ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Συμβολή μεθόδων σεισμικής διάθλασης και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στη μελέτη νεογενών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής Αρκαλοχωρίου, Ηρακλείου.»

Εκπόνηση: Ιερωνυμάκης Γεώργιος
Α.Μ: 2001020024

Εξεταστική Επιτροπή

Βαφείδης Αντώνιος (Επιβλέπων καθηγητής)
Μανούτσογλου Εμμανουήλ (Αναπληρωτής καθηγητής)
Πασσαδάκης Νικόλαος (Επίκουρος καθηγητής)

Χανιά, Σεπτέμβριος 2010

Πρόλογος

Θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνιο Βαφείδη, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, Πρόεδρο του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και Διευθυντή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Πασσαδάκη Νικόλαο για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή καθώς και τον τελικό έλεγχο και τις σημαντικές παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας. Θερμές ευχαριστίες στον Δρ. Κρητικάκη Γεώργιο, ερευνητικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στην επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων, αλλά και για τις υποδείξεις του κατά τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον Δρ. Hamdan Hamdan για την συμβολή του στην συλλογή των επιπρόσθετων γεωφυσικών δεδομένων και για τις πολύτιμες συμβουλές του στην επεξεργασία αυτών. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φοιτητές και το ερευνητικό προσωπικό του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, που συμμετείχαν στις ασκήσεις υπαίθρου IV του έτους 2007, για τη συλλογή των περισσότερων γεωφυσικών δεδομένων που επεξεργάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των νεογενών μεταλπικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής του Αρκαλοχωρίου του νομού Ηρακλείου, στην Κεντρική Κρήτη, χρησιμοποιώντας κυρίως, γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης, όπως η σεισμική διάθλαση και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, καθώς επίσης γεωλογικά και γεωτρητικά δεδομένα. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των γεωφυσικών παραμέτρων των δομικών μονάδων που αποτελούν τους νεογενείς σχηματισμούς και στην αξιολόγηση των γεωφυσικών μεθόδων για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τους σχηματισμούς αυτούς. Η μελέτη των εν λόγω σχηματισμών είναι σημαντική, εφόσον αποτελούν δυνητικό ταμιευτήρα βιογενούς μεθανίου, το οποίο θεωρείται ότι έχει προέλθει από την αποδόμηση εγκλωβισμένης οργανικής ύλης, εντός των κλαστικών σχηματισμών, κατά το Νεογενές.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού πραγματοποιήθηκε συλλογή και επεξεργασία γεωφυσικών δεδομένων σεισμικής διάθλασης, ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και ηλεκτρικής τομογραφίας. Από την συνδυαστική αντιπαραβολή των γεωλογικών, των γεωτρητικών και των γεωφυσικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε ερμηνεία τους, με σκοπό την εκτίμηση της γεωηλεκτρικής και σεισμικής συμπεριφοράς των ιζηματογενών πετρωμάτων που δομούν τους νεογενείς σχηματισμούς.

Συμπερασματικά, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης προσδιορίστηκαν τρία σεισμικά στρώματα με ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων στα 700-1500 m/s 1500-2000 m/s και 2000-2500 m/s αντίστοιχα. Τα στρώματα αυτά βάσει και των γεωλογικών δεδομένων αποδόθηκαν σε γεωλογικά στρώματα μαργών και αργιλών, μαργών και αργίλων με ενστρώσεις ψαμμιτών και ψαμμιτικών όγκων αντίστοιχα για τους νεογενείς σχηματισμούς.

Από τη μελέτη της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας τα αντίστοιχα γεωηλεκτρικά στρώματα οριοθετούνται στα 9-25 Ohm.m για αργιλικούς-μαργαϊκούς σχηματισμούς, και στα 25-55 Ohm.m στις περιοχές ανάπτυξης μαργαϊκων και ψαμμιτικών όγκων, βάσει και των γεωλογικών δεδομένων.

Από την εφαρμογή της μεθόδου της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης προκύπτει ότι το πάχος των νεογενών ιζημάτων ξεπερνάει, κατά θέσεις, τα 400 m. Το προνεογενές υπόβαθρο δεν διασκοπήθηκε σε καμία από τις περιοχές που πραγματοποιήθηκε γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, παρά τα μεγάλα αναπτύγματα που χρησιμοποιήθηκαν.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Πινάκων & Σχημάτων

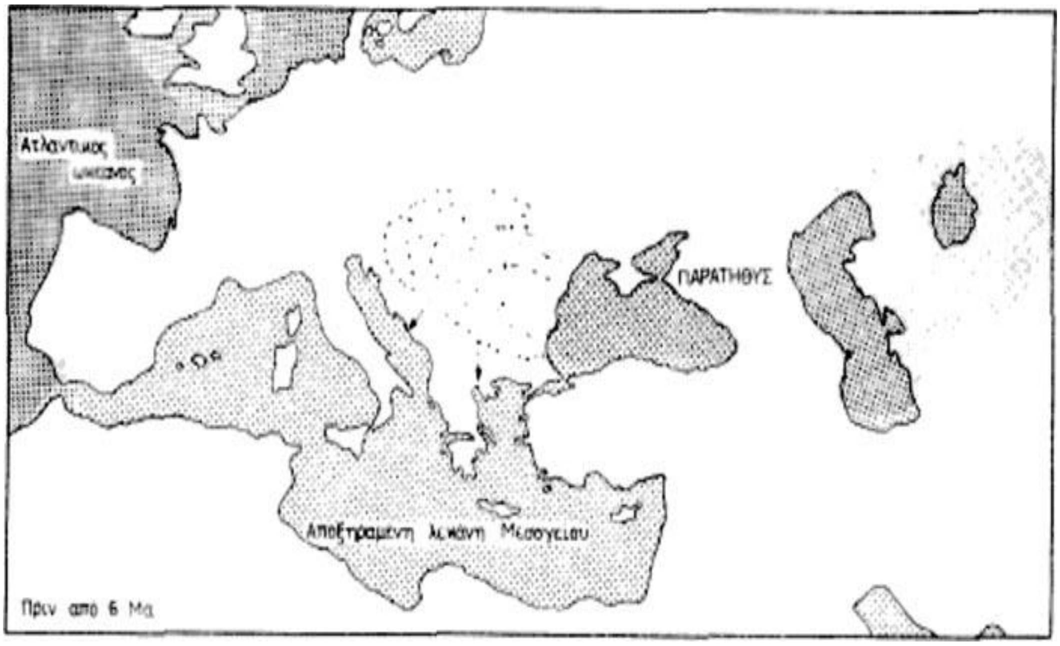
Κεφάλαιο 1 - Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης

1.1 Γεωλογία των νεογενών σχηματισμών

Όπως είναι γνωστό από την Ιστορική Γεωλογία, το Νεογενές και Τεταρτογενές καλύπτουν περίπου τα τελευταία 25 εκατομμύρια χρόνια (MA) του Καινοζωϊκού αιώνα. Τα μεταλπικά ιζήματα είναι τόσο θαλάσσιας προέλευσης όσο και ηπειρωτικής (λιμναία και ποταμοχειμάρρια) και πληρούν, κατά κανόνα, διάφορες νεογενείς λεκάνες. Γενικά, τα πιο συνηθισμένα ιζηματογενή πετρώματα του Ανώτερου Νεογενούς είναι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι, τραβερτίνες, άμμοι, χαλαρά και συνεκτικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή καθώς και εβαπορίτες (αλάτι και γύψος). Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούν μια μεγάλη ποικιλία θαλάσσιων και χερσαίων αποθέσεων συνήθως χαλαρών. Μεταξύ αυτών μεγάλη εξάπλωση έχουν τα ποταμοχειμάρρια ή δελταϊκά κροκαλοπαγή, οι άμμοι, τα χαλίκια, τα τυρφοχώματα, οι άργιλοι, οι τραβερτίνες. και οι κώνοι κορημάτων. Ιδιαίτερη σημασία από τις ηπειρωτικές τεταρτογενείς αποθέσεις έχουν τα πλευρικά κορήματα των βουνών, τα οποία ανάλογα με το είδος των υλικών τους, το χρώμα τους, το βαθμό συνεκτικότητάς τους κτλ, μπορούν να προσδιορίσουν διάφορες κλιματικές εποχές του Τεταρτογενούς και κατά συνέπεια να βοηθήσουν στη στρωματογραφική διαίρεση (Παυλίδης, 2007).

Το Νεογενές χωρίζεται σε δύο εποχές, το Μειόκαινο και το Πλειόκαινο. Η διάκριση στις παραπάνω εποχές γίνεται κυρίως με βάση παλαιοντολογικά δεδομένα, αν και ο χωρισμός αυτός πολλές φορές είναι πρακτικά αδύνατος. Το Μειόκαινο καλύπτει περίπου το χρονικό διάστημα μεταξύ 25 και 5 εκατομμυρίων ετών (ΜΑ) και είναι η μεγαλύτερη περίοδος του Νεογενούς. Η περίοδος τον Πλειόκαινου εκτείνεται περίπου από τα 5 ΜΑ μέχρι 1.8-2 ΜΑ, όπου αρχίζει η τελευταία περίοδος της ιστορίας της Γης, το Τεταρτογενές. Όσον αφορά στην παλαιογεωγραφία των νεότερων περιόδων της ιστορίας της Γης, σε γενικές γραμμές γνωρίζουμε τα ακόλουθα (Hsu, 1978):

Στον Ευρωπαϊκό - Μεσογειακό χώρο, το Νεογενές χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη της Παρατηθύος, η οποία λειτούργησε από το τέλος του Ολιγόκαινου - αρχές Μειόκαινου ως μια μεγάλη ηπειρωτική θάλασσα, υπόλειμμα του ωκεανού της Τηθύος. Η Παρατηθύς εκτεινόταν από τη σημερινή Ουγγαρία (λεκάνη Πανονίας), Ρουμανία, Μαύρη θάλασσα, Κριμαία, Κασπία και λίμνη Αράλη (Σχήμα 1.1). Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την εξέλιξη της Παρατηθύος είναι οι νεότερες τεκτονικές κινήσεις, η παγκόσμια μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας και οι αντίστοιχες κλιματικές μεταβολές. Το τελευταίο στάδιο εξέλιξης της Παρατηθύος, που άρχισε μεταξύ Μέσου και Ανώτερου Μειόκαινου και ολοκληρώθηκε στο Πλειόκαινο, ονομάζεται Νεοπαρατηθύς. Η σημερινή Μαύρη θάλασσα, η Κασπία και η λίμνη Αράλη, θεωρούνται υπολείμματα της Παρατηθύος.



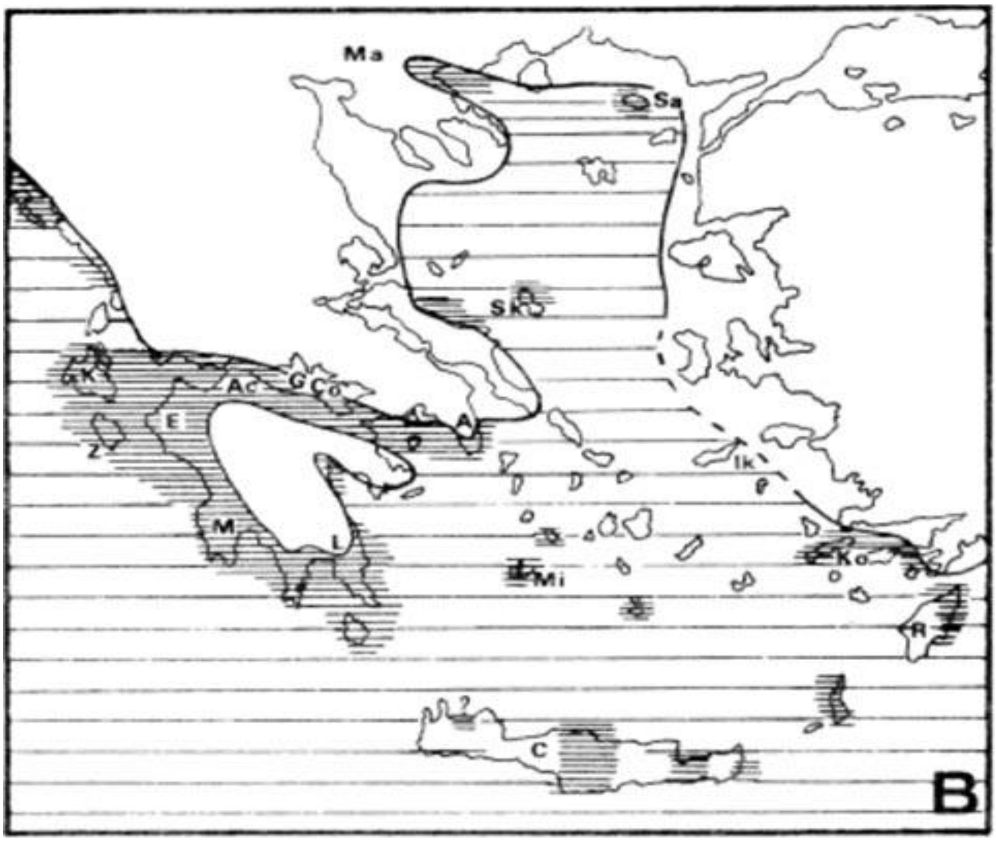
Σχήμα 1. 1 *Η Γεωγραφική θέση της Παρατηθύος κατά το Ανώτατο Μειόκαινο, πριν 7-6 ΜΑ. Τα βέλη δείχνουν τις πιθανές θέσεις επικοινωνίας της Παρατηθύος με τη Μεσόγειο (Hsu, 1978).*

