



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου βοθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM) σε λεκάνη ιζηματογένεσης: αρχαία Ελίκη, βόρεια Πελοπόννησος

Σαμψάκη Μαργαρίτα

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη

ΧΑΝΙΑ 2010

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE



BRANCH OF CHANIA



DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT
SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT
LAB OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY



THESIS

***Application of TEM geophysical method in depositional environment:
Ancient Helike, Northern Peloponnesus***

Sampsaki Margarita

supervisor

Dr. Despina Kalisperi

CHANIA 2010

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπουσα: Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα

Επιτροπή αξιολόγησης: Δρ. Σουπιός Παντελής

Δρ. Παπαδόπουλος Ηλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής. Ευχαριστώ καταρχήν την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα για την ανάθεση και την επίβλεψη αυτής της εργασίας καθώς και για τη σημαντική προσφορά στην υλοποίηση της, καθ' όλη τη διάρκεια αυτής. Χωρίς την υπομονή, την κατανόηση, τη μεταδοτικότητα και τη διάθεση της να μοιράζεται τις γνώσεις της η εργασία αυτή δε θα είχε φτάσει στην έγκαιρη ολοκλήρωσή της. Θερμές ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Σουπιό Παντελή για την παραχώρηση δεδομένων και χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή καθώς και στο Πανεπιστήμιο Πατρών για την παραχώρηση των δεδομένων των γεωτρήσεων. Επίσης θερμές ευχαριστίες οφείλω στους φίλους μου και την οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν στη διάρκεια της προσπάθειας μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωφυσική μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (διεθνώς γνωστή ως TEM) εφαρμόστηκε σε ιζηματογενή λεκάνη στην περιοχή της Αρχαίας Ελίκης (κοιλιάδα του δέλτα του ποταμού Σελινούντα) στη βόρεια Πελοπόννησο, ώστε να οριστεί η χωρική κατανομή των φακών του κροκαλοπαγούς, των παλαιοκοιτών και να γίνει αναγνώριση του προσχωσιγενούς υλικού, σε βάθος έως 35 μέτρα. Το πανεπιστήμιο Πατρών εκτέλεσε γεωτρήσεις (Eijkelkamp percussion corer) στη περιοχή για τον διαχωρισμό του λεπτόκοκκου και αδρόκοκκου προσχωσιγενούς υλικού. Τα αποτελέσματα τις ερμηνείας έδειξαν ότι τα αδρόκοκκα υλικά, συνιστώμενα κυρίως από χαλίκια-κροκαλοπαγές, αποτελούν τις παλαιοκοίτες. Γενικά, η ιζηματολογική και γεωφυσική προσέγγιση, σε συνδυασμό με τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα της περιοχής, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την εξέλιξη, υπόσταση και γεωμετρία των παλαιοκοιτών της κοιλιάδας του ποταμού Σελινούντα και του παλαιο-περιβάλλοντος της περιοχής της Αρχαίας Ελίκης.

ABSTRACT

The Time-Domain Electromagnetic technique, (TEM) was applied in Ancient Helike, Northern Peloponnesus, in order to define the spatial distribution of lenses of conglomerates, palaeochannels and fine grained sedimentary material to be recognised, at a depth up to 35m. Fine and coarse grained lithofacies and depositional environments were distinguished in Selinous River delta plain, from sediment cores using an Eijkelkamp percussion corer with barrel windows, applied by the University of Patra. The coarse grained lithofacies consists of pebble - conglomerates and were interpreted as paleochannels. Both the sedimentological and geophysical approaches, in combination with the available geological and geomorphological data of the area, can provide information about the evolution, existence and the geometry of paleochannels of the Selinous River flood plain, and the paleoenvironment of the area of the ancient Helike.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	10
1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ- ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	10
1.2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ- ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	12
1.2.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	14
1.2.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ	14
1.2.5 ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	16
1.2.6 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	16
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	18
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	18
2.2 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	24
3.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
3.1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
3.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ TEM	24
3.1.3 TEM FAST 48	30
3.2 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	34
4.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	34
4.1.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	34
4.1.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	36
4.1.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΦΙΛ	37
4.2 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	41
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	41
5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	41
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην περιοχή Αιγιαλείας της Βορείου Πελοποννήσου εκβάλλουν στον Κορινθιακό κόλπο από ανατολικά προς τα δυτικά οι ποταμοί Κράθις, Λαδοπόταμος, Βουραϊκός, Κερυνίτης, Σελινούντας, Μεγανίτας και Φοίνικας. Οι ποταμοί αυτοί σχηματίζουν με τις αποθέσεις τους δέλτα στην παράκτια ζώνη. Στο δέλτα των ποταμών Σελινούντα και Κερυνίτη, βρίσκεται η περιοχή της Ελίκης. Το χειμώνα του 373 π.Χ., σύμφωνα με τους ιστορικούς και τις εκτιμήσεις των αρχαιολόγων, η πόλη της Ελίκης καταστράφηκε ολοκληρωτικά από έναν πολύ ισχυρό σεισμό που έλαβε χώρα στην περιοχή. Ο σεισμός συνοδεύτηκε από μεγάλο παλιρροιακό κύμα (τσουνάμι) που κατέκλυσε την πόλη, ενώ όταν επήλθε ισορροπία της θάλασσας, τα ερείπια της πόλης βρισκόνταν πλέον σε μικρό βάθος κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Η Αρχαία Ελίκη ήταν η πρωτεύουσα της Αχαϊκής Κοινοπολιτείας.

Τα τελευταία 50 χρόνια Έλληνες επιστήμονες καθώς και επιστήμονες απ' όλο τον κόσμο προσπαθούν να ερμηνεύσουν τα αίτια καταστροφής και την τοποθεσία της Αρχαίας Ελίκης, θεωρώντας την «ερμηνεία του τσουνάμι» ως αίτιο καταστροφής σχεδόν απίθανο.

Η παλαιογραφική εξέλιξη της πεδιάδας του δέλτα θα μπορούσε να βοηθήσει στην αναγνώριση των μηχανισμών καταστροφής και στη γεωγραφική τοποθεσία της πόλης. Προκειμένου να γίνει αυτό, έγιναν ιζηματολογικές και γεωφυσικές αξιολογήσεις στην περιοχή. Τα ιζηματολογικά δεδομένα λήφθησαν από λεπτομερή περιγραφή διαφόρων γεωτρήσεων της περιοχής που έλαβαν χώρα από το Πανεπιστήμιο Πατρών, ενώ η γεωφυσική προσέγγιση πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM).

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ****1.1 Σκοπός διπλωματικής εργασίας**

Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής είναι η συμβολή στην κατανόηση της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης του δέλτα του ποταμού Σελινούντα (Αρχαία Ελίκη) κατά τη διάρκεια της Ολόκαινου εποχής (πιο σύγχρονη εποχή της γεωλογικής κλίμακας), εξετάζοντας τη γεωλογία του υπεδάφους της περιοχής με ιζηματολογικές (πληροφορίες από τις γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή) και γεωφυσικές μεθόδους. Μία πολύ λεπτομερής έρευνα έλαβε χώρα με τη χρήση της γεωφυσικής μεθόδου TEM, αφού ο στόχος (φακοί από κροκαλοπαγές) ήταν πολύ ρηχός και με οριακό μέγεθος.

1.2 Γενικές πληροφορίες της περιοχής μελέτης**1.2.1 Ιστορικές και αρχαιολογικές πληροφορίες περιοχής**

Όπως προαναφέρθηκε, κάποιοι επιστήμονες ισχυρίζονται ότι το 373 π.Χ. ισχυρός σεισμός και παλιρροϊκά κύματα κατέστρεψαν και εξαφάνισαν κάτω από τα νερά του Κορινθιακού κόλπου στην περιοχή της Αιγιαλείας τη σπουδαιότερη πόλη της αρχαίας Αχαΐας, την Ελίκη, κάτι που θεωρείται αμφιλεγόμενο. Από το ίδιο σεισμικό φαινόμενο πιστεύεται ότι καταστράφηκε και η γειτονική πόλη της Βούρας. Ενώ τα ερείπια της αρχαίας πόλης υπήρχαν στο βυθό, αργότερα, προσχώσεις των παρακείμενων ποταμών κάλυψαν τα ερείπια κάτω από ιζήματα. Πρόσφατες συστηματικές έρευνες ανατολικά του Αιγίου για τον εντοπισμό και την αποκάλυψη της αρχαίας Ελίκης έφεραν στο φως νέα σημαντικά στοιχεία σχετικά με την αρχαία πόλη και την ευρύτερη περιοχή της. Από γεωτρήσεις το 1993 εντοπίστηκαν αρχαιολογικές ενδείξεις με την ανακάλυψη σε δείγματα του υπεδάφους θραυσμάτων αρχαίων αγγείων και κεράμων των οποίων ο αριθμός αυξάνεται εντυπωσιακά τις επόμενες ερευνητικές περιόδους.



Εικόνα 1.1: Αρχαιολογικά ευρήματα από την περιοχή της αρχαίας Ελίκης (Αρχαία Ελίκη, visit achaia, 2010)

Το 2000 ειδικοί αρχαιολόγοι, επιχείρησαν για πρώτη φορά ανασκαφική διερεύνηση των στόχων που είχαν ανακαλύψει στην περιοχή με γεωλογικές και γεωφυσικές έρευνες, έχοντας εξαιρετική επιτυχία. Σε 7 από τις 10 πρώτες δοκιμαστικές τομές, ανακαλύφθηκαν αρχαία λείψανα και τάφοι διαφόρων χρονολογικών φάσεων από την προϊστορική περίοδο έως τα υστεροβυζαντινά χρόνια. Από τότε, οι συνεχείς έρευνες και ανασκαφές έφεραν στο φως ευρήματα εξαιρετικής σημασίας που φωτίζουν όχι μόνο το σεισμικό γεγονός με το οποίο καταστράφηκε η αρχαία πόλη τον 4ο αιώνα π.Χ. αλλά και όλη την ιστορία της ζωής στην περιοχή της Αρχαίας Ελίκης από την 3η χιλιετία π.Χ. μέχρι το 15ο αιώνα μ.Χ.

Οι ανασκαφές σήμερα πραγματοποιούνται σε τέσσερις ταυτόχρονα θέσεις σε μια ζώνη έκτασης περίπου 2 τετραγωνικών χιλιομέτρων μεταξύ των ποταμών Σελινούντα και Κερυνίτη. Στα Νικολαίικα και το Ριζόμυλο Διακοππού, όπου έχουν εντοπιστεί αρχαιότητες από τη δημιουργία της αρχαίας Ελίκης στη μυκηναϊκή περίοδο (14ος αιώνας π.Χ.) έως την καταστροφή της τον 4ο αιώνα π.Χ. και λείψανα της ακόμη παλαιότερης πόλης της 3ης χιλιετίας π.Χ. που σώζεται ανέπαφη σε βάθος 3-5 μ.



Εικόνα 1.2: Αρχαιολογικά ευρήματα από την περιοχή της αρχαίας Ελίκης (Αρχαία Ελίκη, visit achaia, 2010)

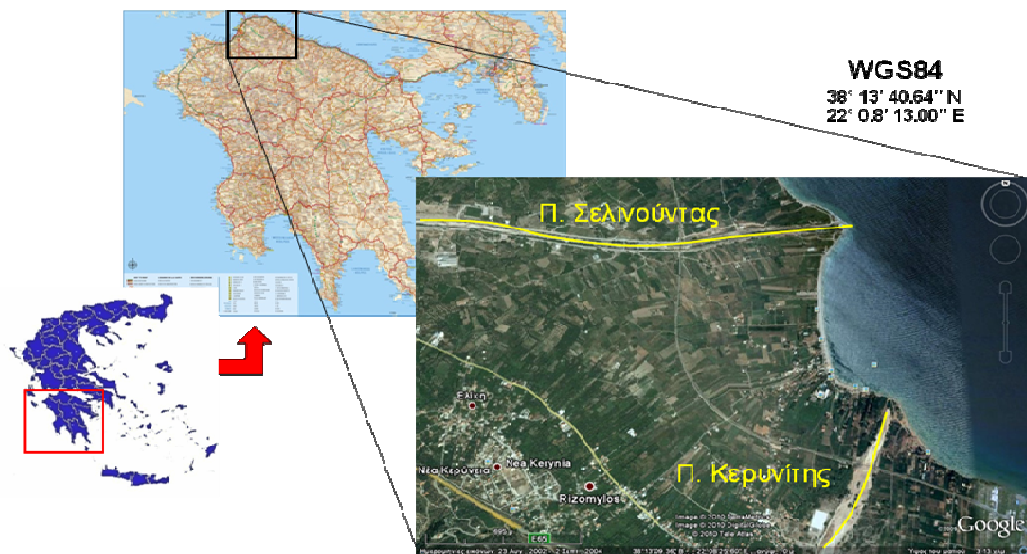
Τα αρχαιολογικά ευρήματα από τις έρευνες αποδεικνύουν ότι η περιοχή της Αρχαίας Ελίκης άκμασε ήδη από την πρώιμη εποχή του Χαλκού με πλούσιο πρωτο-αστικό κέντρο του 2500 π.Χ. από το 13ο έως τον 8ο αιώνα π.Χ. (Ριζόμυλος), συνέχισε να πρωταγωνιστεί στη Μυκηναϊκή και Γεωμετρική περίοδο από το 13ο έως τον 8ο αιώνα π.Χ. (Νικολαΐκα) μέχρι τους Αρχαϊκούς-Κλασικούς χρόνους 7ος- 4ος αι. π.Χ. (Νικολαΐκα- Ριζόμυλος) ενώ μετά την καταστροφή του 4ου αιώνα π.Χ. ανασυντάσσεται και παρουσιάζει νέα ακμή στους πρώιμους Ελληνιστικούς χρόνους 3ος- 2ος αι. π.Χ. (Ελίκη- Βαλιμίτικα) με συνέχεια ζωής και ως το τέλος της Ρωμαϊκής περιόδου 5ος αιώνας μ.Χ. (Ελίκη- Ριζόμυλος- Νικολαΐκα).

