολογείται μόνο με την ύπαρξη μιας κλιμακωτής δομής μεταξύ των δυο ρηγμάτων. Στα δυτικά, το ρήγμα πρέπει να συνεχίζει κατά μήκος των απότομων πρανών διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ της περιοχής Αμυγδαλέζας, και πιθανώς συναντάται με το ρήγμα της Φυλής στα Άνω Λιόσια, κάτι που επιβεβαιώνεται από προσωπικές παρατηρήσεις. Επίσης σχεδόν βέβαιη θεωρείται η συνέχεια του προς ανατολικά, κατά μήκος της πλαγιάς βόρεια της Βαρυμπόμπης.

Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι στην περιοχή των Θρακομακεδόνων έχουμε δύο κανονικά νεοτεκτονικά ρήγματα, παράταξης ΒΑ – ΝΔ έως ΑΒΑ – ΔΝΔ και κλίση προς ΝΑ, μήκους 4 και 5+ km αντίστοιχα, τα οποία διαμορφώνουν μια ρηξιγενή ζώνη και δημιουργούν μια κλιμακωτή δομή με εμφανή μορφολογία. Τα ρήγματα αυτά παρουσιάζουν αδιάβρωτες ή απότομες κατοπτρικές επιφάνειες και μορφολογικά χαρακτηριστικά που υποδηλώνουν έντονη δραστηριοποίηση σε νεοτεκτονικούς χρόνους. Το μέγιστο υψόμετρο εμφάνισης των ανυψωμένων νεογενών ιζημάτων είναι 580m (θέση Ν29). Παρόμοια ανύψωση (~600m) παρατηρήθηκε από τους Μαριολάκο κ.α. (2001) στην δυτική πλευρά της Πάρνηθας, στον Άγιο Δημήτριο Σκούρτων. Θεωρώντας ότι η ηλικία των νεογενών είναι Τουρρόλιο (~5Ma, Mettos et al. 2000), ότι το πάχος τους δεν ξεπερνάει τα 500m, και θεωρώντας μια συνολική μετατόπιση της τάξης των 1000m, καταλήγουμε σε ένα ρυθμό ολίσθησης 0,24 mm/yr. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν κάποια ερωτηματικά για τον υπολογισμό αυτό, όπως η περίπτωση η μετατόπιση να οφείλεται στην ταυτόχρονη δράση περισσότερων του ενός ρηγμάτων ή τα στρώματα να έχουν παλαιότερη ηλικία.

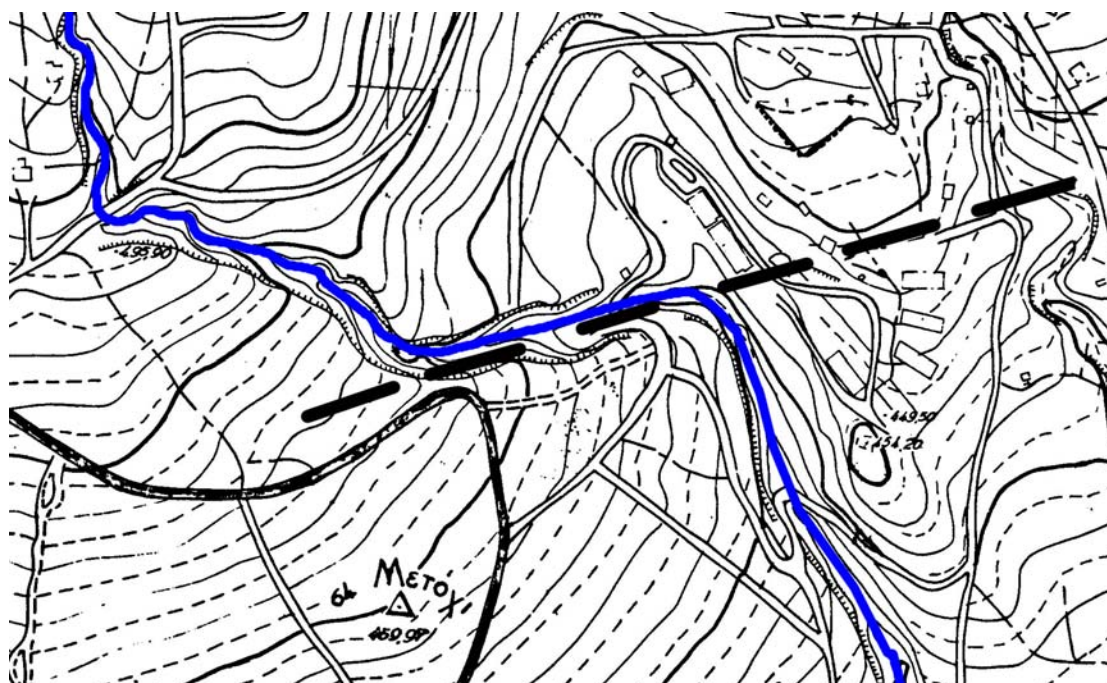
Παρατηρώντας το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, διακρίνεται η εκλεκτική υιοθέτηση μιας διττής διεύθυνσης της πλειοψηφίας των κλάδων: στο ορεινό τμήμα της περιοχής, αυτοί ακολουθούν μια ροή γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, η οποία αλλάζει σε σχεδόν Β – Ν όταν τα ρέματα εισέρχονται στο πεδινό τμήμα. Θεωρώντας ότι η ροή των κλάδων των υδρογραφικών δικτύων γίνεται, σε γενικές γραμμές, κάθετα στο επίπεδο ενός ενεργού ρήγματος (Keller & Pinter 2002), μπορούμε να εφαρμόσουμε ένα υποθετικό σενάριο που εξηγεί την αλλαγή αυτή. Σε παλαιότερο χρόνο, όταν τα ρήγματα της περιοχής, με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ παρουσίαζαν έντονη δραστηριότητα, τα ρέματα διαμόρφωσαν την μορφοδομή με τις βαθιές χαράδρες στα πετρώματα του υποβάθρου της Πάρνηθας. Κάποια στιγμή, υπήρξε έναρξη της δραστηριότητας του ρήγματος της Φυλής (διεύθυνσης ΔΒΔ – ΑΝΑ). Καθώς η περιοχή των Θρακομακεδόνων βρίσκεται στο ανερχόμενο τμήμα του ρήγματος αυτού, οι διάφοροι κλάδοι μετατόπισαν την ροή τους κάθετα στο επίπεδο του, δηλαδή προς Ν. Η μορφή αυτή παρατηρείται σήμερα, καθώς οι αλλουβιακοί σχηματισμοί είναι ευκολοδιάβρωτοι, με αποτέλεσμα τα ρέματα να διαμορφώσουν σχετικά γρήγορα μια νέα κοίτη, σε αντίθεση με τους σχηματισμούς του υποβάθρου όπου έχουν διαμορφωθεί συνθήκες εγκιβωτισμένης ροής. Η αλλαγή αυτή πιθανώς να ενισχύθηκε από περιορισμό ή και τερματισμό της δραστηριότητας των ρηγμάτων ΒΑ – ΝΔ στην περιοχή Θρακομακεδόνων.

Μέσα στην συνοικία Πανόραμα Θρακομακεδόνων, τα πρόσφατα Τεταρτογενή ιζήματα περιέχουν μια σφήνα μήκους 700m και έκτασης περίπου 1,5 km² αποτελούμενη ως επί το πλείστον από ογκώδη ασβεστολιθικά τεμάχια. Στο εσωτερικό τμήμα του εντοπίστηκαν ρωγμές μεγάλων διαστάσεων (48cm άνοιγμα, οδός Ναούσης) πληρωμένες με αργιλικό υλικό. Παρά την εντύπωση ενός έντονα τεκτονισμένου υποβάθρου που δίνει, η περίπτωση αυτή απορρίπτεται λόγω του γεγονότος ότι επικάθεται ασύμφωνα πάνω στα πρόσφατα καστανέρυθρα κορήματα (θέση G12), με τα οποία παρουσιάζει και αρκετές ομοιότητες. Μια πιθανή ερμηνεία είναι ότι πρόκειται για μια **‘απολιθωμένη’ κατολίσθηση** η οποία μετέφερε τις

μεγάλες αυτές ποσότητες ασβεστολιθικών τεμαχών πάνω στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.



Φωτ. 3.9. Αποψη της συνοικίας Πανόραμα Θρακομακεδόνων προς Α. Διακρίνεται η κλιμακωτή μορφολογία που σχηματίζεται από τα δύο ρήγματα.



Σχήμα 3.4. Μεταβολή της ροής του ρέματος Αγ. Τριάδος. Με διακεκομμένη μαύρη γραμμή η υποθετική προέκταση του δεύτερου ρήγματος.

Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή ορισμένων χαρακτηριστικών θέσεων στην περιοχή μελέτης. Με το αρχικό Ν σημειώνονται οι θέσεις νεοτεκτονικών μετρήσεων, ενώ με G οι θέσεις γενικού χαρακτήρα, οι συντεταγμένες των οποίων έχουν προσδιορισθεί με τη χρήση φορητής συσκευής GPS.

ΘΕΣΗ Ν6

Στην θέση αυτή, το ρήγμα οριοθετείται από μια απότομη επιφάνεια ολίσθησης στον ασβεστόλιθο του υποβάθρου με ύψος περίπου 4 m. Η επιφάνεια του ρήγματος, με στοιχεία 130/75 (CLAR), έχει τοπικά διαβρωθεί και επιτρέπει την παρατήρηση της κατακλαστικής ζώνης, πάχους 1,6 m. Η ζώνη αυτή αποτελείται από μια σειρά κατακλαστικών στρωμάτων, τα οποία είναι, από την επιφάνεια ολίσθησης προς τα έξω: αρχικά, εμφανίζεται η λειασμένη επιφάνεια ολίσθησης στον ασβεστόλιθο (1), στη συνέχεια βρίσκονται γωνιώδη τεμάχια κατακερματισμένου ασβεστό-λιθου (2). Ακολουθεί ένας λεπτός κατακλασίτης (3) που αποτελείται από μικρά ασβεστολιθικά τεμάχια μέσα σε ένα ερυθρό συνδετικό υλικό, και ξανασυναντούμε ένα στρώμα μεγάλων ασβεστολιθικών τεμαχίων (4). Τέλος, η ακολουθία κλείνει με την ανάπτυξη μιας ασθενούς ζώνης ολίσθησης (5) από πολύ λεπτόκοκκο ασβεστιτικό υλικό.



Φωτ. 3.10. Θέση Ν6. Αποψη προς ΒΑ.

ΘΕΣΗ Ν7

Φαινόμενα *back-tilt* παρατηρήθηκαν στην γωνία Φλωρίνης – Ημαθίας. Πρόκειται για Τεταρτογενή, σχετικά συνεκτικά στρώματα από ασβεστολιθικά τεμάχια διαφόρων μεγεθών, τα οποία εμφανίζουν μια κλίση 40° – 50° προς ΒΔ, δηλαδή αντιθετικά ως προς την επιφάνεια του ρήγματος.



ΘΕΣΗ N11

Κατά μήκος του ανηφορικού δρόμου προς το Καζίνο Πάρνηθας, εντοπίστηκαν αρκετές αδιάβρωτες και λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες ρηγμάτων, χωρίς όμως αυτές να συνδέονται με κάποια μεγάλη ρηξιγενή δομή. Πιο χαρακτηριστική



είναι η περίπτωση της θέσης N11. Στην θέση αυτή, παρουσιάζεται μια λειασμένη επιφάνεια με στοιχεία 152/82 (CLAR), η οποία δείχνει αρκετά πρόσφατη. Πάνω στην επιφάνεια διακρίνονται γραμμώσεις ολίσθησης (78° προς Δ), καθώς και αρκετά στοιχεία που προσδιορίζουν τη ρηξιγενή επιφάνεια ως ενεργή-νεοτεκτονική (Stewart & Hancock 1988, 1990).

Φωτ. 3.11. Λειασμένη κατοπτρική επιφάνεια στη θέση N11.

ΘΕΣΗ G12

Μια αρκετά ενδιαφέρουσα τομή παρουσιάζεται στην θέση G12 (βλ. φωτ. 3.7). Η τομή αρχίζει με την ανωμειοκαινική ακολουθία λιμναίων ιζημάτων, με εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και μαργών. Στα ανώτερα τμήματα συναντάται ένα ενιαίο στρώμα λευκής μάργας, το οποίο περικλείει έναν ψαμμιτικό φακό. Τα νεογενή στρώματα κλίνουν 35° προς ΝΑ. Ακολουθούν χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις από καστανέρυθρα κορήματα, τα οποία επικάθονται ασύμφωνα πάνω στα ανωμειοκαινικά. Λίγα μέτρα παρακάτω, τα ερυθρά κορήματα διακόπτονται από ογκώδη μπλοκ συγκολλημένων ασβεστολιθικών τεμαχών (breccia), με τα κενά πληρωμένα από ένα γκρίζο-τεφρό λεπτόκοκκο υλικό. Ο σχηματισμός αυτός, δίνει την εντύπωση ενός έντονα τεκτονισμένου υποβάθρου. Η εντύπωση αυτή είναι λάθος, καθώς πρόκειται για πρόσφατα χαλαρά υλικά με μορφή παρόμοια με αυτή των πλευρικών κορημάτων, όπως διαπιστώνεται από την παρατήρηση ότι επικάθονται με τη σειρά τους ασύμφωνα πάνω στα ερυθρά κορήματα. Παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη επιφανειακή εμφάνιση, η οποία σχηματίζει μια σφήνα μέσα στη ζώνη πλευρικών κορημάτων, στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος. Η ερμηνεία που δίνεται είναι ότι πρόκειται για τα υλικά μιας μεγάλης κατολίσθησης, η οποία απέσπασε τα μεγάλα ασβεστολιθικά μπλοκ από το υπόβαθρο και τα μετέφερε πάνω στα κορήματα. Σύμφωνα με την καθιερωμένη ονοματολογία, χαρακτηρίζεται ως **απολιθωμένη κατολίσθηση** (Varnes 1984), καθώς οι αποθέσεις είναι καλυμμένες από βλάστηση, ενώ το ανάγλυφο έχει υποστεί μια σχετική εξομάλυνση. Η κατολίσθηση αυτή, όπως διαπιστώνεται από την κατανομή των αποτιθέμενων υλικών, δημιουργήθηκε στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο, αμέσως μετά το ίχνος του ρήγματος, στο ανερχόμενο τέμαχος του. Επομένως, αυτή φέρεται να προκλήθηκε, ή τουλάχιστον να επιταχύνθηκε η όλη διαδικασία, από την δράση του ρήγματος. Αυτό συνεπάγεται μια σημαντική συνσεισμική δραστηριοποίηση του ρήγματος κατά το Ολόκαινο, ή ακόμη και σε ιστορικούς χρόνους.

