

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΡΕΩΝ ΑΙΓΑΛΕΩ ΚΑΙ ΠΑΡΝΗΘΑΣ (ΑΤΤΙΚΗ, ΕΛΛΑΔΑ) ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ\*

Ε.Λ.ΑΕΚΚΑΣ<sup>1</sup>, Σ.Γ.ΛΟΖΙΟΣ<sup>1</sup> & Γ.Δ.ΔΑΝΑΜΟΣ<sup>1</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Η περιοχή μεταξύ των ορέων Αιγάλεω και Πάρνηθας αποτελεί ένα σύνθετο τεκτονικό βύθισμα, πληρωμένο με διάφορες φάσεις μεταλπικών ιζημάτων, που χαρακτηρίζεται από μια σύνθετη τεκτονική δομή και εξέλιξη από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Στο εσωτερικό του βυθίσματος αναπτύσσονται μια σειρά από δεύτερης τάξης ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες, που έχουν δραστηριοποιηθεί σε διαφορετικές περιόδους κατά τη νεοτεκτονική περίοδο και τεμαχίζουν την περιοχή σε επιμέρους τάφρους και κέρατα. Οι διευθύνσεις των ρηγμάτων αυτών είναι κυρίως Α-Δ και ΒΒΔ-ΝΝΑ, αντίστοιχες δηλαδή με τις διευθύνσεις των μεγάλων περιθωριακών ρηγμάτων των μεγάλων τεκτονικών κεράτων της Πάρνηθας και του Αιγάλεω. Τόσο η σύνθετη τεκτονική δομή, όσο οι λιθολογικές φάσεις φαίνεται ότι διεδρομάτισαν σημαντικό ρόλο στην κατανομή των καταστροφών των σεισμών της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999.

### ABSTRACT

The September 7, 1999 earthquake sequence hit the northwestern part of the basin of Athens (area between Aigaleo and Parnis Mt.), causing a large number of deaths and injuries, as well as extensive damage to structures. The major area represents a small basin which is covered by thick post-alpine formations, which are extended talus cones and, to a lesser extent, neogene lacustrine and fluvial deposits. The latter have been blanketed by the talus and the alluvial deposits at the north of the area. The basin is flanked by a hill range, where the non-metamorphic alpine carbonates of the "Sub-Pelagonian" Unit and an allocthonous tectonic melange that belongs to the "Athenian nappe" outcrop. The talus cones, with a thickness that ranges from a few m. to 100 m., contain frequent lateral transitions alternations of cohesive or semi-cohesive scree and loose deposits –sand, pebbles, gravel, clay, etc. The alluvial deposits consist of clay, red soils and conglomerates is clay matrix and have a thickness between a few m. and 20-30 m. The neogene deposits comprise relatively compacted phacies of marls, marly limestones, clays and conglomerates. The alpine formations of both the autochton and the allochton consist largely of carbonate rocks (limestones and marbles) and, to a lesser extend, of clastic deposits (sandstones, shales, schists, and graywackes). The main tectonic feature in the area is the contact between the two alpine units, located at the eastern margin. Besides this tectonic discontinuity, numerous other faults were located, either at the basin flanks, or within the postalpine formations. All these faults determined by a large number of boreholes. They are neotectonic structures that belong to two sets, one with NNW-SSE strike and 60°-80° WSW-ward or ESE-ward dips, and a second one with ESE-WNW strike and 60°-80° northerly or southerly dips. In fact, these faults are directly related to the creation and evolution of the small neogene basin, which is now buried under the talus scree and the alluvial deposits. It is a complex structure, since it incorporates smaller-scale horsts and grabens. The whole picture is in good accordance with the one we get from the greater area. The damage is located within a broad, NNE-SSW trending zone that covers the central and eastern parts of the area. The correlation of this picture with the geological and structural data from the studied area showed that the most serious damage took place on loose foundation formations, which were either the unconsolidated members of the talus cones, or the alluvial deposits. However, this was not the only factor that affected the damage distribution, since the heaviest damage was located (i) along the trace of the tectonic contact between the two alpine units, (ii) at the areas with higher fault density, usually close to the basin margins, but also locally within the basin. These faults were not reactivated in the September earthquake, but "channeled" the seismic energy into specific zones, which also holds, at a larger scale, for the greater meizoseismal area. Hanging wall effects, effects

\* GEOLOGICAL AND TECTONIC STRUCTURE OF THE AREA BETWEEN AIGALEO AND PARNITHA MT. (ATTICA, GREECE) AND THEIR IMPORTANCE TO ANTISEISMIC PLANNING.

1. University of Athens, Dept. of Geology, Panepistimioupoli Zografou, GR 157 84, Athens, Greece.

of sedimentary basins, basin edge effects and focusing effects are also probably to have played a significant part, at the locations where the fault geometry and the basin structure performed as reflectors, magnifying the effects of shaking and thus maximizing the strong ground motion values. Besides, the fact that the heaviest damage is located at the central and eastern part of the basin, where the fault fabric is denser and the faults better expressed, is not accidental.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Αττική, Πάρνηθα, Αιγάλεω, Τεκτονική, Γεωλογική δομή, Καταστροφές από σεισμούς, Φαινόμενα ενίσχυσης σεισμικών παραμέτρων.

**KEY WORDS:** Greece, Attica, Parnitha, Egaleo, Tectonics, Regional Geology, Earthquake Disasters, Focusing effects, Basin edge effects, Rupture directivity effects.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με αφορμή τους σεισμούς της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 και τη μελέτη αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας που εκπονήθηκε για την πλειόσειστη περιοχή, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση, σε κλίμακα 1:5.000, και τεκτονική ανάλυση της περιοχής ανάμεσα στα όρη Πάρνηθα και Αιγάλεω, όπου εντοπίζονται και οι Δήμοι Άνω Λιοσίων, Μενιδίου, Καματερού και Ζεφυρίου που υπέστησαν σημαντικές καταστροφές.

Βιβλιογραφικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη περιοχή δεν υφίστανται εκτός από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Αθήναι-Ελευσίς, ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ και συν. 1986) και τις γενικού περιεχομένου εργασίες που έχουν γίνει από τον περασμένο αιώνα για την Αττική. Από τους παλαιότερους ερευνητές που ασχολήθηκαν με τη στρωματογραφία και την περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών της Αττικής και του λεκανοπεδίου των Αθηνών είναι ο BITTNER (1880). Στη συνέχεια ο LEPSIUS (1893) κατασκεύασε λεπτομερή χάρτη της Κεντρικής και Νοτίου Αττικής και των Αθηνών σε κλίμακα 1:25.000. Ο RENZ (1908, 1909) ασχολήθηκε ειδικότερα με τη γεωλογία του όρους Πάρνηθα, ο NEGRIS (1912, 1913) με τη γεωλογία του λεκανοπεδίου των Αθηνών, αλλά και των ορέων που το περιλαμβάνουν, ενώ ο KOBER (1929) κατασκεύασε γεωλογικές τομές εντός του λεκανοπεδίου με σκοπό να δείξει την τεκτονική δομή καλυμμάτων που χαρακτηρίζουν το χώρο αυτόν. Πλέον λεπτομερή χάρτη της περιοχής του λεκανοπεδίου των Αθηνών συνέταξαν υπό κλίμακα 1:10.000 οι NIEDERMAYER (1971) και SINDOWSKI (1949), ενώ ο FREYBERG (1951) και ο ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑΚΗΣ (1951) ασχολήθηκαν τους νεογενείς σχηματισμούς που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών. Με τη γεωλογία του λεκανοπεδίου ασχολήθηκαν σε εργασίες τους επίσης οι ΜΑΡΙΝΟΣ (1937, 1955), PETRASCHECK & MARINOS (1953), ΤΑΤΑΡΗΣ (1967, 1972), ΜΑΡΙΝΟΣ και συν. (1971, 1974), CLEMENT (1976), ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΪΔΗΣ & ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ (1978), ΔΟΥΝΑΣ & ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ (1981).

Η περιοχή καλύπτεται τόσο από αλπικούς όσο και μεταλπικούς σχηματισμούς. Οι αλπικοί σχηματισμοί εντοπίζονται στις παρυφές των ορέων Αιγάλεω και Πάρνηθας και σε μικρότερες εμφανίσεις στο εσωτερικό του βυθίσματος. Αντιπροσωπεύονται κυρίως από σχηματισμούς της ενότητας της Υποπελαγονικής αλλά και του αλλόχθονου καλύμματος των Αθηνών. Η αλπική τεκτονική χαρακτηρίζεται κυρίως από τη μεγάλη τεκτονική επαφή που φέρνει σε επαφή τις δύο ενότητες αλλά και από μια σειρά λεπιώσεων που απαντώνται τόσο στη σχετικά αυτόχθονη όσο και την αλλόχθονη ενότητα.

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί αντιπροσωπεύονται κυρίως από λιμναίες και χερσαίες φάσεις του Νεογενούς αλλά και από τεταρτογενείς χερσαίους σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία φάσεων με σημαντικές διαφορές στο πάχος, τη συνεκτικότητα, το είδος και το μέγεθος του κλαστικού υλικού. Ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες εντοπίζονται κυρίως στα περιθώρια με τους αλπικούς σχηματισμούς και σπανιότερα στις νεογενείς αποθέσεις. Μια σειρά γεωτρήσεων<sup>1</sup> που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή έδωσαν πολλά στοιχεία τόσο για τις λιθολογίες που επικρατούν όσο και για τη νεοτεκτονική δομή της περιοχής αποκάλυπτοντας μια σειρά από ρήγματα, θαμμένα κάτω από τους τεταρτογενείς σχηματισμούς, που συμπληρώνουν την εικόνα από την ύπαιθρο και τη χαρτογράφηση και φανερώνουν την πολύπλοκη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής.

Ο συζητιετός της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της περιοχής με την κατανομή των καταστροφών, όπως αναλυτικά θα περιγραφεί στη συνέχεια, αποδεικνύει ότι υπάρχει μια πολύ στενή σχέση που ερμηνεύει πολλές περιπτώσεις καταστροφών, που οι άλλες παράμετροι (χαρακτηριστικά του σεισμού, είδος κατασκευών κλπ.) αδυνατούσαν, και ως εκ τούτου μπορεί να συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στον αντισεισμικό σχεδιασμό.

<sup>1</sup> Τα στοιχεία των γεωτρήσεων πάρθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα "Αντισεισμικός Σχεδιασμός Δήμου Άνω Λιοσίων" που εκτέλεσθηκε για λογαριασμό του Δήμου.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

### 2.1. Υποπελαγονική ενότητα

Το μεγαλύτερο τμήμα των ορεινών όγκων της Πάρνηθας και του Αιγάλεω δομείται από τους σχηματισμούς της ενότητας αυτής που για την περιοχική μελέτη είναι οι ακόλουθοι (Εικ. 1):

**Κλαστικός σχηματισμός Αγίου Ιωάννου:** Εμφανίζεται στις βόρειες παρυφές της λεκάνης των Άνω Λιοσίων και συγκεκριμένα βορειώς του ναού του Αγ. Ιωάννου και εκατέρωθεν της οδού Φυλής, στους πρόποδες των ορεινών όγκων του Πλατώματος και του Προφήτη Ηλία που υψώνονται ως νότιο πρόβουο της Πάρνηθας. Παρατηρείται επίσης και επί του υψώματος Κονταλά ανατολικότερα (περιοχή Μενιδίου), ενώ νότια, στις βόρειες απολήξεις του όρους Αιγάλεω, εντοπίζεται σε μικρές υπολειμματικές εμφανίσεις περιμετρικά του όρους στα χαμηλότερα υψομετρικά σημεία (περιοχές Καματερού και Ζεφυρίου). Πρόκειται για έναν κλαστικό σχηματισμό που αποτελείται από εναλλαγές τεφροπράσινων έως φαιών αργιλικών σχιστών, φυλλιτών, ψαμμιτών, χαλαζιακών κροκαλοπαγών εντός των οποίων απαντούν επίσης ασβεστόλιθοι, αρκόζες και γραουβάκες. Ο σχηματισμός αυτός αντιστοιχεί στη βάση της στρωματογραφικής στήλης της Υποπελαγονικής. Με βάση την περιεχόμενη παλαιοπανίδα στους ασβεστολιθικούς όγκους, που περικλείονται μέσα στο σχηματισμό, έχει χρονολογηθεί στο Ανώτερο Παλαιοζωϊκό – Μέσο Τριαδικό (ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ και συν. 1986).