1.2.2 Γεωγραφικές πληροφορίες και πληθυσμός

Η Ελίκη, είναι ένα χωριό, που ανήκει στο νομό Αχαΐας και πιο συγκεκριμένα στο Δήμο Διακοπτού. Βρίσκεται 15 χλμ ανατολικά του Αιγίου, περίπου 45 χλμ ανατολικά της Πάτρας, δυτικά του Διακοπτού και βορειοδυτικά των Καλαβρύτων. Ο συνολικός πληθυσμός του Δήμου Διακοπτού είναι 7.073 κάτοικοι, με έκταση 103.932 στρέμματα. Ο πληθυσμός της Ελίκης σύμφωνα με έγκυρες πηγές, το 2001 ήταν 565 κάτοικοι.



Εικόνα 1.3: Χάρτης δήμων νομού Αχαιάς (Περιφέρεια δυτικής Ελλάδας, ditikiellada.gov.gr 2010)



Εικόνα 1.4: Γεωγραφική θέση περιοχής έρευνας

1.2.3 Γεωμορφολογία περιοχής

Η περιοχή της Ελίκης βρίσκεται σε πεδιάδα, με ποτάμι γύρω της, καθώς και δάση, γεωργικές εκτάσεις και άλση. Γενικά, η περιοχή της Ελίκης καλύπτεται από φρούτα, λαχανικά, ελιές, ζώα και άλλες καλλιέργειες, ενώ τα βουνά κυριαρχούν στο νότιο τμήμα της με περίπου 800 έως 1000 μέτρα υψόμετρο (το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής περιορίζεται στα 30 μέτρα).



Εικόνα 1.5: Αεροφωτογραφία περιοχής Ελίκης (save eliki.blogspot.com 2010)

1.2.4 Υδρολογικά στοιχεία νομού Αχαΐας

Τα ποτάμια του νομού, όντας μικρά και χειμαρρώδη, προκαλούν ζημιές σε περιόδους βροχοπτώσεων, κυρίως στην παραλιακή ζώνη, καθώς επίσης διαβρώσεις και κατολισθήσεις. Στον Κορινθιακό χύνονται ο Βουραϊκός στην περιοχή Διακοπτού που έχει δημιουργήσει μια βαθιά κοίτη- φαράγγι, ο Σελινούντας ανατολικά του Αιγίου, ο Κράθις στην παραλία Ποροβίτσης, ο Κριός στην Αιγείρα και ο Φοίνικας στην παραλία του Λαμπιρίου.

Στον Πατραϊκό χύνεται ο Πείρος στην παραλία Κάτω Αχαΐας, ο Γλαύκος δυτικά της Πάτρας και ο Βελιτσιάνικος δυτικά του Ρίου. Στα όρια του νομού Αχαΐας με το νομό

Ηλείας ρέει ο Λαρισσός, που αποτελούσε και κατά την αρχαιότητα το όριο μεταξύ Ηλείας και Αχαΐας. Στο νότιο τμήμα του νομού βρίσκονται οι πηγές και ο Αροάνιος ποταμός, ο οποίος συνεχίζει το ρου του στην Αρκαδία μετονομαζόμενος σε Λάδωνα. Οι ποταμοί και οι χείμαρροι του βορειοδυτικού τμήματος του νομού Αχαΐας (Γλαύκος, Πείρος) παρουσιάζουν εποχικά κυμαινόμενη μεταφορική ικανότητα να διαβρώνουν τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα στα βόρεια του νομού σχηματίζοντας εύφορες προσχωσιγενείς πεδιάδες. Μεγάλο μέρος των ομβρίων υδάτων κατεισδύει σε ασβεστόλιθους και ρέει υπογείως δια μέσου καρστικών αγωγών.

Συγκρίνοντας τους ποταμούς- χείμαρρους που εκβάλλουν στον Κορινθιακό με εκείνους που εκβάλλουν στον Πατραϊκό παρατηρείται ότι όλοι οι ποταμοί- χείμαρροι του Κορινθιακού σχηματίζουν δέλτα με τη μορφή κώνων ριπιδίων, σε αντίθεση με τους Γλαύκο και Πείρο που δε σχηματίζουν δέλτα. Αυτό οφείλεται στο συσχετισμό προσφοράς κλαστικών υλικών, διασποράς αυτών από θαλάσσια ρεύματα αλλά κυρίως στην ταχύτητα των ανοδικών ή καθοδικών κινήσεων που επικρατούν στις περιοχές εκβολής.



Εικόνα 1.6: Χάρτης Αχαΐας (φαίνονται οι ποταμοί Σελινούντας και Κερυνίτης) (Γεωγραφικά και οικονομικά στοιχεία Αιγίου, members.fortunecity.com/anast0/aigio/geogr.html 2010)

1.2.5 Υδρομετεωρολογικά στοιχεία

Οι κυριότεροι παράγοντες που συντελούν στη διαμόρφωση του κλίματος είναι: το ανάγλυφο, η απόσταση από τη θάλασσα, το υψόμετρο και τα ατμοσφαιρικά συστήματα.

Στην περίπτωση της περιοχής έρευνάς μας και κατ' επέκταση όλου του νομού Αχαΐας, τόσο η θέση όσο και η ποικιλία μορφολογικού αναγλύφου που τον χαρακτηρίζει, δημιουργούν ιδιόμορφες κλιματολογικές συνθήκες.

Το κλίμα χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες στα πεδινά και θερμά και ξηρά καλοκαίρια (Μέση θερμοκρασία Αιγίου 17,7 βαθμοί Κελσίου και βροχοπτώσεις 564 χιλιοστά).

1.2.6 Γεωλογία περιοχής έρευνας

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται μεταξύ των ποταμών Σελινούντα και Κερυνίτη, στη βόρεια Πελοπόννησο (Εικ.1.6). Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής χαρακτηρίζεται από την παρουσία κανονικών ρηγμάτων. Γενικά, η περιοχή μας είναι καλυμμένη με δελταϊκά ιζήματα.

1.3 Περίγραμμα πτυχιακής

Στην εισαγωγή δίνονται ο σκοπός και πληροφορίες για την περιοχή μελέτης όπως ιστορικά, γεωγραφικές πληροφορίες, γεωμορφολογία, υδρολογικά, υδρομετεωρολογικά στοιχεία και γεωλογία περιοχής έρευνας.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία επισκόπηση της βιβλιογραφίας (γεωλογία ευρύτερης περιοχής και πιο συγκεκριμένα γεωλογία περιοχής έρευνας).

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται οι μέθοδοι προσέγγισης της μελέτης (γεωφυσική μελέτη- εφαρμογή γεωφυσικής μεθόδου βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM), ιζηματολογική μελέτη- γεωτρήσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή).

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση, επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων και στη συνέχεια μοντελοποίηση αυτών.

Στο κεφάλαιο 5, γίνεται σχολιασμός και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

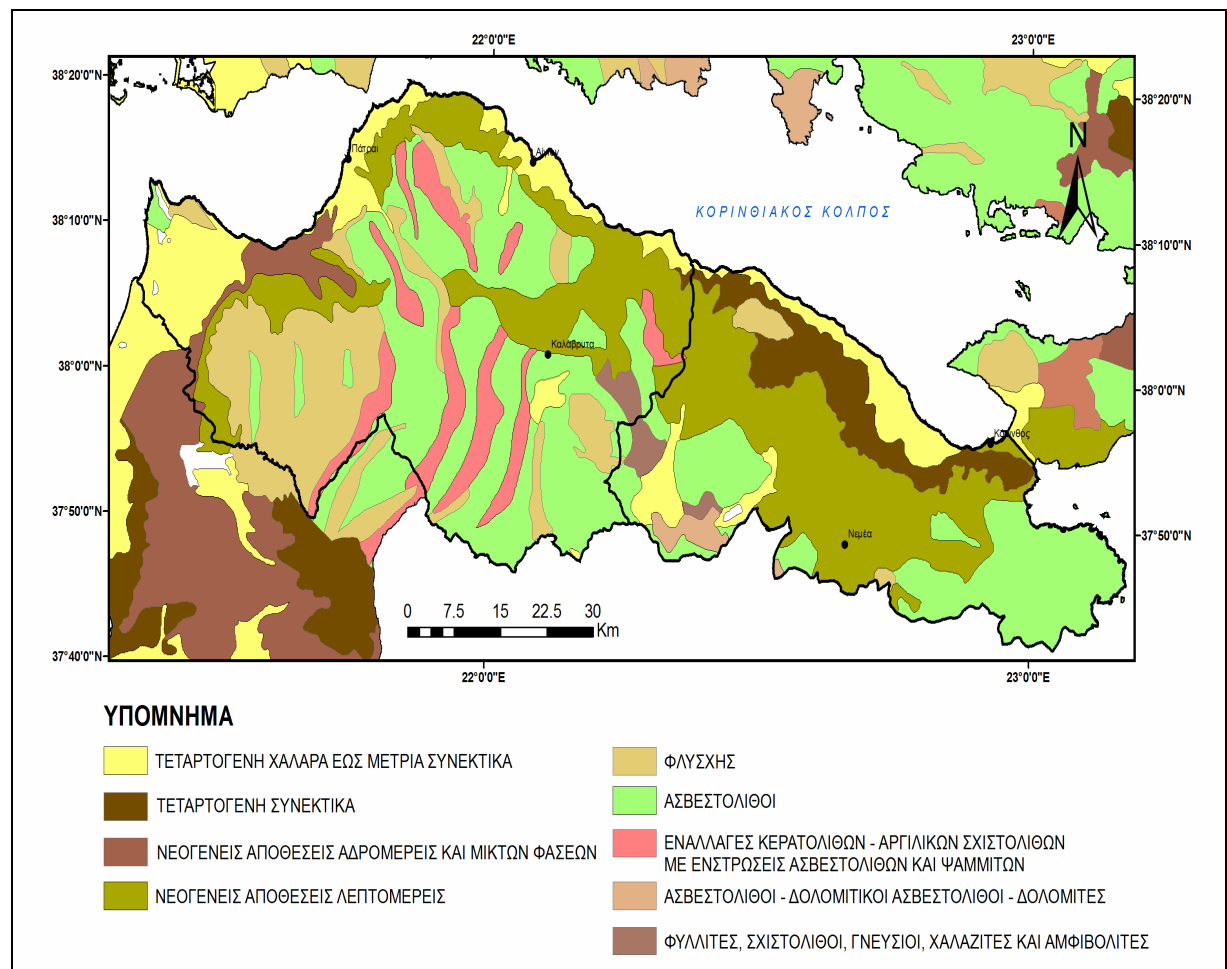
Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Στο νομό Αχαΐας εντοπίζονται από τα δυτικά προς τα ανατολικά τρεις γεωτεκτονικές ζώνες: η Ιόνιος, η Γαβρόβου- Τρίπολης και η Ωλονού- Πίνδου (**Εικ.2.1**).

Οι σχηματισμοί της Ιόνιας ζώνης εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού Αχαΐας στην περιοχή Ακρωτηρίου Άραξου. Η επιφανειακή εξάπλωσή τους είναι σχετικά μικρή λόγω της κάλυψής τους από νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Παλαιογεωγραφικά η ζώνη αυτή αποτελούσε αύλακα μέχρι και το μέσο Ηώκαινο.



