

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ & ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΤΟΥ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΟΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ
ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΔΡΟΜΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΤΕΥΧΟΣ Γ
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου: Δρ. Ταξιάρχης Παπαδόπουλος
Αναπλ. Καθηγητής, Εφαρμ. Γεωφυσικής

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2003

Περιεχόμενα

1. Γενικά.....	3
2. Βαρυτικές Μετρήσεις	3
3. Μετρήσεις GPS.....	4
4. Σεισμικές διασκοπήσεις	4
5. Γεωλογική – τεκτονική ερμηνεία των βαρυτικών και των σεισμικών τομών	6
6. Συμπεράσματα	9
7. Αποτίμηση του ερευνητικού έργου - Παραδοτέα προϊόντα	9
8. Προτάσεις	11

1. Γενικά

Το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα ανατέθηκε από τον ΟΑΣΠ (με την υπ' αριθμ. 100/11-10-2000 απόφαση) στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), με επιστημονικό υπεύθυνο τον κ. Ταξιάρχη Παπαδόπουλο, Αναπλ. Καθηγητή Εφαρμ. Γεωφυσικής. Στα πλαίσια παράδοσης του έργου αυτού, υποβάλλεται η παρούσα Τελική Έκθεση σύμφωνα με τους όρους της Σύμβασης. Οι ερευνητικές εργασίες υπαίθρου διεξήχθησαν σύμφωνα με το υποβληθέν στη Σύμβαση χρονοδιάγραμμα, αλλά για την επεξεργασία και τη σύνταξη της μελέτης απαιτήθηκε εξάμηνη παράταση του έργου, που ενέκρινε ο ΟΑΣΠ κατόπιν σχετικής αίτησης του επιστημονικού υπεύθυνου.

Το πείραμα της διερεύνησης της δομής της κεντρο-δυτικής Αττικής παρουσίασε αρκετά προβλήματα ως προς την υλοποίηση του. Τα περισσότερα προβλήματα ξεπεράστηκαν, ιδιαίτερα εκείνα που αφορούσαν το σχεδιασμό και την πληρότητα των στοιχείων για μια πιο αξιόπιστη ερμηνεία (π.χ. οι βαρυτικές μετρήσεις). Υπήρξαν όμως και προβλήματα που ανέκυψαν από ενδογενείς αδυναμίες των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν. Η σεισμική μέθοδος π.χ., παρόλο που σχεδιάστηκε με προσοχή για να αποδώσει τα «μέγιστα» για την απόκτηση γεω-πληροφοριών που θα μπορούσε κανείς να πάρει, δεν απέδωσε τα αναμενόμενα, διότι η υπόγεια δομή έδρασε ως ισχυρό φίλτρο και μικρό ποσό ενέργειας διείσδυσε βαθύτερα, με αποτέλεσμα να μη ληφθούν εκείνες οι καταγραφές (φάσεις) που θα μας οδηγούσαν στη διερεύνηση της βαθύτερης δομής.

Πέραν των δυσκολιών που προέκυψαν και τη συγκρατημένη αισιοδοξία ως προς την «ποσότητα» των πληροφοριών που αποκτήθηκαν, πιστεύουμε ότι το πείραμα αυτό έχει αποδώσει καρπούς και θα ρίξει φως στη σεισμο-τεκτονική δομή της περιοχής που ερευνήθηκε.

2. Βαρυτικές Μετρήσεις

Οι βαρυτομετρικές παρατηρήσεις έγιναν με το βαρυτόμετρο LaCoste & Romberg τύπου G-496. Όλες οι μετρήσεις βαρύτητας αναφέρονται στον IGSN' 71 σταθμό του Πανεπιστημίου Αθηνών με απόλυτη τιμή βαρύτητας 9.800.099,65 gu (HIPKIN, R.G., et al., 1988).

Στο Παράρτημα I έχουν καταχωρηθεί οι βαρυτικές μετρήσεις υπαίθρου που έχουν ληφθεί σε δύο φάσεις, στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος. Συνολικά, έχουν διεξαχθεί 338 βαρυτικές μετρήσεις κατά μήκος οκτώ (8) βαρυτικών τομών (βλ. συνημμένο Χάρτη Γενικής Πληροφόρησης). Οι βαρυτικές τομές διεξήχθησαν κατά μήκος αξόνων που επιλέχθηκαν για να διερευνήσουν τη βαθύτερη δομή σε περιοχές που παρουσιάζουν ιδιαίτερο τεκτονικο-γεωλογικό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, οι βαρυτικές τομές 1 και 2, οι οποίες είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους και απέχουν ένα χιλιόμετρο περίπου, διεξήχθησαν στην περιοχή Πετρούπολης, Άνω Λιοσίων, Μενιδίου και Θρακομακεδόνων, για τη διερεύνηση κυρίως των