**Ανθρακικοί σχηματισμοί Πάρνηθας-Αιγάλεω:** Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της Υποπελαγονικής ενότητας εμφανίζονται περιφερειακά της λεκάνης των Άνω Λιοσίων δομών δε τους ορεινούς όγκους (στο μεγαλύτερο τους τμήμα) της Πάρνηθας προς Βορρά και του Ποικίλου όρους (Αιγάλεω) προς Νότο. Πρόκειται για λευκούς, τεφρόλευκους και κατά θέσεις ροδόχρους ασβεστολίθους και δολομιτικούς ασβεστολίθους, άστρωτους έως παχυστρωματώδεις κατά το μάλλον ή ήττον κρυσταλλικούς. Αποτελούν την προς τα πάνω συνέχεια του κλαστικού σχηματισμού του Αγίου Ιωάννη. Εμφανίζονται συνήθως κατακερματισμένοι, λόγω της μεγάλης πυκνότητας των διακλάσεων που τους διασχίζουν, και έντονα καρστικοποιημένοι. Το πάχος του σχηματισμού των ασβεστολίθων φθάνει τις μερικές εκατοντάδες μέτρα (400-500 μέτρα) και με βάση την περιεχόμενη χαρακτηριστική μικροπανίδα έχουν χρονολογηθεί στο Αν. Τριαδικό – Μέσο Ιουραϊκό (ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ και συν. 1986).

Τόσο στην περιοχή της Πάρνηθας, όσο και σε αυτή του Αιγάλεω η επαφή ανάμεσα στους δύο αυτούς σχηματισμούς είναι στο σύνολο των περιπτώσεων τεκτονική (επίπτωση, ολίσθηση ή αποκόλληση) με τους ανθρακικούς σχηματισμούς να υπέρκεινται συνήθως των κλαστικών της βάσης. Εντοπίστηκαν όμως και αρκετές περιπτώσεις που ο σχηματισμός Αγίου Ιωάννου υπέρκειται (τεκτονικά) των ανθρακικών δίνοντας την εικόνα μιας δομής κατά λέπη που αποτελούνται συνήθως από δύο ή τρεις διαδοχικές επιπτώσεις-ολισθήσεις.

### 2.2. Αλλάχθονη ενότητα Αθηνών

Παρουσιάζει πολύ μικρή επιφανειακή εξάπλωση στην περιοχική μελέτη (Εικ. 1) και εμφανίζεται σε μικρές υπολειμματικές εμφανίσεις στο ανατολικό τμήμα του χάρτη (στα όρια των Δήμων Άνω Λιοσίων, Αχαρνών και Ζεφυρίου) και στις ΝΑ κλιείς του Αιγάλεω (Καματερό, Πετρούπολη). Αποτελείται από τους ακόλουθους σχηματισμούς:

**Σχηματισμός σχιστολίθων και πελαγικών ασβεστολίθων:** Αποτελεί τμήμα του σχηματισμού που στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως “σχιστόλιθοι των Αθηνών” και εμφανίζεται στη βάση του τεκτονικού καλύμματος της αλλάχθονης ενότητας, τόσο στις νότιες παρυφές της Πάρνηθας όσο και στις ΝΑ παρυφές του Αιγάλεω. Αποτελείται από καστανόφαιους σχιστές, πλακώδεις ασβεστολίθους και τηλίτες που εναλλάσσονται μεταξύ τους. Η ηλικία της σειράς, όπως προκύπτει από τα περιεχόμενα μικροαπολιθώματα (*Globotruncana* sp. κλπ.) ανήκει εν μέρει στο Άνω Κρητιδικό, το πάχος της δε ανέρχεται σε μερικές δεκάδες μέτρα. Η ακολουθία παρουσιάζεται έντονα σχιστοποιημένη, ανακρυσταλλωμένη και ελαφρά μεταμορφωμένη (συνήθη ορυκτά ανακρυσταλλωμένα χαλαζία και ασβεσίτης, χλωρίτης, σερίκιτης κλπ.).

**Σχηματισμός νηρειτικών ασβεστολίθων:** Περιλαμβάνει σκοτεινόχρωμους νηρειτικούς ασβεστολίθους, παχυστρωματώδεις έως άστρωτους, οι οποίοι υπέρκεινται συνήθως τεκτονικά του προηγούμενου σχηματισμού των σχιστολίθων και πελαγικών ασβεστολίθων. Περιέχουν ρουδιστές και ως εκ τούτου χρονολογούνται στο Άνω Κρητιδικό.

Σχετικά με τη γεωτεκτονική τοποθέτηση της ενότητας αυτής μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις, σε σχέση πάντα με αυτά που μέχρι σήμερα περιγράφονται στη βιβλιογραφία (ΜΑΡΙΝΟΣ 1937, 1955, ΤΑΤΑΡΗΣ 1967, 1972, ΜΑΡΙΝΟΣ και συν. 1971, 1974, ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΪΔΗΣ & ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ 1978, ΔΟΥΝΑΣ & ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ 1981, ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1986): i) πρόκειται για μια χωριστή γεωτεκτονική ενότητα όπως φανερώνουν η σαφής τεκτονική επαφή που τη χωρίζει από την Υποπελαγονική αλλά και η πολύ διαφορετική παραμόρφωση καθώς και οι διαφορετικοί λιθολογικοί τύποι και φάσεις ανάμεσα στις δύο ενότη-

τες, ii) επικάθεται, σε όλες τις περιπτώσεις, τεκτονικά πάνω στην Υποπελαγονική με τον σχηματισμό των σχιστολίθων και πελαγικών ασβεστολίθων (“σχιστολίθοι Αθηνών”) να παρεμβάλλεται πάντα (με πάχος από λίγα μέτρα μέχρι και εκατοντάδες μέτρα) ανάμεσα στα ανθρακικά της Υποπελαγονικής και το σχηματισμό των νηριτικών ασβεστολίθων και iii) παρατηρούνται περισσότερες από δύο διαδοχικές λεπιώσεις ανάμεσα στους σχηματισμούς των νηριτικών ασβεστολίθων και των σχιστολίθων και πελαγικών ασβεστολίθων, που μαζί με την έντονη εσωτερική παραμόρφωση της ακολουθίας δίνουν τη μορφή ενός τεκτονικού μίγματος (mélange).

### 2.3. Μεταλλικοί σχηματισμοί

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί καλύπτουν ασύμφωνα τους υποκείμενους αλπικούς στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και αντιπροσωπεύονται από νεογενή και πλειοτεταρογενή ιζημάτα (Εικ. 1).