Ειδικότερα, η παλαιογεωγραφική κατάσταση της Μεσογείου κατά τη διάρκεια του Νεογενούς, όπως συμπεραίνεται από τη μελέτη της εξέλιξης και της εξάπλωσης των διάφορων θαλάσσιων πανίδων, σκιαγραφείται ως εξής (Παυλίδης, 2007):

Μετά το τέλος των κύριων αλπικών φάσεων, που τοποθετείται στο Μέσο Μειόκαινο περίπου, και την εξαφάνιση των τελευταίων διόδων, αφενός μεταξύ της Μεσογείου και του Ινδικού Ωκεανού και αφετέρου μεταξύ της Μεσογείου και του Ατλαντικού Ωκεανού, η θάλασσα της Μεσογείου είχε περιοριστεί κατά το μεγαλύτερο της τμήμα. Διατηρούνταν μόνο μερικές μεγάλες και σχετικά βαθιές λεκάνες με αλμυρά ή υφάλμυρα νερά, καθώς και πολλές μικρότερες λίμνες που εκτείνονταν σ' όλη της την έκταση. Μια επικρατούσα υπόθεση για την κατάσταση αυτή της Μεσογείου είναι ότι κατά το Τορτόνιο (περίπου πριν από 8-10 ΜΑ) σημειώθηκε μια πτώση της στάθμης των ωκεανών, με αποτέλεσμα τη μερική απομόνωση της Μεσογείου από τον Ατλαντικό. Η απομόνωση αυτή ολοκληρώθηκε κατά το Μεσσήνιο.

Οι λεκάνες αυτές της Μεσογείου και οι λίμνες ήταν ιδιαίτερα ευαίσθητες στις κλιματικές μεταβολές. Πρόσφατα στοιχεία που προστίθενται συνεχώς για την παλαιογεωγραφία της Μεσογείου, επιβεβαιώνουν την ύπαρξη γύρω στα τέλη του Μειόκαινου (Μεσσήνιο) μιας μακρόχρονης περιόδου επανειλημμένων αποξηράνσεων, γνωστών στη βιβλιογραφία με την έκφραση «κρίση αλμυρότητας του Μεσσήνιου». Περιοδικά δηλαδή, η Μεσόγειος γνώριζε διαστήματα που χαρακτηρίζονταν από εισροή θαλάσσιων μαζών και εναλλασσόμενα διαστήματα έντονης εξάτμισης και αποξήρανσης. Οι περίοδοι αποξήρανσης χαρακτηρίζονται από εναποθέσεις εβαποριτών (γύψου και άλλων αλάτων). Το πάχος αυτών των ιζημάτων σε ορισμένα σημεία της Μεσογείου φτάνει τα 2 Km (Παυλίδης, 2007). Ακριβέστερες χρονολογήσεις τοποθετούν τα όρια αυτών των εποχών των εναλλασσόμενων αποξηράνσεων και κατακλίσεων στα 7,2 με 5,5 ΜΑ.

Η διάνοιξη των στενών του Γιβλαρτάρ που συνέβη πριν από 5 ΜΑ και ολοκληρώθηκε στα τέλη του Πλειόκαινου, αποτέλεσε το σημαντικό εκείνο τεκτονικό γεγονός που μετέβαλε την παλαιογεωγραφική εικόνα της Μεσογείου, γιατί επέτρεψε μια καινούργια εισροή της θάλασσας. Η εξάπλωση αυτή του θαλάσσιου Πλειοκαίνου, στον Ελλαδικό χώρο, απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2 (Keraudren, 1979) . Εξάλλου, ο Ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Ανώτατου Μειόκαινου - Πλειόκαινου είχε περίπου τη σημερινή του μορφή με πολλά τμήματά του κατακλυσμένα από θάλασσα, π.χ. Δυτική Πελοπόννησος, τμήματα της Κρήτης, Ρόδου και Αττικής, Ζάκυνθος, Κεφαλλονιά, Κέρκυρα, κόλπος του Ορφανού κ.ά., όπως προκύπτει από τη μελέτη των αντίστοιχων αποθέσεων στις παραπάνω περιοχές.



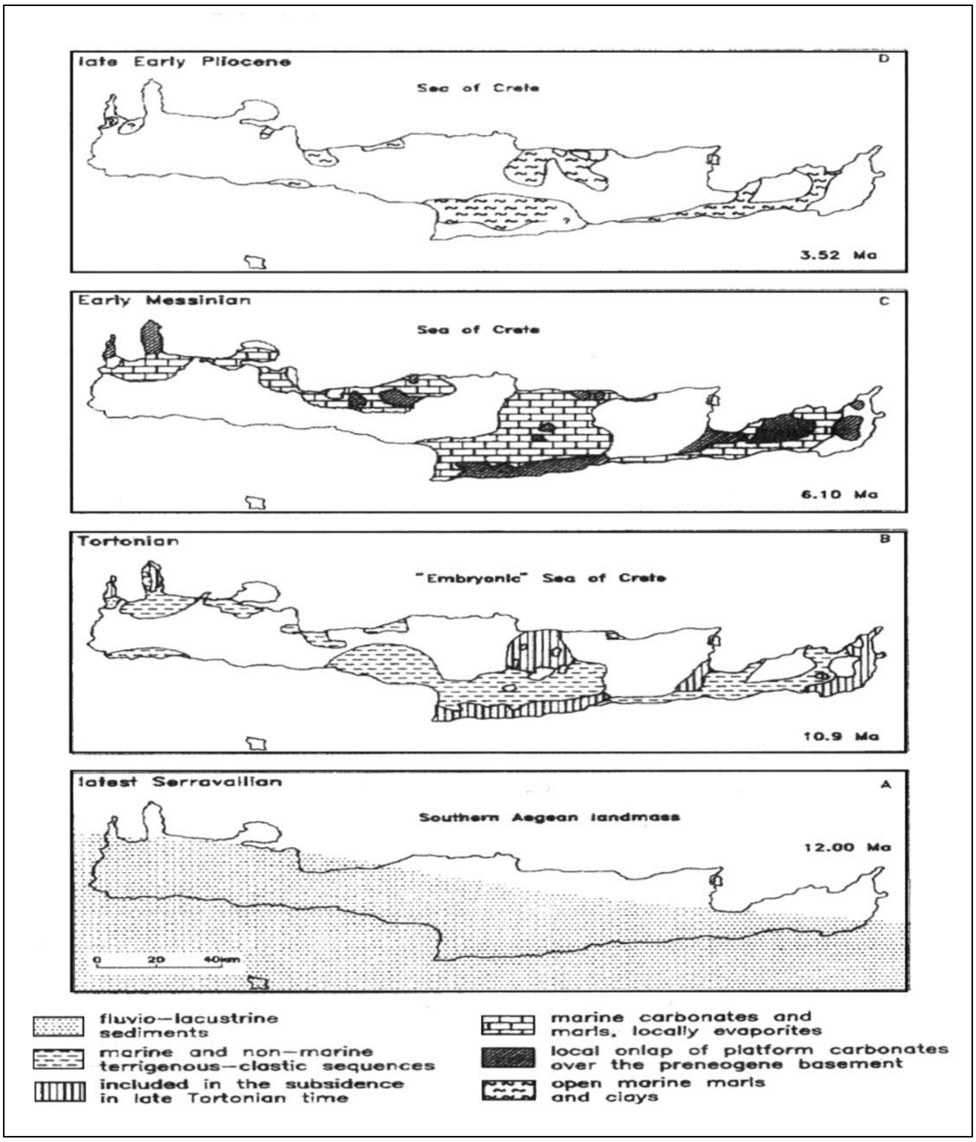
Σχήμα 1. 2 *Περιοχές εξάπλωσης του θαλάσσιου Πλειόκαινου στον ελληνικό χώρο. (Keraudren, 1979).*

Το Τεταρτογενές είναι η νεότερη χρονικά περίοδος της ιστορίας της Γης, που άρχισε πριν από 1,8-2 εκατομμύρια χρόνια και συνεχίζει μέχρι σήμερα. Χωρίζεται στο Πλειστόκαινο που είναι το κυριότερο τμήμα του και στο Ολόκαινο που περιλαμβάνει τα τελευταία 10 χιλιάδες χρόνια της ιστορίας της Γης. Το Τεταρτογενές παρουσιάζει μια ιδιαιτερότητα στην κλιματική του κατάσταση με τις διαδοχικές εναλλαγές θερμών και ψυχρών περιόδων (παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις περίοδοι) (Keraudren, 1979). Γενικά οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούν μια μεγάλη ποικιλία θαλάσσιων, αλλά κυρίως χερσαίων (κατά κανόνα) χαλαρών αποθέσεων. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει κάποιο σαφώς καθορισμένο όριο μεταξύ του Πλειόκαινου και Πλειστόκαινου και για το λόγο αυτό συχνά τα αντίστοιχα ιζήματα αναφέρονται αδιαίρετα σαν πλειοπλειστοκαινικά. Ένας χαρακτηριστικός πλειοπλειστοκαινικός σχηματισμός αποτελείται γενικά από ποταμοχειμάρρια, ποτάμια και λιμνοδελταϊκά ιζήματα, όπως χαλαρά κροκαλοπαγή, άμμους, αργιλομάργες κ.ά. Τυπικοί χερσαίοι τεταρτογενείς σχηματισμοί είναι οι παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις αποθέσεις, κυρίως κώνοι πλευρικών κορημάτων, λιθώνες, μοραίνες κ.ά. (Παυλίδης, 2007).

1.2 Λιθοφασική εξέλιξη νεογενούς λεκάνης του Ηρακλείου

Για την κατανόηση της στρωματογραφικής εξέλιξης και της στρωματογραφικής θέσης των σχηματισμών ενδιαφέροντος της Κρήτης, μέσα στη ευρύτερη λεκάνη του Νεογενούς, δηλαδή των ιζηματολογικών ακολουθιών που αποτέθηκαν τα τελευταία δεκατρία περίπου εκατομμύρια χρόνια, δίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από τις έρευνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για την Κρήτη (Meulenkamp, 1979). Οι διαδοχικές παλαιογεωγραφικές διατάξεις αντικατοπτρίζουν τέσσερα κύρια επεισόδια στην διάρκεια της εξέλιξης του ανάγλυφου κατά μήκος της διατομής στην κεντρική Κρήτη. Κατά την διάρκεια του πρώτου επεισοδίου (Άνω Σαρραβάλλιο) στη περιοχή λάμβανε χώρα λιμναία ιζηματογένεση και οριοθετούσε την ξηρά του νοτίου Αιγαίου (Southern Aegean landmass). Το δεύτερο και τρίτο επεισόδιο (Ανώτατο Σαρραβάλλιο-Μεσσήνιο) δημιούργησαν ένα παλαιογεωγραφικό καθεστώς, όπου οι σημερινές κορυφογραμμές που οριοθετούν και διατέμνουν την λεκάνη του Ηρακλείου, άρχισαν να παίζουν ενεργό ρόλο στην παλαιογεωγραφία και την τοπογραφία του πυθμένα. Κατά την διάρκεια του Άνω Μειοκαίνου αναπτύχθηκε η λεκάνη του Ηρακλείου, ενώ οι κορυφογραμμές της κεντρική Κρήτης με διεύθυνση Α-Δ άρχισαν να διαχωρίζουν την λεκάνη στο βόρειο και νότιο τμήμα της. Το τέταρτο επεισόδιο χαρακτηρίζεται από την έντονη άνοδο όλης της περιοχής κατά το

Πλείοκαινο (Meulenkamp, 1979). Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζεται μια σειρά από απλοποιημένους παλαιογεωγραφικούς χάρτες που απεικονίζουν τα ανωτέρω.