Εικόνα 2.1: Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης (Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, nemertes.lis.upatras.gr 2010)

Η ζώνη Γαβρόβρου-Τρίπολης συναντάται στο δυτικό τμήμα του νομού Αχαΐας ανατολικότερα από την Ιόνια ζώνη και επιπτεύεται στη ζώνη της Πίνδου. Η ζώνη αυτή αποτελούσε ένα τεράστιο υποθαλάσσιο ύβωμα ανάμεσα στις δύο θαλάσσιες αύλακες, την Ιόνια και την Πινδική (μέχρι το μέσο Ηώκαινο), που καταλάμβανε τόσο το χώρο της άλλοτε ζώνης του Γαβρόβρου (δυτικό τμήμα) όσο και το χώρο της υποζώνης της Τρίπολης (ανατολικό τμήμα). Μεταξύ των τμημάτων αυτών υπάρχουν μικρές μόνο διαφορές ως προς τη στρωματογραφική- παλαιογεωγραφική και τεκτονική τους εξέλιξη.

Η ζώνη Ωλονού- Πίνδου ήταν μια βαθιά αύλακα μεταξύ του υβώματος της ζώνης Γαβρόβρου- Τριπόλεως (δυτικά) και του υβώματος της Πελαγονικής ζώνης στα δυτικά μέχρι το Μαιστρίχτιο ή το Κ. Ηώκαινο ή σύμφωνα με τις νεότερες απόψεις του υβώματος του Κόζιακα- Τρίλοφου- Πενταορίων- Γερανείων- Τραπεζώνας.

Ιόνιος ζώνη: Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ζώνης περιγράφεται με βάση τον Γεωλογικό χάρτη φύλλο «Νέα Μανωλάς» κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε ως εξής:

- Ασβεστόλιθοι «Βίγλας»: Πρόκειται για πλακώδεις ασβεστόλιθους, με ισχυρή δολομιτίωση, σε εναλλαγές με λεπτές διαστρώσεις πυριτολίθων. Το ορατό πάχος τους είναι 30m (Ανωτ. Ιουρασικό – Κατ. Κρητιδικό)
- Πελαγικοί Ασβεστόλιθοι που εξελίσσονται προς τα πάνω σε ωλιθικούς με τρηματοφόρα. Στη συνέχεια, προς τα πάνω εξελίσσονται σε πελαγικούς ασβεστόλιθους με ακτινόζωα για να καταλήξουν σε μικρολατυπτοπαγείς ασβεστόλιθους με θραύσματα ρουδιστών. Το συνολικό πάχος τους είναι 350m (Ανωτ. Κρητιδικό).
- Ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις πυριτολίθων. Το πάχος του σχηματισμού εκτιμάται ότι είναι 150m (Παλαιόκαινο – Κάτων Ηώκαινο).
- Φλύσχης αποτελούμενος από λεπτές εναλλαγές αργίλων, μαργών και ψαμμιτών (Αν. Ηώκαινο –Ολιγόκαινο) που εξελίσσονται στους ανώτερους ορίζοντες σε μαργαϊκά και αργιλικά στρώματα (Κατ. Μειόκαινο) και τελικά σε σχεδόν μολασική φάση.

Ζώνη Γαβρόβρου- Τρίπολης: Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ζώνης περιγράφεται με βάση τους Γεωλογικούς χάρτες φύλλο «Γούμερον», «Νέα

Μανωλάς», «Πάτραι», «Χαλανδρίτσα», «Δάφνη» και «Κάνδηλα» κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε ως εξής:

- Ασβεστόλιθοι, γύψοι και σπηλαιώδεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι που συνήθως εμφανίζονται διερρηγμένοι και λατυπτοποιημένοι.
- Μαύροι, τεφροί ή πρασινωποί σερικιτικοί σχιστόλιθοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.
- Λάβες πράσινου χρώματος συχνά σε σχιτώδη όψη και φακοί ασβεστολίθων και σχιστολίθων (Πέρμιο).
- Δολομίτες, με εναλλαγές νηριτικών ασβεστόλιθων, με πάχος πολλές εκατοντάδες μέτρα (Αν. Τριαδικό – Κατ. Κρητιδικό).
- Λεπτοστρωματώδεις δολομίτες και παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με φακούς ασβεστόλιθων με ρουδιστές. Το πάχος του σχηματισμού είναι πολλές εκατοντάδες μέτρα (Ανω Κρητιδικό).
- Νηριτικοί ασβεστόλιθοι συχνά ωλοθικοί συνήθως μεγάλου πάχους με οριζόντες δολομιτών, οι οποίοι προς τους ανώτερους οριζόντες μεταπίπτουν σε ασβεστόλιθους με κροκαλοπαγή και ασβεστομαργαϊκά υλικά, που αποτελούν τη ζώνη μετάβασης στο φλύσχη. Το πάχος τους είναι περίπου 100 μέτρα (Παλαιόκαινο – Αν. Ηώκαινο).
- Φλύσχης : Ο σχηματισμός του Φλύσχη αναπτύσσεται ασύμφωνα πάνω στην ανθρακική σειρά της ζώνης της Τρίπολης και αποτελεί μια τυπική τουρβιδιτική ακολουθία ιζημάτων (Ολιγόκαινο). Η λεπτομερής φάση του φλύσχη συνίσταται από λεπτά στρώματα κυανών ιλυολίθων και αργιλικών – μαργαϊκών σχιστόλιθων με αραιές παρεμβολές ψαμμιτικών τραπεζών και τεφρών μαργών. Στα ανώτερα στρώματα της φάσης αυτής παρουσιάζονται φακοειδής τράπεζες ή και οριζόντες κροκαλοπαγών ενώ αυξάνεται ο αριθμός και το πάχος των ψαμμιτικών στρωμάτων. Πάνω στη λεπτομερή φάση του φλύσχη βρίσκονται σε ασυμφωνία οριζόντες κροκαλοπαγών. Αποτελούν ένα πολύ συνεκτικό, πολύμικτο κλαστικό σχηματισμό, που δομείται από καλά συγκολλημένες κροκάλες και λατύπες κυρίως ασβεστολιθικής, κερατολιθικής και ψαμμιτικής σύστασης που προέρχονται κυρίως από τους ασβεστολιθικούς και κερατολιθικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου.

Η ιζηματογενής οροσειρά της ζώνης Γαβρόβου- Τρίπολης επικάθεται του ημιμεταμορφωμένου υποβάθρου άλλοτε ως επωθημένη ή επιπτευμένη και άλλοτε με κανονική μετάβαση πλευρική ή κατακόρυφη (στρώματα Τυρού).

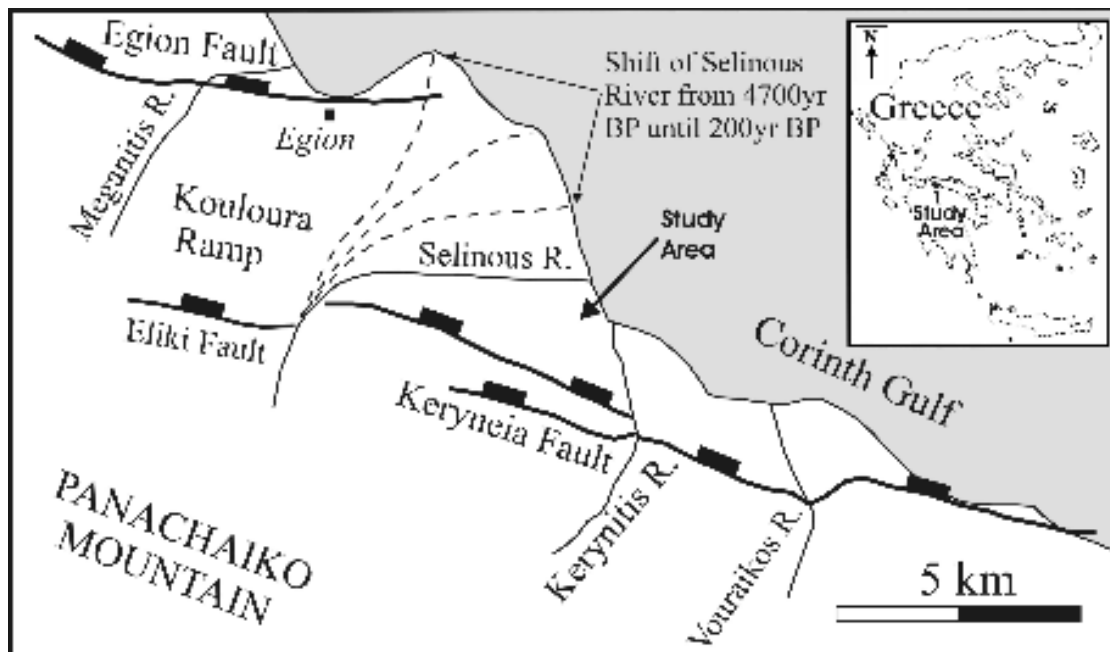
Ζώνη Ωλονού- Πίνδου: Η ιζηματογενής αυτή σειρά είναι συνεχής από το Άνω Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ζώνης Ωλονού – Πίνδου που εμφανίζονται στην Αχαΐα είναι οι παρακάτω:

- Ασβεστόλιθοι Δρυμού: Πρόκειται για ασβεστόλιθους με ενστρώσεις ιλυολιθικών ασβεστολίθων και ιλυολίθων. Στο κατώτερο τμήμα της σειράς παρουσιάζονται εναλλαγές ασβεστόλιθων με πράσινους ιλυόλιθους, ενώ κατά θέσεις επικρατούν ιάσπιδες πάχους 5 – 10 μέτρων και πυριτικοί ορίζοντες, καθώς και ηφαιστειακοί τόφφοι. (Το κατώτερο τμήμα της σειράς δεν παρουσιάζεται στον Νομό Αχαΐας). Το πάχος του σχηματισμού είναι 150m (Ανωτ. Τριαδικό – Λιάσιο).
- Ραδιολαρίτες και ιλυόλιθοι: Οι ραδιολαρίτες αποτελούνται από ιάσπιδες με ενστρώσεις ιλυολίθων, ηφαιστειακών τόφφων και παρεμβολές στην κορυφή λατυποπαγών ασβεστόλιθων που εξελίσσονται σε σφιγρούς ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους. Οι ιλυόλιθοι αρχίζουν με εναλλαγή ιλυολίθων και ασβεστόλιθων και προοδευτικά μεταπίπτουν σε ιλυόλιθους με φακούς ασβεστόλιθων. Το πάχος του σχηματισμού είναι 120m (Ανωτ. Ιουρασικό).
- «Πρώτος» φλύσχης: Αποτελείται από ιλυολίθους, ψαμμίτες και μικρο – λατυποπαγείς ασβεστόλιθους. Το πάχος του σχηματισμού είναι 20 – 40m (Κάτω Κρητιδικό).
- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις αργιλικών ιάσπιδων. Εμφανίζονται επίσης λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με θραύσματα ρουδιστών. Το πάχος του σχηματισμού είναι 100 – 250m (Ανωτ. Κρητιδικό).
- Στρώματα μετάβασης αποτελούμενα από εναλλαγές πλακωδών ασβεστόλιθων, ασβεστομαργαϊκών υλικών, ψαμμιτών και λατυποπαγών ασβεστόλιθων, με ορίζοντα μαύρου πυριτόλιθου. Το πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 50m (Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο).

- Φλύσχης που συνίσταται από εναλλαγές παχέων στρωμάτων ψαμμιτών και ψαμμιτικών ιλυολίθων. Στη βάση της σειράς απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Το συνολικό ορατό πάχος του σχηματισμού είναι 500m (Μαιστρίχτιο).
- Μεταξύ των σειρών Γαβρόβου – Τριπόλεως και Ωλονού – Πίνδου εντοπίζεται σχηματισμός που αποτελεί τεκτονοϊζηματογενές σύμπλεγμα. Πρόκειται για ετερομορφικό σχηματισμό από ασβεστολιθικά τεμάχη με κροκάλες και ογκόλιθους διαφόρων οριζόντων του καλύμματος των ζωνών Ωλονού – Πίνδου και Γαβρόβου – Τρίπολης, καθώς και εκρηξιγενών πετρωμάτων με ψαμμιτοϊλυολιθικό συνδετικό υλικό. Το πάχος του σχηματισμού είναι 1 – 150m.

2.2 Ειδικότερα γεωλογία περιοχής έρευνας

Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή μελέτης βρίσκεται μεταξύ των ποταμών Σελινούντα και Κερυνίτη, στη βόρεια Πελοπόννησο. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής (όπως φαίνεται στην **εικόνα 2.2**) χαρακτηρίζεται από την παρουσία κανονικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΔΒΔ (Κουκουvelas & Doutsos 1996). Ειδικότερα, το ρήγμα της Ελίκης και το ρήγμα του Αιγίου επηρεάζουν σημαντικά τη νότια ακτή του Κορινθιακού κόλπου. Γενικά, η περιοχή μας είναι καλυμμένη με δελταϊκά ιζήματα.