Νεογενείς αποθέσεις: Εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής και η επιφανειακή τους εξάπλωση είναι μικρή. Είναι όμως βέβαιο ότι συνεχίζουν θαμμένες κάτω από νεώτερες αποθέσεις, όπως αποδεικνύουν οι επιφανειακές εμφανίσεις τους στη Φυλή, την Πετρούπολη και το Περιστέρι καθώς και οι γεωτρήσεις στη λεκάνη των Άνω Λιοσίων. Στη βάση αποτελούνται από λιμνοχερσαία ιζημάτα που αντιστοιχούν σε εναλλαγές μαργών, ψαμμιούχων μαργών, χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ψαμμιτών σε οριζόντες πάχους 1-1,5 μέτρων, κροκαλοπαγών και αργίλων εντός των οποίων ενδιστρώνονται συχνά οριζόντες σαπροπηλών και παρεμβολές λιγνιτών. Προς τα πάνω μεταπίπτουν σε περισσότερο χερσαίες φάσεις κροκαλοπαγών και ερυθροπηλών με χαρακτηριστικά είδη της πικερμικής πανίδας (FREYBERG 1951, ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΗΣ 1951).

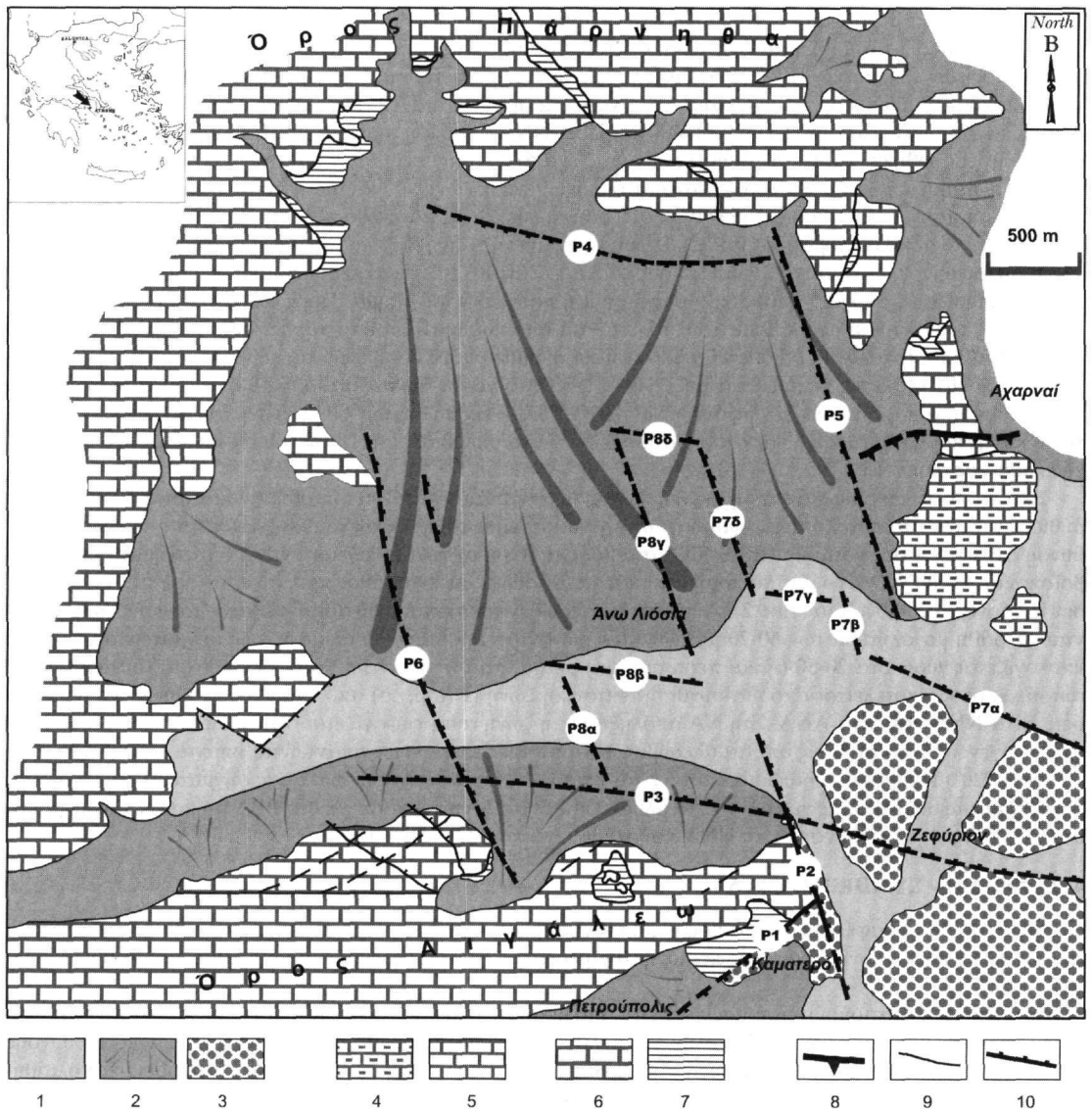
Πλειοτεταρογενείς αποθέσεις: Αντιπροσωπεύονται από κώνους κορημάτων και αλλοβίου σχηματισμούς και παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση. Περισσότερο εντυπωσιακή είναι η περίπτωση του μεγάλου κώνου κορημάτων που αναπτύσσεται στις νότιες κλιείς της Πάρνηθας (μέγιστο πάχος γύρω στα 100 m) και παρουσιάζει τη μορφή τυπικού ριπιδίου με αξιοσημείωτα σταθερή κλίση που ανέρχεται σε 10° προς ΝΝΑ. Οι φάσεις μεταβάλλονται έντονα τόσο πλευρικά όσο και κατακόρυφα και αποτελούνται από εναλλαγές πολύ συνεκτικών με μέτριας ή χαμηλής συνεκτικότητας κροκαλολατυποπαγών που εναλλάσσονται με οριζόντες παλαιοεδαφών πάχους από 0,5 – 2 μέτρα. Οι σύγχρονες αλλοβιακές αποθέσεις αναπτύσσονται κυρίως κατά μήκος και εκατέρωθεν της κατασκευαζομένης οδού Σταυρού–Ελευσίνας, αποτελούνται από εντελώς ασύνδετα μεταξύ τους υλικά κροκάλες, λατύπες, άμμους και ερυθρές αργίλους και το πάχος τους δεν υπερβαίνει (σύμφωνα με τις γεωτρήσεις) τα 10-15 m.

## 3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η περιοχή μελέτης, όπως αναφέρθηκε, αντιπροσωπεύει ένα δεύτερης τάξης νεοτεκτονικό βύθισμα, που αναπτύσσεται ανάμεσα στο τεκτονικό κέρασ της Πάρνηθας (με γενική διεύθυνση δομών Α-Δ και ΔΒΔ-ΑΝΑ) και το τεκτονικό κέρασ του Αιγάλεω (με κύριες διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ) και στο ΒΔ περιθώριο του βυθίσματος του λεκανοπεδίου των Αθηνών (με γενική διεύθυνση δομών ΒΑ-ΝΔ). Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η περιγραφή τόσο των περιθωριακών ρηγμάτων όσο και αυτών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του βυθίσματος (Εικ. 1).