Σχήμα 1. 3 *Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Νεογενών ιζημάτων στην Κρήτη (Meulenkamp, 1979).*

Η Λιθοφασική εξέλιξη της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου περιγράφεται ως εξής (Veen,1999):

(1) Μετά την ολοκλήρωση της τεκτονικής ορογενετικής φάσης που οδήγησε στον σχηματισμό του προνεογενούς ηλικίας πακέτου καλυμμάτων των Εξωτερικών Ελληνίδων και κατά συνέπεια και της Κρήτης, η ιζηματογένεση στις λεκάνες του Νεογενούς ξεκίνησε με την απόθεση χερσαίων κλαστικών κατά την διάρκεια Μέσο Μειόκαινου. Οι αμμώδεις και ιλυώδεις αποθέσεις με μικρές παρενστρώσεις από κροκαλοπαγή ανήκουν στο σχηματισμό της Βιάννου.

(2) Κατά τη μετάβαση από το μέσο στο ανώτερο Μειόκαινο στην περιοχή μεταξύ των περιοχών Σχοινιά, Μάρθα και Τεφέλι αποτέθηκαν σε ένα βαθύ (> 200 μ.), θαλάσσιο περιβάλλον οι άργιλοι του σχηματισμού του Σχοινιά. Οι άργιλοι είναι νεαρής ηλικίας (Τορτόνιο). Πρόκειται γενικά για καλά στρωμένες σκούρες τεφρές ή πρασινοκύανες θαλάσσιες αργίλους και ιλυώδεις άργιλους με παρεμβολές καστανόχρωμων ψαμμιτών. Το όριο με τον υποκείμενο σχηματισμό Βιάννου έχει τοποθετηθεί κατ' εκτίμηση στη βάση του κατώτερου θαλάσσιου στρώματος.

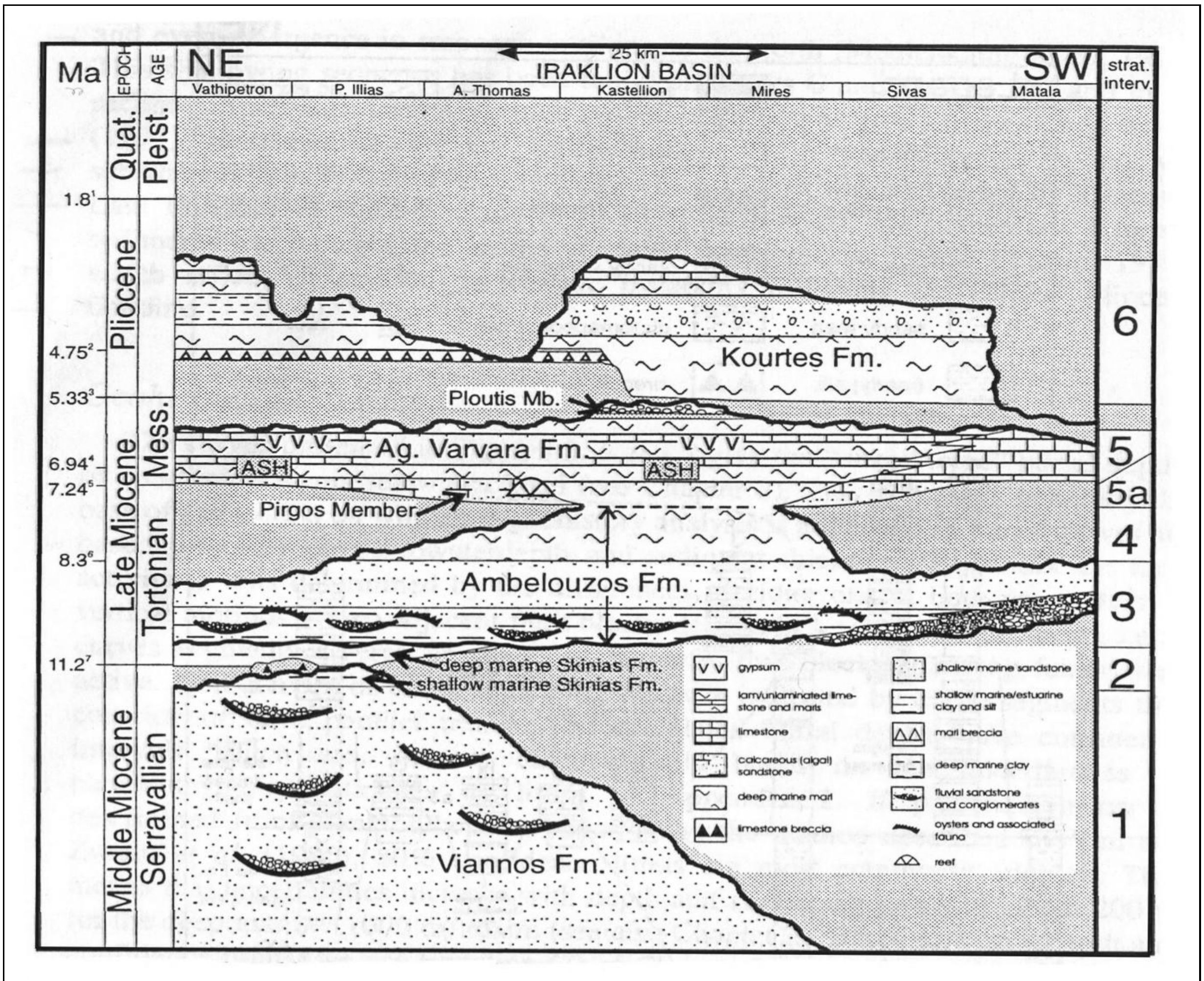
(3) Στο Κατώτερο Τορτόνιο αποτέθηκαν τα κλαστικά του κατώτερου μέρους του σχηματισμού του Αμπελούζου. Στρωματογραφικά, αυτός ο σχηματισμός υπέρκειται του σχηματισμού του Σχοινιά. Το κατώτερο μέρος του σχηματισμού του Αμπελούζου χαρακτηρίζεται από ιζηματογενείς φάσεις που κυμαίνονται από αδρομερή κροκαλοπαγή ως και ομοιογενείς ψαμμίτες υφαλοκρηπίδας. Οι εναλλαγές αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων δελταϊκών αποθέσεων υποδεικνύουν υψηλότερους κύκλους απόσυρσης/επίκλησης (εμβάθυνση της λεκάνης απόθεσης ιζημάτων). Τα γεωλογικά στρώματα χερσαίας προέλευσης καθώς και αυτά που αποτελούν το τμήμα της ρηχής θάλασσας του σχηματισμού Αμπελούζου έχουν χρονολογηθεί στο Κάτω Τορτόνιο.

(4) Κατά την διάρκεια του Τορτονίου πραγματοποιήθηκε μια μετάβαση από αποθέσεις παράκτιας άμμου σε συσσώρευση μπλε-γκρι μαργών ανοιχτής θάλασσας. Στη στρωματογραφική καταγραφή αυτό εκφράζεται από τη μετάβαση από το χαμηλότερο στο ανώτερο μέρος του σχηματισμού του Αμπελούζου. Η λεπτομερής στρωματογραφία δείχνει ηλικία Άνω Τορτονίου για τις αποθέσεις βαθιάς θάλασσας του σχηματισμού του Αμπελούζου.

(5) Την απόθεση των χερσαίων κλαστικών του σχηματισμού του Αμπελούζου που πραγματοποιήθηκε στο Κάτω Τορτόνιο (3) ακολούθησε η συσσώρευση των ασβεστόλιθων και μαργών του Μεσσηνίου. Αυτή η αλλαγή είναι φανερή στα ιζήματα του σχηματισμού της Αγ. Βαρβάρας του Μεσσηνίου. Στα βορειότερα και νοτιότερα μέρη της περιοχής, το χαμηλότερο μέρος του σχηματισμού της Αγ. Βαρβάρας αποτελείται από τις μικτές χερσαίες κλαστικές/ασβεστιτικές αποθέσεις. Στην γύρω περιοχή εμφανίζονται αποθέσεις που υπέρκειται ασύμφωνα των κεκλιμένων αποθέσεων των σχηματισμών της Βιάννου και του Αμπελούζου και αποτελούνται από ψαμμίτες. Οι αποθέσεις αυτές ανήκουν στο τμήμα του Πύργου ενώ στη βάση της ακολουθίας βρίσκονται κάποιες αδρομερείς, χερσαίες αποθέσεις. Στο κεντρικό μέρος της λεκάνης ο σχηματισμός της Αγ. Βαρβάρας χαρακτηρίζεται από ομοιογενείς λαμινοειδείς μάργες, που συσσωρεύονται σε μια βαθιά θαλάσσια λεκάνη**.** Το όριο μεταξύ του σχηματισμού Αμπελούζου βαθιάς θάλασσας και του υπερκείμενου σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα χαρακτηρίζεται από την ξαφνική αλλαγή από μπλε-γκρίζες μάργες στις υπόλευκες λαμινοειδείς μάργες.

(6) Στο νότιο μέρος της λεκάνης του Ηρακλείου τα ιζήματα του Κατώτατου Πλειοκαίνου υπέρκειται των ασβεστόλιθων Κάτω Μεσσηνίου. Το κατώτερο Πλειόκαινο αποτελείται από υπόλευκες μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους βαθιάς θάλασσας που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της Πλειοκαινικής επίκλησης που τερμάτισε με την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου. Αυτές οι βαθιάς θάλασσας αποθέσεις περνούν προς τα πάνω σε περισσότερο αμμώδεις και κροκαλοπαγείς αποθέσεις. Στο βόρειο τμήμα, τα ιζήματα του Κατώτερου Πλειοκαίνου είναι ενσωματωμένα με τα μαργαϊκα λατυποπαγή, γεγονός που σηματοδοτεί ένα επεισόδιο τεκτονικής αστάθειας που ακολούθησε την επίκληση του Κάτω Πλειοκαίνου.

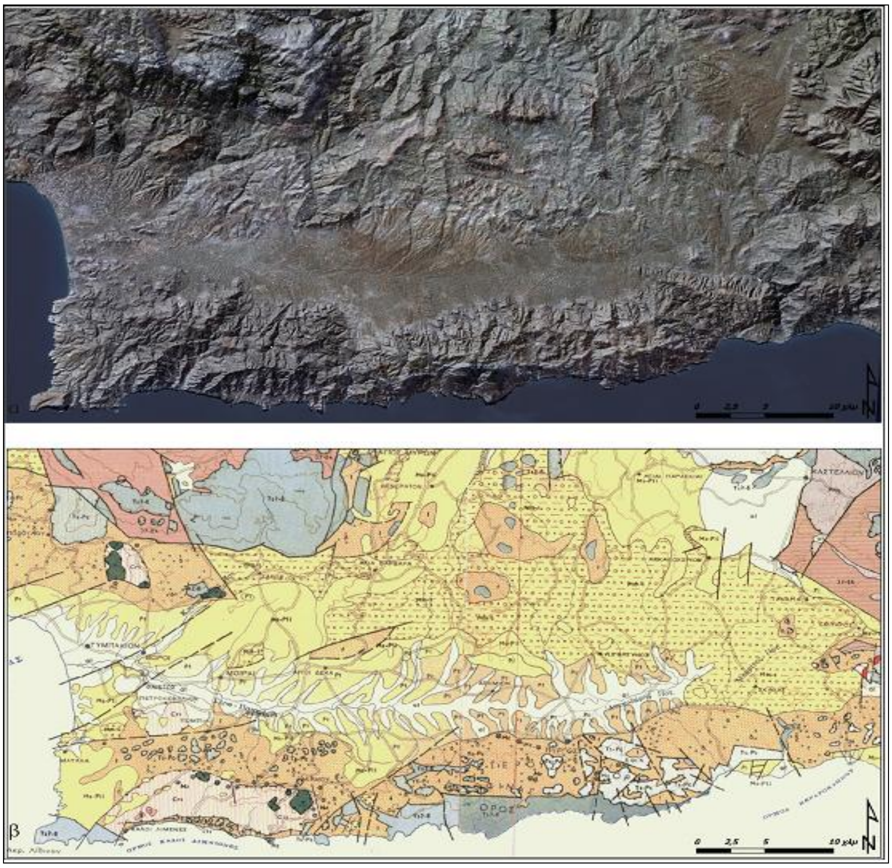
Τα παραπάνω παρατίθενται τροποποιημένα από την έκθεση πρόοδου φυσικού αντικειμένου “05ΕΠΕΡΚΡ07: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της περιοχής μελέτης” (Μανούτσογλου, 2007) και απεικονίζονται στο Σχήμα 1.4.