Εικόνα 2.2: Χάρτης περιοχής μελέτης, ποταμοί Σελινούντας και Κερυνίτης, τα σημαντικότερα ρήγματα της περιοχής (Κουκουvelas & Doutsos 1996) και η μετατόπιση της ροής του ποταμού Σελινούντα από ΒΒΑ σε ΑΒΑ (Kontopoulos & Avramidis, 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 **ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ**

3.1 Γεωφυσικές μέθοδοι

Στην περιοχή εφαρμόστηκε η γεωφυσική μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων TEM με σκοπό τη λεπτομερή έρευνα του στόχου.

3.1.1 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι βασίζονται στη θεωρία του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό. Υπάρχει διαχωρισμός των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων, χωρίζοντάς τες σε παθητικές και ενεργητικές.

Οι παθητικές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία της Γης (π.χ. Magneto Telluric (MT)).

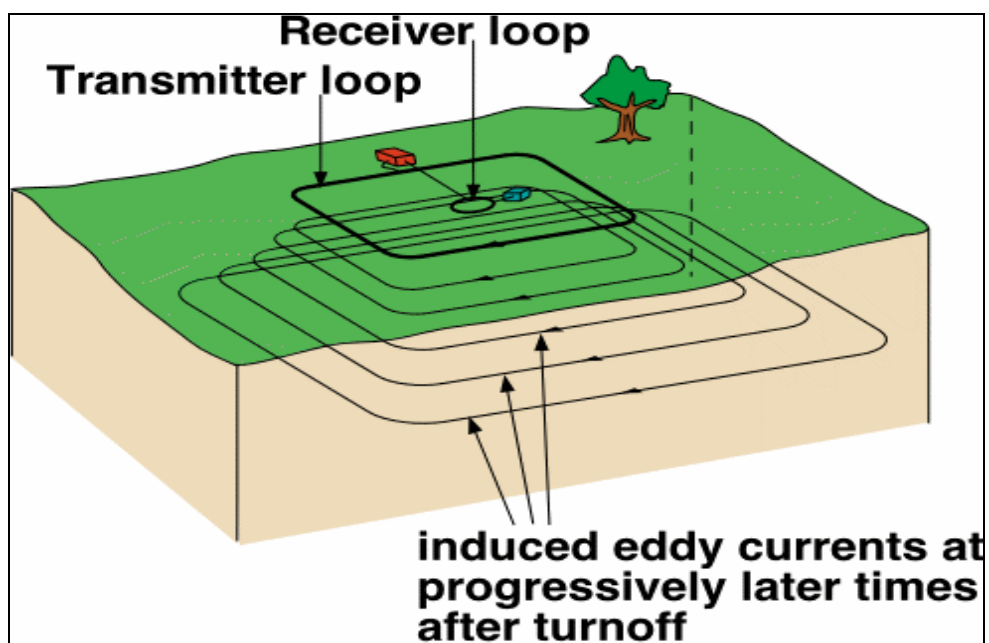
Οι ενεργητικές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν μία ελεγχόμενη τεχνητή ηλεκτρομαγνητική πηγή ως πρωτογενές πεδίο, το οποίο στη συνέχεια επάγει ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (π.χ. Transient-EM (TEM), Controlled Source Audio- frequency Magneto Tellurics (CSAMT), Frequency Domain EM (FDEM), Ground Penetrating Radar (GPR)).

3.1.2 Μέθοδος TEM

Η μέθοδος TEM έχει εφαρμοστεί πάνω σε μεταλλευτική έρευνα, γεωθερμικά πεδία, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες, εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων, καθώς επίσης έχει συνδυαστεί και με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.

Όσον αφορά στο θεωρητικό μέρος της μεθόδου, υλοποιώντας έναν ορθογώνιο βρόγχο στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

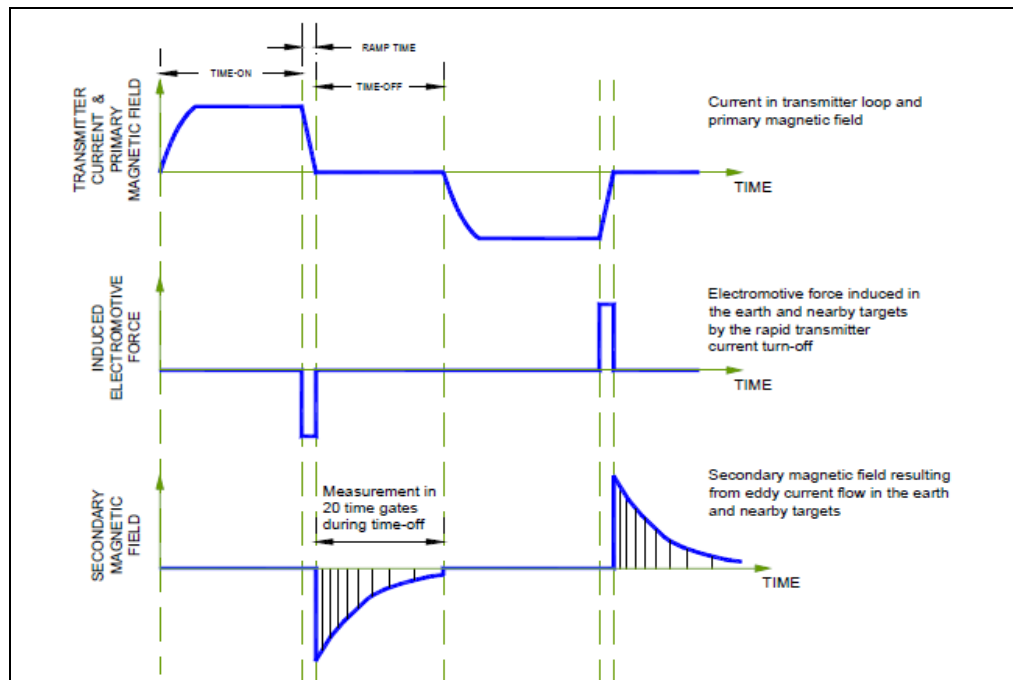
Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές ρεύμα διακόπτεται απότομα ($t=0$). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στη συνέχεια, η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από I_0 μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο t_r .



Εικόνα 3.1: Διάταξη της μεθόδου TEM (Kalisperi, 2009)

Με τη χρήση της μεθόδου TEM παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα παροδικά επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Στη συνέχεια, τα ρεύματα αυτά δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο-δέκτη και το μετρούμενο δυναμικό στο πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας μέτρησης, γίνεται ο διαχωρισμός σε χρονικές πύλες (κανάλια). Στη συνέχεια της προσαρμογής των δεδομένων, γίνεται μία επεξεργασία για αναγνώριση- απομάκρυνση θορύβου, προσεγγιστική αντίστροφη απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντιστροφή.

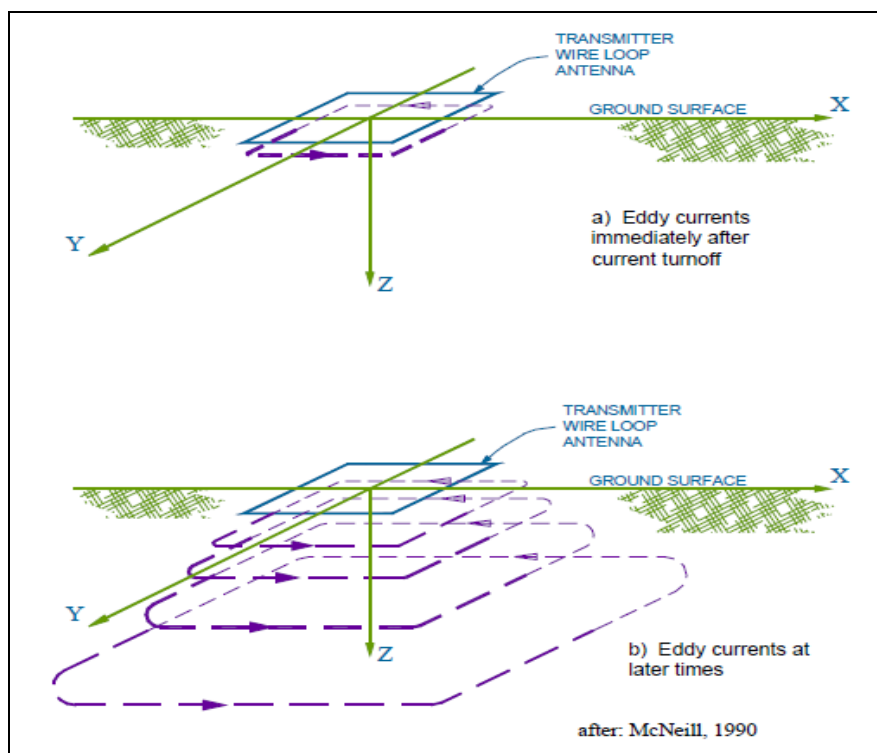
Γενικά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του, η TEM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για αγωγίμα στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διεύθυνση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.



Εικόνα 3.2: Κυματομορφές TEM (Rowland B. French, Ph.D, R.G., Time-Domain Electromagnetic Exploration, nga.com/Flyers 2010)

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη θεωρία της λειτουργίας της TEM, οι ηλεκτρομαγνητικές (EM) γεωφυσικές τεχνικές προκαλούν ηλεκτρικά ρεύματα στη γη χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Μια χρονική ποικιλία μαγνητικού πεδίου δημιουργείται χρησιμοποιώντας μια σπείρα ή έναν βρόχο καλωδίου στη γήινη επιφάνεια. Ο νόμος του Faraday για την επαγωγή μας λέει ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο θα παραγάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο στη συνέχεια θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Κατά συνέπεια, το αρχικό μαγνητικό πεδίο από το βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων θα δημιουργήσει ένα δευτεροβάθμιο ηλεκτρικό ρεύμα στη γη. Τελικά, μετράμε το δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από εκείνα τα δευτεροβάθμια ηλεκτρικά ρεύματα

στη γη. Η **εικόνα 3.2** παρουσιάζει μία κυματομορφή του αρχικού μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τη συσκευή αποστολής σημάτων και του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που συνοδεύει εκείνο το μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 3.3: Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώιμοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι (French, 2002; after McNeil, 1990)

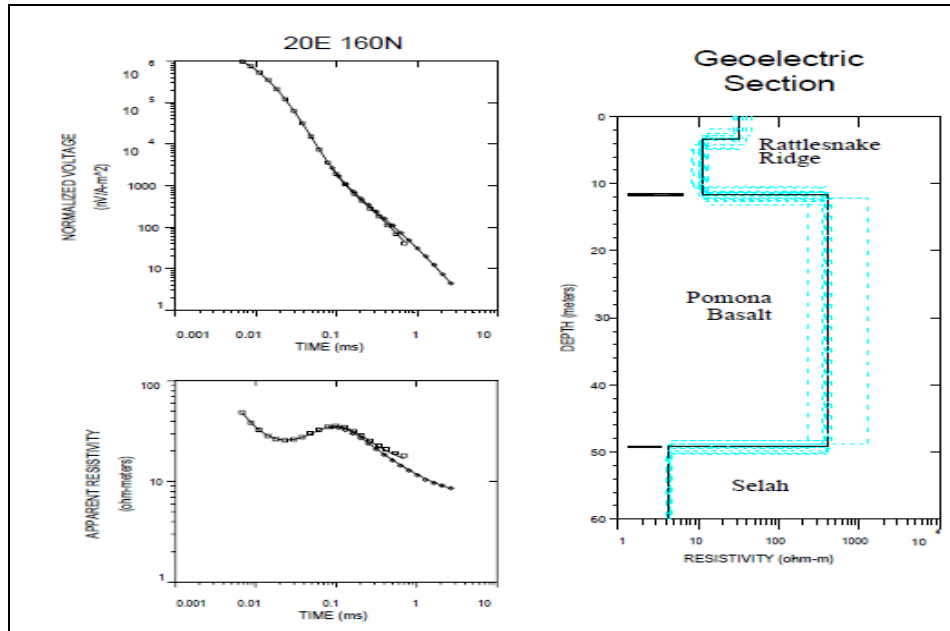
Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγωγίμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου-περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι ένας δυνατός παλμός, ή παροδικό σήμα. Τα ρεύματα που προκαλούνται στη γη είναι αρχικά συγκεντρωμένα απευθείας κάτω από το βρόχο συσκευής αποστολής σημάτων. Αυτό παρουσιάζεται σχηματικά στην **εικόνα 3.3 α)**. Με το χρόνο, τα ρεύματα αυτά θα διασκορπιστούν κάτω και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων όπως επίσης φαίνεται σχηματικά στην **εικόνα 3.3 β)**. Μια αναλογία με καπνό από δαχτυλίδια χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τη συμπεριφορά των ρευμάτων στο έδαφος. Αρχικά ισχυρή μορφή ρευμάτων στο έδαφος διαβιβάζεται δίπλα στο βρόχο. Το «δαχτυλίδι καπνού» κατόπιν επεκτείνεται,

αποδυναμώνει, και ταξιδεύει κάτω μέσω της γης. Το ποσοστό διάχυσης εξαρτάται από τη γήινη αγωγιμότητα. Στα ανθεκτικά μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πολύ γρήγορα. Στα αγωγιμα μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πιο αργά. Ένα αγωγιμο στρώμα μπορεί σε βάθος «να παγιδέψει» ρεύματα σε εκείνο το στρώμα, ενώ τα ρεύματα αποσυντίθενται αλλού γρηγορότερα.