ΘΕΣΗ N15

Κατά μήκος του ανηφορικού δρόμου προς το Καζίνο της Πάρνηθας, συναντώνται τα συνεκτικά ποτάμια μικροκροκαλολατυποπαγή (δεξιά) σε επαφή με τα λιμναία ιζήματα (μάργες - αριστερά) του Άνω Μειοκαίνου. Οι μάργες εμφανίζουν



τοπικά κάμψη στην επαφή τους με τα λεπτόκοκκα κροκαλολατυποπαγή, η οποία αποτελεί μια ρηξιγενή επιφάνεια ενός κανονικού ρήγματος. Η επιφάνεια αυτή έχει διεύθυνση N10° και κλίση 50°-60° προς ΑΝΑ.

Φωτ. 3.12. Άποψη της θέσης N15 προς ΒΒΔ.

ΘΕΣΗ N25

Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στους πρόποδες του υψώματος Κορακοφωλέζα (582m) έχουμε την εμφάνιση μιας ρηξιγενούς ζώνης με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Η ζώνη αυτή αποτελεί το όριο του αλπικού υποβάθρου από τα μεταλλικά ιζήματα της λεκάνης, οριοθετείται από μια σειρά ρηξιγενών επιφανειών και πιθανότατα αποτελεί την προς δυτικά επέκταση του



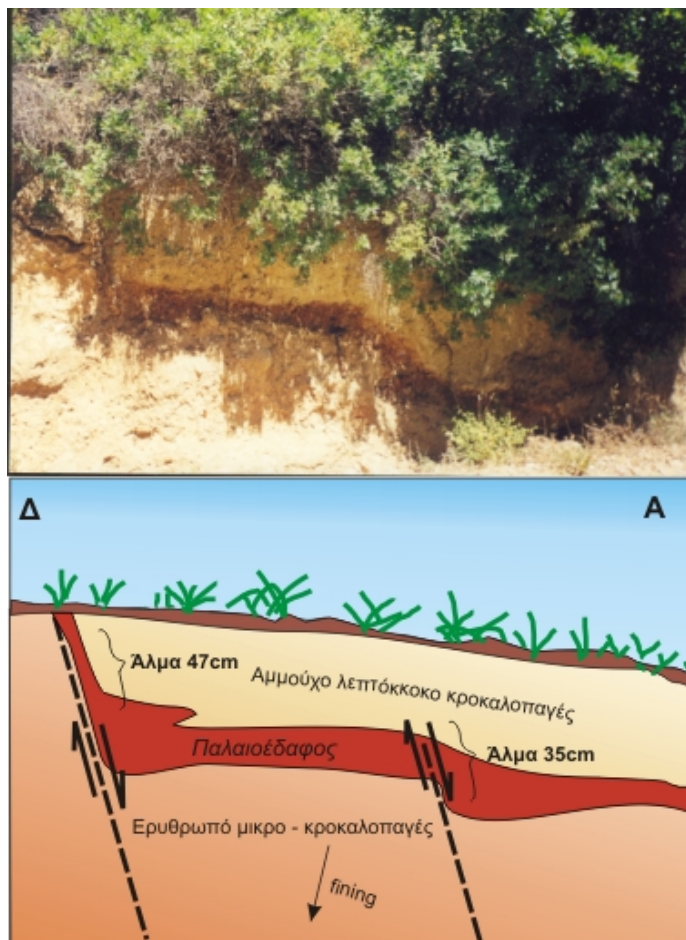
Φωτ. 3.13. Η ρηξιγενής ζώνη στα μαργαικά ιζήματα.

ρήγματος που εντοπίστηκε πλησίον της Μονής Παναγίας και το οποίο καλύπτεται από τις αποθέσεις του αλλουβιακού ριπιδίου των Θρακομακεδόνων. Σύμφωνα με παρατηρήσεις στην περιοχή, η ζώνη αυτή συνεχίζει προς νοτιοδυτικά, κατά μήκος των απότομων μορφολογικών πρανών της περιοχής Αμυγδαλέζας, και φθάνει βόρεια των Άνω Λιοσίων, προσεγγίζοντας το ρήγμα της Φυλής.

Στην θέση N25, υπάρχει μια εμφάνιση των ανωμειοκαινικών μαργαικών ιζημάτων πάχους τουλάχιστον 30 m. Στην επαφή τους με τον ασβεστόλιθο του υποβάθρου, σχηματίζουν μια έντονα τεκτονισμένη ζώνη πάχους >7 m. Στην ζώνη αυτή, παρατηρούνται σχεδόν κατακόρυφες ρηξιγενείς επιφάνειες, με στοιχεία 110°/85° (CLAR), οι οποίες σχηματίζουν μια πυκνή διάταξη με μεταξύ τους αποστάσεις 10 – 30 cm.

ΘΕΣΗ N26

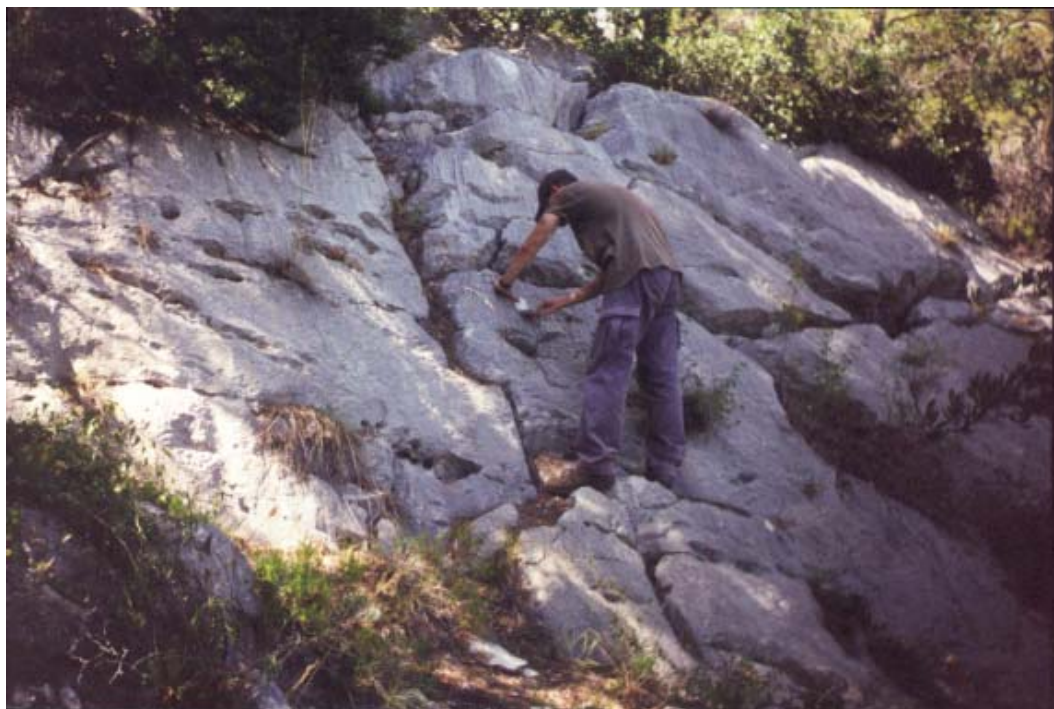
Στη θέση N26, κοντά στη Μονή Παναγίας, και στην περιοχή της ζώνης του ρήγματος, εντοπίστηκαν δευτερεύοντα ρήγματα (mesoscale faults) μέσα σε στρώματα νεογενών αποθέσεων. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μετατόπιση ενός χαρακτηριστικού στρώματος ερυθρού παλαιοεδάφους από δυο ρήγματα με στοιχεία $110^\circ / 70^\circ$ περίπου. Οι μετατοπίσεις αυτές (47 και 35 cm αντίστοιχα, δημιουργούν μια συνολική μετατόπιση της τάξης των 80 cm.



Φωτ. 3.14 (επάνω). Άποψη της φυσικής τομής στη θέση N26.
Σχήμα 3.5. (κάτω) Σχηματική τομή.



Φωτ. 3.15. Ρήγμα στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο, με άλμα >4 m. Θέση N24.



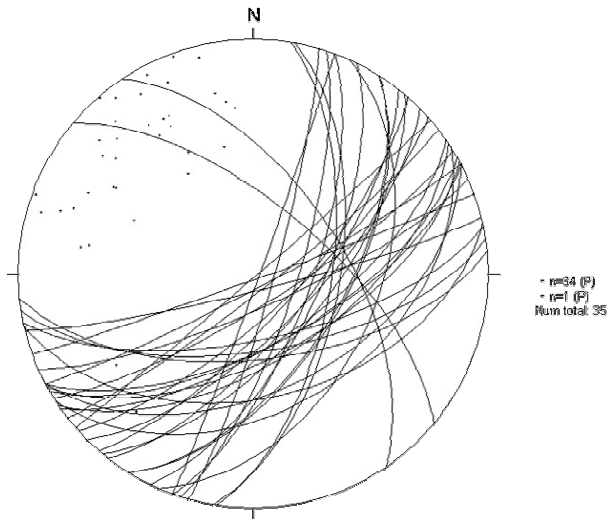
Φωτ. 3.16. Επιφάνεια του ρήγματος στη θέση N29.



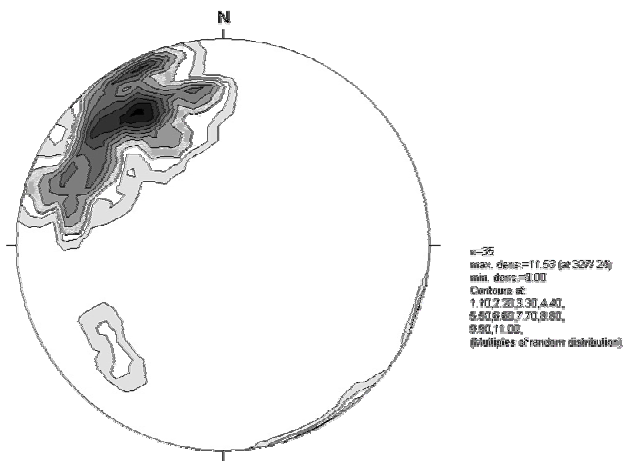
Φωτ. 3.17. Πανοραμική άποψη, προς ανατολικά, της περιοχής από την κορυφή Βαρυμπόμπης Πέτρα.

**ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΗΙΓΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ
 ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ**

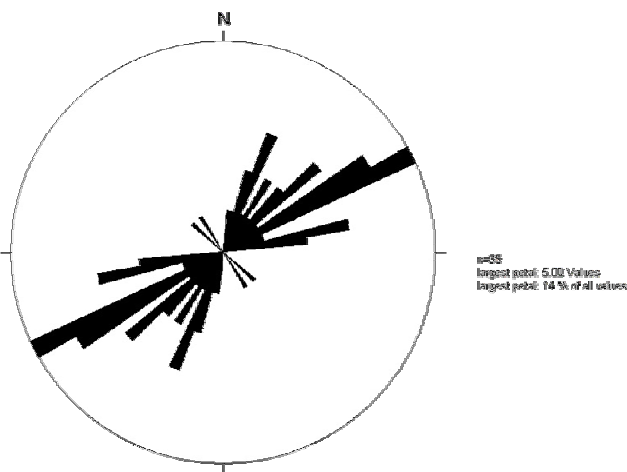
ΘΕΣΗ	Παράταξη	Κλίση	PITCH	ΘΕΣΗ	Παράταξη	Κλίση
N2	130	65		N17	172	63
	114	60			174	60
	122	58			171	60
	127	60		N18	138	76
	130	63			160	65
N3	108	75		N23	167	46
	106	76			162	48
	110	80			152	49
N4	168	67		N24	40	66
	162	65			36	59
N5	130	50			56	59
	147	42		N25	110	88
N6	135	70			107	85
	136	71			110	89
	130	73			106	83
N7	50	42		N26	110	70
	32	57		N28	146	60
	50	41			150	78
N8	156	78			148	62
	144	73			152	65
N11	148	79	78 Δ	N29	146	52
	152	82	79 Δ		151	61
	139	89	79 Δ		148	60
	160	82			145	66
	142	84		N30	116	67
N13	168	87	79 A		130	64
	166	84	78 A		128	70
	162	80	72 A		124	89
	172	89		N31	150	65
	160	88	82 A	N33	114	46
N14	95	60			118	67
	99	63			122	59
N15	100	60			131	75
	92	52			112	58
					132	56
					152	85



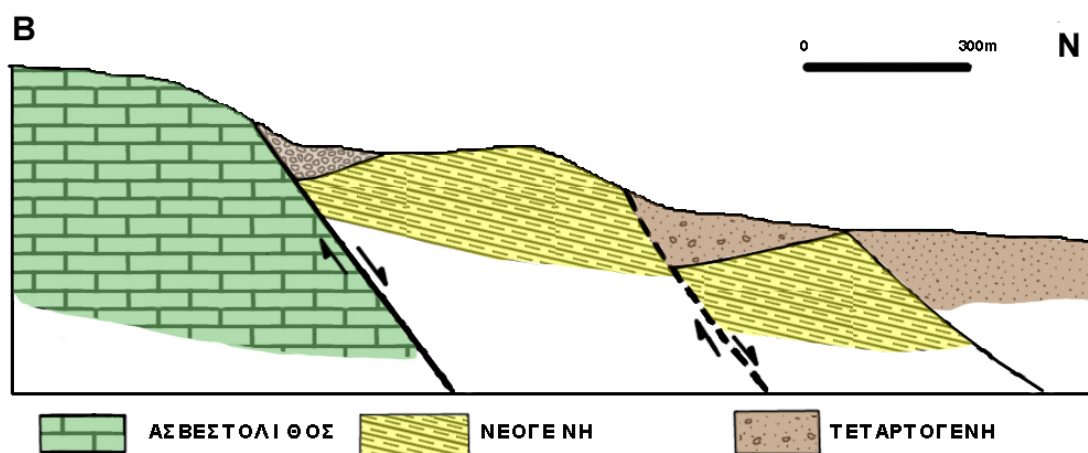
Σχήμα 3.6. Στερεογραφική προβολή των επιφανειών των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt.