Σχήμα 1. 4 *Λιθοφασική εξέλιξη της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου (Veen, 1999).*

1.3 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Αρκαλοχωρίου Ηρακλείου. Η περιοχή μελέτης αποτελεί συνέχεια της ιζηματογενούς λεκάνης της Μεσσαράς. Στην ανατολική πλευρά της λεκάνης αναδύεται το όρος Δίκτη του νομού Λασιθίου ενώ στην στη νότια πλευρά της λεκάνης βρίσκεται η οροσειρά των Αστερουσίων, με διεύθυνση Α-Δ που αποτελεί το νοτιότερο όριο της Κρήτης προς το Λιβυκό πέλαγος, και οριοθετεί προς νότο την Τεταρτογενή λεκάνη της Μεσσαράς. Ο γεωλογικός χάρτης και ο ορθοφωτοχάρτης της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης της Μεσσαράς παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.5



Σχήμα 1. 5 *Περιοχή της λεκάνης Μεσσαράς, από μια ψευδοτρισδιάστατη δορυφορική εικόνα (α) και από γενικό γεωλογικό χάρτη (β) (Μανούτσογλου 2008).*

Η περιοχή μελέτης δομείται από την Νοεγενή λιθοφασική ομάδα του Τεφελίου (Meulenkamp, 1979). Η ομάδα αυτή αναπτύχθηκε στη διάρκεια του Μέσου-Ανωτέρου Μειοκαίνου (Σερραβάλιο-Τορτόνιο). Η ομάδα του Τεφελίου περιλαμβάνει όλους τους "μη στερεοποιημένους" τεταρτοκλαστικούς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί που ενσωματώνονται στην ομάδα αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους. Αποθέσεις ποτάμιων, υφάλμυρων και θαλάσσιων περιβαλλόντων. Η μακροσκοπική γεωλογική έρευνα (ερμηνεία επιλεγμένων τομών, ρηγμάτων), κατέληξε στο ότι η ομάδα αυτή συντίθεται από (Μανούτσογλου, 2008):

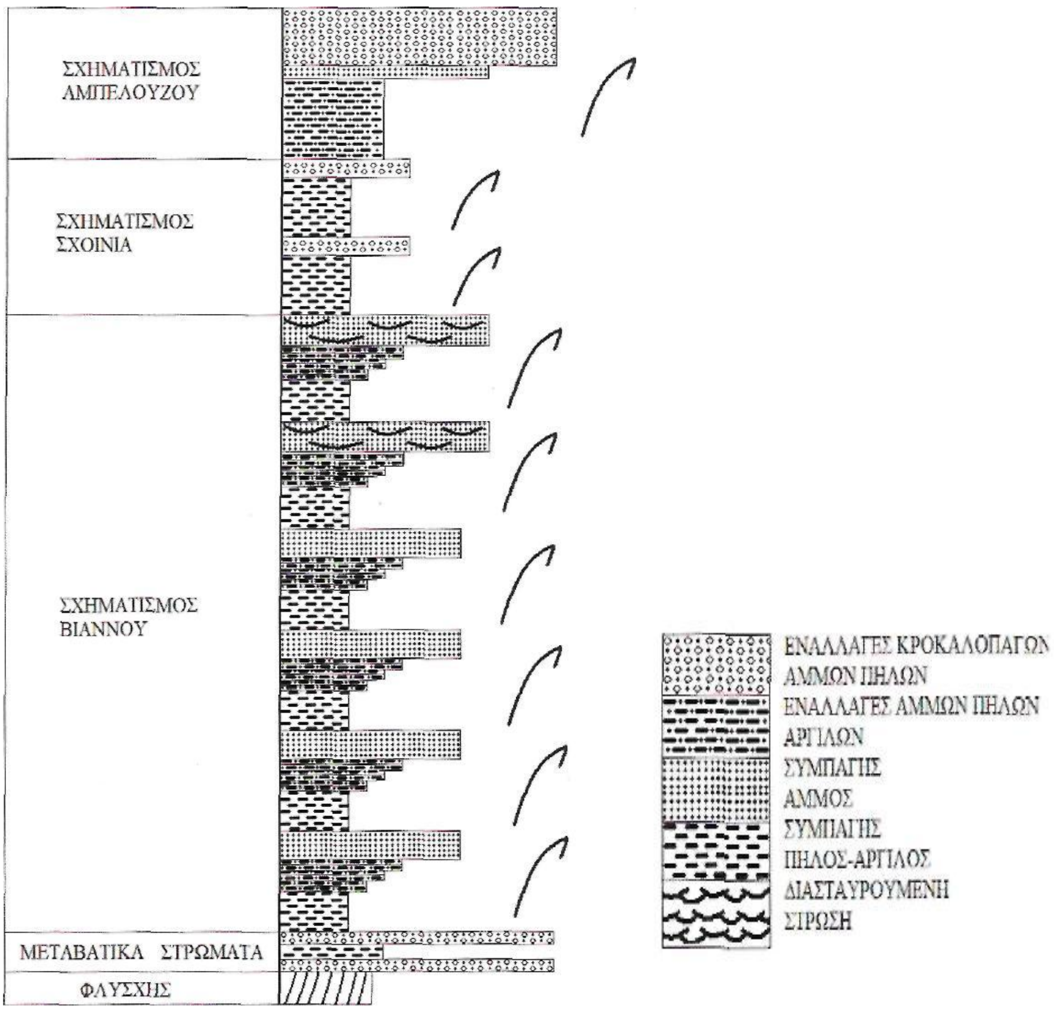
1. **Σχηματισμός Βιάννου:** Η μετάβαση από τον υποκείμενο Φλύσχη στον Σχηματισμό της Βιάννου, με μέγιστο πάχος 600 μέτρα, αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτικών στρωμάτων πάχους 30-40 μέτρα με παρενστρώσεις αργιλικών και κροκαλοπαγών στρωμάτων μικρού πάχους (Σχήμα 1.6). Η παρουσία εδαφικών οριζόντων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για χερσαία ιζήματα. Στην συνέχεια και πάνω από τα μεταβατικά αυτά ιζήματα παρατηρήθηκε η ύπαρξη 6 ιζηματογενών κύκλων, περίπου 100 μέτρα πάχους έκαστος. Στον κάθε κύκλο παρατηρείται αυξανόμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω. Κάθε κύκλος ξεκινάει με συνεκτικούς αργίλους που σταδιακά προς τα πάνω περνάνε σε λεπτές εναλλαγές πηλών-αργίλων-άμμων με χρωματικές αλλαγές και έντονη παρουσία λιμναίων απολιθωμάτων. Οι τέσσερις κατώτεροι κύκλοι ολοκληρώνονται με εναλλαγές στρωμάτων άμμων και αργίλων. Το πάχος των αμμούχων στρωμάτων φτάνει τα 30 cm, ενώ τα αργιλικά στρώματα παρουσιάζουν ελασμάτωση. Η συμμετοχή της άμμου στα κατώτερα 70 μέτρα είναι μικρότερη του 5%, ενώ στα ανώτερα 30 μέτρα φθάνει το 80%. Οι δύο ανώτεροι κύκλοι στα ανώτερα 30 μέτρα τους αποτελούνται από άμμους με σκαφοειδή διασταυρούμενη στρώση και ποσοστό συμμετοχής άμμου μεγαλύτερη από 95%. Χαρακτηριστικό του Σχηματισμού αυτού είναι η αυξημένη συμμετοχή οργανικού υλικού περισσότερο στα ανώτερα λεπτοστρωμένα αργιλικά στρώματα, αλλά και κατά θέσεις μέσα στις άμμους των τεσσάρων κατώτερων κύκλων.

2. **Σχηματισμό Σχοινιά:** Με συμφωνία πάνω από τον Σχηματισμό της Βιάννου αναπτύσσεται ο Σχηματισμός του Σχοινιά με συνολικό πάχος περίπου 150 μέτρα. Ο Σχηματισμός αυτός συντίθεται από δύο κύκλους πάχους 70 – 80 μέτρα έκαστος (Σχήμα 1.6). Στον κάθε κύκλο παρατηρείται αυξανόμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω. Κάθε κύκλος αποτελείται από 50-60 μέτρα συμπαγούς αργίλου που προς τα πάνω περνάει απότομα σε εναλλαγές συνεκτικών αμμούχων και αργιλικών στρωμάτων, πάχους 20-30 m και 10-15 m, αντίστοιχα. Το χρώμα της αργίλου είναι πιο ανοιχτόχρωμο σε σχέση με αυτό των αργίλων του υποκείμενου σχηματισμού ενώ η παρουσία της άμμου είναι μικρότερη.. Σημειώνεται ότι στον Σχηματισμό αυτό δεν βρέθηκαν λεπτά στρώματα από κάρβουνο ή φυτικά απολιθώματα, ενώ τα απολιθώματα είναι θαλάσσιας προέλευσης.

3. **Σχηματισμός Αμπελούζου:** Ο Σχηματισμός αυτός έχει την μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη και καλύπτει κύρια το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, έχει μέγιστο πάχος 100-150 μέτρα και αποτελείται από ένα κύκλο ιζηματογένεσης . Ο κύκλος αυτός αποτελείται από

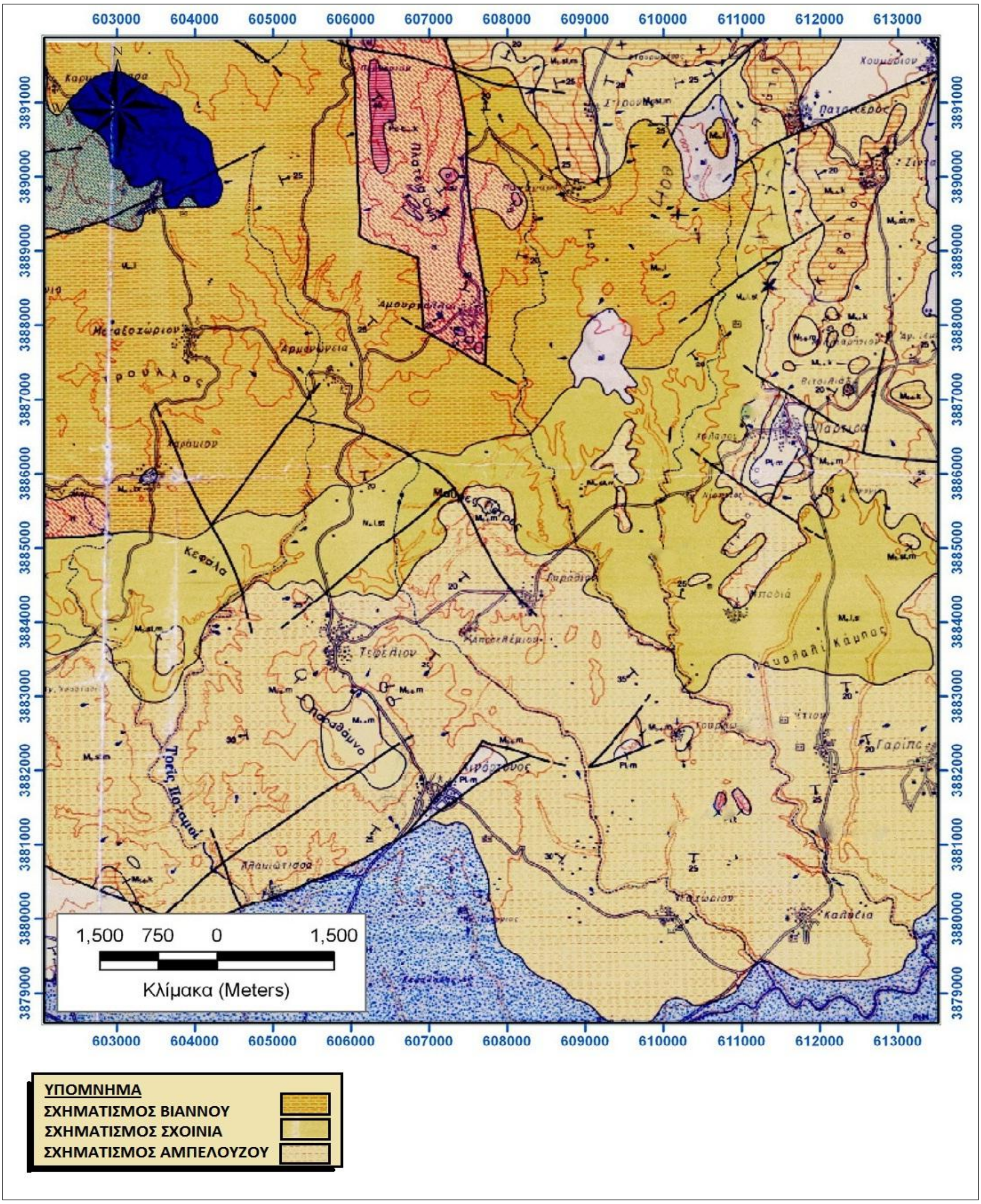
70-80 μέτρα εναλλαγές γκρι αργίλων και άμμου που υπόκεινται κίτρινων άμμων, πάχους 10-15 μέτρων (Σχήμα 1.6). Ρηχότερα, παρατηρούνται εναλλαγές πηλών-άμμων-κροκαλοπαγών καφέ έως κόκκινου χρώματος με συνολικό πάχος από 30 έως 80 μέτρα. Η βάση του κατώτερου τμήματος χαρακτηρίζεται από συμπαγείς πηλούς-αργίλους, υποκείμενων λεπτών εναλλαγών από άμμους-πηλούς-αργίλους με παρουσία λιμναίων απολιθωμάτων και φυτικών υπολειμμάτων, όπως και στον σχηματισμό του Βιάννου. Οι κίτρινοι ψαμμίτες δομούνται από παχιά στρώματα άμμου και παρενστρώσεις αργιλικών στρωμάτων, όπου αναγνωρίστηκε και ορίζοντας με συγκέντρωση απολιθωμάτων ασπόνδυλων, θαλάσσιας προέλευσης. Τέλος, ο Σχηματισμός αυτός στο ανώτερο του τμήμα και κάτω από τις Μεσσήνιες γύψους του Σχηματισμού της Αγ.Βαρβάρας, αποτελείται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, αμμούχων και πηλούχων στρωμάτων καφέ-κόκκινου-κίτρινου χρώματος, ενώ κατά θέσεις υπάρχουν φακοί τύρφης.