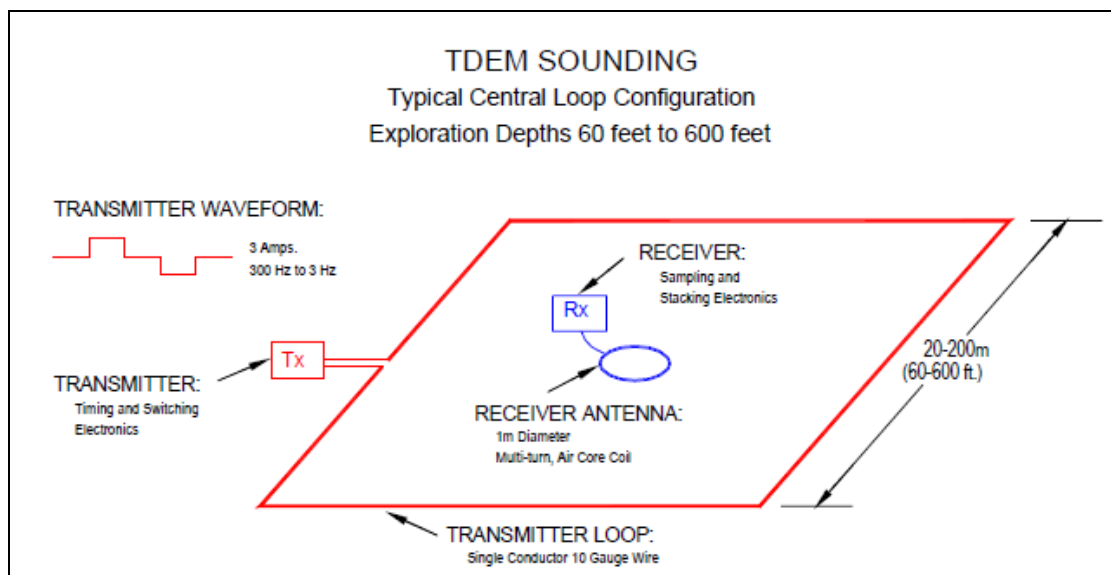
Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις γίνονται χαρακτηριστικά στη χρονική σειρά από 10 μ s σε 10 ms μετά από τη 'διακοπή' του πρωτογενούς πεδίου. Μετρήσεις γίνονται σε 20 έως 30 ιδιαίτερες «χρονικές πύλες», ή χρονικά διαστήματα, μετά από τον αρχικό προκαλούμενο παλμό. Για βαθύτερη εξερεύνηση σε αγωγιμα τμήματα, οι χρόνοι μέτρησης μπορούν να επεκταθούν μέχρι το λεπτό. Επειδή οι μετρήσεις γίνονται ενώ το ρεύμα της συσκευής αποστολής σημάτων είναι κλειστό, μπορούν να γίνουν πιο ευαίσθητες μετρήσεις από το δευτεροβάθμιο πεδίο. Όσον αφορά στην ερμηνεία, παράγεται ένα υποθετικό βαλμένο σε στρώσεις γήινο μοντέλο και στη συνέχεια η θεωρητική απάντηση για εκείνο το μοντέλο υπολογίζεται. Το μοντέλο έπειτα καθαρίζεται μέχρι η υπολογισμένη απάντηση να ταιριάζει με την παρατηρούμενη ή μετρημένη απάντηση. Οι πρότυποι καθαρισμοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση μιας αυτοματοποιημένης επαναληπτικής διαδικασίας ή μιας 'αντιστροφής'. Στην **εικόνα 3.4** φαίνεται μία καμπύλη βυθοσκοπήσεων. Πάνω αριστερά παρουσιάζεται η εξασθένιση του μαγνητικού πεδίου. Η ηλεκτρική δυνατότητα που προκαλείται στη σπείρα δεκτών αναφέρεται ως «ομαλοποιημένη τάση». Το δεύτερο κομμάτι αριστερά της **εικόνας 3.4** παρουσιάζει μια πλοκή από τα ίδια δεδομένα που μετατρέπονται σε 'πρόσφατη- σκηνή' ειδικής αντίστασης. Η καμπύλη ειδικής αντίστασης δίνει κάπως μία πιο καθαρή εικόνα για το γεωηλεκτρικό τμήμα.

Στο δεξί μέρος της **εικόνας 3.4** παρουσιάζεται το μοντέλο του γεωηλεκτρικού τμήματος που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απάντηση του μοντέλου που παρουσιάζεται ως στερεά γραμμή στο αριστερό κομμάτι της **εικόνας 3.4**. Οι διακεκομμένες γραμμές στο γεωηλεκτρικό τμήμα της **εικόνας 3.4** παρουσιάζουν 'ισοδύναμα' μοντέλα, δηλαδή μοντέλα των οποίων η απάντηση θα προσαρμόσει την παρατηρούμενη απάντηση με μια «απροσάρμοστη» παράμετρο μέσα σε 20% του καλύτερου μοντέλου προσαρμογής. Μια από τις σημαντικότερες αδυναμίες της TEM είναι η δυσκολία στην ερμηνεία των στοιχείων πέρα από τις τρισδιάστατες γεωλογικές δομές. Τα περισσότερα προγράμματα διαμόρφωσης υποθέτουν μια οριζόντια γη βαλμένη σε στρώσεις. Στην **εικόνα 3.5** παρουσιάζεται ένα

χαρακτηριστικό σχεδιάγραμμα για ένα «κεντρικό βρόχο» βυθοσκόπησης TEM. Η διαδικασία περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός τετραγωνικού βρόχου του καλωδίου στην επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 3.4: TEM βυθοσκόπηση και μοντελοποίηση (Rowland B. French, Ph.D, R.G., Time-Domain Electromagnetic Exploration, nga.com/Flyers 2010)



Εικόνα 3.5: Διαμόρφωση TDEM πεδίου (Rowland B. French, Ph.D, R.G., Time-Domain Electromagnetic Exploration, nga.com/Flyers 2010)

Ένα σταθερό ρεύμα στο βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων κλείνει απότομα. Αυτό δημιουργεί ένα μαγνητικό παλμό στο έδαφος. Οι μετρήσεις γίνονται με μια

μικρή σπείρα δεκτών στο κέντρο του βρόχου συσκευών αποστολής σημάτων, δεδομένου ότι τα προκαλούμενα ηλεκτρικά ρεύματα διαπερνούν και διασκορπίζονται μέσα στη γη. Ο δέκτης μπορεί επίσης τοποθετείται έξω από το βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων σε μια διαμόρφωση 'offset'.

Γενικά, η μέθοδος TEM (γνωστή και ως Time- Domain Electromagnetic, TDEM μέθοδος) είναι σχετικά νέα μέθοδος δεδομένου ότι έχει χρησιμοποιηθεί σε περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές μελέτες τα τελευταία 15- 20 χρόνια. Μια αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου φαίνεται από τους McNeill (1994), Nabighian και Macnae (1991), παρέχοντας μία συνοπτική περιγραφή της μεθόδου.

Η μέθοδος TEM χρησιμοποιεί ένα συνεχές ρεύμα που διαβιβάζεται στο βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων που βρίσκεται στο έδαφος. Το ρεύμα δημιουργεί ένα αρχικό, στάσιμο μαγνητικό πεδίο. Το συνεχές ρεύμα είναι κλειστό, προκαλώντας ένα σύστημα στροβιλοειδών ρευμάτων στο έδαφος. Λόγω της ωμικής αντίστασης του υπεδάφους, το τρέχον σύστημα αποσυντίθεται και προκαλεί στη συνέχεια ένα δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που μετράται σε μια σπείρα επαγωγής (σπείρα δεκτών). Το ποσοστό αποσύνθεσης του ηλεκτρομαγνητικού τομέα εξαρτάται από την κατανομή ειδικής αντίστασης του υπεδάφους. Οι αποσυνθέσεις τομέων είναι πιο αργές σε ένα αγωγίμο από ότι σε ένα πιο σκληρό μέσο. Πλεονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι η ευαισθησία της σε αγωγούς σε μεγάλα βάθη και ο ελαφρύς εξοπλισμός έναντι άλλων γεωφυσικών μεθόδων. Μειονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι η χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και ο υψηλός βαθμός της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

3.1.3 TEM FAST 48:

Το TEM FAST 48HPC είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία FAST-TEM με παροχή υψηλής ανάλυσης, την αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. TEM FAST 48HPC μπορούν να εφαρμοστούν για την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων,

συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών ερευνών, υδρογεωλογικών ερευνών, αρχαιολογικών, μεταλλευτικών ερευνών, MT στατική διόρθωση στροφής και άλλων. Το TEM-FAST TEM FAST 48HPC μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπο διεπαφής RS 232. Το TEM FAST 48HPC δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του εδάφους.

Χρησιμοποιώντας τερματικό υπολογιστή και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα και το επίπεδο θορύβου, ο χειριστής μπορεί να ορίζει τον αριθμό των παλμών που απαιτούνται για την ακριβή επεξεργασία των δεδομένων. Μετά τη συσσώρευση του σήματος, ο υπολογιστής γυρνάει το σύστημα σε κατάσταση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κάνει υπολογισμούς για εξομάλυνση της τάσης και της ανακρίβειας των μετρήσεων. Αλγόριθμοι των μετρήσεων και επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζονται σε TEM FAST 48HPC επιτρέπουν τον αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που συνδέονται με μπαταρίες, μεταβολή της θερμοκρασίας και αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Παράμετρος	TEM-FAST 48HPC
Χρόνος πυλών	48 γεωμετρικά διάστιχα
Χρονικό φάσμα	4 - 16000 μ s
Τρέχων πομπός	1 A ή 4 A
Μέγεθος βρόγχου	5cm \times 5cm - 500m \times 500m
Εύρος βάθους θορύβου	1m - 300m
Αδιάβροχο κουτί	IP65
Διαστάσεις (mm)	330 \times 35 \times 110
Βάρος (kg)	1.5
Εσωτερική μπαταρία	12 V, 2 A·h
Ευαισθησία	\sim 0.1 μ V
Επίδειξη	Σημειωματάριο ή φορητό υπολογιστή
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20°C + 65°C



Εικόνα 3.6: Δείγμα οργάνου TEM- FAST 48 (APPLIED ELECTROMAGNETIC RESEARCH (AEMR) TEM -FAST 48HPC, aemr.net, 2010)

Γενικά, το TEM FAST 48HPC είναι ένα βολικό και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο για την αναζήτηση, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων, για διαρροές και υπάρχουσα ρύπανση καθώς και για πολλές άλλες εφαρμογές, όπως και για ιζηματολογικές έρευνες. Σημειώνεται ότι το βάθος των ερευνών είναι από ορισμένα εκατοστά για την αναζήτηση των μικρών στόχων μέχρι 100 μέτρα (και πιο ευνοϊκές συνθήκες).

3.2 Ιζηματολογικές μέθοδοι

Για την ιζηματολογική μελέτη της περιοχής της κοιλάδας του ποταμού Σελινούντα πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις με κρουστικό τρυπάνι μοντέλου Eijkelkamp (Εικ.3.7). Οι γεωτρήσεις έλαβαν χώρα αποκλειστικά από το Πανεπιστήμιο της Πάτρας, όπου παραχωρήθηκαν μόνο οι τομές των γεωτρήσεων για τη παρούσα εργασία. Αναλυτικά, τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.



Εικόνα 3.7: Κρουστικό τρυπάνι μοντέλου Eijkelkamp (<http://www.eijkelkamp.com/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ
--

4.1 Γεωφυσική Μέθοδος

Στην εργασία αυτή, έγινε μια μελέτη αξιολόγησης της δυνατότητας εφαρμογής ενός φορητού συστήματος TEM, χρησιμοποιώντας μονό βρόγχο 12.5x12.5m για ρηχό βάθος (λιγότερο από 30 μέτρα), επιπλέον 25x25m (για βάθος περίπου 90 μέτρα) μέσα στους ποταμούς Σελινούντα και Κερυνίτη και 50x50m (για βάθος περίπου 120 μέτρα) μόνο στον ποταμό Κερυνίτη. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η χαρτογράφηση παλαιοκοιτών στη περιοχή μεταξύ των κυρίων ποταμών, περιοχή που βρισκόταν η αρχαία Ελίκη σύμφωνα με ιστορικές πηγές.