Σχήμα 3.7. Στερεογραφική προβολή των πόλων των παραπάνω επιφανειών.



Σχήμα 3.8. Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων (strikes) των ρηξιγενών επιφανειών. Διακρίνεται η επικρατούσα διεύθυνση NE – SW.

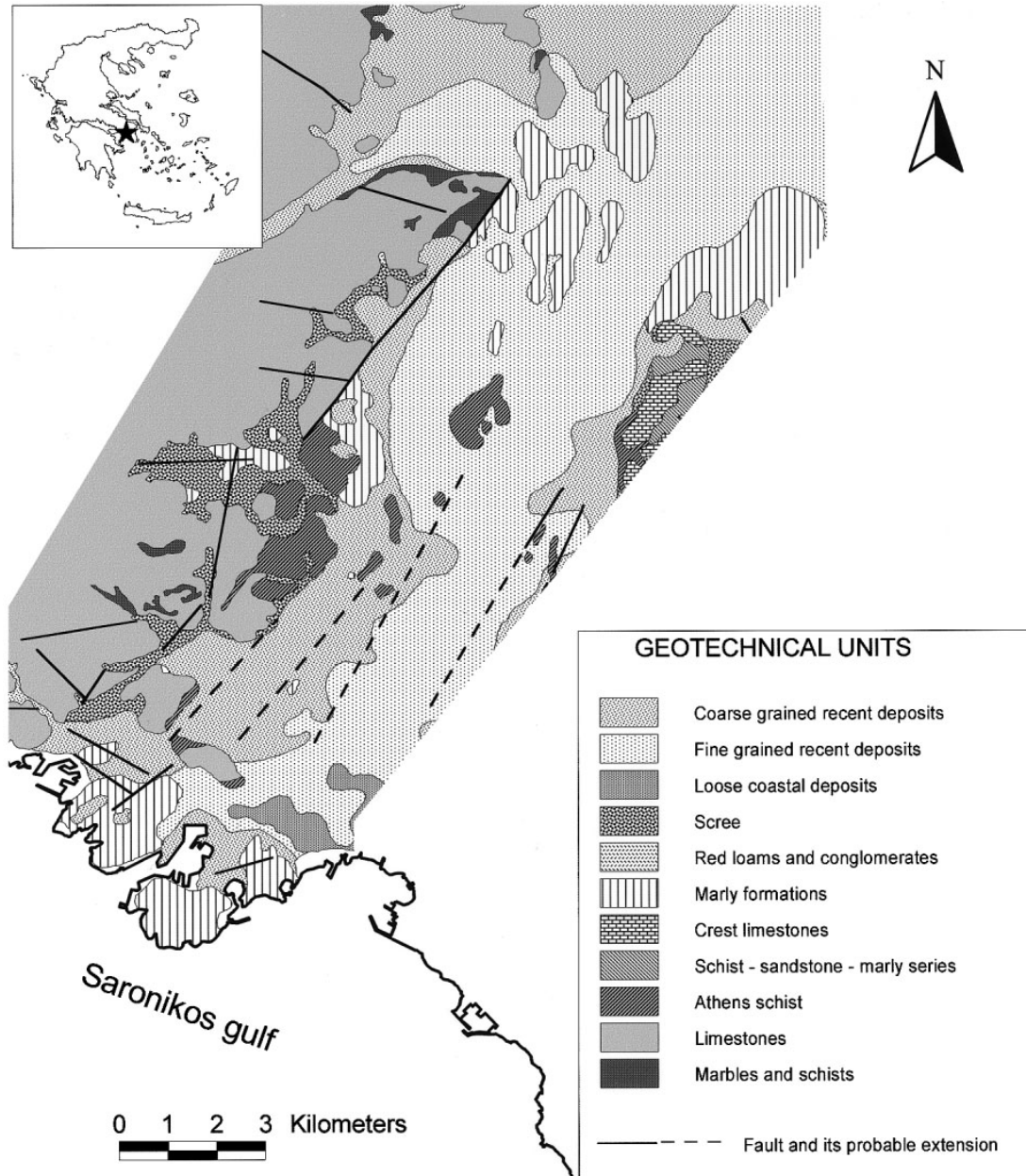


Σχήμα 3.9. Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης, διεύθυνσης B – N.



Φωτ. 3.18. Η επιφάνεια του ρήγματος στη θέση Ν31, όπου σχηματίζει ένα scarf μικρού ύψους (~50cm).

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ



ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΘΗΝΑΣ
(Από Koukis & Sabatakakis 2000)

4.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΑΘΗΝΑ – ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΙΣ ΒΛΑΒΕΣ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ 7-9-99

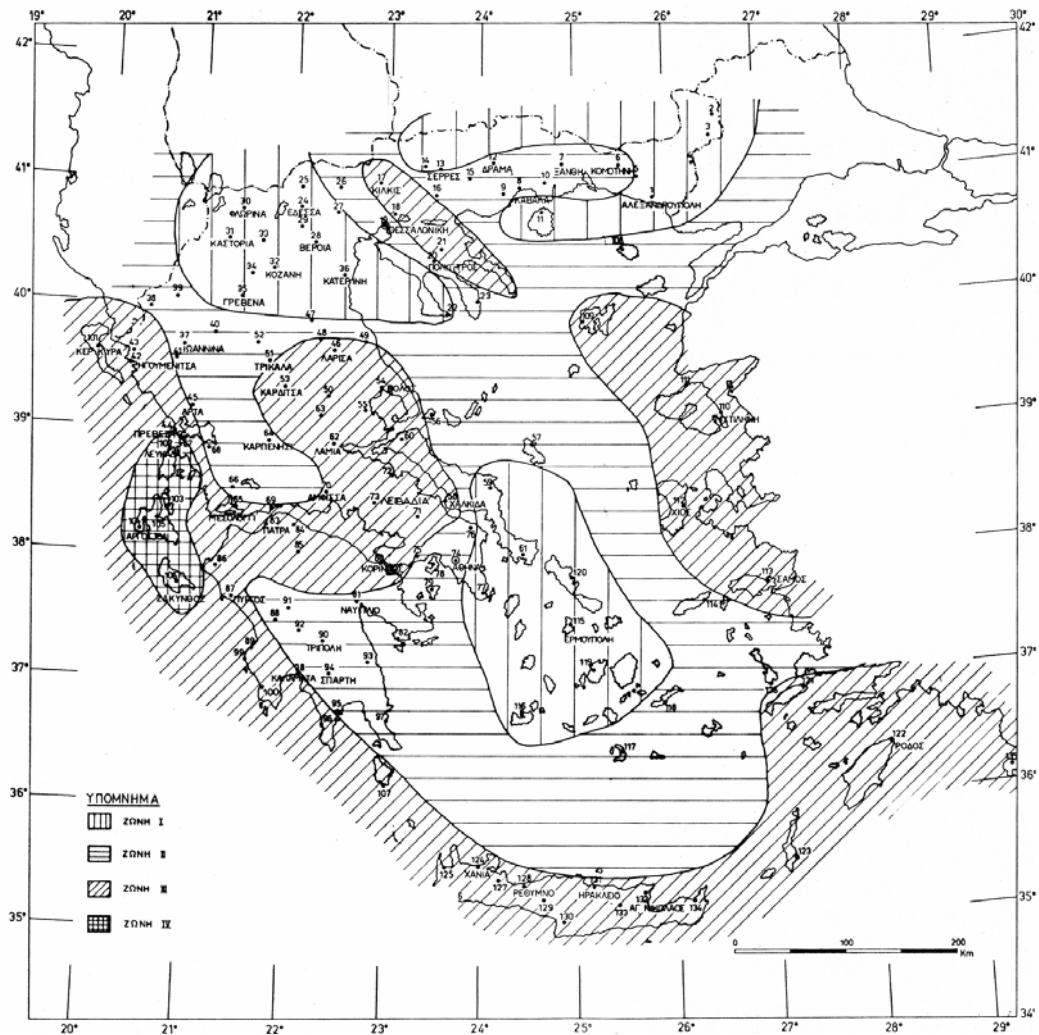
Ο σεισμός της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 (Ms=5.9), προκάλεσε μεγάλης έκτασης καταστροφές και ανθρώπινα θύματα, οι οποίες δεν δικαιολογούνται από μία δόνηση μέτριου μεγέθους. Δύο ήταν οι κύριοι λόγοι που προκάλεσαν την υπέρμετρη αύξηση της καταστρεπτικότητας του σεισμού:

- ✓ Η μικρή απόσταση του σεισμικού ρήγματος από την περιοχή της πρωτεύουσας και ακόμη μικρότερη όσον αφορά τους δήμους που βρίσκονταν στα βορειοδυτικά της. Η πλειόσειστος περιοχή περιλαμβάνει τους δήμους Άνω Λιοσίων, Φυλής, Μενιδίου και Θρακομακεδόνων, όπου οι μακροσεισμικές εντάσεις έφθασαν τοπικά την τιμή X (I_{EMS1998}). Στις περιοχές αυτές, υφίσταται έντονη οικιστική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα να δομούνται ολόκληρες περιοχές και χιλιάδες αυθαίρετα κτίρια εκτός των πολεοδομικών ορίων, με φυσιολογικό αποτέλεσμα την μη τήρηση των απαραίτητων οικοδομικών και αντισεισμικών κανονισμών.
- ✓ Η επίδραση των τοπικών συνθηκών. Αυτή περιλαμβάνει τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες, τη μορφολογία, και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κτιρίων, με την πρώτη να παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο.



Φωτ. 4.1. Δομικές βλάβες σε εκκλησία του δήμου Άνω Λιοσίων.

Σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000), η περιοχή της πρωτεύουσας ανήκει στην **Ζώνη II** του Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας. Η Ζώνη αυτή αντιστοιχεί σε τιμή σχεδιασμού σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους 0,16g. Όπως είδαμε και παραπάνω, οι τιμές των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων που καταγράφηκαν κατά το σεισμό της Αθήνας, ξεπερνούν κατά πολύ την τιμή αυτή. Η κατάταξη της περιοχής του Λεκανοπεδίου σε σχετικά χαμηλή ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, οφείλεται στην έλλειψη σημαντικής σεισμικής δραστηριότητας κατά τα τελευταία χρόνια, και στην απουσία ενδείξεων για ενεργές τεκτονικές δομές σε γειτονία με την πρωτεύουσα. Η θεώρηση αυτή του Λεκανοπεδίου ως σεισμικά ήρεμη περιοχή, ήρθε να διαψευσθεί με τον σεισμό της 7-9-99, ο οποίος προκλήθηκε από ένα ενεργό ρήγμα στις παρυφές του πολεοδομικού ιστού.



Σχήμα 4.1. Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος (ΕΑΚ 2000).