ρηξιγενών ζωνών Καματερού και Μενιδίου. Η βαρυντική τομή 7 διεξήχθη για τη διερεύνηση της ρηξιγενοῦς ζώνης του Κηφισού. Οι βαρυντικές τομές 3 και 4, οι οποίες είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους και απέχουν ένα περίπου χιλιόμετρο, διεξήχθησαν στην περιοχή Ασπροπύργου και Φυλής, για τη διερεύνηση της ρηξιγενοῦς ζώνης του Θριασίου. Οι βαρυντικές τομές 5 και 6, οι οποίες είναι οι πιο επιμήκεις τομές, έχουν διεξαχθεί για τη διερεύνηση της βαθειάς δομής στις περιοχές μεταξύ Μάνδρας, Μαγούλας, Ασπροπύργου και Φυλής (βαρυντική τομή 5) και μεταξύ Πάρνηθας, Κρυονερίου, Δροσιάς και Διονύσου (βαρυντική τομή 6). Η βαρυντική τομή 8 διεξήχθη παράλληλα προς τις βαρυντικές τομές 3 και 4 και κατά μήκος της σεισμικής τομής 1. Οι βαρυντικές τομές 1, 2, 3, 4, 6, 7 και 8 έχουν χαραχθεί σε διεύθυνση περίπου κάθετα προς τις ρηξιγενείς ζώνες που στοχεύουν να διερευνηθούν. Η βαρυντική τομή 5 έχει διεξαχθεί υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση της κύριας ρηξιγενοῦς ζώνης του Θριασίου. Επιλέχθηκε η διεύθυνση αυτή για να ικανοποιηθεί αφενός το μεγάλο μήκος που απαιτείται για τη διερεύνηση της βαθειάς δομής και να αποφευχθεί το έντονο ανάγλυφο του ορεινού όγκου της Πάρνηθας, αφετέρου.

3. Μετρήσεις GPS

Ο προσδιορισμός της θέσης (των συντεταγμένων) των σημείων μέτρησης του πεδίου βαρύτητας καθώς και το υψόμετρο αυτών, έγινε με γεωδαιτικούς δέκτες GPS της Leica τύπου SR299, εφαρμόζοντας την τεχνική των διαφορικών μετρήσεων GPS, με την οποία είναι δυνατόν να επιτευχθεί ακρίβεια μερικών χιλιοστών του μέτρου.

Όλα τα υψόμετρα των βαρυντικών σταθμών εκτιμήθηκαν με GPS δέκτη (SR299), ο οποίος λειτουργούσε ταυτόχρονα με έτερον αντίστοιχο δέκτη, εγκατεστημένο στο σταθμό αναφοράς στη στέγη του κτηρίου τεχνικών υπηρεσιών του δήμου Άνω Λιοσίων. Ο σταθμός αυτός είχε «δεθεί» με τριγωνομετρικό σημείο της ΓΥΣ και αναφέρεται στο ελληνικό γεωδαιτικό δίκτυο ΕΓΣΑ. Στη συνέχεια ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των βαρυντικών σταθμών έγινε με βάση το λογισμικό SKI Pro της Leica.

Η υλοποίηση τοποθέτησης των σειсмоγράφων των σεισμικών τομών επετεύχθη με την χρησιμοποίηση συσκευής GPS χειρός. Η ακριβής όμως θέση κάθε σειсмоγράφου επετεύχθη με τη χρήση του συστήματος GPS που υπάρχει σε κάθε σειсмоγράφο.

Στο Παράρτημα Ι έχουν καταχωρηθεί ο αύξων αριθμός των σημείων μέτρησης κάθε βαρυντικής τομής, ο χρόνος λήψης της μέτρησης (ημερομηνία, ώρα, λεπτό) οι συντεταγμένες σε μοίρες, το υψόμετρο κάθε σημείου μέτρησης, η διαφορά από τον χρόνο Greenwich, η τιμή ανάγνωσης του οργάνου και ο συντελεστής τοπογραφικής διόρθωσης.

Στο Παράρτημα V έχουν καταχωρηθεί ο αύξων αριθμός των σειсмоγράφων και των σημείων των σεισμικών πηγών (εκρήξεων) κάθε σεισμικής τομής, οι συντεταγμένες σε μοίρες και χιλιόμετρα καθώς και το υψόμετρο κάθε θέσης.

4. Σεισμικές διασκοπήσεις

Εκτελέστηκαν συνολικά τρεις σεισμικές τομές (βλ. συνημμένο Χάρτη Γενικής Πληροφόρησης), ενώ ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε δύο. Η επί πλέον σεισμική τομή 2 κρίθηκε απαραίτητη για τη διερεύνηση της δομής του Θριασίου πεδίου αφενός

και για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της σεισμικής τομής 1, αφετέρου. Στη διάθεση της ερευνητικής ομάδας υπήρχαν 41 σειсмоγράφοι και σεισμόμετρα:

Οι εργασίες υπαίθρου διεξήχθησαν κατά το χρονικό διάστημα 26 Νοεμβρίου έως 14 Δεκεμβρίου 2001.

Για την επεξεργασία των σεισμικών καταγραφών και την εν συνεχεία ερμηνεία αυτών, χρησιμοποιήθηκαν δύο κυρίως μοντέρνες τεχνικές (αλγόριθμοι), πέραν των συμβατικών μεθόδων ανάλυσης σεισμικών καταγραφών. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι, α) των «ελαχίστων διαδρομών» (SPR, Shortest Path Ray-tracing) των J.Zhang και N.Toksoz (1998) και β) της τεχνικής της «προσομοίωσης της σεισμικής τροχιάς» (Ray-tracing modeling) (Zelt and Smith 1992). Οι δύο αυτοί αλγόριθμοι δίδουν παραπλήσια αποτελέσματα.