Τα παραπάνω εμφανίζονται ομαδοποιημένα στο Σχήμα 1.6.



Σχήμα 1. 6 *Στρωματογραφική στήλη Νεογενών σχηματισμών περιοχής μελέτης (Μανούτσογλου 2008)*

Η επιφανειακή ανάπτυξη των σχηματισμών στην περιοχή μελέτης αποτυπώνεται στο τμήμα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Επάνω Αρχάναι (Βιδάκης, 1992) κλίμακας 1:50.000. (Σχήμα 1.7)



Σχήμα 1. 7 *Τμήμα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Βιδάκης, 1992) κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι.*

1.4 Βιογενές αέριο

Στη γεωλογική βιβλιογραφία, το αέριο που σχηματίζεται από την αποσύνθεση οργανικής ύλης από αναερόβια βακτήρια συχνά αποκαλείται βιογενετικό ή «βιογενές» αέριο, το οποίο διαφοροποιείται από το θερμογενετικό αέριο (θερμική διάσπαση του κηρογόνου υψηλής θερμοκρασίας), από την σύστασή του και την ισοτοπική υπογραφή του. Υπάρχουν δύο κύριες διαδρομές του μικροβιακού σχηματισμού του μεθανίου. Από αναγωγή ανθρακικών (carbonate reduction) και οξική ζύμωση (acetate fermentation) (Whiticar, 1986). Εννοώντας αναγωγή ανθρακικών, υποδηλώνεται η γενική αντίδραση:

$$CO_2 + 8H^+ + 8e^- \rightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

η οποία αποτελεί τον κυρίαρχο τρόπο με τον οποίο συμβαίνει η μεθανογένεση στα θαλάσσια ιζήματα.

Η οξική ζύμωση είναι η κυρίαρχη διαδικασία σχηματισμού σε περιβάλλοντα γλυκού νερού και μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη αντίδραση:

$$^{*}CH_3COOH \rightarrow {}^{*}CH_4 + CO_2$$

(όπου ο αστερίσκος* υποδηλώνει την ανέπαφη και ανεπηρέαστη μεταφορά της ομάδας του μεθυλίου στο υπό δημιουργία μεθάνιο).

Θεωρείται ότι μικροποσότητες μεθανίου μπορούν να δημιουργηθούν από οξική ζύμωση, ακόμα και σε θαλάσσια περιβάλλοντα, όταν ο σχηματισμός μεθανίου απ' την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα εμποδίζεται απ' την παρουσία θειικών αλάτων (Whiticar, 2002).

Οι παράγοντες που ευνοούν τον αξιόλογο σχηματισμό βιογενούς αερίου είναι η ταχεία απόθεση ιζημάτων, το επαρκές πορώδες για τα μεθανογενετικά βακτήρια και η προσφορά άφθονης οργανικής ύλης (Rice, 1993) από τα ιζήματα, δηλαδή την δημιουργία ενός ανοξικού περιβάλλοντος με διαθέσιμο CO_2 και χαμηλές συγκεντρώσεις θείου, σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 9^oC έως 110^o C (Huber, 1994). Το ανώτερο θερμοκρασιακό όριο σχετίζεται με τις μέγιστες συνθήκες στις οποίες είναι ενεργή η μεθανογένεση κάτω από την επιφάνεια. Το βιογενές μεθάνιο μπορεί να συγκεντρωθεί σε μεγάλες και εμπορικά αξιόλογες ποσότητες σε νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς. Ο Rice (1992) εκτιμά ότι το 20% των παγκοσμίων αποθεμάτων φυσικού αερίου προέρχεται από αποσύνθεση οργανικής ύλης από αναερόβια βακτήρια. Οι ανωτέρω συνθήκες μπορεί να πληρούνται σε διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα ιζημάτων. Τα υποθαλάσσια δέλτα (λεκάνες όπου το ποσοστό συσσώρευσης διαλυμένων στο νερό ιζημάτων ξεπερνά το ποσοστό απορροής τους) που παρέχουν μεγάλες ποσότητες λεπτόκοκκων ιζημάτων και η υφαλοκρηπίδα κοντά σε αυτά τα δέλτα είναι περιοχές με αυξημένη συγκέντρωση και ταφή ιζημάτων οργανική ύλης. Ο Ingall (1990), πρότεινε ότι η οργανική ύλη που ενταφιάζεται με υψηλούς ρυθμούς συσσώρευσης μπορεί να αποφύγει ακόμα και τους πιο ικανούς μηχανισμούς αποσύνθεσης και για αυτό το λόγο θα είναι λιγότερο διασπασμένη από ότι η οργανική ύλη που ενταφιάστηκε με χαμηλότερους ρυθμούς συσσώρευσης. Τα δέλτα για αυτό το λόγο μπορούν να αποτελούν περιοχές με επαρκή μεταφορά οργανικής ύλης στα μεθανογενετικά βακτήρια. Σε αντίθεση με την απευθείας συσχέτιση της συσσώρευσης ιζημάτων και της διατήρησης του άνθρακα που προτάθηκε για τα περισσότερα δελταϊκά περιβάλλοντα, ο Aller (1998) προτείνει ότι τα δέλτα μπορούν να χαρακτηρίζονται εναλλακτικά από την ικανή αποσύνθεση οργανικής ύλης, με ποσοστό ≥ 70% (χερσαία) και ≥ 90% (θαλάσσια).

Αναφορικά με τη θέση αποθήκευσης (reservoir) του βιογενικού αερίου υποστηρίζεται ότι είναι δυνατή τόσο η διατήρησή του, εντός του μητρικού σχηματισμού, όσο και η μετανάστευση και διατήρησή του σε απομακρυσμένους σχηματισμούς για μεγαλύτερης ηλικίας δομές. Στην διεθνή βιβλιογραφία, οι νεογενείς ταμιευτήρες που φιλοξενούν βιοαέριο αναφέρονται ως Shallow Gass Reservoirs (S.G.R), δηλαδή ρηχοί ταμιευτήρες αερίου. Οι ταμιευτήρες αυτοί αποτελούνται κατά κανόνα από πορώδη πετρώματα, κυρίως ψαμμίτες, οι οποίοι ευνοούν τόσο τη μεθανογένεση όσο και την αποθήκευση του βιοαερίου (Shurr and Ridgley, 2003). Στην περίπτωση των αβαθών σχηματισμών βιογενούς αερίου, η διαδικασία της μετανάστευσης συνήθως δεν είναι σημαντική, δεδομένου ότι στις περισσότερες εμφανίσεις βιογενούς αερίου το μητρικό πέτρωμα και ο ταμιευτήρας συνυπάρχουν στον ίδιο σχηματισμό.

Παραδείγματα εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων βιοαερίου, αναφέρονται στους ρηχούς ταμιευτήρες αερίου στην περιοχή των κλάδων, της κοιλάδας και των εκβολών του ποταμού Qiantang, στην ανατολική Κίνα. (Shurr and Ridgley, 2003). Η παγκόσμια σημασία της συσσώρευσης στις παράκτιες ζώνες του αερίου μεθανίου, στα ιζήματα από παράκτια περιβάλλοντα λιμνοθάλασσας είναι ακόμη άγνωστη σε μεγάλο βαθμό. Τα αποτελέσματα από τέσσερις, υψηλής ευκρίνειας σεισμικές έρευνες που διεξήχθησαν στο φράγμα της λιμνοθάλασσας Ria de Aveiro (Πορτογαλία), το 1999, 2002 και 2003 αποδεικνύουν την εκτεταμένη συσσώρευση φυσικού αερίου και τη διαρροή, στα παλιρροϊκά ιζήματα της Μάγχης από την λιμνοθάλασσα αυτή. Το περισσότερο από το φυσικό αέριο στην περιοχή μελέτης είχε δημιουργηθεί κυρίως σε Ολοκαινικά ιζήματα της λιμνοθάλασσας (Duarte and Pinheiro, 2007).

Κεφάλαιο 2 – Μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης

2.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής είναι η συναγωγή συμπερασμάτων για την υπεδαφική δομή της γης από παρατηρήσεις που αποκτούνται με την εφαρμογή ειδικών μεθόδων. Η γεωφυσική έρευνα βασίζεται, κατά κύριο λόγο στη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία γεωφυσικών παρατηρήσεων. Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέτρηση διαφόρων φυσικών ποσοτήτων και η ερμηνεία αυτών σε συνάρτηση με άλλες φυσικές ποσότητες που περιγράφουν αμεσότερα τις ιδιότητες της Γης και τις φυσικές διαδικασίες στο εσωτερικό της. Η ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων δεν είναι κατά κανόνα μονοσήμαντη. Η ταυτόχρονη εφαρμογή διαφόρων γεωφυσικών μεθόδων στην ίδια περιοχή μελέτης είναι συνήθης πρακτική. Θεωρείται απαραίτητο, οι γεωφυσικές μέθοδοι που θα εφαρμοστούν να μελετούν διαφορετικά φυσικά μεγέθη του υπεδάφους για την καλύτερη αξιολόγηση και αντιπαραβολή των μεταβολών των μεγεθών αυτών. Για την καλύτερη ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τυχόν γεωτρητικά και γεωλογικά δεδομένα.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν τόσο η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, όσο και η ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών σεισμικών κυμάτων στους επί μέρους γεωλογικούς σχηματισμούς.

2.2 Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Μετρούμενο μέγεθος είναι η ηλεκτρική τάση. Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται σημαντική αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ των υπό μελέτη γεωλογικών σχηματισμών. Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων (η Tellus ήταν η Ρωμαία θεά της Γης, αντίστοιχη της Ελληνικής Γαίας και δάνεισε το όνομά της στα φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα της στερεάς Γης, τα οποία αποκαλούνται Τελλουρικά Ρεύματα). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό (σχέση 2.1).

$$R = \frac{\Delta V}{I} = \rho \frac{L}{A} \qquad (2.1)$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν A της διατομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του. Το ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο εισέρχεται στη γη. Χρησιμοποιώντας δύο άλλα ηλεκτρόδια για την μέτρηση του δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους είναι εφικτός ο υπολογισμός της αντίστασης (R) του υπεδάφους σύμφωνα με τη σχέση:

$$R = \frac{\rho}{2\pi}\left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)\right] = k\rho \qquad (2.2)$$

όπου AM, BM, AN και BN είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος (A,B) και των ηλεκτροδίων δυναμικού (M,N) (Σχήμα 2.1), ενώ το k ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής.