Σήμερα θεωρείται ότι λόγω της υπέρμετρης πολεοδομικής αύξησης και της γιγάντωσης των μητροπολιτικών κέντρων, η **σεισμική επικινδυνότητα** (seismic hazard) τους αυξάνεται όλο και περισσότερο, καθώς καθίστανται ευάλωτα ακόμη και σε μικρού μεγέθους σεισμικά γεγονότα (Papadopoulos et al. 2002). Δηλαδή, ενώ ο **σεισμικός κίνδυνος** (seismic risk) παραμένει σταθερός, αυξάνεται η **τρωτότητα** (vulnerability) των κατασκευών, λόγω της αλόγιστης ανάπτυξης εις βάρος της ασφάλειας.

$$H = R \times V$$

H = Σεισμική επικινδυνότητα

R = Σεισμικός κίνδυνος

V = Τρωτότητα

(Wallace et al. 1984)

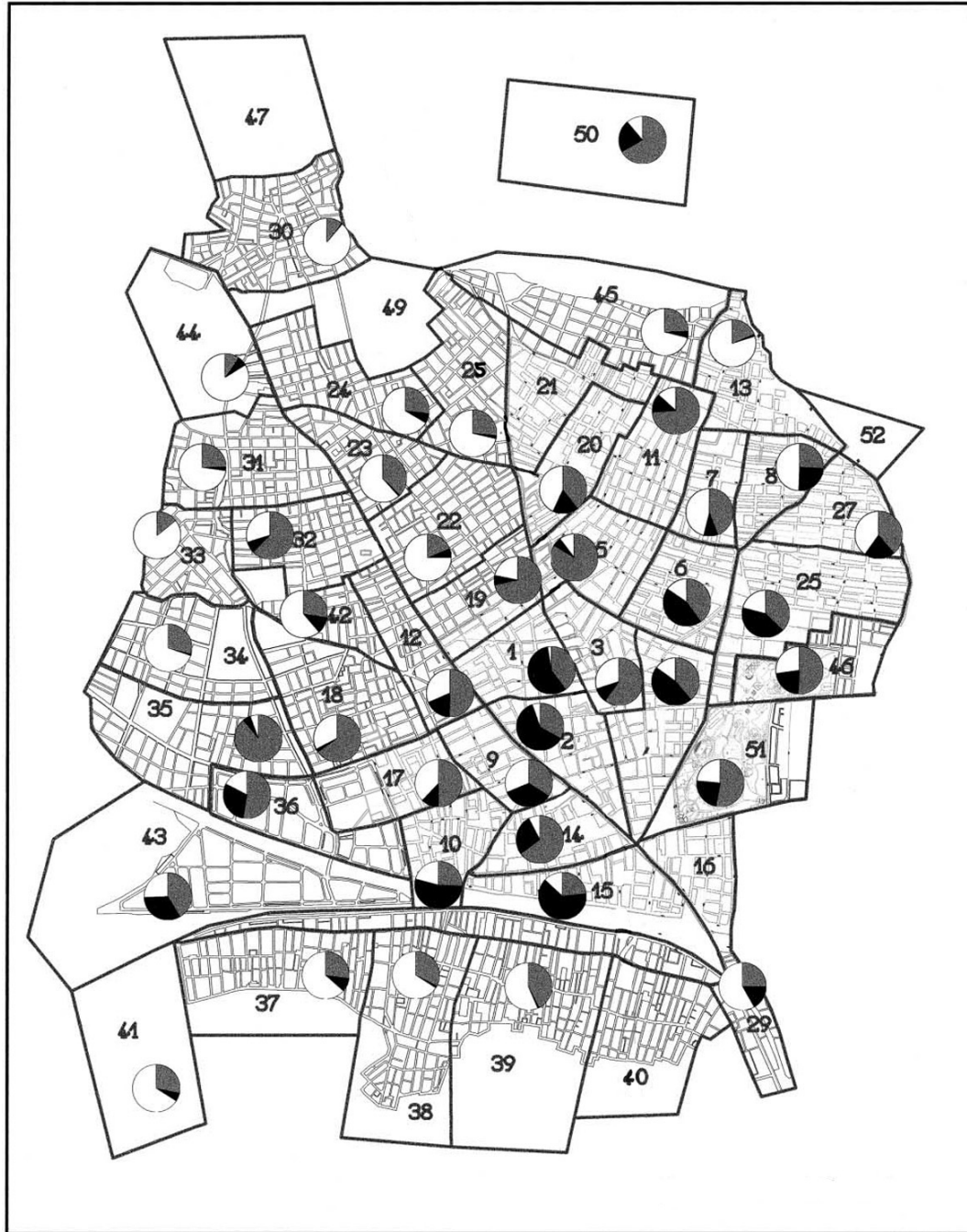
Οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες διαδραμάτισαν ένα σημαντικό ρόλο στην κατανομή των βλαβών του σεισμού. Οι Bouckovalas et al. (2002), αναφέρουν την σημαντική ενίσχυση των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων (PGA) από τους εδαφικούς σχηματισμούς, ακόμη και από αρκετά συνεκτικούς σχηματισμούς της κατηγορίας αυτής, οι οποίοι θεωρούνται από άποψη συμπεριφοράς ισότιμοι με το βραχώδες υπόβαθρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις χαλαρών σχηματισμών μεγάλου πάχους, παρατηρήθηκαν ζημιές πολύ χαμηλότερες του αναμενόμενου, όπως

στην περιοχή των Άνω Λιοσίων (Λέκκας κ.α. 2001, Lekkas 2001, Bouckovalas et al. 2002). Οι Tzitziras et al. (2000) με βάση εκτεταμένες επί τόπου μετασεισμικές επιθεωρήσεις, σημειώνουν την μεγάλη σοβαρότητα των βλαβών στους πρόσφατους γεωλογικούς σχηματισμούς (Πλειστοκαινικά αλλουβιακά ριπίδια, πλευρικά κορήματα, ποτάμιες αναβαθμίδες) ειδικά στην περίπτωση που το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 30 – 40 m, σοβαρά ενισχυμένες στην ανώτερη ενότητα ερυθρών αργίλων – αργιλομαργών των νεογενών σχηματισμών.

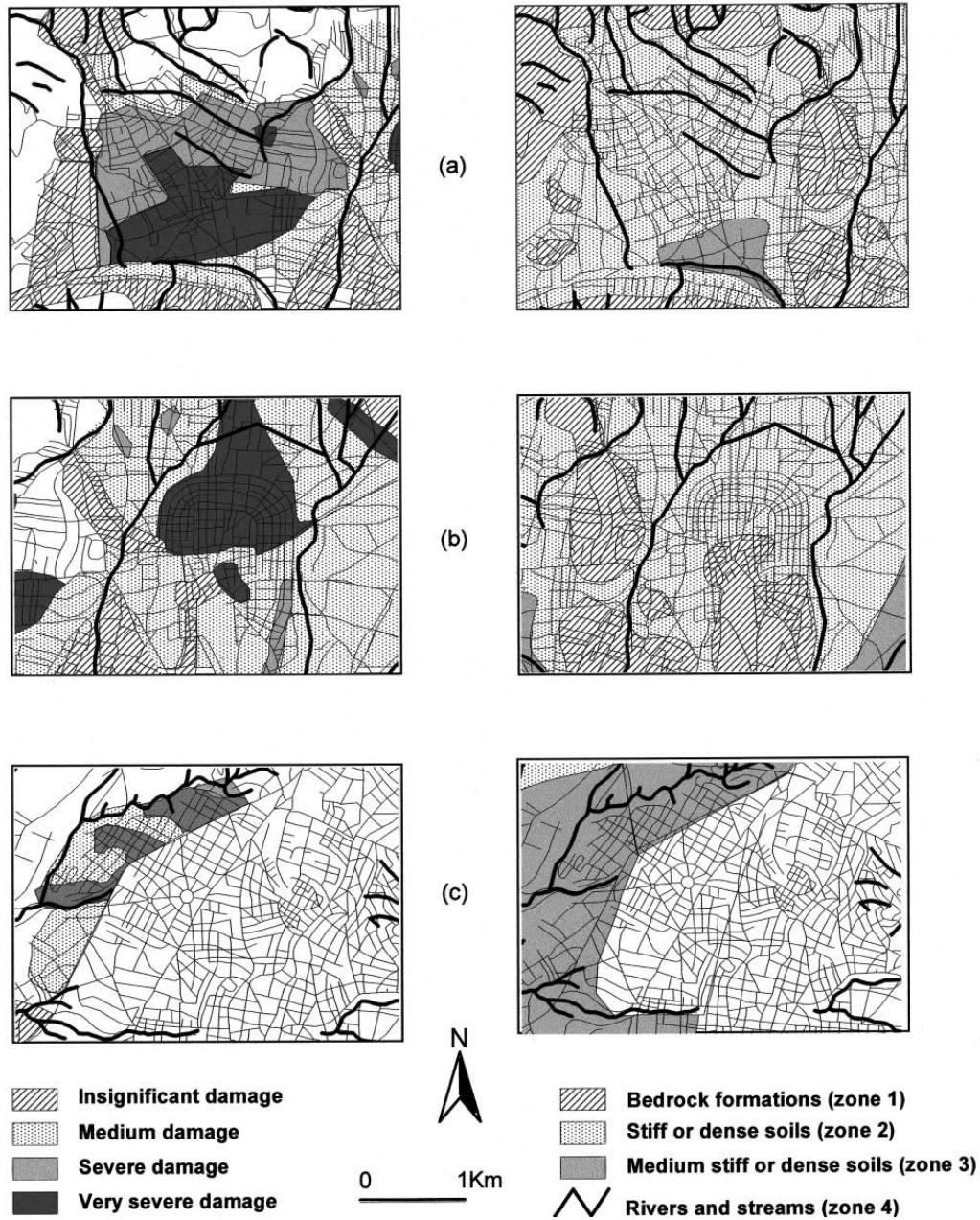
Κατηγορίες Εδάφους – ΕΑΚ 2000

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλυώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεριφοράς ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Η γεωλογική δομή της Δυτικής Αθήνας, με πολλές μικρές νεογενείς λεκάνες – τάφρους, προκάλεσε με τη σειρά της διαφοροποίηση στην κατανομή των βλαβών, όπως συμπεραίνεται και από τις μακροσεισμικές εντάσεις και την επιλεκτική κατανομή τους (Mariolakos & Fountoulis 2000, Λέκκας 2001, Lekkas 2001).



Σχήμα 4.2. Κατανομή βλαβών του σεισμού στον Δήμο Άνω Λιοσίων. Μαύρο: σοβαρές ζημιές, γκρι: ελαφριές-επισκευάσιμες ζημιές, άσπρο: ασημαντες – μηδενικές. (Bouckovalas et al. 2002).



Σχήμα 4.3. Συσχετισμός βλαβών από το σεισμό της 7-9-99 και εδαφικών μικροζωνών για τις περιοχές των δήμων Άνω Λιοσίων (πάνω), Αχαρνών (κέντρο) και Αδάμων (κάτω), σύμφωνα με *Marinos et al. (2001)*.

4.2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΩΝ

Η περιοχή του Δήμου Θρακομακεδόνων επλήγη σοβαρά από το σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999. Το 4,18% των κτιρίων χαρακτηρίστηκαν ως 'κόκκινα' (σοβαρές ζημιές – προς κατεδάφιση) και το 76,09 % ως 'κίτρινα' (επισκευάσιμες ζημιές – προσωρινή εκκένωση). Καθώς ο δήμος είναι ο μόνος της πλειόσειστης περιοχής που βρίσκεται στο ανερχόμενο τέμαχος του ρήγματος της Φυλής, όπου θεωρητικά δεν αναμένονται σοβαρές καταστροφές σε ένα σεισμό, και η ποιότητα των κατασκευών είναι αρκετά ανώτερη των υπόλοιπων πληγέντων περιοχών (Άνω Λιόσια, Μενίδι, δυτικές συνοικίες Αθηνών), οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες προφανώς διαδραμάτισαν ένα πολύ σημαντικό ρόλο. Στους ασβεστολίθους, οι κατασκευές παρουσίασαν ασήμαντες ή και καθόλου βλάβες. Αντίθετα, στα κορήματα σημειώνονται σοβαρές βλάβες εκεί όπου αυτά υπέρκεινται των ασβεστολίθων και των νεογενών σχηματισμών με μικρό πάχος. Στα νεογενή, οι ζημιές διαφοροποιούνται τοπικά (Tzitziras et al. 2000).

Με σκοπό την περιτταίρω διερεύνηση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών και την επίδρασή τους στις κατασκευές σε περίπτωση σεισμικής δόνησης, κατασκευάστηκαν δυο θεματικοί χάρτες της περιοχής Θρακομακεδόνων έχοντας ως βάση την λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση.

Ο πρώτος, είναι ένας **συνοπτικός και απλοποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης**, με βάση την ταξινόμηση των σχηματισμών σύμφωνα με Compton (1986).

Ο δεύτερος, είναι ένας **χάρτης γεωλογικής καταλληλότητας** προς δόμηση. Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε τρεις ζώνες καταλληλότητας (Α, Β, Γ) με βάση την ταξινόμηση των εδαφικών σχηματισμών του Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000), τις εδαφικές ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας που προτείνουν για την περιοχή της δυτικής Αθήνας οι Marinis et al. (2001) και τον τεχνικογεωλογικό χάρτη.

Ζώνη	Καταλληλότητα	Χαρακτηριστικά
A	<i>Κατάλληλο προς δόμηση</i>	Σχηματισμοί υποβάθρου (ασβεστόλιθοι), συνεκτικοί ιζηματογενείς σχηματισμοί
B	<i>Κατάλληλο υπο προϋποθέσεις</i>	Νεογενείς – Τεταρτογενείς σχηματισμοί μεγάλου πάχους
Γ	<i>Ακατάλληλο προς δόμηση</i>	Πρόσφατοι χαλαροί σχηματισμοί μικρού πάχους, πλευρικά κορήματα, περιοχές πλησίον νεοτεκτονικών ρηγμάτων, κοίτες ρεμάτων και χειμάρρων, μη συνεκτικοί σχηματισμοί με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις.