Στο ΒΑ τμήμα του τεκτονικού κέρατος του Αιγάλεω εντοπίζονται τρεις μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες. Η πρώτη από αυτές (P1) αποτελεί το ΝΑ περιθώριό του, που το οριοθετεί από το βύθισμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών, έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και φέρνει σε επαφή τους αλπικούς σχηματισμούς της Υποπελαγονικής με νεογενή και τεταρογενή ιζημάτα. Κατοπτρικές επιφάνειες εντοπίζονται σε ορισμένες θέσεις με τιμές κλίσεων περίπου 60°-70°. Η άλλη μεγάλη ρηξιγενής ζώνη (P2) οριοθετεί αντίστοιχα το ΒΑ περιθώριο του τεκτονικού κέρατος, έχει γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και περιλαμβάνει 3-4 κλιμακωτά ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ και μήκους 100 περίπου μέτρων που ενώνονται με μικρότερα ρήγματα διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ με μήκος μόλις μερικών μέτρων. Οι κλίσεις των ρηξιγενών επιφανειών είναι πολύ μεγάλες με τιμές που φθάνουν τις 70°-80° ενώ πάνω στην επιφάνεια δεν παρατηρήθηκαν γραμμές τεκτονικής ολίσθησης.

Η ρηξιγενής ζώνη P3 αντιπροσωπεύει το βόρειο περιθώριο του Αιγάλεω έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και κλίση προς ΒΒΑ. Βρίσκεται θαμμένη κάτω από τα κορήματα και διαπιστώνεται τόσο από μορφολογικά κριτήρια όσο και από τις γεωτρήσεις (Εικ. 2), οι οποίες μάλιστα υποδεικνύουν ότι το άλμα της δεν παραμένει σταθερό σε όλο το μήκος της. Το δυτικό τμήμα της ζώνης δείχνει ένα άλμα μεγαλύτερο από 50 μέτρα, φέρνοντας σε επαφή τα ανθρακικά της Υποπελαγονικής μεταξύ τους, ενώ στο ανατολικό φαίνεται να υπερβαίνει τα 100 μέτρα, φέρνοντας σε επαφή τα ανθρακικά με τις μάργες του Νεογένους στα ανώτερα τμήματα και τους αλπικούς σχηματισμούς μεταξύ τους στα κατώτερα. Σε αυτή τη σύνθετη λειτουργία της ζώνης αυτής φαίνεται ότι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο και τα υπόλοιπα ρήγματα (ΒΒΔ-ΝΝΑ ή ίδιας διεύθυνσης) που αναπτύσσονται προς το εσωτερικό τμήμα της λεκάνης (βλπ. στα επόμενα).



Εικ. 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. 1: αλλούβια, 2: κώνοι κορημάτων, 3: νεογενείς σχηματισμοί, 4: νηρειακοί ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι της αλλόχθονης ενότητας Αθηνών, 5: σχιστόλιθοι και πελαγικοί ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι της αλλόχθονης ενότητας (σχιστόλιθοι Αθηνών), 6: ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Υποπελαγονικής, 7: περμο-τριαδική ακολουθία της βάσης της Υποπελαγονικής, 8: επώθηση (ολίσθηση-αποκόλληση), 9: εφίπνευση, 10: ρήγμα.

Fig. 1. Geological map of the study area. 1: alluvial deposits, 2: talus cones, 3: neogene formations, 4: neritic Upper Cretaceous limestones of the allochthon unit of Athens, 5: schists and pelagic limestones of the allochthon unit (schists of Athens), 6: limestones and dolomites of Subpelagonian unit, 7: Permo-Triassic sequence of the base of Subpelagonian unit, 8: overthrust (detachment), 9: thrust, 10: fault.

Βορειότερα, στο νότιο περιθώριο του τεκτονικού κέρατος της Πάρνηθας, εντοπίζεται άλλη μια ρηξιγενής ζώνη (P4) που με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και κλίση προς τα ΝΝΔ χωρίζει τους μεταλλικούς σχηματισμούς στα νότια από το αλπικό υπόβαθρο στα βόρεια. Στην ύπαιθρο η ζώνη αυτή γίνεται αντιληπτή από το ευθύγραμμο όριο ανάμεσα στα κορήματα και τα ανθρακικά της Υποπελαγονικής αλλά και από τα μικρότερης τάξης και αντίστοιχης διεύθυνσης ρήγματα που εντοπίζονται μέσα στην ανθρακική μάζα, με κλίσεις 60<sup>0</sup>-70<sup>0</sup> προς τα ΝΝΔ.