Ειδικότερα, τα στοιχεία των τριών αυτών σεισμικών τομών είναι τα ακόλουθα:

4.1 Σεισμική Τομή 1

Το μήκος της σεισμικής τομής είναι περίπου 10 χλμ. (βλ. συνημμένο Χάρτη Γενικής Πληροφόρησης). Εκτελέστηκαν 5 εκρήξεις σε προκαθορισμένες θέσεις, μια στη μέση της τομής (μεσαία έκρηξη), ανά μια στα άκρα αυτής (κανονική έκρηξη στο νότιο άκρο της και αντίστροφη έκρηξη στο βόρειο άκρο της), μια μακρινή στην επέκταση και νότια της κανονικής έκρηξης (έκρηξη εκτός γραμμής 1) και μία μακρινή στην επέκταση και βόρεια της αντίστροφης έκρηξης (έκρηξη εκτός γραμμής 2). Όλες οι εκρήξεις έγιναν σε γεωτρήσεις βάθους 45 μέτρων. Ως εκρηκτική ύλη χρησιμοποιήθηκε ζελατινοδυναμίτιδα 30% και η ποσότητα καθορίστηκε από τη θέση της έκρηξης σχετικά με το ανάπτυγμα της σεισμικής τομής (κυμάνθηκε μεταξύ 75-175 κιλών).

Οι σεισμικές καταγραφές παρουσίασαν γενικά αρκετό θόρυβο και η ανάγνωση αργοπορημένων αφίξεων (π.χ. ανακλάσεων από βαθύτερες ασυνέχειες) δεν ήταν εφικτή. Ιδιαίτερα, η έκρηξη εκτός γραμμής 1 απέτυχε να δώσει κάποια πληροφορία ακόμα και για την ανάγνωση των πρώτων κυματικών αφίξεων. Γενικά, έχουν ληφθεί μέτριας ποιότητας πρώτες αφίξεις, οι οποίες έδωσαν πληροφορίες για τα επιφανειακά κυρίως στρώματα. Εκτιμάται ότι το βάθος έρευνας δεν υπερέβη τα 2 χιλιόμετρα και αυτό προέκυψε για τρεις λόγους, α) η παρουσία του ασβεστολίθου σε μικρό σχετικά βάθος έδρασε ως ισχυρός διαθλαστήρας/ανακλαστήρας και μικρό ποσοστό ενέργειας διείσδυσε σε μεγαλύτερα βάθη, β) στη μικρή σχετικά ποσότητα εκρηκτικής ύλης που χρησιμοποιήθηκε και γ) στη διενέργεια των εκρήξεων μέσα σε ασβεστολιθικό υλικό, όπου η προϋπάρχουσα καρστική δομή του απορρόφησε ενέργεια, με αποτέλεσμα η κοιλότητα που δημιουργήθηκε να δράσει ανελαστικά και ένα σχετικά μικρό τμήμα της εκλυθείσας ενέργειας να διαδοθεί ως παραμόρφωση ελαστική. Στο Παράρτημα IV παρουσιάζονται οι σεισμικές καταγραφές και στο Παράρτημα V οι χρόνοι διαδρομής για κάθε έκρηξη της σεισμικής τομής.

4.2 Σεισμική Τομή 2

Το μήκος της σεισμικής αυτής τομής είναι περίπου 10 χλμ. (βλ. συνημμένο Χάρτη Γενικής Πληροφόρησης). Εκτελέστηκαν 4 εκρήξεις σε προκαθορισμένες θέσεις, μια στη μέση της τομής (μεσαία έκρηξη), ανά μια στα άκρα αυτής (κανονική έκρηξη στο δυτικό άκρο της και αντίστροφη έκρηξη στο ανατολικό άκρο της), μια μακρινή στην επέκταση και δυτικά της κανονικής έκρηξης (εκτός γραμμής έκρηξη). Όλες οι

εκρήξεις έγιναν σε γεωτρήσεις βάθους 45 μέτρων. Ως εκρηκτική ύλη χρησιμοποιήθηκε ζελατινοδυναμίτιδα 30% και η ποσότητα καθορίστηκε από τη θέση της έκρηξης σχετικά με το ανάπτυγμα των σεισμομέτρων (κυμάνθηκε μεταξύ 50-175 κιλών).

Οι σεισμικές καταγραφές παρουσίασαν επίσης θόρυβο και η ανάλυση θα προχωρήσει λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τις πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων. Στο Παράρτημα IV παρουσιάζονται οι σεισμικές καταγραφές και στο Παράρτημα V οι χρόνοι διαδρομής για κάθε έκρηξη της σεισμικής τομής.

4.3 Σεισμική Τομή 3

Το μήκος της σεισμικής αυτής τομής είναι περίπου 10 χλμ. (βλ. συνημμένο Χάρτη Γενικής Πληροφόρησης). Εκτελέστηκαν 3 εκρήξεις σε προκαθορισμένες θέσεις, μια στη μέση της τομής (μεσαία έκρηξη) και ανά μια στα άκρα αυτής (κανονική έκρηξη στο βορειοδυτικό άκρο της και αντίστροφη έκρηξη στο νοτιοανατολικό άκρο της). Όλες οι εκρήξεις έγιναν σε γεωτρήσεις βάθους 45 μέτρων. Ως εκρηκτική ύλη χρησιμοποιήθηκε ζελατινοδυναμίτιδα 30% και η ποσότητα καθορίστηκε από τη θέση της έκρηξης σχετικά με το ανάπτυγμα των σεισμομέτρων (κυμάνθηκε μεταξύ 60-140 κιλών).