Η περίπτωση της ζώνης Β δεν είναι αποτρεπτική για την δόμηση, απλώς επιβάλλεται η πλήρης εφαρμογή των απαραίτητων κανονιστικών διατάξεων και η λεπτομερής διερεύνηση των τοπικών εδαφικών συνθηκών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα για την γεωλογία της περιοχής των Αθηνών και της Πάρνηθας, καθώς και του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 που έπληξε την περιοχή.
- ✓ Ο σεισμός της 7 – 9 – 99 υπήρξε ιδιαίτερα καταστροφικός, παρά το μέτριο μέγεθος του, λόγω του σημαντικού ρόλου που διαδραμάτισαν οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες στην κατανομή των εντάσεων και των ζημιών. Σε αυτές αντικατοπτρίζεται η πολύπλοκη γεωλογική και νεοτεκτονική δομή της περιοχής της ΒΔ Αθήνας.
- ✓ Στα πλαίσια της μελέτης της πλειόσειστης περιοχής (Φυλή, Άνω Λιόσια, Θρακομακεδόνες, Αχαρνές, Αδάμες) πραγματοποιήθηκε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 της περιοχής του Δήμου Θρακομακεδόνων, λόγω των μεγάλων καταστροφών που υπέστη στο σεισμό.
- ✓ Εντοπίστηκαν δυο νεοτεκτονικά κανονικά ρήγματα, υποπαράλληλα, με διαστάσεις 4 και 5 km περίπου, καθώς και με σχεδόν παρόμοια παράταξη (B60 – 70°) και κλίση προς ΝΑ. Τα δυο ρήγματα εμφανίζουν χαρακτηριστικές επιφάνειες ολίσθησης, ορισμένες αδιάβρωτες, που επιτρέπουν την παρακολούθηση του ίχνους τους σε μεγάλο μήκος, ενώ παράλληλα υποδηλώνουν δραστηριότητα σε πρόσφατο (νεοτεκτονικό) χρόνο.
- ✓ Η ύπαρξη των δύο ρηγμάτων τεκμηριώνεται και από την παρουσία μορφολογικών χαρακτηριστικών.
- ✓ Η δράση των ρηγμάτων φαίνεται να ξεκίνησε κατά το Άνω Μειόκαινο ή αμέσως μετά, καθώς στο κατερχόμενο τέμαχος τους βρίσκονται λιμναία ιζήματα της ηλικίας αυτής, τα οποία έχουν ανυψωθεί σε υψόμετρο έως 580m. Η επαναδραστηριοποίηση τους σε ιστορικούς χρόνους είναι αβέβαιη, παρά κάποιες αμυδρές υποψίες (π.χ. απολιθωμένη κατολίσθηση).
- ✓ Με βάση τον γεωλογικό χάρτη, κατασκευάστηκε ένας απλοποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης της περιοχής.
- ✓ Στο τελευταίο στάδιο ακολούθησε η σύνθεση των στοιχείων στην σύνταξη του χάρτη γεωλογικής καταλληλότητας προς δόμηση. Ο χάρτης αυτός δείχνει ότι σε γενικές γραμμές η περιοχή είναι κατάλληλη ως προς δόμηση, με την προϋπόθεση πάντα ότι ακολουθείται από τις απαραίτητες μελέτες και την εφαρμογή των υπαρχόντων κανονισμών. Περιορισμένες περιοχές όπου οι συνθήκες είναι αποτρεπτικές, είναι ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας, μια στενή ζώνη κατά μήκος του ίχνους των ρηγμάτων και οι περιοχές των κοιτών ρεμάτων και χειμάρρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξόπουλος Α., Κυρούσης Ι. (1997) Οι υδροχημικοί χαρακτήρες και η ρύπανση από νιτρικά των υδροφόρων της περιοχής μεταξύ Αχαρνών-Θρακομακεδόνων Αττικής. *4ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη, 13-29.*

Αλεξόπουλος Α., Λέκκας Σ., Μωραΐτη Ε. (1998) Περί της παρουσίας μιας αμεταμόρφωτης κλαστικής ακολουθίας, Ανωηοκαινικής - Κατωολιγοκαινικής ηλικίας, μεταξύ του αλλόχθονου και του σχετικά αυτόχθονου συστήματος της Αττικής. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXII/1, 79-84.*

Αλεξόπουλος Ι., Φουντούλης Ι., Καμπούρης Π., Μαριολάκος Η., Παπαδόπουλος Τ. (2001) Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην έρευνα του καλυμμένου ρήγματος Τατοΐου. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ.Ετ., τόμος XXXIV/1, 121-127.*

Ambraseys N.N. (1994) Material for the investigation of the seismicity of Central Greece. In *S. Stiros & R.E. Jones (eds): Archaeoseismology, British School at Athens & IGME, 23-55.*

Ambraseys N.N., Bommer J. (1995) Attenuation relations for use in Europe: An overview. *Elnashai (ed.) European Seismic Design Practice, Balkema, 67-74.*

Ambraseys N., Jackson J.A. (1998) Faulting associated with historical and recent earthquakes in Mediterranean region. *Geophys. J. Int., 133, 390-406.*

Anastasiadis An., Demosthenous M., Karakostas Ch., Klimis N., Lekidis B., Margaris B., Papaioannou Ch., Papazachos C., Theodoulidis N. (1999) The Athens (Greece) earthquake of September 7, 1999: Preliminary report on strong motion data and structural response. *ITSAK. <http://www.itsak.gr/report.html>.*

Ανδρονόπουλος Β. (1981) Η γεωλογία του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου. *Πρακτικά Ημερίδας 'Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου', Τ.Ε.Ε., 2-19.*

Andronopoulos B., Koukis G. (1988) Engineering geological problems in the Acropolis of Athens. In: *Marinos & Koukis (eds) Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites. Balkema, Rotterdam, vol. 3, 1819-1831.*

Angelier J., Mechler P. (1977) Sur une méthode graphique de recherché des contraintes principaux également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. Geol. France, 19, 1309-1318.*

Αντωνίου Β. (2002) Το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον του Λεκανοπεδίου Αθηνών. *6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη, τομ.2, 311-318.*

Αντωνίου Β., Μιγκίρος Γ. (2002) Η μορφοτεκτονική δομή της Αττικής. *6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη, τομ.1, 1-8.*

Αποστόλου Μ., Αναστασόπουλος Ι., Γκαζέτας Γ. (2001) Ανάλυση ολισθήσεως και ανατροπής τύμβων για την εκτίμηση επιταχύνσεων στον σεισμό της Πάρνηθας. *4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής. Αθήνα, 195-203.*

Athanasopoulos G., Pelekis P., Lenidou E. (1998) Effects of surface topography and soil conditions on the seismic response -including liquefaction- in the Egion (Greece) 15/6/1995 earthquake. *Bisch, Labbe, Pecker (eds.) Proceedings of the 11th European Conference of Earthquake Engineering CD-ROM, Balkema, Rotterdam.*

Avigad D., Garfunkel Z., Jolivet L., Azanon J.M. (1997) Back arc extension and denudation of Mediterranean eclogites. *Tectonics, 16, 924-941.*

Avdis V. (2000) Faults activated during the earthquake sequence of 7-9-99 onwards in Athens, Greece. *Ann. Geol. Pays Hellen. 38, Fasc B, 217-221.*

Baud A., Papanikolaou D. (1981) Olistoliths and flysch facies at Permian – Triassic transition series of Attica, eastern Greece. *Intern. Geol. Correl. Program Proj, 106, Sarajevo Meeting, Abstr. Vol.*

Baud A., Jenny C., Papanikolaou D., Sideris Ch., Stampfli G. (1991) New observations on Permian stratigraphy in Greece and geodynamic interpretation. *Bull. Geol. Soc. Greece, XXV/1, 187-206.*

Βέττας Π. (1981) Ο εδαφοτεχνικός χαρακτήρας του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου. *Πρακτικά Ημερίδας 'Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου', Τ.Ε.Ε., 37-255.*

Bittner A. (1880) Geologische bau von Attica, Boeotien, Lokros und Parnassis. *Denksch. Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Wien 1880.*

Boblaye de P., Virlet Th. (1833) Expédition scientifique de Morée, *2. Géologie et Minéralogie, Paris.*

Bonneau M. (1984) Correlation of the Hellenides nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction. In *Robertson & Dixon (eds) The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. Spec. Pub., 17, 517-528.*

- Bouckovalas G.D., Kouretzis G.P.** (2001). Review of Soil and Topography Effects in the September 7, 1999 Athens (Greece) Earthquake. *Invited Lecture. 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. San Diego, California, March 26-31.*
- Bouckovalas G.D., Kouretzis G.P.** (2001) Stiff soil amplification effects in the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**, 671-687.
- Bouckovalas G.D., Kouretzis G.P., Kalogeras I.** (2002) Site-specific analysis of strong-motion data from the September 7, 1999 Athens, Greece Earthquake. *Natural Hazards Special Volume: Athens Earthquake 1999, Volume 27, Issue 1-2*, 105-132.
- Bucking H.** (1881) Über die kristallinen Schiefer von Attika. *Zeitschr. d. deutsch. geol. Geselsch.*, **33**, 118-138, Berlin.
- Clarke P.J., Davies R.R., England P.C., Parsons B.E., Billiris H., Paradissis D., Veis G., Denys P.H., Cross P.A., Askhenazi V., Bingley R.** (1997) Geodetic estimate of seismic hazard in the Gulf of Korinthos. *Geophys. Res. Lett.* **24**, 1303-1306.
- Clément B., Guernet C., Lys M.** (1971) Données nouvelles sur le Carbonifère et le Permien du mont Beletsi en Attique (Grèce). *Bull. Soc. Geol. France*, **7**, 12, 88-91.
- Clément B.** (1976) Essai d'interpretation structural d'un secteur des zones internes helléniques: l'Attique – Béotie. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, **XVIII**, **2**, 309-316.
- Compton R.** (1986) *Geology in the field*. 2nd edition, John Wiley & Sons.
- Γαϊτανάκης Π.** (1982) Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο "Αθήνα - Πειραιεύς", κλίμακα 1:50.000. *Εκδόσεις ΙΓΜΕ*.
- Gaitanakis P., Dietrich V.J.** (1993) The Athenian Acropolis klippe: relics of Early Tertiary large scale nappe emplacement. *Bull. Geol. Soc. Greece, vol. XXVIII/1*, 219-231.
- Ganas A.** (2002) Methods for imaging earthquake deformation using satellite data and digital elevation models. *In: N. Gorur et al. (eds.) Integration of Earth Science Research on the Turkish and Greek 1999 Earthquakes. Kluwer Academic Publishers.*
- Ganas A., Papadopoulos G., Pavlides S.** (2000) The 7th September 1999 Athens unexpected earthquake: 3D visualization and field evidence of the seismic fault. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 113-129.
- Ganas A., Lagios E., Stavrakakis G.** (2001) Computer techniques for imaging earthquake deformation using satellite data and digital elevation models. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXIV/5*, 2033-2038.
- Ganas A., Stavrakakis G., Lagios E., Papadopoulos G.A., Pavlides S.B.** (2001) Investigation of the seismic fault that ruptured during the 7/9/99 Athens earthquake using space techniques. *RSPS 2001 Proceedings, Natural Hazards.*
- Ganas A., Pavlides S.B., Valkaniotis S., Papaioannou S., Sboras S., Alexandris A.G., Plessa A., Papadopoulos G.A.** (2003) Active Fault Geometry and Kinematics in Parnitha Mountain, Attica, Greece. *Submitted to Journal of Structural Geology, January 2003.*
- Gaudry A.** (1862) Animaux fossiles et géologie de l'Attique. 474pp. Paris 1862-1867.
- Gazetas G., Kallou P., Psarropoulos P.** (2002) Topography and Soil Effects in the Ms 5.9 Parnitha (Athens) earthquake: The case of Adames. *Natural Hazards Special Volume: Athens Earthquake 1999, Volume 27, Issue 1-2*, 133-169.
- Grunthal G. (ed.)** (1998) European Macroseismic Scale 1998. *Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. Bruxelles.*
- Delibasis N., Papadimitriou P., Voulgaris N., Kassaras I.** (2000) The Parnitha Fault: a possible relationship with other neighboring faults and causes of larger damages. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 41-50.
- Δούνας Α., Καλλέργης Γ., Μορφής Α., Παγούνης Μ.** (1980) Υδρογεωλογική έρευνα υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγ. Αποστόλων Καλάμου. *Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Υδρολ. Υδρογ. Έρευν.*, **31**, 1980.
- Δούνας Α., Γαϊτανάκης Π.** (1981) Στρωματογραφικές και τεκτονικές παρατηρήσεις στη βουνοσειρά του Αιγάλεω και στο δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου της Αθήνας. *Ορυκτός Πλούτος*, **13**, 21-31.
- Dewey J. F.** (1988) Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, **7**, 1123-1139.
- EAK (2000)** Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός. *Ο.Α.Σ.Π.*, 2000.
- Fiedler G.K.** (1840) Reise durch alle Teile des Königreiches Griechenland (1834-1837), **2. Bande und Geol. Karte, Wien.**

Freyberg von B. (1951) Das Neogen gebiet nordwestlich Athen. *Ειδικά Μελέται επί της Γεωλογίας της Ελλάδος Νο 1, Υπηρεσία Ερευνών Υπεδάφους, Υπουργείο Συντονισμού, Αθήνα.*

Fountoulis D., Metaxas Ch., Lalechos S., Kourou A. (2000) Active tectonic structures of Attica. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38, Fasc B, 155-164.**

Fuchs Th. (1876) Über die in Verbindung mit Flyschgesteinen und grünen Schiefen vorkommen den Serpentin bei Kumi auf Euböa. *Sitz. d. Akad. d. Wiss. Mat-Nat. Kl., 73, 338-342, Wien.*

Fuchs Th. (1877) Studien über die jüngeren Tertiärbildungen Griechenlands. *Denkschr. d. K. K. Ak. d. Wiss., 37, 1-42, Wien.*

Jackson M., Culshaw M., Raines M., Cox D., Ritchie M. (1995) Asynchronous ground motion caused by geological conditions, and its implication for building design. In: *Elnashai (ed.) European Seismic Design Practice, Balkema. 169-176.*

IGME (1984) Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Κλίμακα 1:500.000. *Εκδόσεις IGME, Αθήνα.*

Kambouris P., Alexopoulos J., Papadopoulos T. (2001) Downhole seismic logging for detailed P-S waves velocity determination. *Bull. Geol. Soc. Greece, XXXIV/4, 1357-1362.*

Καραμπίνης Α., Περιστέρη Β., Δρόσης Γ. (2001) Σεισμική απόκριση κατασκευής από ΩΣ στον σεισμό των Αθηνών. *4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής. Αθήνα, 229-238.*

Katsikatos G. (1977) La structure tectonique d'Attique et d'île d'Eubée. *Proc. VI Coll. On the Geol. Of the Aeg. Reg., vol. 1, 211-228.*

Κατσικάτσος Γ. (1992) Γεωλογία της Ελλάδος. *Πανεπιστήμιο Πάτρας. Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα 1992.*

Κατσικάτσος Γ. (2002) Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακα 1/50.000, Φύλλο "Κηφισιά". *Εκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.*

Katsikatos G., Mercier J. L., Vergely P. (1976) L'Eubée méridionale: une double fenêtre polyphasé dans les Hellenides internes (Grèce). *Compt. Rend. Ac. Sc. Paris, 283, 459-462.*

Κατσικάτσος Γ., Κούνης Γ., Αντωνιάδης Π., Μέττος Α., Παπαδόπουλος Π., Γάκης Α. (1976) Γεωλογικός χάρτης περιοχής Μετρό Αθηνών, Κλίμακα 1:7.500. *Εκδόσεις IGME.*

Katsikatos G., Migiros G., Triantaphyllis M., Mettos A. (1986) Geological structure of the Internal Hellenides. *IGME Publ., Geol. Geoph. Res.*

Sp. Issue, 191-212.