4.1.1 Δεδομένα- Αποτελέσματα

Συνολικά, για την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν συνολικά 195 μετρήσεις TEM από 121 διαφορετικές θέσεις (**Εικόνα 4.3**). Οι μετρήσεις αυτές έλαβαν χώρα από 1/9/2009 έως 4/9/2009. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην πλημμυρισμένη περιοχή της Ελίκης οριοθετημένη από τον ποταμό Σελινούντα (στο βορρά) και Κερυνίτη (στο νότο). Καθώς οι παλαιοκοίτες αναμένεται να αναπτύσσονται σε κατεύθυνση ΝΔ- ΒΑ (παράλληλα των ποταμών) έγινε ένα πολύ λεπτομερές προφίλ TEM ΒΔ- ΝΑ με περίπου 5-50m διάστημα μεταξύ των μετρήσεων. Συμπληρωματικά, συλλέχθηκαν 3 μικρότερα παράλληλα προφίλ με ΝΔ- ΒΑ κατεύθυνση και μέσα στην κοίτη που είχε πλημμυρήσει για να γίνει έλεγχος των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών τομογραφικών εικόνων (**Εικόνα 4.3**). Κατά τη διάρκεια της γεωφυσικής μελέτης στο ύπαιθρο η ομάδα ήταν πολύ προσεκτική για τη βέλτιστη επιλογή περιοχών, την εγκατάσταση της κεραίας και για άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορούν να παραγάγουν τα θορυβώδη και κακής ποιότητας στοιχεία. Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής τιμής (rms) του τελικού συνόλου των στοιχείων ήταν μικρό, λιγότερο από 8%.

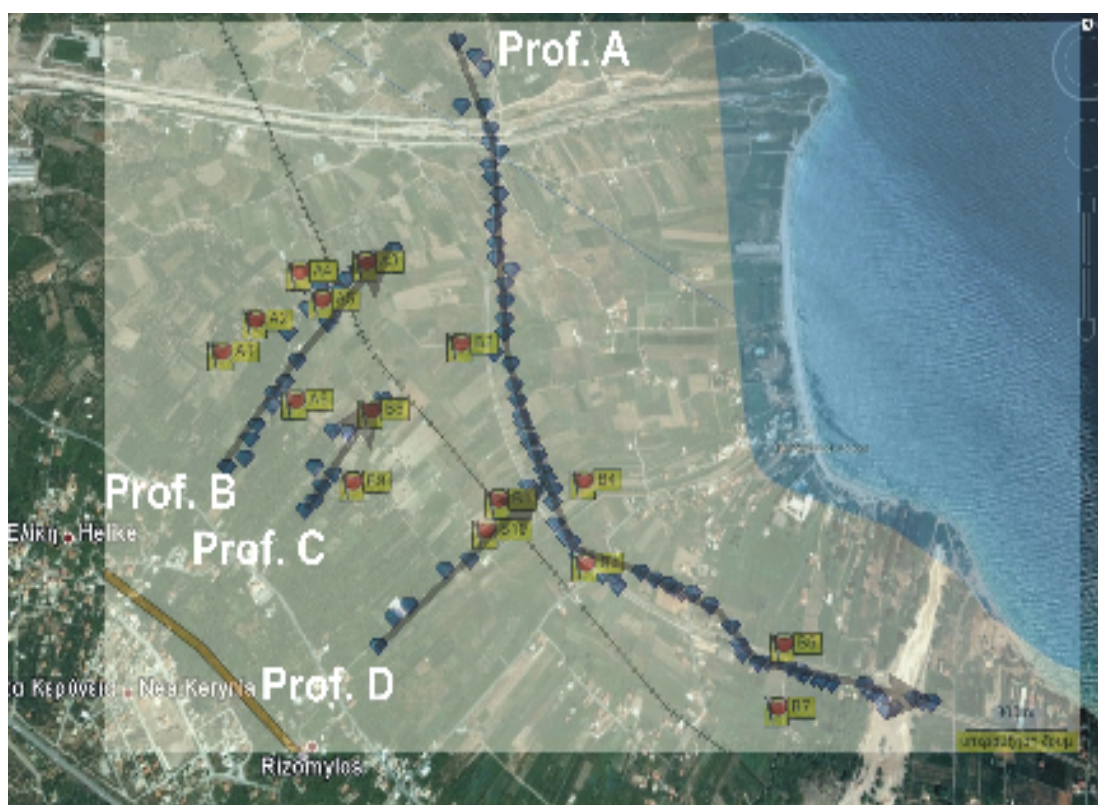


Εικόνα 4.1: Στιγμιότυπο από τη συλλογή TEM μετρήσεων στην περιοχή μελέτης (ποταμός Κερυνίτης), 2009

Γενικά, μια ενιαία στρόφη 12.5×12.5 m μονού βρόχου χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί ικανοποιητικό βάθος διείσδυσης. Στο σύστημα τέθηκε σα στόχος να διαβιβάσει ρεύμα μέχρι 4 Amp με 28 ενεργές χρονικές πύλες από 4 μ s ως 512 μ s και η παράμετρος “stack”, που αντιστοιχεί στην ψηφιακή συσσώρευση ενός σήματος, τέθηκε 5 (κάθε αριθμός αυτής της παραμέτρου αντιστοιχεί σε 13 πλήρεις κύκλους). Για να καθοριστούν τα αποτελέσματα και να αποφευχθούν προβλήματα (υψηλή συχνότητα- Θόρυβος HF) οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν αρκετές φορές σε κάθε θέση.



Εικόνα 4.2: Στιγμιότυπο από τη συλλογή μετρήσεων στην περιοχή μελέτης (ποταμός Κερυνίτης), 2009



Εικόνα 4.3: Παρουσιάζεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας (Google Earth 4.0.2742, 2009). Τέσσερα προφίλ (A, B, C, D) συλλέχθηκαν σε διαφορετικές κατευθύνσεις για την κάλυψη της περιοχής μελέτης. Οι κόκκινες σημαίες υποδεικνύουν τις θέσεις που ρηχές γεωτρήσεις και άλλες γεωλογικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες για τη συσχέτιση και την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών μοντέλων.

4.1.2 Επεξεργασία δεδομένων

Το TEM FAST 48HPC σύστημα είναι εξοπλισμένο με λογισμικό βάσης που προβλέπει τον έλεγχο, την προβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε ψηφιακή μορφή, καθώς επίσης προκύπτουν και καμπύλες ειδικής αντίστασης και ορισμένα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος θορύβου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Υπάρχει δυνατότητα να δει κανείς τα διάφορα χαρακτηριστικά των υπάρχοντων θορύβων κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Το TEM FAST 48HPC σύστημα έχει επίσης πακέτο λογισμικού TEM-RESEARCHER (TEM-RES-WIN) για γρήγορη λύση αντίστροφου προβλήματος ανάλογα την τάξη της κλίσης και τα τμήματα των στρώσεων στις απευθείας συνθήκες. Το EM-RES-WIN δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κάνει αναστροφή, ακόμη και αν η προκαλούμενη πόλωση (IP) και ο

υπερμαγνητισμός (SPM) έχουν σαν αποτέλεσμα να περιπλέξουν τα πειραματικά δεδομένα. Επιπλέον, η πρωτοποριακή τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση αυτών των επιπτώσεων για την επέκταση των συμβατικών δυνατοτήτων της μεθόδου TDEM.

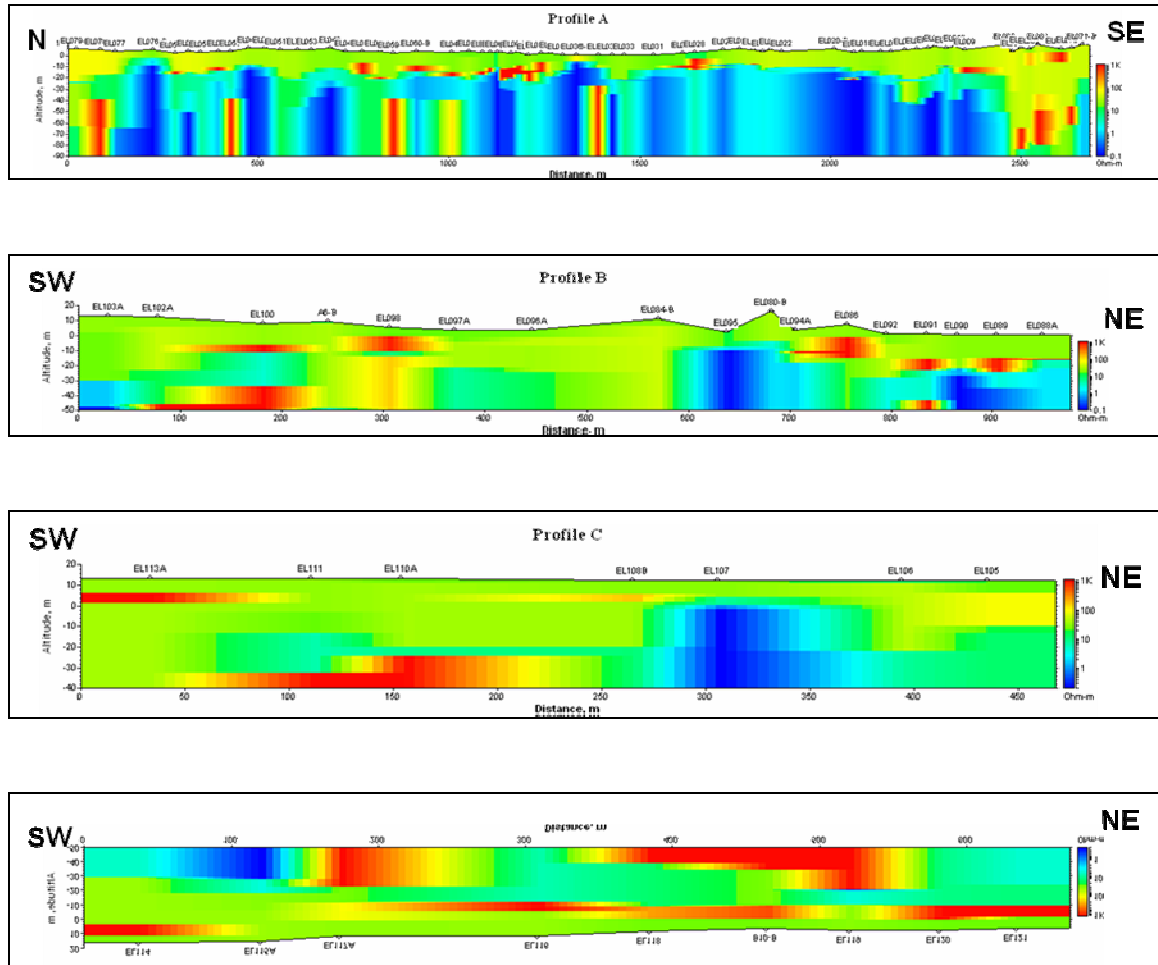
Το TEM-RES-WIN έχει ειδικά εργαλεία για τη μαζική επεξεργασία των δεδομένων και την κατασκευή των 2D και 3D εικόνων των γεωηλεκτρικών τμημάτων.

4.1.3 Δημιουργία προφίλ

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μετά την απόκτηση που παρέχει η μονοδιάστατη (1D) διανομή της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Το TEM- RESEARCHER, ένα σύστημα λογισμικού των Windows ήταν το εργαλείο για την επεξεργασία των στοιχείων των TEM δεδομένων και της αντίστροφης λύσης του προβλήματος (TEM- RESEARCHER manual 2007).

Τα ακατέργαστα στοιχεία πέρασαν από editing και smoothing πριν τη διαμόρφωση, όπως προτείνει ο κατασκευαστής (Barsukov et al. 2007). Το λογισμικό TEM- RES παρέχει δύο τρόπους κατασκευής ενός τμήματος, του μετασχηματισμού και της αντιστροφής.

Όταν η 1D διαμόρφωση είναι ανεπαρκής να αναδημιουργήσει και να περιγράψει το υπέδαφος, απαιτείται η 2D απεικόνιση. Το λογισμικό TEM- RES είναι επίσης ένα πολύ καλό εργαλείο για τη γεωηλεκτρική κατασκευή τμημάτων. Έτσι, τα 1D στοιχεία αντιστροφής παραλαμβάνονται και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει οποιοδήποτε σχεδιάγραμμα προτιμά να επεξηγήσει.