Το προσδιοριζόμενο μέγεθος κατά τη γεωφυσική διασκόπηση σε ανομοιογενή μέσα (όπως είναι το υπέδαφος) με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a) των πετρωμάτων. Από την φαινόμενη αυτή αντίσταση και με μεθόδους αντιστροφής υπολογίζεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα των γεωλογικών σχηματισμών. Στον πίνακα 2.1 παρατίθενται ενδεικτικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης διαφόρων γεωϋλικών. Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το 1 Ω.m ή Ohm.m (Βαφείδης, 2001).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι:

α) η λιθολογία των πετρωμάτων

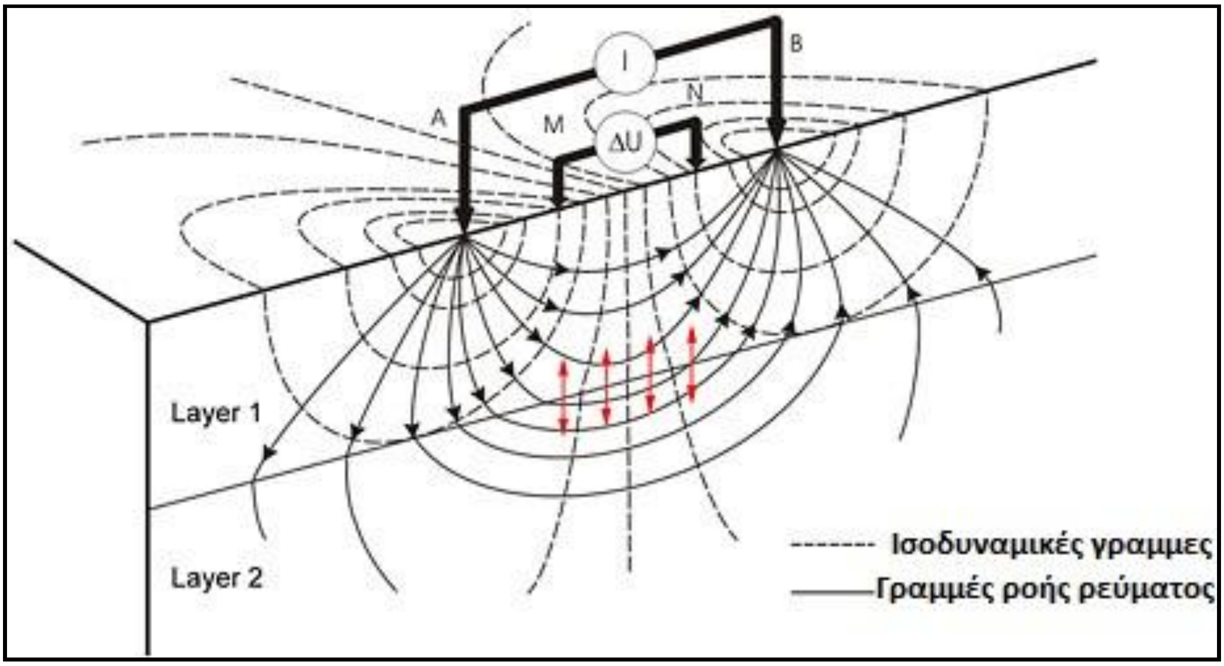
β) το πορώδες των πετρωμάτων

γ) η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων

δ) η θερμοκρασία των πετρωμάτων

Πίνακας 2. 1 *Ενδεικτικές τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων γεωυλικών (Βαφείδης, 2001)*

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	**ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)**
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
ΑΡΓΙΛΟΙ	2-20
ΜΑΡΓΕΣ	20-60
ΑΜΜΟΙ ΚΑΙ ΧΑΛΙΚΙΑ ΚΟΡΕΣΜΕΝΑ	50-500
ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ (ΓΥΨΟΙ)	200
ΜΑΡΓΑΪΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	150-500
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΙ ΒΑΣΕΩΣ	200-300
ΨΑΜΜΙΤΕΣ	50-70
ΣΥΜΠΑΓΗΣ ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	$>10^4$
ΠΟΡΩΔΗΣ ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	100-1000
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
ΦΛΥΣΧΗΣ	70-80
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ-ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ	100-300
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	>500
ΠΥΡΙΓΕΝΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	10^2-10^6



Σχήμα 2.1 *Απεικόνιση της βασικής αρχής της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο σχήμα διακρίνονται οι ισοδυναμικές γραμμές και οι κάθετες σε αυτές γραμμές ροής του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγονται από τα σημειακά ηλεκτρόδια ρεύματος Α,Β. Η διαφορά δυναμικού μετράται στα ηλεκτρόδια δυναμικού Μ,Ν.*

2.2.1.1 Γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, βασίζεται στις κατακόρυφες μεταβολές, με αποτέλεσμα τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων. Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_α σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή k (σχέση 2.2). Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας συνεχώς την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων του ρεύματος ή/και του δυναμικού αναγκάζοντας το ηλεκτρικό ρεύμα να διεισδύσει σε μεγαλύτερο βάθος. Άρα, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επιδρούν στη μετρούμενη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Λούης, 2004). Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης απεικονίζονται σε διλογαριθμικό γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της απόστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος από το κέντρο της διάταξης.

Η κύρια διάταξη που χρησιμοποιείται στις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις είναι η διάταξη Schlumberger. Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις, απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την διεξαγωγή της μεθόδου. Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση για την διάταξη Schlumberger υπολογίζεται από τη σχέση:

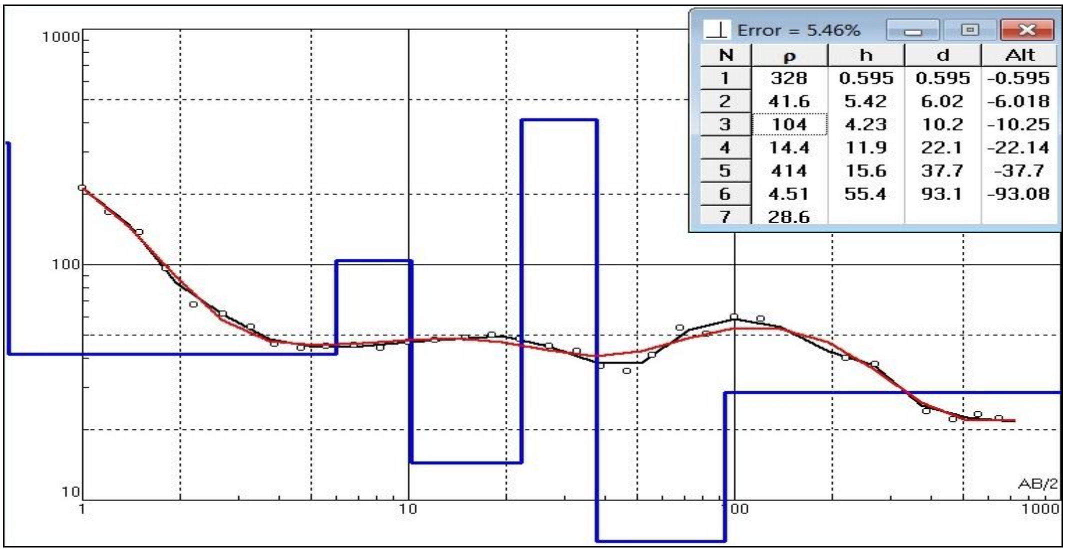
$$\rho_\alpha = \frac{\pi L^2}{2b}\frac{\Delta V}{I} \qquad (2.3)$$

όπου L= AB/2 και b = MN/2 (Σχήμα 2.1).

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης. Ειδικότερα, επιλέγεται το σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της βυθοσκόπησης (O), ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής και τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του σημείου O σε απόσταση MN/2 και AB/2 αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A, B με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος I και δυναμικού V. Στη συνέχεια τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση AB/2 και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης AB/2, ενώ όταν η τιμή του δυναμικού γίνει πολύ μικρή (0.1 mV), η μέτρηση θεωρείται αναξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του MN/2 και λαμβάνεται νέα μέτρηση διατηρώντας το ίδιο AB/2. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν η γραμμή μελέτης φτάσει στο προκαθορισμένο μήκος ή όταν θεωρηθεί ότι εντοπίστηκε ο σχηματισμός ενδιαφέροντος.

Τα αρχικά δεδομένα των βυθοσκοπήσεων αναφέρονται στην κατανομή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με την απόσταση του ημιαναπτύγματος ηλεκτροδίων. Η ειδική αντίσταση είναι αυτή που χαρακτηρίζει την σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών και αποτελεί τελικό στοιχείο αξιολόγησης της γεωφυσικής έρευνας σε σχέση με την γεωλογική δομή της περιοχής. Η συνέχεια της επεξεργασίας αναφέρεται στην διαδικασία της αντιστροφής που στόχο έχει τον υπολογισμό της κατανομής της ειδικής ηλεκτρική αντίστασης με το βάθος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα αντιστροφής γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων IPI2WIN. Το πρόγραμμα αυτό, χρησιμοποιεί για τη λύση του απευθείας προβλήματος, γραμμικό φίλτρο που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Γεωηλεκτρικής Έρευνας Επιφανειακών δομών του τμήματος Γεωφυσικής της Γεωλογικής Σχολής της Μόσχας. Το πρόβλημα της αντιστροφής λύνεται με τη χρήση μεταβλητής του αλγόριθμου του Newton του ελάχιστου αριθμού στρωμάτων ή του αλγόριθμου ελαχιστοποίησης προσαρμογής καμπυλών με την προσέγγιση Tikhonov (Βαργεμέζης, 2006).

Η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της βυθοσκόπησης απεικονίζεται παραστατικά στο Σχήμα 2.2. Στο αριστερό τμήμα του σχήματος παρουσιάζονται γραφικά (α) τα δεδομένα των μετρήσεων (κύκλοι) που οριοθετούν την πειραματική γεωηλεκτρική καμπύλη (μαύρο χρώμα), (β) η θεωρητική γεωηλεκτρική καμπύλη που προκύπτει από το μοντέλο ερμηνείας (κόκκινο χρώμα) και (γ) το μοντέλο ερμηνείας (μπλε γραμμή). Όσο περισσότερο ταυτίζεται η θεωρητική στην πειραματική γεωηλεκτρική καμπύλη, τόσο λιγότερο είναι το σφάλμα της ερμηνείας και το μοντέλο είναι πιθανό να αντικατοπτρίζει την γεωηλεκτρική στρωματογραφία της περιοχής. Η πληροφορία εξάγεται υπό μορφή πίνακα όπου δίνονται οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ) για κάθε στρώμα που εντοπίζεται, το πάχος του στρώματος (h) και το βάθος του δαπέδου του (d) (πίνακας πάνω δεξιά).



Σχήμα 2.2 *Απεικόνιση επεξεργασμένων δεδομένων γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης (γραμμή μελέτης VES3).*

2.2.1.2 Προβλήματα στην Ερμηνεία των Γεωηλεκτρικών Βυθοσκοπήσεων

Κατά την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων, παρουσιάζονται κάποια προβλήματα, όπως είναι η αρχή της ισοδυναμίας και η αρχή της συμπίεσης (Λούης, 2004). Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων και την καλύτερη ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων θεωρείται απαραίτητη η ύπαρξη πληροφοριών για το πάχος των στρωμάτων ή/και για τις τιμές της ειδικής τους ηλεκτρικής αντίστασης.

Η αρχή της ισοδυναμίας παρουσιάζεται όταν η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχεί σε μοντέλο τριών στρωμάτων, όπου το ενδιάμεσο στρώμα εμφανίζει ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη ή μικρότερη σε σχέση με τα δύο στρώματα που το περικλείουν. Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα έχει την μεγαλύτερη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η καμπύλη της φαινόμενης αντίστασης δεν μεταβάλλεται όταν το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ επί το πάχος του ενδιάμεσου στρώματος h είναι σταθερό. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν άπειρα μοντέλα για τα οποία το πάχος και η αντίσταση του ενδιάμεσου στρώματος έχουν διαφορετική τιμή, ενώ το γινόμενο τους, που ονομάζεται Εγκάρσια Αντίσταση T, παραμένει σταθερό. Η Εγκάρσια Αντίσταση T δίνεται από τον τύπο:

$$T = h\rho \qquad (2.4)$$

Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα είναι αγώγιμο, η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δε μεταβάλλεται όταν ο λόγος πάχους του ενδιάμεσου στρώματος προς την ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ είναι σταθερός, ανεξάρτητα αν οι επιμέρους παράμετροι μεταβάλλονται. Ο παραπάνω λόγος χαρακτηρίζεται ως Διαμήκης Αγωγιμότητα και είναι:

$$S = \frac{h}{p} \qquad (2.5)$$

Η αρχή της συμπίεσης αναφέρεται όταν ενδιάμεσο στρώμα μικρού πάχους έχει επίσης ενδιάμεση ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε σχέση με τα στρώματα που το περικλείουν. Το ενδιάμεσο στρώμα επιδρά ελάχιστα στην καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προκύπτει, και συνεπώς δεν είναι εύκολη η αναγνώρισή του με τη μέθοδο της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης.

2.2.2 Ηλεκτρική τομογραφία

Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η λεπτομερής απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση. Έτσι λοιπόν το πρόβλημα μετατρέπεται σε πρόβλημα δύο διαστάσεων.