Κατσικάτσος Γ., Μέττος Α., Βιδάκης Μ., Δούνας Α. (1986) Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο "Αθήναι-Ελευσίς", κλίμακα 1:50.000. *Εκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.*

Keller E., Pinter N. (2002) Active Tectonics (Second edition). *Prentice Hall Publish. 310 pp.*

Kessel G. (1990) Attic peninsula (Greece): Deformation and P-T paths of the crystalline units. *Int. Earth. Sci. Cong. On Aegean Reg. (IESCA), Izmir 1990, Abstracts, p.63.*

Kieslinger Al. (1933) Die Akropolis – Überschiebung in Athen. *Zentr. F. Min., B, 276-280, Stuttgart.*

Κίλιας Α. (2001) Βραδύ-ορογενετική έκταση στις Ελληνίδες οροσειρές. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., XXXIV/1, 149-156.*

Κλήμης Ν. (2001) Εκτίμηση της επίδρασης της τοπογραφίας και του υπεδάφους στη διαμόρφωση της σεισμικής κίνησης: ανάλυση και κανονιστικές διατάξεις. *4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής. Αθήνα, 245-254.*

Kober L. (1929a) Beitrage zur Geologie von Attika. *Sitz. Akad. Wiss. Mat-Nat. Kl., 138, 199-236, 1929.*

Kober L. (1929b) Neue geologische Forschungen in Attika. *Forsch. u. Fortschr., 5, 271-272.*

Kokkalas S. (2001) Tectonic evolution and stress field of the Kymi – Aliveri basin, Evia island, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece, XXXIV/1, 243-249.*

Kokkalas S., Pavlides S.B., Koukouvelas I., Ganas A., Tsodoulos I., Stamatopoulos L., Gountromichou C., Valkaniotis S. (2003) Preliminary paleoseismological results from Kaparelli Fault (Central Greece): evidence of seismic events for the past 10.000 years. *Ann. Geol. Pays Hell. (in print).*

Kontoes C., Elias P., Sykioti O., Briole P., Remy D., Sachpazi M., Veis G., Kotsis I. (2000) Displacement field and fault model for the September 7, 1999 Athens earthquake inferred from ERS-2 satellite radar interferometry. *Geophysical Research Letters, Vol 27, No 24, 3989-3992.*

Κοντόπουλος Ν. (1998) Σημειώσεις ιζηματολογίας. *Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα 1998, σελ. 128.*

Koukis G., Sabatakakis N. (2000) Engineering geological environment of Athens, Greece. *Bull. Eng. Geol. Env., 59, 127-135.*

Κουκουβέλας Ι. (1998) Ζώνες μετάβασης σε ενεργά κανονικά ρήγματα της Πελοποννήσου, Ελλάδα. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXII/1*, 221-229.

Κουμαντάκης Ι., Σταυρόπουλος Ξ., Δημητρακόπουλος Δ. (1997) Υδρογεωλογικό καθεστώς και συνθήκες εκμετάλλευσης υπόγειων νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών. *4ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη*, 130-145.

Kouskouna V., Malakatas N. (2000) The Parnitha (Attiki) earthquake of September 7, 1999: application of the European Macroseismic Scale EMS-98 and correlation with the observed damage-preliminary results. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 187-196.

Ktenas C. (1907) Sur l'age des terrains calcaires des environs d'Athènes. *C. R. Ac. Sciences*, **144**, 697-699, Paris.

Lekkas E. (2001) The Athens earthquake (7 September 1999): intensity distributions and controlling factors. *Engineering Geology* **59**, 297-311.

Lekkas E., Lozios G., Danamos G. (2000) Geotectonic regime and damage distribution at the city of Ano Liosia (Athens, Greece) during the earthquake of September 7 1999. *XXVII General Assembly of the ESC, Lisbon, Portugal, Book of abstracts and papers*, 155-159.

Λέκκας Ε., Λόζιος Σ., Δανάμος Γ. (2001) Γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής μεταξύ των ορέων Αιγάλεω και Πάρνηθας (Αττική, Ελλάδα) και η σημασία τους στον αντισεισμικό σχεδιασμό. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXIV/1*, 19-27.

Λεκίδης Β., Καρακώστας Χ. (2001) Ο Σεισμός της Αθήνας της 7-9-99: Σεισμολογικά Στοιχεία και Επιπτώσεις στο Δομημένο Περιβάλλον. *4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής. Αθήνα*, 143-152.

Leleu M., Neumann M. (1969) L'age des formations cristallines de l'Attique: du Paléozoïque au Mésozoïque. *C. R. Ac. Sciences*, **268**, 1361-1363, Paris.

Lepsius R. (1893) Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine. *196s, Berlin 1893. Μετάφραση Γ. Βουγιούκα, Βιβλιοθήκη Μαρασλή*, 592 σελ., Αθήνα 1906.

Λόζιος Σ.Γ. (1991) Μικροτεκτονικές παρατηρήσεις στο μεταμορφωμένο σύστημα της περιοχής Βαρνάβα – Ραμνούντας, ΒΑ Αττική. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., XXV/1*, 439-453.

Louvari E., Kiratzi A. (2001) Source parameters of the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake

based on teleseismic data. *J. Balkan. Geophys. Soc., vol. 4, No 3*, 51-60.

Makris J., Drakatos G., Papoulia J., Stavrakakis G. (2002) Active faults and seismic activity in the Saronikos Gulf, Athens. *Proceedings of EGS 2002 Conference. Abstract.*

Μαρίνος Γ. (1937) Η τεκτονική θέση του συστήματος των σχιστολίθων των Αθηνών εις την δυτικήν ζώνην αυτού. *Πρακτ. Ακαδ. Αθ.*, **12**, 16-21.

Μαρίνος Γ. (1955) Η ηλικία των μεταμορφωμένων στρωμάτων της Αττικής. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, **2**, 1-13.

Μαρίνος Γ., Κατσικάτσος Γ., Γεωργιάδου-Δικαιούλια Ε., Μίρκου Ρ. (1971) Το σύστημα των Σχιστολίθων Αθηνών. I: Στρωματογραφία και τεκτονική. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **XXIII**, 183-216.

Μαρίνος Γ., Κατσικάτσος Γ., Μίρκου-Περιποπούλου Ρ. (1974) Το σύστημα των Σχιστολίθων Αθηνών. II. Στρωματογραφία και τεκτονική. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **XXV**, 439-444.

Marinos P., Plessas S., Valadaki - Plessa K. (1997) Erosion risk maps for the greater Athens region and a G.I.S. based processing of data. *In Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (eds): Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. Vol.2*, 1353-1361.

Marinos P., Novack M., Blanke J., Benissi M., Rovolis G. (1997) Geological and environmental considerations for selecting an Athens Metro tunnel alignment beneath an important archaeological area. *In Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (eds): Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. Vol.3*, 2777-2784.

Μαριολάκος Η., Παπανικολάου Δ. (1987) Είδος παραμόρφωσης και σχέση παραμόρφωσης - σεισμικότητας στο Ελληνικό τόξο. *2ο Πανελλήνιο Γεωλογικό Διήμερο, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XIX*, 59-76.

Μαριολάκος Η. (1999) Κάρστ και τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφορέων στις νεοτεκτονικές λεκάνες του Ελληνικού τόξου. *Ημερίδα: Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων. Ελλ. Γεωλ. Εταιρία - Ελλην. Επιτρ. Υδρογεωλογίας. Ξάνθη*, 28 Μαΐου 1999. 57-73.

Mariolakos I., Fountoulis D., Mariolakos D., Andreadakis E., Georgakopoulos A. (2000) Geodynamic phenomena observed during the Athens earthquake (Ms=5.9) 7-9-99. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 175-186.

Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Θεοχάρης Δ. (2001a) Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της νήσου

Σαλαμίνας. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., XXXIV/1, 165-173.

Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Σιδέρης Χ., Χατούπης Θ. (2001b) Μορφονεοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., XXXIV/1, 183-190.

Meijer P.Th., Wortel M.J.R. (1997) Present-day dynamics of the Aegean region: A model analysis of the horizontal pattern of stress and deformation. *Tectonics*, **16**, 879-895.

Mercier J., Sorel D., Vergely P., Simeakis K. (1989) Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. *Basin Research*, **2**, 49-71.

Metaxas C., Angelopoulos A., Lalechos S., Fountoulis D. (2001) Deep tectonic structure of Northwestern Attica, Greece: geodynamic pattern of Athens earthquake. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXIV/1, 259-265.

Mettos A., Ioakim Ch., Rondoyanni Th. (2000) Palaeoclimatic and palaeogeographic evolution of Attica-Beotia (central Greece). *Geological Society of Greece Special Publication*, **9**, 187-196.

Μηστάρδης Γ. (1961) Οι Τεταρτογενείς ερυθρόχροοι ορίζοντες εκ πηλών κλπ. της Αττικής και των γειτονικών αυτής περιοχών. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., IV, 185-206.

Negris Ph. (1912) Sur l'age des schistes d'Athènes. *Com. Red. Ac. Sc. Paris*, **154**, 1838-1840.

Negris Ph. (1913) Contribution a la géologie de l'Attique. *Com. Red. Ac. Sc. Paris*, **156**, 1286-1288.

Negris Ph. (1915) Roches crystallophyllienes et tectonique de la Grece. *Athenes*.

Neymar M. (1875) Über den Kalk der Akropolis von Athen. *Verh. Geolog. Reich.*, 68-70, Wien.

Neymar M. (1880) Über den geologischen Bau der Insel Kos und über die Gliederung der jungertertiären Binnenablagerungen des Archipels. *Denkschr. d. K. K. Ak. d. Wiss.*, **40**, 213-314, Wien.

Niedermayer J. (1971) Die geologische karte von Athen 1:10.000. *Bull. Geol. Soc. Greece*, VIII/2, 117-134.

Niedermayer J. (1973) Γεωλογικός και υπεδαφικός χάρτης των Αθηνών 1:10.000. Έκδοση Τεχν. Επιμ. Ελλ & Ελλ. Γεωλ. Ετ., Αθήνα 1973.

Novotny O., Plicka V., Zahradnik J. (2002) Inversion of Slip Distribution for the Athens earthquake of 7 September 1999 from regional

seismic data. *Proceedings of EGS 2002 Conference. Abstract.*

Παγούνης Μ. (1998) Η συμβολή των υπόγειων νερών στην υδροδότηση της Αθήνας. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXII/4, 51-58.

Παπαδέας Γ. (1986) Η στρωματογραφία και η ηλικία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της ΒΑ Αττικής. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., XVIII, 1986, 59-81.

Papadimitriou P., Voulgaris N., Kassaras I., Kaviris G., Delibasis N., Makropoulos K. (2002) The Mw= 6.0, 7 September 1999 Athens earthquake. *Special Issue on The Catastrophic Athens (Greece) Earthquake of 7 September 1999: An Unexpected Event in a Low Seismicity Region, Natural Hazards*, **27**, 15-33.

Papadopoulos G.A. (ed.) Historical Earthquakes and Tsunamis in the Corinth rift, Central Greece. *National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics. Publication No.12. Athens 2000.*

Papadopoulos G.A. (2002) The Athens, Greece, earthquake (Ms 5.9) of 7 September 1999: An event triggered by the Izmit, Turkey, 17 August 1999 earthquake? *Bull. Seismol. Soc. Am.* **92**, 312-321.

Papadopoulos G.A., Drakatos G., Papanastassiou D., Kalogeras I., Stavrakakis G. (2000) Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. *Seismol. Res. Letters* **71/3**, 318-329.

Papadopoulos G.A., Drakatos G., Papanastassiou D., Kalogeras I., Stavrakakis G. (2000) Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. ERRATUM, *Seismol. Res. Letters* **72**, 76.

Παπαδόπουλος Γ.Α., Γκανάς Α., Παυλίδης Σ. (2001) Ενόργανες και υπαίθριες παρατηρήσεις για τον καθορισμό της σεισμολογικής δομής του σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου στην Αθήνα. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXIV/4, 1457-1464.