Εικόνα 4.5: Δισδιάστατα προφίλ βυθοσκοπήσεων (A,B,C,D)

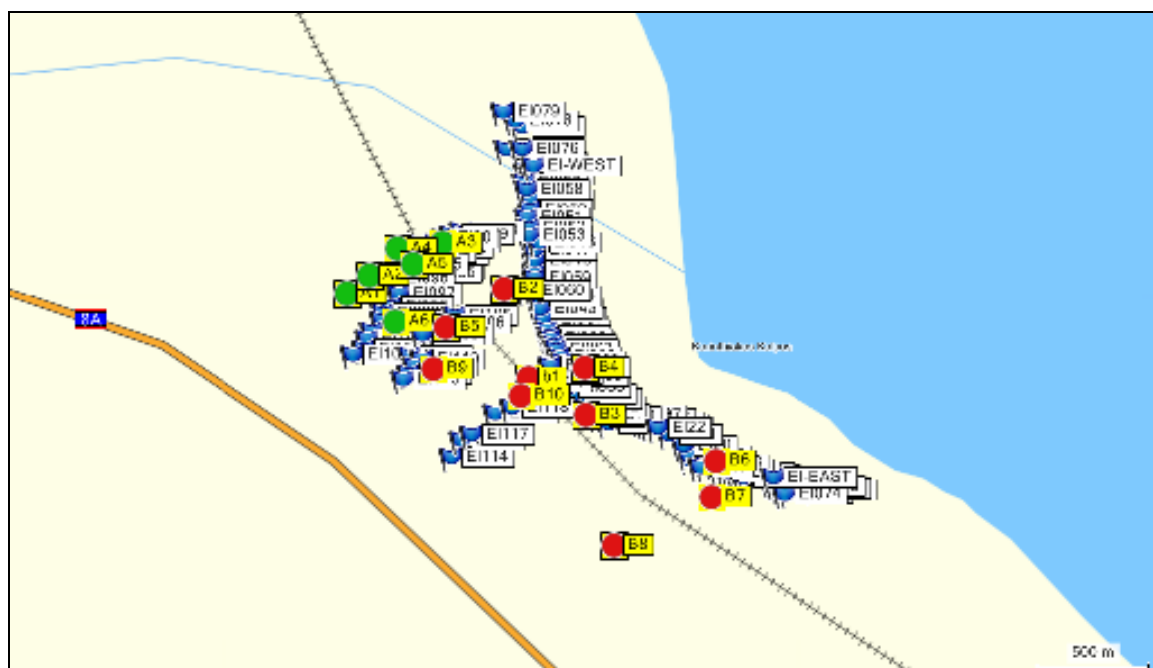
Για κάθε μία βυθοσκόπηση έγινε ανάλυση, επεξεργασία και μοντελοποίηση. Στη συνέχεια, έγινε δισδιάστατη απεικόνιση. Κάθε ένα σημείο είναι και μία βυθοσκόπηση. Έγιναν (**Εικόνα 4.5**) τέσσερα διαφορετικά προφίλ. Στο προφίλ A ο λόγος του κάθετου προς το οριζόντιο είναι 3 προς 1, στο προφίλ B είναι 1.5 προς 1, στο προφίλ C είναι 1 προς 1 και στο προφίλ D είναι 1.5 προς 1. Το προφίλ A έχει μήκος 2.695 μέτρα (**Εικόνα 4.5**) και πάρθηκε κατά μήκος του σιδηροδρόμου αλλά και σε κάποια απόσταση για να αποφευχθεί η ηχορύπανση των TEM μετρήσεων. Το μέσο βάθος διείσδυσης ήταν περίπου 35 μέτρα. Μέσα στις κοίτες των ποταμών (Σελινούντα και Κερυνίτη) και προκειμένου να καθοριστεί το χαμηλότερο όριο αποθέσεων, συλλέχθηκαν 15 ήχοι χρησιμοποιώντας βρόχο 25x25m (μέγιστο βάθος περίπου 75 μέτρα). Επιπλέον, στον ποταμό Κερυνίτη ένας βρόχος 50x50m με ήχο

πραγματοποιήθηκε πρόσθετα, καθώς τα αποτελέσματα της τομογραφικής εικόνας δεν παρείχαν καθαρά το πάχος των ιζημάτων (κοίτη ποταμού).

Κυρίως παρακάτω θα ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα των προφίλ A και D σε σχέση με την ιζηματολογική μελέτη (τα δύο αυτά προφίλ σχετίζονται με την ύπαρξη παλαιοκοιτών).

4.2 Ιζηματολογική μέθοδος

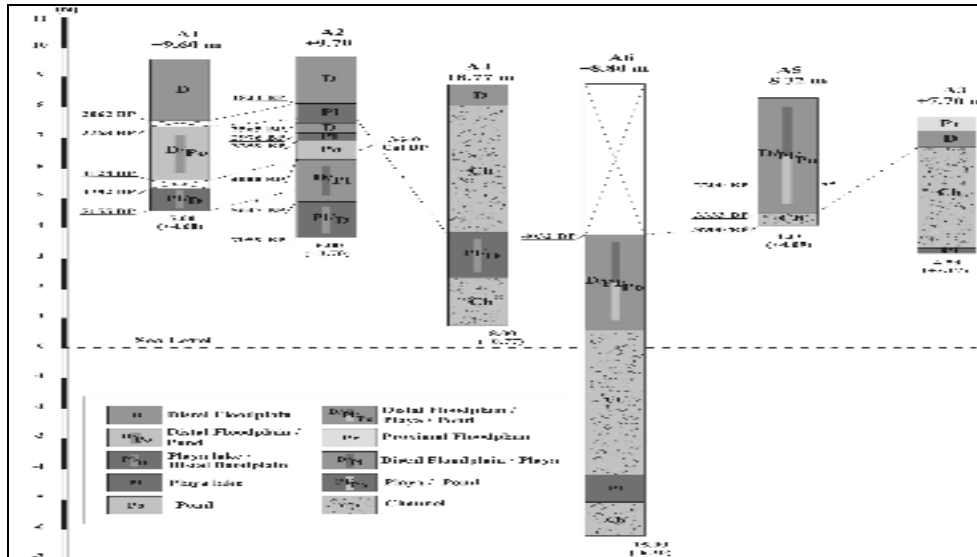
Στην **εικόνα 4.6** φαίνονται οι γεωτρήσεις των δύο ομάδων που έγιναν στην περιοχή, από το Πανεπιστήμιο Πατρών και οι TEM βυθοσκοπήσεις.



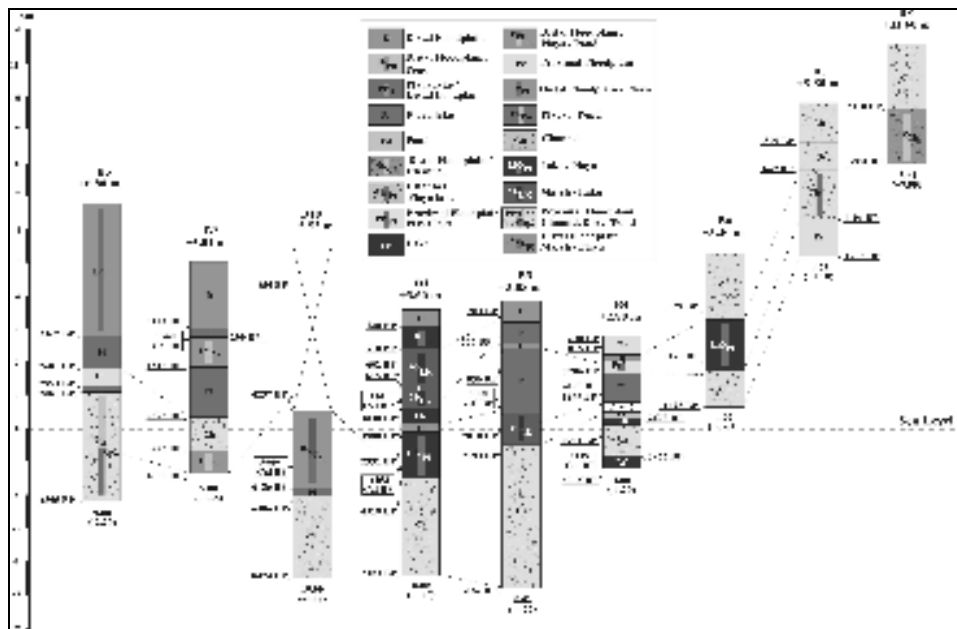
Εικόνα 4.6: TEM βυθοσκοπήσεις (μπλε), γεωτρήσεις ομάδας A (πράσινο) και γεωτρήσεις ομάδας B(κόκκινο)

Στις **εικόνες 4.7 και 4.8** φαίνονται τα προφίλ των γεωτρήσεων των ομάδων A και B. Στη μελέτη αυτή θα ασχοληθούμε με τα αποτελέσματα του προφίλ B. Οι γεωτρήσεις B2, B3, B4 και B6 θα συσχετιστούν με το προφίλ A (**Εικόνα 4.5**) και οι γεωτρήσεις B1 και B10 θα συσχετιστούν με το προφίλ D (**Εικόνα 4.5**).

Γενικά, από τις 15 γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή παρατηρείται μία ετερογενής στρωματογραφία.



Εικόνα 4.7: Προφίλ γεωτρήσεων ομάδας A (A1- A6)(Koutsios 2009)



Εικόνα 4.8: Προφίλ γεωτρήσεων ομάδας B (B1- B10) (Koutsios 2009)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε (κεφάλαιο 1), στη νοτιοδυτική ακτή του Κορινθιακού κόλπου στους ποταμούς Σελινούντα και Κερυνίτη διαμορφώνεται ένα δέλτα πεδιάδας που σύμφωνα με ιστορικές πηγές στο σημείο αυτό βρισκόταν η περιοχή της αρχαίας Ελίκης. Η παλαιογραφική εξέλιξη του δέλτα της πεδιάδας μπορεί να είναι το κλειδί για την αναγνώριση των μηχανισμών καταστροφής και της γεωγραφικής θέσης της αρχαίας πόλης. Τα ιζηματολογικά στοιχεία πάρθηκαν από τη λεπτομερή περιγραφή διάφορων γεωτρήσεων της περιοχής (Κούτσιος, 2009), ενώ γεωφυσικά στοιχεία βασίστηκαν στην εφαρμογή της TEM μεθόδου.

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος TEM είναι μια σχετικά πρόσφατη μέθοδος, δεδομένου ότι έχει χρησιμοποιηθεί στις περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές μελέτες τα τελευταία 15- 20 χρόνια (Σουπιός 2009, Καλησπέρη 2009).

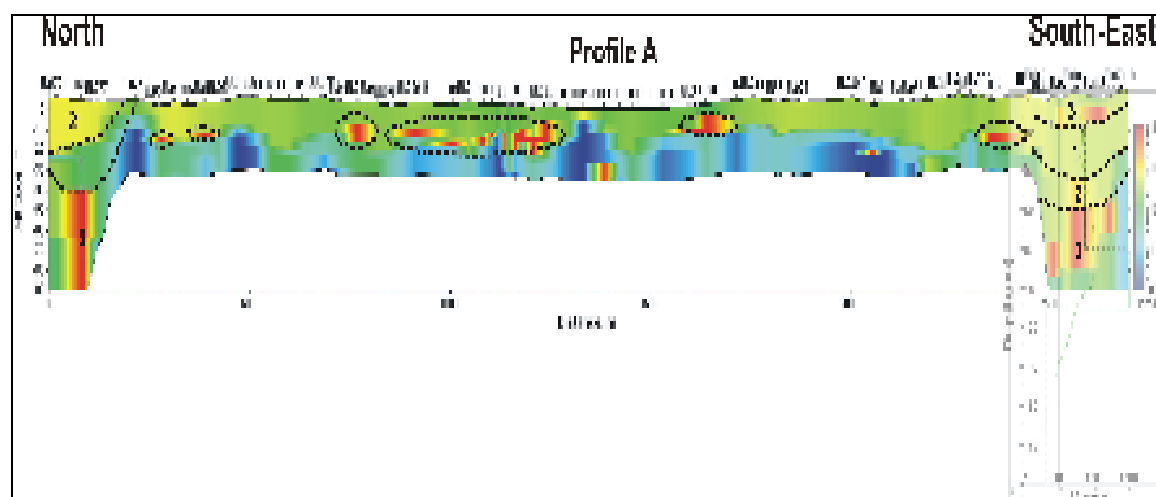
Κύριος σκοπός της μελέτης ήταν η συμβολή στην κατανόηση της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης του δέλτα της πεδιάδας του Σελινούντα (αρχαία Ελίκη) κατά τη διάρκεια της Ολόκαινου εποχής εξετάζοντας τη γεωλογία κάτω από την επιφάνεια με ιζηματολογική και γεωφυσική προσέγγιση. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος TEM για μία πολύ λεπτομερή έρευνα μέχρι ο στόχος να είναι στα ρηχά και να έχει πολύ περιορισμένο μέγεθος.