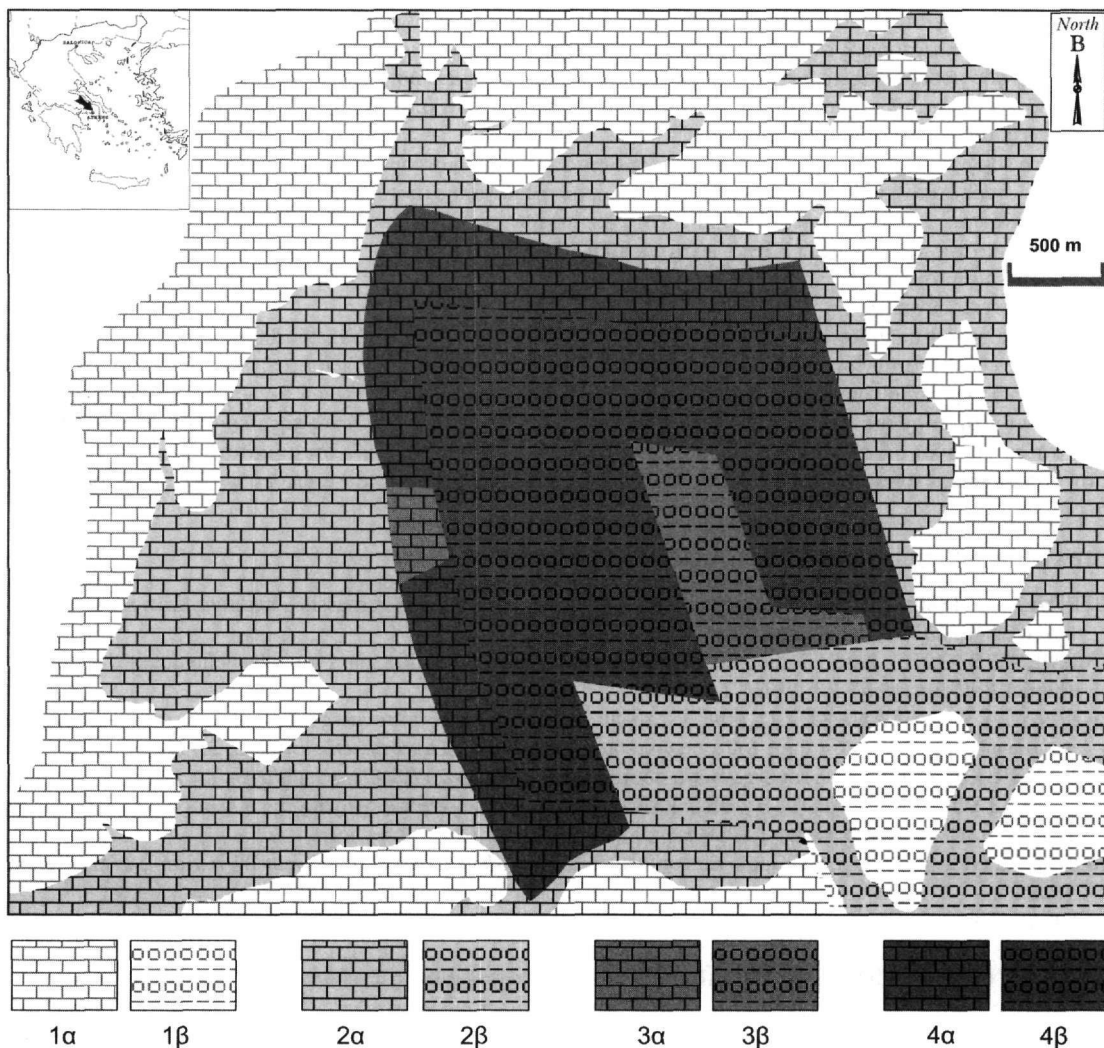
Οι γεωτρήσεις επιβεβαίωσαν την ύπαρξη της, δίνοντας μάλιστα ένα άλμα που πρέπει να υπερβαίνει τα 130 μέτρα, αφού βόρεια του ρήγματος το αλπικό υπόβαθρο απαντάται σε βάθος 20 μέτρων ενώ νότια σε βάθος μεγαλύτερο των 130 μέτρων (Εικ. 2). Με ρηξιγενείς ζώνες οριοθετούνται επίσης το ανατολικό και δυτικό όριο του τεκτονικού βυθίσματος της περιοχής. Στα ανατολικά η ζώνη αυτή (P5) φέρνει σε επαφή το αλπικό υπόβαθρο με τα κορήματα και έχει γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ με κλίση προς τα ΔΝΔ. Η ύπαρξη του ρήγματος αυτού επιβεβαιώθηκε από τις γεωτρήσεις δίνοντας ένα άλμα που υπερβαίνει και στην περίπτωση αυτή τα 100 μέτρα. Γεωτρήσεις που έγιναν στο ανατολικό της ρηξιγενούς ζώνης συνάντησαν το αλπικό υπόβαθρο στα 30 περίπου μέτρα ενώ γεωτρήσεις που έγιναν στα δυτικά της ζώνης και έφθασαν το βάθος των 110 μέτρων δεν συνάντησαν το αλπικό υπόβαθρο (Εικ. 2). Η δυτική ρηξιγενής ζώνη (P6) παρουσιάζει αντίστοιχη διεύθυνση με την προηγούμενη αλλά αντίθετες κλίσεις προς τα ΑΒΑ. Συνιστά το δυτικό περιθωριακό ρήγμα της λεκάνης των Άνω Λιοσίων και παίρνει περισσότερο σαφή μορφή προς το νότιο τμήμα. Προς τα δυτικά οριοθετεί συχνές εμφανίσεις του αλπικού υποβάθρου που καλύπτονται από κορήματα που το πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 20 μέτρα. Αντίθετα, ανατολικά οριοθετεί αποκλειστικά σχηματισμούς κορημάτων με μεγάλο πάχος, σύμφωνα με τις γεωτρήσεις. Μάλιστα πληθώρα της ρηξιγενούς ζώνης το πάχος κυμαίνεται από 50–70 μέτρα, με υπόβαθρο τότε ανθρακικά και τότε νεογενή φανερώνοντας ένα άλμα της τάξης των 50 μέτρων, ενώ προς το εσωτερικό της λεκάνης και νότια το πάχος των κορημάτων φαίνεται να υπερβαίνει τα 100 μέτρα δηλώνοντας ένα αντίστοιχης κλίμακας άλμα (Εικ. 2).

Εκτός από τις περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες σημαντικά ρήγματα εντοπίστηκαν και στο εσωτερικό του βυθίσματος που στο σύνολό τους δημιουργούν ένα μικρότερης τάξης σύνθετο τεκτονικό κέρασ με γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ στα νότια και ΒΒΔ-ΝΝΑ στα βόρεια. Έχει σχηματισθεί στους νεογενείς σχηματισμούς, που βρίσκονται θαμμένοι κάτω από τα κορήματα και τα αλλούβια, σε ένα βάθος που, σύμφωνα με τις γεωτρήσεις, δεν ξεπερνά τα 20-30 μέτρα (Εικ. 2). Αντίθετα εκατέρωθεν του τεκτονικού αυτού κέρατος τα νεογενή απαντώνται σε βάθη μεγαλύτερα των 60-70 μέτρων φανερώνοντας την τάξη του άλματος των ρηγμάτων αυτών, που υπολογίζεται γύρω στα 20-50 (ή και περισσότερα) μέτρα κατά περίπτωση. Το ΒΑ περιθώριο του τεκτονικού αυτού κέρατος αποτελείται από μια σύνθετη τεκτονική ζώνη (P7α,β,γ,δ) από επιμέρους ρήγματα με διευθύνσεις ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΔΒΔ-ΑΝΑ. Στη ΝΑ απόληξη της η ζώνη αυτή εμφανίζεται στην επιφάνεια και οριοθετεί τους νεογενείς σχηματισμούς από τα αλλούβια. Κατοπτρικές επιφάνειες απαντώνται σπάνια, με στοιχεία 60°-70° προς 020°. Το δυτικό περιθώριο αποτελείται επίσης από αντίστοιχης γεωμετρίας ρήγματα (P8α,β,γ,δ), και όπως διαπιστώθηκε από τις γεωτρήσεις τα άλματα παρουσιάζονται μικρότερα στο ΒΒΔ τμήμα της ζώνης (γύρω στα 2-30 μέτρα), σε αντίθεση με το ΝΝΑ που είναι μεγαλύτερα (>50 μέτρα).

#### 4. ΣΥΝΘΕΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες επισημάνσεις σχετικά με τη γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής ανάμεσα στις ΒΑ απολήξεις του όρους Αιγάλεω και την Πάρνηθα.

- Οι αλπικοί σχηματισμοί αντιπροσωπεύονται από μικρές υπολειμματικές εμφανίσεις της αλλόχθονης ενότητας Αττικής που είναι εκωθημένη στην Υποπελαγονική ενότητα, με μια σαφή τεκτονική επαφή διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, κατά μήκος των ΝΑ κλιτύων του Αιγάλεω και της Πάρνηθας. Εσωτερικές λεπιώσεις και ολισθήσεις χαρακτηρίζουν τη δομή και των δύο ενότητων.
- Μεταλλικοί σχηματισμοί (λιμνοχερσαία νεογενή, κορήματα και αλλούβια) εμφανίζονται στη μικρή λεκάνη των Άνω Λιοσίων, ανάμεσα στο Αιγάλεω και την Πάρνηθα, και ΝΑ του Αιγάλεω προς τη πλευρά του λεκανοπεδίου. Οι περισσότεροι χαλαροί σχηματισμοί απαντώνται στο κεντρικό, νότιο και ανατολικό τμήμα της λεκάνης.
- Η τεκτονική δομή χαρακτηρίζεται από μεγάλα περιθωριακά ρήγματα (με άλματα μεγαλύτερα από 100 μέτρα) που οριοθετούν τους αλπικούς από τους μεταλλικούς σχηματισμούς με κύριες διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ για την περιοχή ΝΑ του Αιγάλεω και ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΔΒΔ-ΑΝΑ για την περιοχή της λεκάνης των Άνω Λιοσίων.
- Μικρότερα ρήγματα, με άλματα γύρω στα 50 μέτρα και αντίστοιχες διευθύνσεις, εντοπίζονται και στο εσωτερικό της λεκάνης, δημιουργώντας μικρότερης τάξης τεκτονικά κέρατα και βυθίσματα. Τα περισσότερα από αυτά εντοπίζονται στο κεντρικό, νότιο και ανατολικό τμήμα της λεκάνης.
- Η εξέλιξη της νεοτεκτονικής περιόδου, κυρίως σε σχέση με τη δραστηριοποίηση των ρηγμάτων, μπορεί να συνοψισθεί στα ακόλουθα: Στην προ-νεογενή περίοδο στην ευρύτερη περιοχή υφίσταται ένα έντονο αλπικό ανάγλυφο με κύρια χαρακτηριστικά μια μορφολογική ταπεινώση που στο κεντρικό τμήμα της περιοχής θα πρέπει να ήταν περισσότερο έντονη. Στο πέρασμα στη νεογενή περίοδο ξεκινά η δραστηριοποίηση των



**Εικ. 2.** Χάρτης ισοβαθών υποβάθρου. 1: επιφανειακή εμφάνιση του αλπικού (α) ή νεογενούς (β) υποβάθρου, 2: βάθος αλπικού (α) ή νεογενούς (β) υποβάθρου < 20 μέτρα, 3: βάθος αλπικού (α) ή νεογενούς (β) υποβάθρου 20 - 50 μέτρα, 4: βάθος αλπικού (α) ή νεογενούς (β) υποβάθρου > 50 μέτρα.

**Fig. 2.** Map showing the depth of the alpine or neogene basement. 1: surface outcrop of the alpine (a) or neogene (b) basement, 2: depth of the alpine (a) or neogene (b) basement < 20 m, 3: depth of the alpine (a) or neogene (b) basement 20 - 50 m, 4: depth of the alpine (a) or neogene (b) basement > 50 m.

μεγάλων περιθωριακών ρηξιγενών ζωνών, ή και άλλων που βρίσκονται εσωτερικότερα, και ο σχηματισμός των κύριων λεκανών, οι οποίες είχαν αισθητά μεγαλύτερη έκταση από τις σημερινές εμφανίσεις των νεογενών σχηματισμών. Κατά την απόθεση, αλλά και μετά την απόθεση, των νεογενών σχηματισμών αρχίζει η δραστηριότητα των ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών στο εσωτερικό τμήμα της λεκάνης. Σταδιακά το περιβάλλον γίνεται ηπειρωτικό με έντονες τάσεις ανυψώσεως και έντονη διάβρωση η οποία έδωσε τους εντυπωσιακούς κώνους κορημάτων της περιοχής. Κατά την περίοδο αυτή είναι πιθανό να συνεχίστηκε η δράση ορισμένων ρηγμάτων, η οποία όμως δεν μπορεί να τεκμηριωθεί λόγω της ταχείας κάλυψης των ιχνών των ρηγμάτων από τα φερτά υλικά των κώνων.

Ένα ερώτημα που τίθεται στη συνέχεια είναι αν η γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής μπορεί να συσχετισθεί άμεσα με την κατανομή των καταστροφών κατά τον σεισμό του Σεπτεμβρίου 1999, δεδομένου ότι

τα χαρακτηριστικά του σεισμού και των κατασκευών δεν μπόρεσαν σε κάθε περίπτωση να δώσουν μια πιθανή ερμηνεία. Οι καταστροφές στην περιοχή που μελετήθηκε εντοπίζονται σε μία ζώνη με γενική διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, δηλαδή κυρίως στις περιοχές όπου από άποψη εδαφών θεμελίωσης επικρατούν (με σημαντικό πάχος) οι περισσότερο χαλαροί σχηματισμοί, είτε αυτοί αντιπροσωπεύονται από τα πιο χαλαρά μέλη των κώνων κορημάτων είτε από τις αλλουβιακές αποθέσεις.

Αυτός όμως δεν ήταν και ο μοναδικός παράγοντας που καθόρισε την κατανομή των καταστροφών, αφού οι σημαντικότερες από αυτές εντοπίζονται: i) κατά μήκος της μεγάλης τεκτονικής ασυνέχειας που χωρίζει τις δύο αλπικές ενότητες και ii) στην περιοχή όπου η συχνότητα των ρηγμάτων, που αναπτύσσονται στα περιθώρια και το εσωτερικό της νεογενούς λεκάνης, είναι μεγάλη. Τα ρήγματα αυτά δεν επαναδραστηριοποιήθηκαν με το σεισμό, διεδραμάτισαν όμως σημαντικό ρόλο στην “κατεύθυνση” και “εκτόνωση” της σεισμικής ενέργειας σε συγκεκριμένες ζώνες.