Papadopoulos G.A., Ganas A., Pavlides S. (2002) The problem of seismic potential assessment: Case study of the unexpected earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. *Earth Planets Space*, **54**, 9-18.

Papadopoulos G.A., Matsumoto H., Ganas A., Karastathis V., Pavlides S. (2003) Deformation patterns associated with the M5.9 Athens (Greece) earthquake of 7 September 1999. *Seismological Research Letters. (in print)*

Papazachos C., Karakostas B., Karakaisis G., Papaioannou I. (2001) The Athens 1999 mainshock (Mw=5.9) and the evolution of its

aftershock sequence. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXIV/4, 1581-1586.

Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ. (2002) Οι Σεισμοί της Ελλάδος. Έκδοση Β', βελτιωμένη. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/κη, σελ.318.

Paramarinopoulos S., Papaioannou M., Stefanopoulos P. (1997) New geological evidence in the center of Athens using the georadar. In *Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (eds): Engineering Geology and the Environment. Balkema, Rotterdam. Vol.2 , 1425-1431.*

Papanastassiou D., Stavrakakis G., Drakatos G., Papadopoulos G.A. (2000) The Athens, September 7, 1999, Ms=5.9, earthquake: first results on the focal properties of the main shock and the aftershock sequence. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **38**, Fasc B, 73-88.

Παπανικολάου Δ. (1986) Γεωλογία της Ελλάδος. Εκδόσεις Επτάλοφος, 240 σελ., Αθήνα.

Papanikolaou D., Sideris Ch. (1983) Contribution to the Palaeozoic of the Aegean area. *IGCP No 5 Newsletter*, vol. **5**, 138-145.

Παπανικολάου Δ., Μαριολάκος Η., Λέκκας Ε., Λόζιος Σ. (1988) Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και στην παραλιακή ζώνη Ωρωπού: Συμβολή στη νεοτεκτονική της Βόρειας Αττικής. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, τόμος XX, 251-267.

Παπανικολάου Δ., Λόζιος Σ. (1990) Συγκριτική νεοτεκτονική δομή έντονης (Κορινθία) και ασθενούς (Αττική-Κυκλάδες) δραστηριότητας. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, XXIV, 47-65.

Papanikolaou D., Lekkas E., Sideris Ch., Foundoulis I., Danamos G., Kranis Ch., Lozios L. (1999) Geology and tectonics of Western Attica in relation to the 7-9-99 earthquake. *Newsletter of the European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes*, Issue No **3**, December 1999, Athens, 30-34.

Παπανικολάου Δ., Συσκάκης Δ. (1991) Γεωμετρία όξινων πυριγενών Πλάκας Λαυρίου και σχέση μαγματισμού-παραμόρφωσης. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, XXV/1, 355-368.

Παπαιωάννου Σ. (2002) Νεοτεκτονικές παρατηρήσεις στο ενεργό ρήγμα του Αυλώνα και μελέτη των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων της περιοχής. *Διπλωματική εργασία. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. Σελ.80.*

Παρασκευαΐδης Η., Χωριανοπούλου Π. (1978) Μια τομή από το βουνό Αιγάλεω. Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, XIII/2, 116-141.

Παυλίδης Σ., Μουντράκης Δ. (1986) Νεοτεκτονική. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσ/κη, σελ.136.

Pavlidis S.B., Papadopoulos G.A., Ganas A. (1999) The 7th September 1999 unexpected earthquake of Athens: preliminary results on the seismotectonic environment. *1st Conf. Advances in Natural Hazards Mitigation: Experiences from Europe and Japan, Programme-Abstracts-Reports, Athens, 3-4 November 1999*, 80-85.

Παυλίδης Σ., Χατζηπέτρος Α. (2000) Γεωλογία των Σεισμών: εισαγωγή στη Νεοτεκτονική, Μορφοτεκτονική και Παλαιοσεισμολογία. *Τμήμα Εκδόσεων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σελ.134.

Pavlidis S., Papadopoulos G., Ganas A. (2002) The Fault that caused the Athens September 7, 1999 Ms=5.9 earthquake: Field observations. *Natural Hazards Special Volume: Athens Earthquake 1999, Volume 27, Issue 1-2*, 61-84.

Pavlidis S.B., Koukouvelas I., Stamatopoulos L., Kokkalas S., Tsodoulos I., Ganas A., Gountromichou Ch., Valkaniotis S. (2003) Preliminary paleoseismological results from Kaparelli Fault (Central Greece): evidence of seismic events for the past 10.000 years. *EGS Conference, Nice, April 2003, poster session.*

Πανλόπουλος Κ., Καρύμπαλης Ε., Μαρουκιάν Χ. (2002) Γεωμορφολογική εξέλιξη της λεκάνης απορροής του Οινόη ποταμού (Β.Αττική) κατά το Τεταρτογενές. *6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη, τομ.1*, 287-295.

Pe-Piper G. (1982) Geochemistry, tectonic setting and metamorphism of mid - Triassic volcanic rocks of Greece. *Tectonophysics*, **85**, 253-272.

Petrasccheck W., Marinos G. (1953) Zur Geologie von Attica. *Kober Festsch.*, 52-59. *Wien.*

Philippson A. (1930) Beitrage zur Morphologie Griechenlands. *47S, Stuttgart.*

Philippson A. (1898) La tectonique de l'Egaidé. *Ann. de Geogr.*, **7**, 112-141.

Plicka V., Zahradnik J. (2002) The *eGf* method for dissimilar focal mechanisms: the Athens 1999 earthquake. *Tectonophysics*, **359**, 81-95.

Pomonis A. (2002) The Mount Parnitha (Athens) earthquake of September 7, 1999: A Disaster Management Perspective. *Natural Hazards Special Volume: Athens Earthquake 1999, Volume 27, Issue 1-2*, 171-199.

- Psycharis I., Papastamatiou D., Taflambas I., Carydis P.** (1999) The Athens, Greece Earthquake of 7 September 1999. *EERI Special Earthquake Report, November 1999*. http://www.eeri.org/Reconn/Greece_1099.html.
- Renz C.** (1908) Sur les preuves de l'existence du Carbonifère et du Trias dans l'Attique. *Bull. Soc. Geol. France*, **8**, 519-523.
- Renz C.** (1909) Der Nachweis von Carbon und Trias in Attica. *Zentz. Miner.*, 84-87.
- Renz C., Reichel M.** (1945) Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie des ostmediterranen Jungpaläozoikums und dessen Einordnung im griechischen Gebirgssystem. *Eclogae geol. Helvetiae*, **38/2**, 211-313, Basel.
- Roberts G.** (1996) Variation in fault-slip directions along active and segmented normal fault systems. *J. Struct. Geology*, **18**, 6, 835-845.
- Roberts G., Gawthorpe R., Stewart I.** (1993) Surface faulting within active normal fault zones: examples from the Gulf of Corinth fault system, Central Greece. *Z. Geomorph. N.E.*, **94**, 303-328.
- Roberts G., Michetti A., Cowie P., Morewood N., Papanikolaou I.** (2002) Fault slip-rate variations during crustal-scale strain localization, central Italy. *Geophys. Res. Letters*, **29/8**, pp.1-4.
- Rondoyanni Th., Mettos A., Galanakis D., Georgiou Ch.** (2000) The Athens earthquake of September 7, 1999: its setting and effects. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 131-144.
- Roumelioti Z., Dreger D., Kiratzi A., Theodoulidis N.** (2003a) Slip distribution of the September 7, 1999 Athens earthquake inferred from an empirical Green's function study. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **93**, 2, in press.
- Roumelioti Z., Kiratzi A., Theodoulidis N., Kalogeras I., Stavrakakis G.** (2003b) Rupture directivity during the September 7, 1999 (Mw 5.9) Athens (Greece) earthquake inferred from forward modeling of strong ground motion data. *PAGEOPH*, in press.
- Sargeant S., Burton P., Douglas A., Evans J.** (2000) A source model for the 7th September 1999 Athens earthquake. *XXVII General Assembly of the ESC, Lisbon, Portugal, Book of abstracts and papers*, 138-142.
- Σιδέρης X.** (1986) Συμβολή στη γνώση της Γεωδυναμικής Εξέλιξης κατά το Πέρμιο – Τριαδικό στο χώρο της Ανατ. Ελλάδας. *Διδακτ. διατρ., Παν. Αθην.*, 212 σελ., Αθήνα 1986.
- Sindowski K.** (1949) Der geologische Bau von Attica. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **2**, 163-218.
- Sindowski K.** (1951) Zur geologie des Lykabetos – Turkowuni – Gebietes bei Athen, mit einem Beitrag über fruhdiluviale Wirbeltierfunde aus Spalten. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **3**, 11-21.
- Sokos E., Martakis N., Tselentis G.** (2000) Stress tensor inversion for Attiki-Central Greece, using the Athens 7th September 1999 aftershock sequence. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 63-72.
- Spratt T.** (1847) On the geology of a part of Euboea and Boeotia. *Quart. Journal*, **3**, 65-74, (μετά 2 γεωλ. χαρτών). London.
- Σταμάτης Γ., Αντωνίου Β., Μιγκίρος Γ.** (1994) Υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες κεντρικής περιοχής Αθηνών. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, τόμος XXX/4, 367-380.
- Stavrakakis G., Chouliaras G., Panopoulou G.** (2000) Seismic source parameters for the Athens earthquake on September 7, 1999, from a new telemetric broad band seismological network in Greece. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **38**, FASC. B, 15-28.
- Stewart I.S., Hancock P.L.** (1988) Normal fault zone evolution and fault scarp degradation in the Aegean region. *Basin Research*, **1**, 139-153.
- Stewart I., Hancock P.** (1990) Brecciation and fracturing within neotectonic normal fault zones in the Aegean region. In: *Knipe & Rutter (eds) Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics, Geological Society Special Publication No.54*, 105-112.
- Τάταρης Α.** (1967) Παρατηρήσεις επί της δομής της περιοχής Σκαρραμαγκά – όρους Αιγάλεω – Πειραιώς – Αθηνών (Αττική). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, VII/1, 52-88.
- Τάταρης Α.** (1972) Νεώτερα πορίσματα επί της Γεωλογίας της νήσου Σαλαμίνας και της περιοχής Αττικής. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, VII/1, 482-511.
- Τάταρης Α., Σιδέρης X.** (1989) Γεωλογική δομή του Νοτ. Αιγάλεω και συσχετισμός προς την απέναντι περιοχή Σαλαμίνας. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, XXII/1, 303-320.
- Τάταρης Α.** (1990) Ιστορία και σημασία των Sh1, Sh2 σχιστοψαμμιτικών διαπλάσεων της Ανατολικής Ελλάδας. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, XXVI, 77-106.
- Taymaz T., Jackson J., McKenzie D.** (1991) Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.*, **106**, 433-490.

Trikkalinos J. (1935) Tektonische und palaeogeographische Untersuchungen der nachtertiären Schichten Attikas. *Πρακτ. Ακ. Αθηνών*, **10**, 447-457.

Trikkalinos J. (1940) Über die attischen und walachischen orogenen Bewegungen in Attika. *Πρακτ. Ακ. Αθηνών*, **15**, 437-442.

Tzitziras A., Rozos D., Vakondios I., Elias P., Kynigalaki M., Nikolaou N., Angelidis Ch., Poyiadji E., Apostolidis E., Bellas M.,

Konstantopoulou G. (2000) Macroseismic observations from the earthquake of 7/9/99 in Attiki area, and engineering geological assessment. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 145-153.

Tselentis G., Zahradnik J. (2000) The Athens Earthquake of 7 September 1999. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 5, 1143-1160.

Χαραλαμπίκης Σ. (1952) Συμβολή εις την γνώσιν του Νεογενούς της Αττικής. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **4**, 1-140.

U.S.G.S. (1999) Athens Earthquake. *National Earthquake Information Center, World Data Center for Seismology.*
<http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/FM/Q9909071156.html>.

Voulgaris N., Pirlis M., Papadimitriou P., Kassaras J., Makropoulos K. (2001) Seismotectonic characteristics of the area of western Attica derived from the study of the September 7, 1999 Athens earthquake aftershock sequence. *Bull. Geol. Soc. Greece*, **XXXIV/4**, 1645-1651.

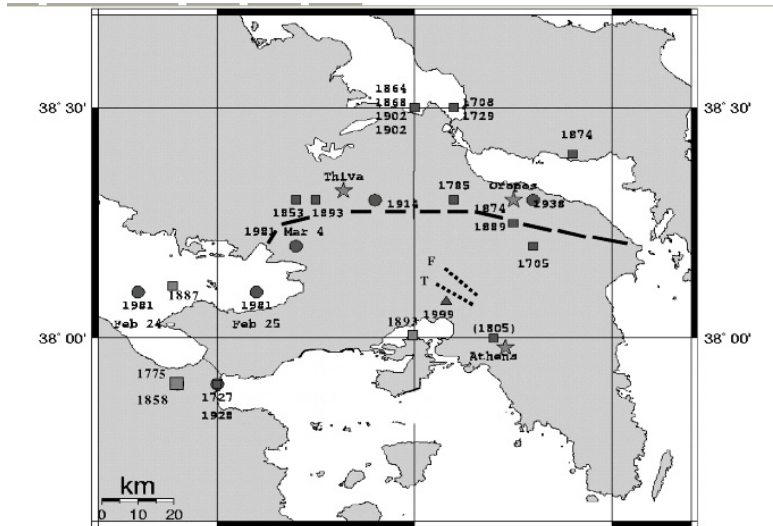
Wagner A. (1840) Fossile Reste eines Affenschadels und andere Säugetier aus Griechenland. *Abk. d. Ak. d. Wiss.*, **3**, 153-170, München.