Οι σεισμικές καταγραφές είναι σχετικά καθαρές με λίγο θόρυβο, αλλά δεν εντοπίστηκαν αργοπορημένες αφίξεις (π.χ. ανακλάσεις) για τη διερεύνηση της βαθύτερης δομής. Παρόλο που δεν παρατηρήθηκαν τα ίδια φαινόμενα με εκείνα στους ασβεστολίθους, εν τούτοις η καταγραφή σεισμικών φάσεων από βαθύτερους ορίζοντες δεν ήταν εφικτή. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μικρή ποσότητα της εκρηκτικής ύλης και στη μεγάλη απορρόφηση ενέργειας των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών. Στο Παράρτημα IV παρουσιάζονται οι σεισμικές καταγραφές και στο Παράρτημα V οι χρόνοι διαδρομής για κάθε έκρηξη της σεισμικής τομής.

5. Γεωλογική – τεκτονική ερμηνεία των βαρυτικών και των σεισμικών τομών

Όπως προαναφέρθηκε και παρουσιάστηκε αναλυτικά, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 8 βαρυτικές και 3 σεισμικές τομές στις λεκάνες των Αθηνών και του Θριάσιου.

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τις προαναφερθείσες γεωφυσικές διασκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν, κατέστη δυνατόν να προσδιοριστεί το πάχος των μεταλλικών αποθέσεων στις λεκάνες των Αθηνών και του Θριάσιου πεδίου. Ορισμένα χαρακτηριστικά πάχη είναι σημειωμένα στον χάρτη Γενικής Πληροφόρησης.

Ακολούθως θα παρουσιαστούν οι γεωλογικές παρατηρήσεις και ερμηνείες για κάθε λεκάνη ξεχωριστά.

5.1 Θριάσιο Πεδίο

Από την παρατήρηση και μελέτη του χάρτη, είναι σαφές ότι τα μεγαλύτερα πάχη (>250 m) των μεταλλικών αποθέσεων απαντούν στην περιοχή Κάμπος που βρίσκεται βόρεια του Ασπροπύργου και μεταξύ των ρεμάτων Γιαννούλα και Ανώνυμου. Το

ανάγλυφο σε αυτή την περιοχή είναι ομαλό και κυμαίνεται μεταξύ 80 και 40 μέτρων μειώνεται δε από τα ΒΑ προς τα ΝΑ. Τα μεγαλύτερα πάχη δε, εντοπίστηκαν κοντά στις κοίτες των δύο ρεμάτων και όχι στην ενδιάμεση περιοχή. Πιο συγκεκριμένα το μεγαλύτερο πάχος (285 m) εντοπίστηκε στο σημείο 325 της βαρυτικής τομής 3 πολύ κοντά στην εμφάνιση του αλπικού υποβάθρου στην επιφάνεια και κοντά στο νότιο περιθώριο της Πάρνηθας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μετάβαση από μικρότερα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων σε μεγαλύτερα, συνήθως δεν είναι σταδιακή, αλλά απότομη. Αυτές οι απότομες μεταβολές στα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων οφείλονται στη μορφή του παλαιοαναγλύφου του αλπικού υποβάθρου πάνω στο οποίο έχουν αποθεθεί, αλλά και σε ρήγματα που διαμόρφωσαν τη λεκάνη. Επομένως, το πάχος αυτών των αποθέσεων μπορεί να μεταφραστεί σε απόλυτο υψόμετρο, στο οποίο βρίσκεται σήμερα το αλπικό υπόβαθρο, οι δε απότομες μεταβολές του υψόμετρου πρέπει να αντιστοιχούν σε ρήγματα που μεταθέτουν το αλπικό υπόβαθρο.

Πιο συγκεκριμένα, στις τρεις βαρυτικές τομές (3, 4 και 8) εντοπίζεται σαφώς το περιθωριακό ρήγμα της λεκάνης του Θριάσιου, η διεύθυνση του οποίου είναι ΒΔ-ΝΑ, το δε άλμα του φαίνεται ότι αυξάνει από τα ανατολικά (120 m) προς τα δυτικά (200 m) και κατεβαίνει το νότιο τέμαχος (πρέπει να σημειωθεί ότι στα πλαίσια αυτής της αυτής μελέτης όταν αναφερόμαστε σε άλμα ρήγματος εννοούμε τη μετατόπιση της επιφάνειας του αλπικού υποβάθρου πάνω στο οποίο έχουν αποθεθεί οι μεταλλικές αποθέσεις). Η ίδια φορά μεταβολής του άλματος είχε σημειωθεί και από τους MARIOLAKOS & FOUNTOULIS (2000). Στις ίδιες βαρυτικές τομές φαίνεται η παρουσία ενός αντιθετικού ρήγματος ως προς το προαναφερθέν. Δηλαδή, ο χώρος μεταξύ των δύο αυτών ρηγμάτων είναι ένα βύθισμα παράλληλο με τη ρηξιγενή ζώνη του Θριάσιου.