Φαινόμενα basin effects και boundary effects (LEKKAS 2000, SOMERVILLE 2000) όπου η δομή της λεκάνης και η γεωμετρία των ρηγμάτων λειτούργησαν ως ανακλαστικές εγκλωβίζοντας και “πολλαπλασιάζοντας” τα σεισμικά κύματα με άμεσο αντίκτυπο και στον πολλαπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων και επιταχύνσεων, πρέπει να έλαβαν χώρα, δεδομένου ότι οι γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες της περιοχής, όπως αναλύθηκαν στα προηγούμενα, είναι κατάλληλες γι’ αυτό. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι οι καταστροφές εντοπίζονται στην κεντρική και ανατολική περιοχή της λεκάνης όπου τα ρήγματα και πιο σαφή είναι αλλά και αριθμητικά περισσότερα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- BITTNER, A. (1880): Geologische bau von Attica, Boeotien, Lokros und Parnassis. *Denksch. Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Wien* 1880.
- CLEMENT, B. (1976): Essai d' interpretation structural d' un secteur des zones internes helleniques: l' Attique - Beotie. *Bull. Soc. geol. Fr.*, XVIII, 2, 309-316.
- ΔΟΥΝΑΣ, Α. & ΓΑΙΤΑΝΑΚΗΣ, Π. (1981): Στρωματογραφικές και τεκτονικές παρατηρήσεις στη βουνοσειρά Αιγιάλεω και στο δυτικό τμήμα του λεκενοπεδίου της Αθήνας. *Ορυκτός Πλούτος*, 13, 21-31.
- FREYBERG, B. (1951): Το νεογενές βορειοδυτικώς των Αθηνών. *ΥΓΕΝ*, No 1, Athens.
- ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΜΕΤΤΟΣ, Β., ΒΙΔΑΚΗΣ, Μ. (1986): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. Φύλλο Αθήνα-Ελευσίνα. Κλ. 1:50.000, έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.
- KOBER, L. (1929): Beitrage zur Geologie von Attica. *Sitzung sbec. d. Akad. d. Wiss. in Wien. Abt. I*, 138B, 8 Heft, 1929.
- LEKKAS, Th. (2000): New Data for Seismic Hazard Analysis. *Risc Analysis II (Ed. C.A. Brebbia)*, 245-255, WIT Press.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ευθ., ΛΟΖΙΟΣ, Σ. & ΔΑΝΑΜΟΣ, Γ. (2000). Αντισεισμικός Σχεδιασμός Δήμου Άνω Λιοσίων. Γεωλογική Νεοτεκτονική Έρευνα. *Ερευνητικό πρόγραμμα που εκτελέσθηκε για λογαριασμό του Δήμου Άνω Λιοσίων*. 190 σελ., Αθήνα 2000.
- LEPSIUS, R. (1893): Geologie von Attica. *Berlin* 1893.
- MARINOS, Γ. (1937): Η τεκτονική θέσις του συστήματος των σχιστολίθων των Αθηνών εις την δυτικήν ζώνην αυτού. *Πρακτ. Ακαδ. Αθ.*, 12, 16-21.
- MARINOS, Γ. (1955): Η ηλικία των μεταμορφωμένων στρωμάτων της Αττικής. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, 2, 1-13.
- MARINOS, Γ., ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ-ΔΙΚΑΙΟΥΛΙΑ, Ε., ΜΙΡΚΟΥ Ρ. (1971): Το σύστημα των Σχιστολίθων Αθηνών. I. Στρωματογραφία και τεκτονική. *Ann. Geol. Pays Hell.*, XXIII, 183-216.
- MARINOS, Γ., ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΜΙΚΡΟΥ-ΠΕΡΙΠΟΠΟΥΛΟΥ, Ρ. (1974): Το σύστημα των σχιστολίθων των Αθηνών II. Στρωματογραφία και τεκτονική. *Ann. Geol. Pays Hell.*, XXV, 439-444.
- NEGRIS, Ph. (1912): Sur l' age des schistes d' Athenes. *Com. Red. Ac. Sc. Paris*, 154, 1838-1840.
- NEGRIS, Ph. (1913): Contribution a la geologie de l' Attique. *Com. Red. Acad. Sc. Paris*, 156, 1286-1288.
- NIDERMAYER, J. (1971): Die geologische Karte von Athen 1:10.000. *Bull. Geol. Soc. Greece*, VIII/2, 117-134.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1986): Γεωλογία Ελλάδας. 286 σελ., Αθήνα 1986.
- ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΙΔΗΣ, Η. & ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ, Π. (1978): Μία τομή απ' το βουνό Αιγιάλεω. Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 13/2, 116-141.
- PETRASCHECK, W., MARINOS, G. (1953): Zur Geologie von Attica. *Kober Festsch.*, 52-59, Wien.
- RENZ, C. (1908): Sur les preuves de l' existence du Carbonifere et du Trias dans l' Attique. *Bul. Soc. Geol. France*, 8, 519-523.
- RENZ, C. (1909): Der Nachweis von Carbon und Trias in Attica. *Zentz. Miner.*, 84-87.



- SINDOWSKI, K. (1949): Der geologische Bau von Attica. *Ann Geol. Pays Hell.*, 2, 163-218.
- SOMERVILLE, P. (2000): Seismic Hazard Evaluation. *12<sup>th</sup> Word Congr. On Earth. Eng., Auckland, New Zealand, Pres. No 2833.*
- ΤΑΤΑΡΗΣ, Α. (1967): Παρατηρήσεις επί της δομής της περιοχής Σκαραμαγκά - όρους Αιγάλεω - Πειραιώς - Αθηνών (Αττική). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, VIII/1, 52-88.
- ΤΑΤΑΡΗΣ, Α. (1972): Νεώτερα πορίσματα επί της Γεωλογίας της νήσου Σαλαμίνας και της περιοχής Αττικής. *Δελτίο Ε.Γ.Ε.*, 7/1, 52-58.
- ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΗΣ, Σ. (1951): Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς της Αττικής. *Ειδ. Μελ. Γεωλ. Ελλάδος, Υ.Ε.Υ. Υπουργείο Συντονισμού, Αθήνα.*