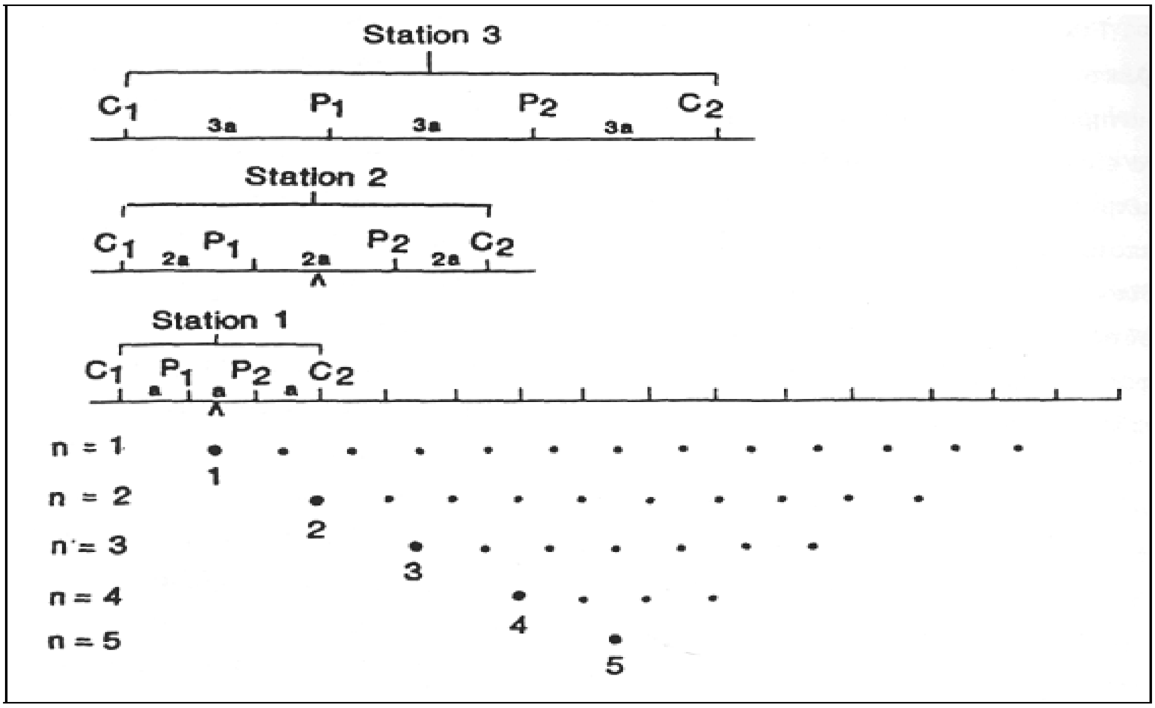
Στην ηλεκτρική τομογραφία της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Wenner – Schlumberger. Πρόκειται για ένα συνδυασμό των δύο διατάξεων, όπου η διάταξη των ηλεκτροδίων δυναμικού και ρεύματος για την πρώτη μέτρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τη διάταξη Wenner. Εν συνεχεία, η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού παραμένει σταθερή από το κέντρο της διάταξης και μεταβάλλεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος, πάντα συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης (τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων με τη διάταξη Schlumberger).

Στη διάταξη Wenner, η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερή και ίση με α και όλη η διάταξη μετακινείται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση :

$$\rho_\alpha = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \qquad (2.6)$$

Στη διάταξη αυτή για τον υπολογισμό της φαινόμενης αντίστασης που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα βάθη, αυξάνεται σταδιακά η απόσταση σε 2α,3α κ.ο.κ. Για την επίτευξη διέλευσης ρεύματος σε μεγαλύτερα βάθη (διάταξη Schlumberger) αυξάνεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος.

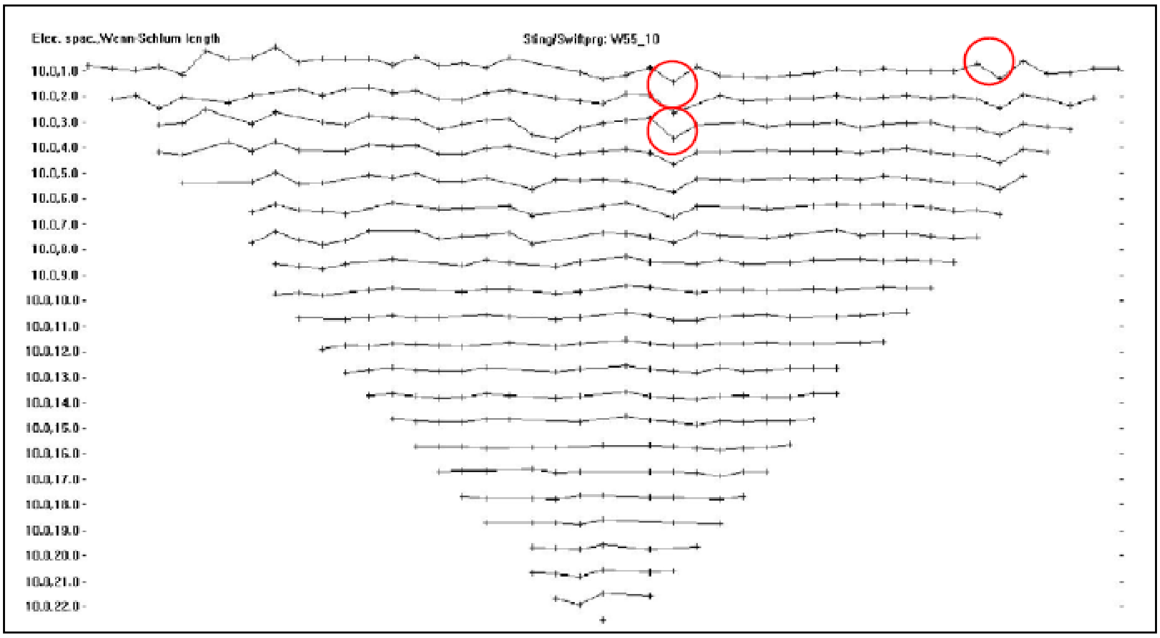
Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους (Σχήμα 2.3). Στην ψευδοτομή (pseudosection) οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μία τομή κατά τέτοιο τρόπο όπως οι πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει μια προσεγγιστική εικόνα της κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο επίπεδο της τομής.



Σχήμα 2.3 *Ψευδοτομή (pseudosection) φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (Γκανιάτσος, 1995)*

Ευθύ πρόβλημα στη μέθοδο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζουμε τον υπολογισμό της διαφοράς δυναμικού και εν συνεχεία της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις ήδη γνωστές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Αντίστροφο πρόβλημα ονομάζουμε τον υπολογισμό των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο RES2DINV.

Το πρόγραμμα RES2DINV χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που του δίνονται καταλήγει στην τομή της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, μέσω της μεθόδου της δισδιάστατης αντιστροφής δεδομένων. Γενικά το πρόγραμμα δημιουργεί ένα μοντέλο πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (γεωηλεκτρική τομή) το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φαινόμενων αντιστάσεων ρ_α (ευθύ πρόβλημα). Για τη μείωση του σφάλματος μεταξύ υπολογισμένων και μετρούμενων τιμών των φαινόμενων αντιστάσεων ρ_α, αφαιρούνται τιμές με μεγάλη διακύμανση (Σχήμα 2.4).

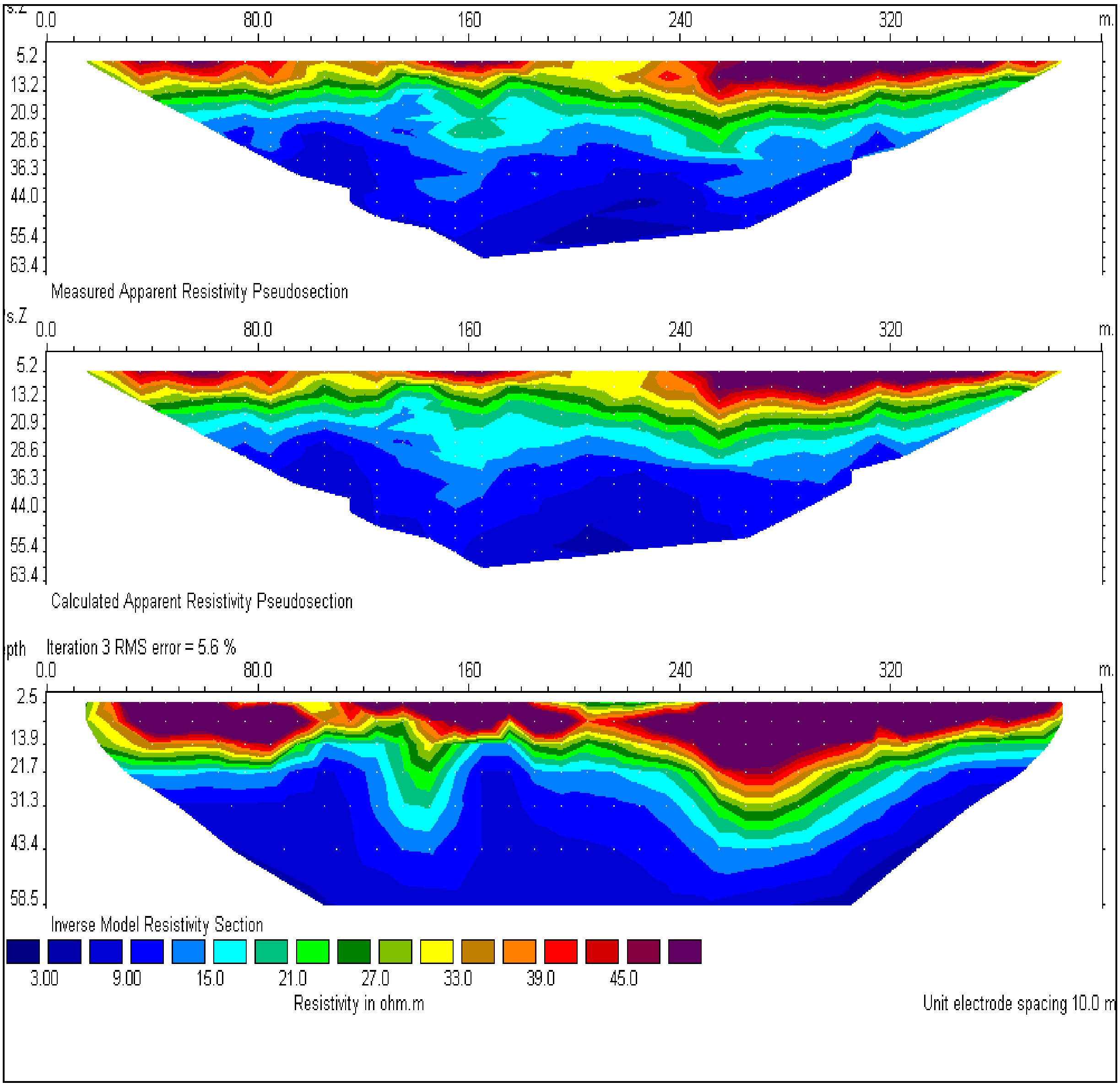


Σχήμα 2.4 *.Δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μορφή σχεδιαγράμματος-ψευδοτομής με επισήμανση των σημείων τα οποία επιλέγονται να αφαιρεθούν (κόκκινοι κύκλοι)*

Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους, τις παραμέτρους του μοντέλου. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις (Σχήμα 2.5). Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Λεπτομερέστερα το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο.

Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής. Αν και η αντιστροφή είναι ένα δύσκολο μη γραμμικό πρόβλημα, η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων του Gauss – Newton με εξομάλυνση, αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. (Κωσταρέλης, 2008). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε και για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

Ξεκινώντας από αυθαίρετο, αρχικό μοντέλο υπολογίζονται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό (Σχήμα 2.5 β) και συγκρίνονται με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης (Σχήμα 2.5 α). Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα, δηλαδή η διάφορα μεταξύ θεωρητικών και μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση (Σχήμα 2.5 γ).



Σχήμα 2.5 *Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας όπου διακρίνεται α) η ψευδοτομή των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πάνω), β) η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κέντρο), γ) καθώς και το μοντέλο των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (κάτω) (γραμμή μελέτης LP1).*

2.3 Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης

2.3.1 Εισαγωγή

Οι σεισμικές μέθοδοι, όπως κατά κανόνα εφαρμόζονται στη σεισμική έρευνα, θεωρούνται ενεργητικές γεωφυσικές μέθοδοι. Στη σεισμική διασκόπηση, η ταλάντωση του εδάφους που προκαλείται από κάποια πηγή καταγράφεται σε διάφορες αποστάσεις από την πηγή.