Από την κατανομή των παχών των μεταλλικών αποθέσεων εκατέρωθεν του ρέματος Γιαννούλα είναι σαφές ότι μεταξύ των βαρυτικών τομών 3 και 4 και περίπου παράλληλα με την κοίτη του ρέματος πρέπει να υπάρχει ρηξιγενής ζώνη που μεταθέτει το αλπικό υπόβαθρο σε χαμηλότερα υψόμετρα στα δυτικά σε σχέση με αυτά της περιοχής που βρίσκεται ανατολικά. Το άλμα δεν είναι σταθερό σε όλο το μήκος αυτής της ρηξιγενούς ζώνης, αλλά μεταβάλλεται δεδομένου ότι δημιουργούνται μικρότερης τάξης βυθίσματα και κέρατα εγκάρσια στη ρηξιγενή ζώνη.

Κάτι ανάλογο και παράλληλο με αυτό που περιγράφηκε προηγουμένως πρέπει να υπάρχει και στην περιοχή μεταξύ των βαρυτικών τομών 4 και 8 και μεταξύ των σταθμών 411 και 422 της βαρυτικής τομής 4.

Από τη μεταβολή του πάχους των αποθέσεων μεταξύ των σημείων 518 και 519 της βαρυτικής τομής 5 και της σεισμικής τομής 2 (σεισμικός δέκτης Νο 14) φαίνεται ότι διέρχεται ρήγμα διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ, παράλληλο με αυτό του Γιαννούλα που πρέπει να καθορίζει τη διεύθυνση της κοίτης του Ανώνυμου ρέματος.

5.2 Λεκανοπέδιο Αθηνών

Οι ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στη λεκάνη των Αθηνών επικεντρώθηκαν στην περιοχή όπου καταγράφηκαν και οι περισσότερες καταστροφές, δηλαδή στην περιοχή που βρίσκεται δυτικά της κοίτης του Κηφισού ποταμού. Ως προς την προς βορρά έκταση των ερευνητικών εργασιών έγιναν από το “ύψος” της Πετρούπολης μέχρι βόρεια βορειοδυτικά της Βαρυμπόμπης και του Τατοΐου όπου απαντά το αλπικό υπόβαθρο.

Από την παρατήρηση και μελέτη του χάρτη, είναι σαφές ότι τα μεγαλύτερα πάχη (>600 m) των μεταλλικών αποθέσεων απαντούν στην περιοχή μεταξύ Θρακομακεδόνων Τατοΐου και Κρουονερίου. Τα μεγαλύτερα πάχη εντοπίστηκαν κοντά στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης στην περιοχή των Θρακομακεδόνων καθώς και στην περιοχή μεταξύ Κρουονερίου και της Δροσιάς κοντά στον Κηφισό ποταμό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μετάβαση από μικρότερα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων σε μεγαλύτερα, συνήθως δεν είναι σταδιακή, αλλά απότομη. Αυτές οι απότομες μεταβολές στα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων οφείλονται στη μορφή του παλαιοαναγλύφου του αλπικού υποβάθρου πάνω στο οποίο έχουν αποθεθεί, αλλά και σε ρήγματα που διαμόρφωσαν τη λεκάνη. Επομένως, το πάχος αυτών των αποθέσεων μπορεί να μεταφραστεί σε απόλυτο υψόμετρο, στο οποίο βρίσκεται σήμερα το αλπικό υπόβαθρο, οι δε απότομες μεταβολές του υψομέτρου πρέπει να αντιστοιχούν σε ρήγματα που μεταθέτουν το αλπικό υπόβαθρο.

Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ των δύο βαρυτικών τομών (1 και 2) και στην περιοχή βόρεια των Άνω Λιοσίων – Αχαρνών, εντοπίζεται σαφώς η περιθωριακή ρηξιγενής ζώνη της λεκάνης του Λεκανοπεδίου Αθηνών με την Πάρνηθα, η διεύθυνση της οποίας είναι ΒΑ-ΝΔ, το δε άλμα του φαίνεται ότι αυξάνει από τα νοτιοδυτικά (150 m) προς τα βορειοανατολικά (600 m) και κατεβαίνει το ανατολικό τέμαχος. Η ίδια φορά μεταβολής του άλματος είχε σημειωθεί και από τους MARIOLAKOS & FOUNTOULIS (2000).

Στο νότιο τμήμα των ίδιων βαρυτικών τομών στην περιοχή Πετρούπολης-Ιλίου-Καματερού φαίνεται η παρουσία ενός ρήγματος με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ παράλληλο με το περιθωριακό ρήγμα του Αιγάλεω με κατερχόμενο όμως το δυτικό τέμαχος. Δηλαδή, ο χώρος μεταξύ των δύο αυτών ρηγμάτων είναι ένα βύθισμα παράλληλο με τη ρηξιγενή ζώνη του Αιγάλεω. Τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων σε αυτή την περιοχή είναι σαφώς μικρότερα από την περιοχή των Θρακομακεδόνων και κυμαίνονται γύρω στα 200 με 250 μέτρα.