Wallace R.E., Davis J.M., McNally O.K. (1984) Terms for expressing earthquake potential, prediction, and probability. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **74**, 1819-1825.

Wood J. (1822) Notice on the rocks of Attica. *Transact. geol. Soc.*, 2, ser. I, 170-172, London.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

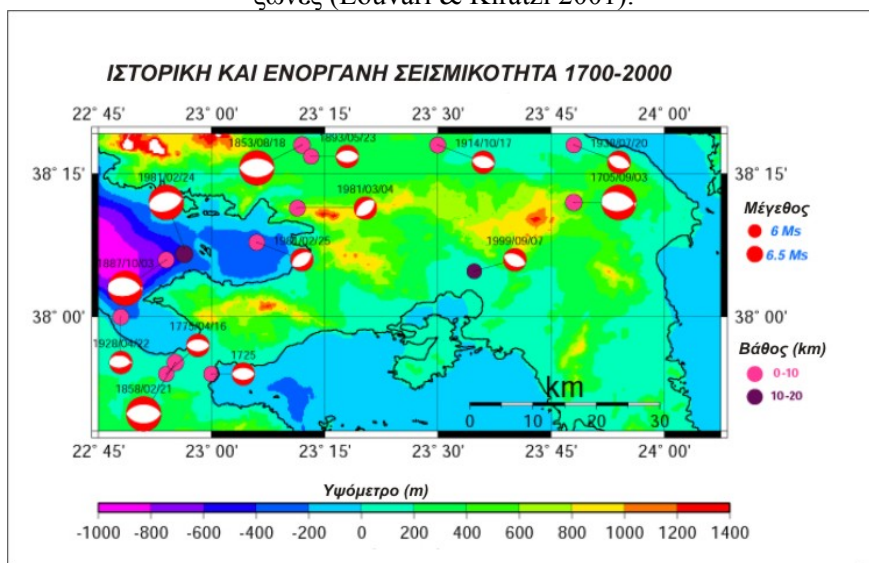
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



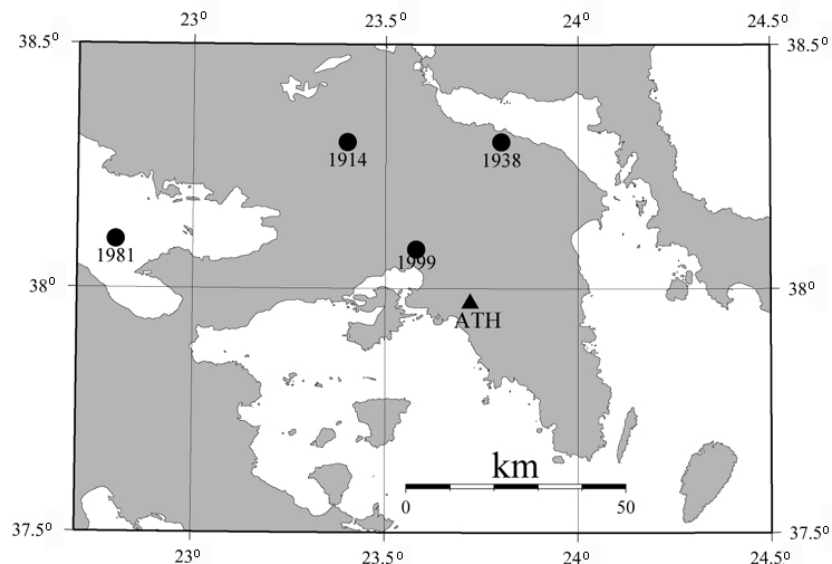
Η ενεργός τεκτονική ζώνη Θήβας – Ωρωπού. (Papadopoulos et al. 2002)



Ιστορική και ενόργανη σεισμικότητα της Αττικής. Σημειώνονται τα ενεργά ρήγματα – ρηξιγενείς ζώνες (Louvari & Kiratzi 2001).

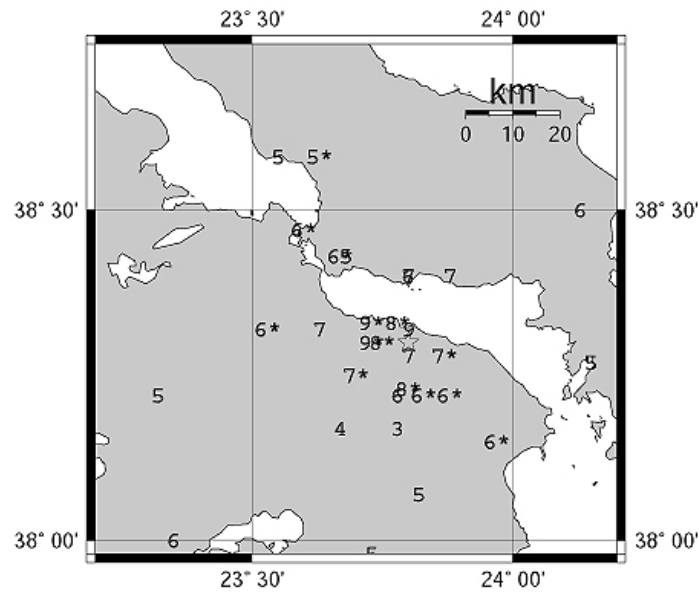


(Πηγή: Αθ. Γκανάς, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο – ΕΑΑ)



Οι κυριότεροι σεισμοί που έπληξαν την περιοχή της Αττικής τον τελευταίο αιώνα. Θήβα 1914, Ωρωπός 1938, Αλκυονίδες 1981, Πάρνηθα 1999. (Πηγή: Αθ. Γκανάς, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο – ΕΑΑ)

ΥΥ	DD/MM	Lat(°)	Long(°)	<i>I_o</i>	<i>M</i>	Περιοχή
1705	03/09	(38.0)	(23.7)	7(+)		Αθήνα
1785	24/06	38.3	23.6	7(+)	6.0	Ωρωπός - Χαλκίδα
1805	17/10	(38.0)	(23.7)	6		Αθήνα
1853	18/8	38.3	23.2	8	6.5	Θήβα
1874	17/01	38.25	23.75	6(-)		Αθήνα
1889	22/01	38.25	23.75	6		Αθήνα
1893	14/11	38.0	23.5	7		Σαλαμίνα
1893	23/5	38.3	23.25	8-9	6.0	Θήβα
1914	17/10	38.31	23.34	8+	6.0	Θήβα
1938	20/7	38.3	23.8	7	6.0	Ωρωπός
1965	04/12	38.1	23.8	5	3.5	Άνω Λιόσια
1965	03/04	37.0	22.7	4+	4.25	Αθήνα
1981	24/02	38.1	22.8	8+	6.7	Αλκυονίδες
1981	25/02	38.1	23.1		6.4	Αλκυονίδες
1981	04/03	38.2	23.2		6.2	Αλκυονίδες



Μακροσεισμικές εντάσεις του σεισμού του 1938 στον Ωρωπό (ΓΕ.ΙΝ).

ΤΟ ΚΑΣΤΡΟ ΤΗΣ ΦΥΛΗΣ

Μια από τις κατασκευές στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 που υπέστησαν σοβαρές ζημιές, ήταν και το αρχαίο Κάστρο της Φυλής. Κατασκευάστηκε τον 4^ο αιώνα π.Χ., και βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από το ρήγμα της Φυλής. Το Κάστρο είναι κατασκευασμένο από μαρμάρινα τεμάχια διαστάσεων περίπου 60 x 30 x 50 cm. Υπαίθρια επιθεώρηση του λίγες ημέρες μετά το σεισμό της 7-9-99 (Pavlidis et al. 1999, Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Pavlidis et al. 2002) εντόπισε τμήματα του τοίχους να έχουν καταρρεύσει, ενώ δομικά στοιχεία παρουσίαζαν περιστροφές και πτώσεις. Χαρακτηριστικές ρωγμώσεις και σπασίματα εμφανίζονταν σε πολλούς από τους δομικούς λίθους. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι **επιδιορθωτικές εργασίες** που παρατηρήθηκαν σε παρόμοιες, παλαιότερες δομικές αστοχίες, οι οποίες υποδεικνύουν την πιθανότητα να επλήγη το Κάστρο της Φυλής από σεισμό τουλάχιστον μια φορά στο παρελθόν. Οι επιδιορθώσεις αποτελούνται από τούβλα συγκολλημένα με τσιμέντο. Τα τούβλα πιθανώς αντιπροσωπεύουν παλαιοχριστιανική ή Βυζαντινή εποχή. Το μόνο γνωστό σεισμικό γεγονός που φαίνεται να ταιριάζει με τα παραπάνω είναι αυτό του 1321 μ.Χ. Παρ'όλα αυτά, παραμένει η αβεβαιότητα οι καταστροφές να προήλθαν από κάποιο άλλο, άγνωστο σεισμό.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΔΟΜΙΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



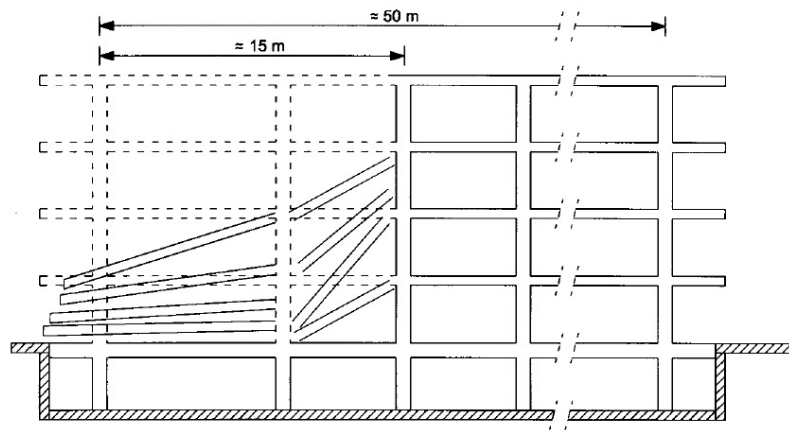
Μερική κατάρρευση 3ώροφης κατοικίας από σπλισμένο σκυρόδεμα. Μενίδι.



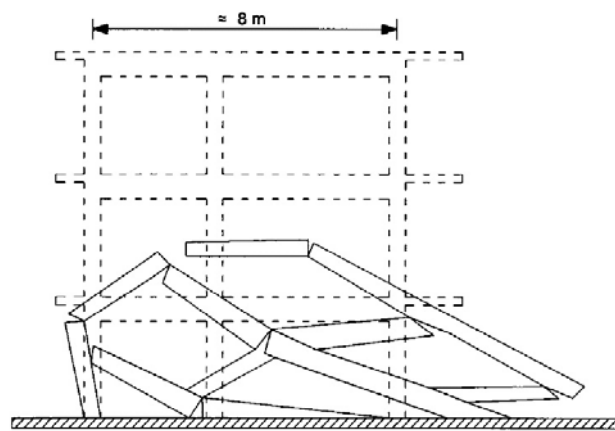
Κατάρρευση κτιρίου εργοστασίου από σπλισμένο σκυρόδεμα. Μενίδι.



Τυπική δομική αστοχία κτιρίου στις Αδάμες.



Μερική κατάρρευση του κτιρίου της βιομηχανίας Faran. Αδάμες.



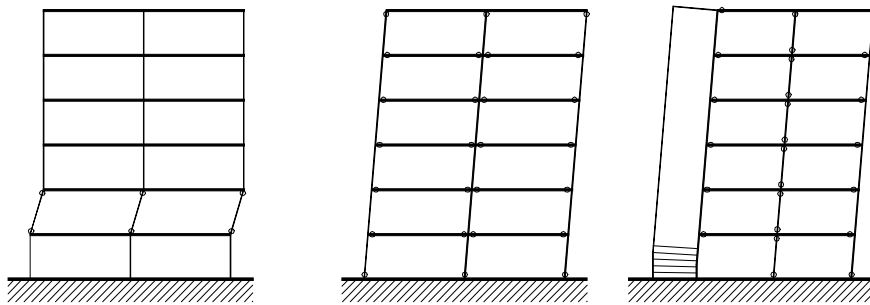
Κατάρρευση 3ώροφης κατοικίας στις Αδάμες.



Κτίριο στην περιοχή Μενιδίου.

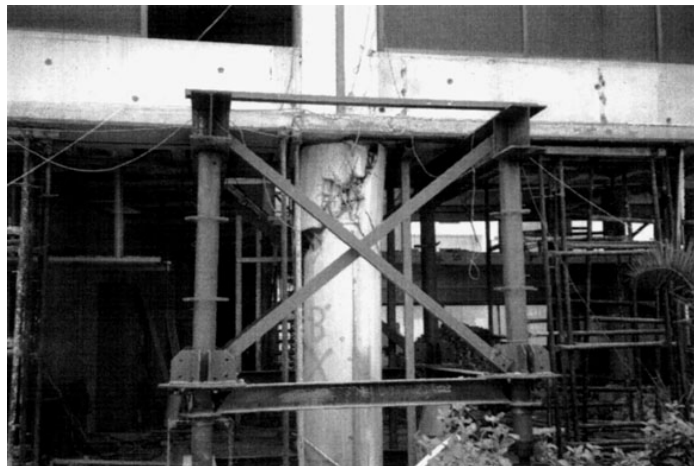


Τυπική αστοχία κοντού υποστυλώματος.



Μηχανισμός Ορόφου

Αποφυγή Μηχανισμού Ορόφου



Αστοχία στυλοδοκού, πολώροφου κτιρίου, από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μενίδι.



Σοβαρές ζημιές σε εκκλησία της περιοχής Θρακομακεδόνων από απλή τοιχοποιία.