5.2 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 4, η γεωφυσική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η TEM χρησιμοποιώντας μονό βρόγχο 12.5x12.5m για ρηχό βάθος (λιγότερο από 30 μέτρα) και σε κάποιες περιπτώσεις 25x25m και 50x50m στην ευρύτερη περιοχή του χωριού της Ελίκης (βόρεια της Πελοποννήσου). Συνολικά, αποκτήθηκαν 195 μετρήσεις TEM από 121 διαφορετικές θέσεις οι οποίες παρουσιάστηκαν σε 4 προφίλ. Έγιναν επίσης στην περιοχή 15 ρηχές γεωτρήσεις από το Πανεπιστήμιο Πατρών.

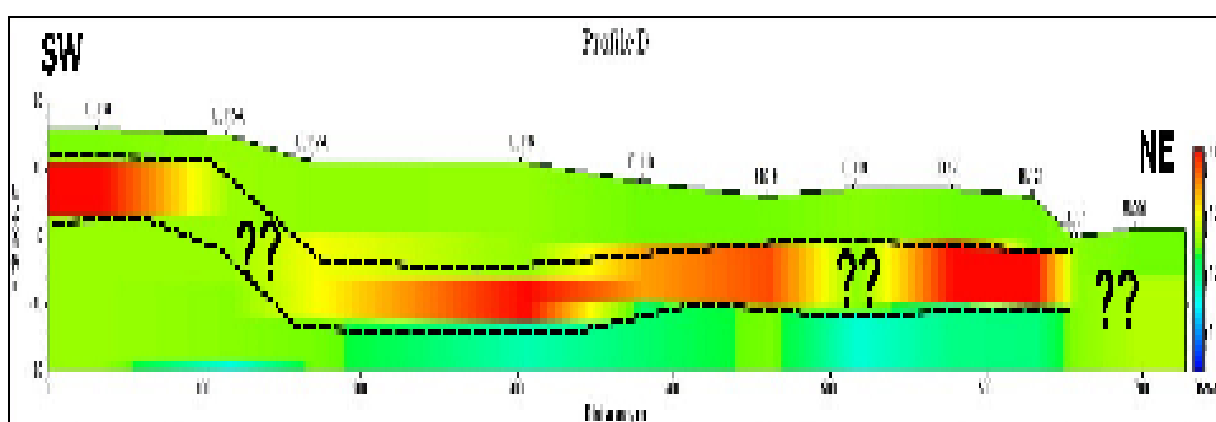
5.3 Αποτελέσματα τομογραφιών

Κατά μήκος των αποτελεσμάτων της τομογραφικής εικόνας του προφίλ Α, βρέθηκαν διάφοροι φακοί από κροκαλοπαγές (μαύρες ελλείψεις, **εικόνα 5.1**) . Οι φακοί ήταν κοντά (υψηλή αγωγιμότητα-μπλε χρώματα) υλικά. Οι φακοί αυτοί αντιπροσωπεύουν τις παλαιοκοίτες. Το μέσο βάθος αυτών των φακών ήταν περίπου 7-13 μέτρα κάτω από την επιφάνεια και η μέση διάσταση των φακών είναι περίπου 20-30 μέτρα. Στις περιοχές των κοιτών των ποταμών (Σελινούντα και Κερυνίτη) βρέθηκαν αντίστοιχα διαφορετικά λεπτόκοκκα υλικά. Στην κοίτη του ποταμού Κερυνίτη (Νοτιοανατολικά) παρατηρούμε υψηλές αντιστάσεις (κόκκινα χρώματα), πιθανότατα κροκαλοπαγές και άλλα υλικά (στρώμα 3, **εικόνα 5.1**) που καθορίστηκαν στο κατώτατο σημείο του μοντέλου και η ιζηματογένεση συνεχίστηκε στα λεπτότερα στρώματα (2 και 1 **εικόνα 5.1**). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αποτελέσματα της τομογραφικής εικόνας δεν ήταν πολύ σαφή (μέχρι το βάθος των 150 μέτρων) και η βυθοσκόπηση αποδεικνυε ότι το πάχος της κοίτης του ποταμού είναι 110 μέτρα. Στην κοίτη του ποταμού Σελινούντα, παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα σχετικά με την ιζηματογένεση αλλά βρέθηκαν μερικές αλλαγές στην απόθεση των διαφορετικών στρωμάτων (1, 2 και 3).



Εικόνα 5.1: Δισδιάστατη αναπαράσταση κατανομής ειδικής αντίστασης σε σχέση με το βάθος (με τα νούμερα 1, 2 και 3 απεικονίζονται οι διάφορες φάσεις ιζηματογένεσης: φάση 3- υψηλή αντίσταση (κροκαλοπαγή, άμμος, χαλίκια), φάσεις 1, 2- λεπτόκοκκα υλικά χαμηλότερης αντίστασης)

Το προφίλ D έχει μήκος 729 μέτρα, είναι αντιπροσωπευτικό των συμπληρωματικών γεωφυσικών μετρήσεων που έγιναν και σαν αποτέλεσμα αποφασίστηκε να παρουσιαστεί στην **εικόνα 5.2**. Υποθετικά, μπορεί μία παλαιοκοίτη να καθοριστεί (κατά μήκος των μετρήσεων που πάρθηκαν), όπου το στρώμα παρουσιάζει ασυνέχειες (ερωτηματικά στην **εικόνα 5.2**). Αυτές οι ασυνέχειες μπορούν ενδεχομένως να εξηγηθούν ως αλλαγές στην κατεύθυνση της ιζηματογένεσης κατά μήκος της παλαιοκοίτης. Η παλαιοκοίτη έχει το ίδιο πάχος και ακολουθεί την τρέχουσα τοπογραφία.



Εικόνα 5.2: Δισδιάστατη αναπαράσταση κατανομής ειδικής αντίστασης σε σχέση με το βάθος

Γενικά στη μελέτη αυτή, πραγματοποιήθηκε μία λεπτομερής γεωηλεκτρομαγνητική έρευνα και πάρθηκαν σχεδόν 200 μετρήσεις προκειμένου να αναδημιουργηθεί η 2D κατανομή της ειδικής αντίστασης κάτω από την επιφάνεια. Η λεπτομερής γεωηλεκτρομαγνητική έρευνα σε σχέση με τα διαθέσιμα γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της προγενέστερης περιοχής και τη γεωφυσική έρευνα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό των σημαντικότερων γεωμορφολογικών ρηχών χαρακτηριστικών της υπό έρευνα περιοχής, δεδομένου ότι μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την εξέλιξη της κοίτης των πλημμυρών στην περιοχή της αρχαίας Ελίκης. Αυτή η μελέτη δείχνει ότι μια λεπτομερής έρευνα που χρησιμοποιεί μια σύγχρονη γεωφυσική μέθοδο (TEM-Transient Electromagnetic Method), μπορεί να παρέχει τις πιθανές πληροφορίες για την ύπαρξη και γεωμετρία των παλαιοκοιτών της κοίτης της πλημμυρισμένης περιοχής και το παλαιο- περιβάλλον της περιοχής της αρχαίας Ελίκης (μεταξύ των ποταμών Σελινούντα και Κερυνίτη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων στην περιοχή της αρχαίας Ελίκης στη Βόρεια Πελοπόννησο.

Ύστερα από τη μελέτη αυτή, συμπεραίνουμε ότι η γεωφυσική μέθοδος TEM έχει καλή εφαρμογή στις ιζηματολογικές μελέτες, καθώς όπως φάνηκε, τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων στη μελέτη αυτή ταίριαξαν με τα γεωφυσικά αποτελέσματα, επιβεβαιώνοντας τις αρχικές μας προβλέψεις σχετικά με το υπέδαφος της περιοχής μελέτης.

Επιπλέον, η γεωφυσική μέθοδος TEM, έχοντας ελαφρύ εξοπλισμό με αποτελεσματική λειτουργία, είναι μια πολύ εύχρηστη και γρήγορη μέθοδος, εφόσον στην περίπτωση της παρούσας μελέτης πάρθηκαν περίπου 200 μετρήσεις σε διάστημα τεσσάρων ημερών, με απόσταση μεταξύ τους.

Τέλος, η μέθοδος TEM είναι πολύ σημαντική για τη χαρτογράφηση των εδαφών και παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barsukov P O, Fainberg E B, Khabensky E O 2007. Shallow investigation by TEM FAST technique: methodology and case histories. In Spichak V V (ed) *Methods of geochemistry and geophysics*. Elsevier. pp 55-77.

Hoekstra, Pieter, and Blom, Mark W., 1990, Case Histories of Time-Domain Electromagnetic Soundings in Environmental Geophysics: in *Geotechnical and Environmental Geophysics*, ed: S.H.Ward, SEG, IG#5, Vol. 2: P.1-15.

Kalisperi D. 2009. Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete - Greece using geophysical and geochemical methods, PhD Thesis, Brunel University - UK.

Katsanopoulou D. 2005. The earthquake of 373 BC. Literary and archaeological evidence. *Helike III*, 15-32.

Kontopoulos N. & Avramidis P. 2003. A late Holocene record of environmental changes from the Aliko lagoon, Egion, North Peloponnesus, Greece. *Quaternary International*, 111, 75-90.

Koukouvelas I.K. 1998. Transfer zones along active normal faults in Peloponnesus, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 32, 221-229,

Koukouvelas I.K & T. Doutsos, 1996. Implication of structural segmentation during earthquakes: the 1995 Egion earthquake, Gulf of Corinth, Greece. *J. Structural Geology*, 18, 1381-1388.

Koutsios A. 2009. Middle to Late Holocene paleogeography of Helike delta plain. Application in Archaeological research. PhD Thesis, Univ. of Patras - GR

McNeill, D.J., Principles and applications of time domain electromagnetic techniques for resistivity soundings, Geonics, technical note TN 27, 1994

McNeill, J.D., 1990, Use of electromagnetic methods for groundwater studies: in *Geotechnical and Environmental Geophysics*, ed: S.H.Ward, SEG, IG#5, Vol. 1: P.191-218.

Missiaen T., Slob E. and Donselaar M.E., 2008, Comparing different shallow geophysical methods in a tidal estuary, Verdrongen Land van Saeftinge, Western Scheldt, the Netherlands, *Netherlands Journal of Geosciences* Vol 87(2), pp.151 – 164. Nabighian, M.N. and Macnae, J.C., Time domain electromagnetic prospecting methods. In: Nabighian, M.N., Editor, 1991., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Applications*, vol. 2, SEG publication, Chap. 6., 1991, pp. 427–520

Poulimenos, G. 1993. Tectonics and sedimentation in the western Corinth graben. *Neues Jb Geol. Paleont. Mh.*, 10, 607-630.

Soupios P., Kalisperi D., Kanta A., Kouli M., Barsukov P. and Vallianatos F., 2009, Coastal aquifer assessment based on geological and geophysical survey, North Western Crete, Greece, *Environmental Earth Sciences*, doi 10.1007/s12665-009-0320-1

Soter S. 1998. Holocene uplift and subsidence of the Helike delta, Gulf of Corinth, Greece, In: Stewart I. & Vita-Finzi (eds) *Coastal Tectonics*, Spec. Pub. Geol. Soc. London, 146, 41-56.

Soter S. & Katsanopoulou D., 2005. Studies on the geoarchaeology of the Helike Delta: 1991-2000. *Helike III*, 169-182.

TEM- FAST, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από <http://www.aemr.net/>.

TEM-RESearcher manual, Version 7, Applied Electromagnetic Research (AEMR), the Netherlands, 2007.

Time-Domain Electromagnetic Exploration, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από http://www.nga.com/Flyers_PDF/NGA_TDEM_TEQ.pdf.

Αράμπελος 1991, Στοιχεία Γεωφυσικών Διασκοπήσεων , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη.

Αρχαία Ελίκη, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από <http://www.visit-achaia.gr/el/attractions/history/237-2010-01-18-10-02-04>.

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/.../807/.../ΕΙΣΑΓΩΓΗ.doc.

Παπαζάχος ,Βασίλης Κ., 1996, Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη.

Παπαζάχος , Β. (1999) , Εισαγωγή στη Γεωφυσική , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη.

Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από <http://www.ditikiellada.gov.gr/contents.asp?id=274>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθεί λίστα των αποτελεσμάτων της 1-D μοντελοποίησης των TEM γεωφυσικών δεδομένων που πραγματοποιήθηκαν στη περιοχή έρευνας.