Μετατοπίσεις του αλπικού υποβάθρου από ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης ρήγματα που είναι εγκάρσια στις περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες του Αιγάλεω και της Πάρνηθας εντοπίζονται και στις δύο προαναφερθείσες τομές.

Στην βαρυτική τομή 7 και δυτικά της κοίτης του Κηφισού παρατηρείται απότομη αύξηση του πάχους των μεταλλικών αποθέσεων από 180 ανατολικά σε 400 μέτρα δυτικά και ακολούθως στην περιοχή Αχαρνών σε 250 μέτρα. Δηλαδή στο χώρο αυτό δημιουργείται ένα βύθισμα.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν στην αξιολόγηση των βαρυτικών τομών 1, 2 και 7 αλλά και με βάση τις μορφολογικές παρατηρήσεις των MARIOLAKOS & FOUNTOULIS 2000, στα ανατολικά πρηνή της Πάρνηθας στην περιοχή μεταξύ Άνω Λιοσίων και Θρακομακεδόνων, θα πρέπει να υπάρχει ρηξιγενής ζώνη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης παράλληλη προς αυτή που εντοπίστηκε μεταξύ των βαρυτικών τομών 1 και 2 στην περιοχή που καλύπτεται από μεταλλικές αποθέσεις και βρίσκεται μεταξύ του ορεινού όγκου της Πάρνηθας και της τομής 2.

Από την βαρυτική τομή 6 που έγινε μεταξύ Πεντέλης και Πάρνηθας με βάση τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων, φαίνεται η παρουσία μιας σειράς βυθισμάτων και κεράτων με μέση διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. η πιο χαρακτηριστική περιοχή είναι αυτή μεταξύ Κρουονερίου και Δροσιάς όπου το πάχος φαίνεται σαφώς να υπερβαίνει τα 500 m. Πιο συγκεκριμένα δυτικά της Δροσιάς φαίνεται μία απότομη αύξηση του πάχους των αποθέσεων σε 150 m, η οποία στην περιοχή της κοίτης του Κηφισού γίνεται 400

m και ακόμη δυτικότερα αυξάνει ακόμα. Αυτές οι απότομες μεταβολές των παχών θα πρέπει να αποδοθούν στην παρουσία ρηξιγενών ζωνών, η διεύθυνση των οποίων δεν εύκολο να προσδιοριστεί από μία τομή μόνο.

Εξάλλου από τη σεισμική τομή 3 στις ίδιες περιοχές εντοπίζονται σαφείς απότομες μετατοπίσεις του υποβάθρου όπου το πάχος των μεταλλικών αποθέσεων δυτικά της κοίτης του Κηφισού είναι της τάξης των 1.000 μέτρων.

6. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα θα μπορούσε κανείς να κάνει τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- i. Τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων διαφέρουν σαφώς στις δύο λεκάνες. Στο μεν Θριάσιο δεν υπερβαίνουν τα 300 m (285 m) στο δε λεκανοπέδιο των Αθηνών φθάνουν και ίσως υπερβαίνουν τα 1.000 m.
- ii. Και στις δύο λεκάνες παρατηρούνται μικρότερης τάξης βυθίσματα και κέρατα μέσης διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΒΑ-ΝΔ.
- iii. Οι ρηξιγενείς ζώνες και τα ρήγματα στο μεγαλύτερο βαθμό είναι καλυμμένα από ολοκαινικές και πλειστοκαινικές αποθέσεις κάτι που κάνει πολύ δύσκολη την αναγνώρισή τους στο ύπαιθρο.
- iv. Στις βαρυτικές τομές 6 και 7 και στη σεισμική τομή 3 φαίνεται καθαρά ότι η σημερινή κοίτη του Κηφισού αναπτύσσεται παράλληλα σε μία μεγάλη ρηξιγενή δομή.

7. Αποτίμηση του ερευνητικού έργου - Παραδοτέα προϊόντα

Το ερευνητικό πρόγραμμα στόχο είχε τη διερεύνηση της βαθιάς δομής στις λεκάνες του Θριάσιου πεδίου και του δυτικού και βόρειου τμήματος του λεκανοπεδίου των Αθηνών. Ο στόχος αυτός επετεύχθη αλλά με ορισμένες τροποποιήσεις του αρχικού σχεδιασμού, που προέκυψαν κατά την πορεία υλοποίησης του προγράμματος. Όλες οι τροποποιήσεις που προτάθηκαν κατά το πρώτο στάδιο από την ερευνητική ομάδα, έτυχαν της αποδοχής της επιτροπής παρακολούθησης του έργου. Οι κύριες τροποποιήσεις που κρίθηκαν απαραίτητες προκειμένου να υλοποιηθεί το πρόγραμμα απρόσκοπτα και να ληφθούν πλέον χρήσιμα και αξιοποιήσιμα στοιχεία, ήταν οι εξής:

- Το μήκος των σεισμικών γραμμών περιορίστηκε από 30-40 km σε 10 km και μειώθηκε το βάθος έρευνας. Η μείωση του μήκους των σεισμικών γραμμών υιοθετήθηκε, ως συνέπεια της λεπτομερούς γεωλογικής θεώρησης της περιοχής έρευνας και της διαπίστωσης ότι το πάχος των μεταλλικών σχηματισμών στην περιοχή ανατολικά της Πάρνηθας (Θρακομακεδόνες, Τατόι) είναι αφενός πολύ μεγάλο και οι φυσικές ιδιότητες των αλπικών (πυκνότητα, σεισμική ταχύτητα, κ.α.) δεν διαφέρουν κατά πολύ, ώστε να είναι δυνατή η ανίχνευση μεταπτώσεων σε βάθος, με τη εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων. Έτσι, το πρόβλημα ουσιαστικά μετατοπίστηκε στο να προσδιορισθεί το όριο του αλπικού υποβάθρου με τις μεταλλικές αποθέσεις.
- Εκτελέστηκαν τρεις (3) σεισμικές γραμμές, ενώ ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε δύο. Κρίθηκε απαραίτητη η εκτέλεση της σεισμικής γραμμής 2, η οποία έχει προσανατολισμό Α-Δ και τέμνει τη σεισμική γραμμή 1. Η

εκτέλεση της σεισμικής γραμμής 2 προέκυψε από την αναγκαιότητα, α) ελέγχου ρηξιγενών ζωνών ή μεταπτώσεων διεύθυνσης B-N στο Θριάσιο πεδίο και β) ελέγχου των αποτελεσμάτων των σεισμικών γραμμών 1 και 2 στο σημείο τομής τους.

- Οι βαρυτικές μετρήσεις αρχικά είχαν σχεδιασθεί να γίνουν παράλληλα προς τις σεισμικές γραμμές. Πράγματι, εκτελέστηκαν οι βαρυτικές τομές 5, 6, και 8 σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό και επί πλέον οι βαρυτικές τομές 1, 2, 3, 4 και 7 στις περιοχές του Θριάσιου και κατά μήκος του άξονα Πετρούπολης-Μενιδίου-Θρακομακεδόνων. Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε την πύκνωση των σταθμών για την βελτίωση του υπάρχοντος χάρτη βαρυτικών ανωμαλιών (LAGIOS et al., 1994). Κρίθηκε αναγκαία η εκτέλεση βαρυτικών μετρήσεων υπό μορφή τομών για τον καλύτερο προσδιορισμό των ρηξιγενών ζωνών ή μεταπτώσεων, ιδιαίτερα στην περιοχή Πετρούπολης – Θρακομακεδόνων για τον εντοπισμό των ρηξιγενών ζωνών Καματερού, Μενιδίου, Θρακομακεδόνων, κ.α.

Σύμφωνα με τα παραδοτέα προϊόντα που αναφέρονται στη Σύμβαση και λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει όλα τα προϊόντα που τελικά υλοποιήθηκαν και αναφέρονται παρακάτω:

- Αναλυτική περιγραφή των μεθοδολογιών που ακολουθήθηκαν.
- Λεπτομερής τροποποιημένος βαρυτικός χάρτης της περιοχής έρευνας.
- 1-Δ και 2-Δ δομές κατά μήκος των σεισμικών τομών.
- 2-Δ δομές κατά μήκος των βαρυτικών τομών.
- Συνδυασμένες γεωφυσικές και γεωλογικές τομές.

Συμπερασματικά, από την εξέταση όλων των στοιχείων (αποτελεσμάτων) που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη, προκύπτει ότι η συμβολή του παρόντος ερευνητικού έργου στο τομέα της Γεωλογίας-Σεισμολογίας ήταν σημαντική και μπορεί να συνοψισθεί στα παρακάτω:

- Το μεγάλο πάχος των μεταλλικών σχηματισμών ΒΑ των Θρακομακεδόνων (περίπου 1.000 μέτρων), που εντοπίστηκε κατά μήκος της σεισμικής τομής 3 και της βαρυτικής τομής 6, είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τη κατανόηση της γεωλογικής δομής της περιοχής και ιδιαίτερα της σημασίας της ρηξιγενούς ζώνης του Κηφισού.
- Η περιθωριακή ρηξιγενής ζώνη της λεκάνης του Λεκανοπεδίου Αθηνών με την Πάρνηθα, η διεύθυνση της οποίας είναι ΒΑ-ΝΔ, εντοπίστηκε με σαφήνεια και μάλιστα με μια αύξηση του άλματος από νοτιοδυτικά (150 m) προς τα βορειοανατολικά (600 m) με κατερχόμενο τμήμα το ανατολικό τέμαχος. Η ίδια φορά μεταβολής του άλματος είχε σημειωθεί και από τους MARIOLAKOS & FOUNTOULIS (2000).
- Στην περιοχή Πετρούπολης-Ιλίου-Καματερού φαίνεται η παρουσία ενός ρήγματος με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ παράλληλο με το περιθωριακό ρήγμα του Αιγάλεω, με κατερχόμενο το δυτικό τέμαχος. Ο χώρος μεταξύ των δύο αυτών ρηγμάτων είναι ένα βύθισμα παράλληλο με τη ρηξιγενή ζώνη του

Αιγάλεω. Τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων σε αυτή την περιοχή είναι γύρω στα 200 με 250 μέτρα.

- Στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου τα πάχη των μεταλλικών σχηματισμών που εντοπίστηκαν δεν υπερέβησαν τα 300 m (285 m). Τα μεγαλύτερα πάχη απαντούν στην περιοχή Κάμπος που βρίσκεται βόρεια του Ασπροπύργου και μεταξύ των ρεμάτων Γιαννούλα και Ανώνυμου.
- Το περιθωριακό ρήγμα της λεκάνης του Θριάσιου, η διεύθυνση του οποίου είναι ΒΔ-ΝΑ, εντοπίστηκε στις τρεις βαρυτικές τομές (3, 4 και 8) και το άλμα του φαίνεται ότι αυξάνει από τα ανατολικά (120 m) προς τα δυτικά (200 m) και κατεβαίνει το νότιο τέμαχος. Η ίδια φορά μεταβολής του άλματος είχε σημειωθεί και από τους MARIOLAKOS & FOUNTOULIS (2000).
- Μεταξύ των βαρυτικών τομών 3 και 4 και περίπου παράλληλα προς τη κοίτη του ρέματος Γιαννούλα, πρέπει να υπάρχει ρηξιγενής ζώνη που μεταθέτει το αλπικό υποβάθρο σε χαμηλότερα υψόμετρα στα δυτικά σε σχέση με αυτά της περιοχής που βρίσκεται ανατολικά.
- Εντοπίστηκαν και άλλες ρηξιγενείς ζώνες ή μεταπτώσεις στις περιοχές του Θριάσιου και στον άξονα Πετρούπολης-Θρακομακεδόνων, αλλά χρίζουν περαιτέρω διερεύνησης προκειμένου να καθορισθούν επακριβώς.

8. Προτάσεις

Στα πλαίσια του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί το πάχος των μεταλλικών αποθέσεων και από τη μεταβολή του πάχους να προσδιοριστούν τα καλυμμένα ρήγματα στις λεκάνες του Θριάσιου και των Αθηνών. Αυτό ως ένα βαθμό επιτεύχθηκε κυρίως κοντά στα περιθώρια των λεκανών και στις περιοχές που υπέστησαν τις μεγαλύτερες ζημιές κατά σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999. Ταυτόχρονα όμως έγινε φανερό ότι θα πρέπει να γίνουν τόσο βαρυτικές τομές όσο και σεισμικές διασκοπήσεις προκειμένου να συμπληρωθεί η “εικόνα” και στις δύο λεκάνες που συγκεντρώνεται το σημαντικότερο κομμάτι της οικονομικής δραστηριότητας της χώρας.

Είναι πολύ σημαντικό να ολοκληρωθεί η χαρτογράφηση των καλυμμένων ρηγμάτων του Θριάσιου πεδίου, στο οποίο υπάρχουν δύο πολύ μεγάλα διωλιστήρια (ΕΛΠΕ και ΠΕΤΡΟΛΑ) και τρεις οικιστικές μονάδες (ΕΛΕΥΣΙΝΑ, ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΣ, ΜΑΝΔΡΑ) με σημαντική συγκέντρωση πληθυσμού.

Όσον αφορά το λεκανοπέδιο είναι περιττό να αναφερθεί η πολύ μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού και οικονομικής δραστηριότητας, κάτι που κάνει επιτακτική την ανάγκη χαρτογράφησης των καλυμμένων ρηγμάτων.

Οι ερευνητικές εργασίες που θα μπορούσαν να γίνουν είναι βαρυτικές τομές σε συγκεκριμένες διευθύνσεις, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτύπωση σε χάρτη:

- i. του αναγλύφου του αλπικού υποβάθρου που είναι καλυμμένο με μεταλλικές αποθέσεις,
- ii. των ρηξιγενών ζωνών και των ρηγμάτων που είναι καλυμμένα από τις μεταλλικές αποθέσεις.

Με την εφαρμογή της μεθόδου σεισμικών ανάκλασης θα καταστεί δυνατή η επιβεβαίωση και καλύτερος εντοπισμός των ενταφιασμένων δομών καθώς μπορεί να μας δώσει στοιχεία σε μεγαλύτερο βάθος από ότι τα βαρυτικά. Επιπλέον πιστεύουμε ότι θα δοθεί η δυνατότητα να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ των μεταμορφωμένων και των αμεταμόρφωτων στην περιοχή του λεκανοπέδιου Αθηνών.

Όλα αυτά είναι στοιχεία τα οποία δεν έχουν μόνο θεωρητικό ενδιαφέρον αλλά κυρίως πρακτικό δεδομένου ότι θα μπορέσουν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την καλύτερη αντισεισμική θωράκιση του οικιστικού ιστού των Αθηνών.

Πέραν των προαναφερθέντων, και μετά τον καθορισμό των ρηξιτεμαχών, θα πρέπει οργανωθεί γεωδαιτικό δίκτυο (GPS) παρακολούθησης των κινήσεων (οριζόντιων και κατακόρυφων) των ρηξιτεμαχών.

Ταυτόχρονα θα πρέπει να γίνει ο νεοτεκτονικός χάρτης όχι μόνο στις σεισμόπληκτες περιοχές αλλά σε όλη την Αττική και τη Βοιωτία σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΟΑΣΠ διότι στα περιθώρια της Πάρνηθας (βόρεια, νότια και ανατολικά) εκτός των μεγάλων οδικών αξόνων βρίσκονται και τα δίκτυα ύδρευσης και αερίου που τροφοδοτούν την Αττική.