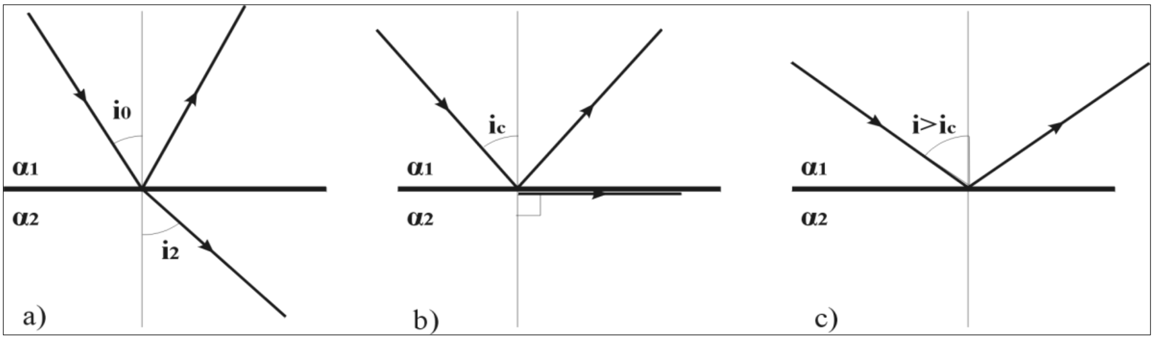
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0, η γωνία διάθλασης, i_2, και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell:

$$p = \frac{\sin(i_0)}{\alpha_1} = \frac{\sin(i_2)}{\alpha_2} \qquad (2.7)$$

όπου p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας. Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, όταν η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 2.6 b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

$$\sin(i_c) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \qquad (2.8)$$

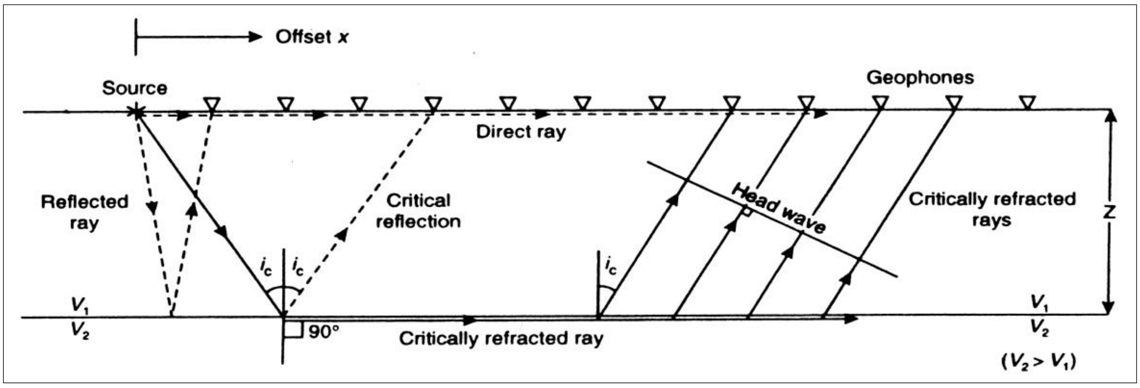
Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 2.10.c).



Σχήμα 2.6 *Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα c) μεγαλύτερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα κύματα.*

Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων (Βαφείδης, 1993). Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα (Σχήμα 2.7).

Η γωνία των αναδυόμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδυόμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα.



Σχήμα 2.7 *Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Raynolds, 1997)*

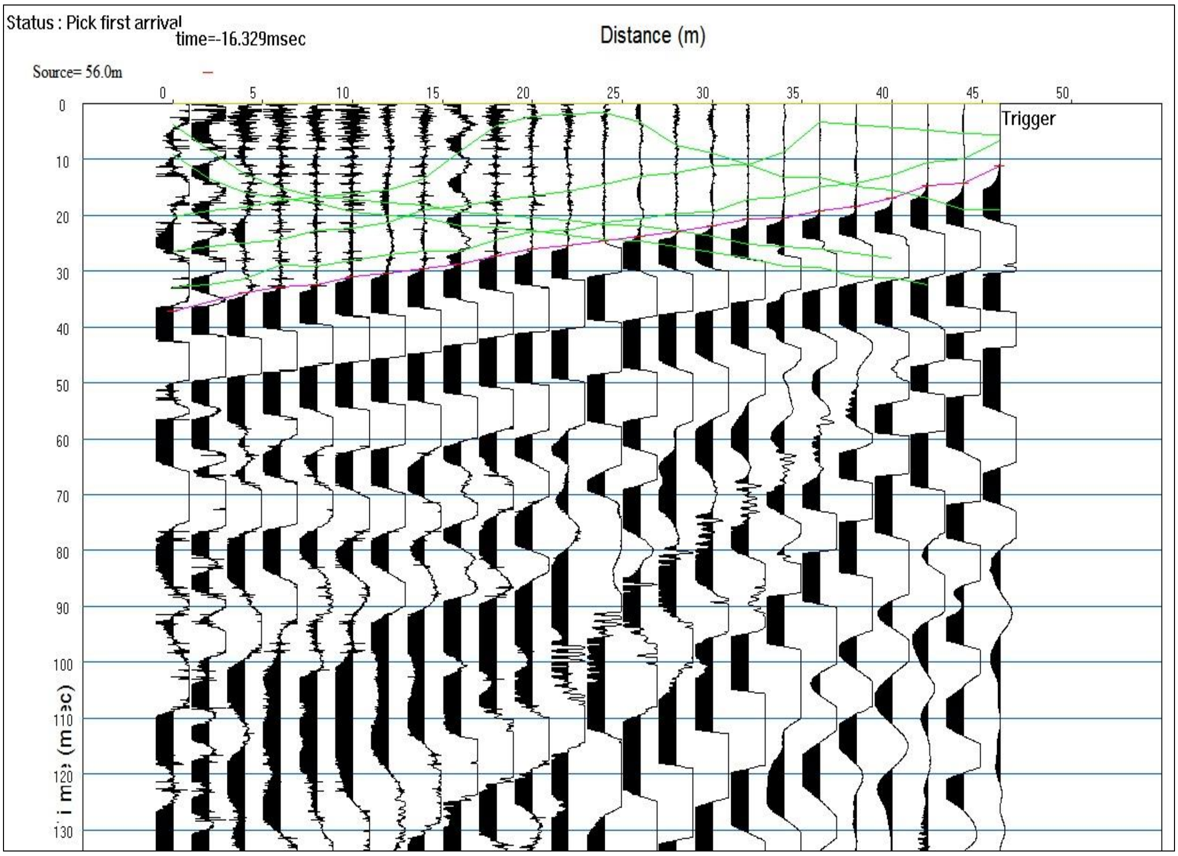
Η σεισμική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ήταν αυτή της σεισμικής διάθλασης κοινής πηγής. Για την εκτέλεση τέτοιου είδους διασκοπήσεων οι καταγραφείς σεισμικών δονήσεων (γεώφωνα) απλώνονται κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε ίσες αποστάσεις (συνήθως 5m). Κατόπιν, σε επιλεγμένες θέσεις πάνω και εκατέρωθεν της γραμμής μελέτης παράγονται σεισμικά κύματα με τη χρήση σεισμικής πηγής (κρούση βαριοπούλας). Τα γεώφωνα καταγράφουν την εδαφική κίνηση σε πραγματικό χρόνο και τα δεδομένα από το σύνολο των καταγραφών συλλέγονται και αποδίδονται υπό τη μορφή σεισμογράμματος (Σχήμα 2.8).Για κάθε εκτόνωση πηγής αποδίδεται και διαφορετικό σεισμόγραμμα. Η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατανομή της σεισμικής ταχύτητας στους σχηματισμούς του υπεδάφους τα δεδομένα επεξεργάζονται με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας.

2.3.2 Επεξεργασία των δεδομένων διάθλασης με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας

Η γεωφυσική μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας βασίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των χρόνων διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών σεισμικών κυμάτων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τους χρόνους διαδρομής των κυμάτων αυτών, καθώς και τεχνικές αντιστροφής, προσδιορίζεται η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στους επιφανειακούς σχηματισμούς. Η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας παρέχει πληροφορίες για την κατανομή των ταχυτήτων διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, τόσο κατά την οριζόντια, όσο και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, συμβάλλοντας έτσι στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους. Η επεξεργασία των δεδομένων διάθλασης με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. **Επιλογή πρώτων αφίξεων**:

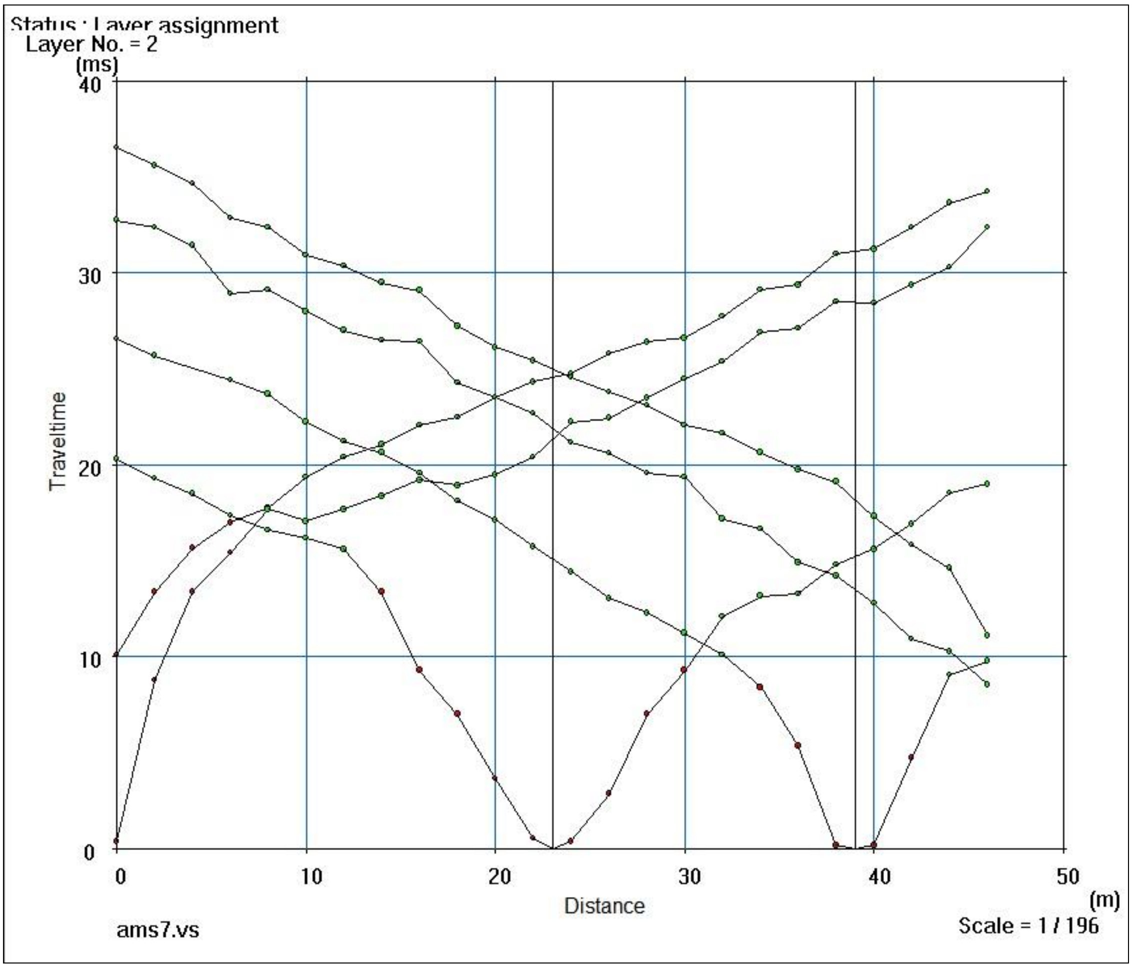
Κατά την εκτέλεση πειραμάτων σεισμικής διάθλασης λαμβάνουν χώρα αλλεπάλληλες εκτονώσεις της σεισμικής πηγής. Η κάθε μια από αυτές αποδίδει διαφορετικές σεισμικές καταγραφές οι οποίες συνολικά αποδίδονται υπό μορφή σεισμογράμματος. Το κομμάτι της πληροφορίας που θέλουμε να εξάγουμε από αυτές τις καταγραφές είναι ο χρόνος διαδρομής της σεισμικής ενέργειας που φτάνει πρώτη (απ' ευθείας – μετωπικά κύματα) από κάθε εκτόνωση, αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή των πρώτων αφίξεων. Η διαδικασία αυτή εμφανίζεται στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2. 8 *Σεισμικές καταγραφές πάνω στη σεισμική γραμμή μελέτης AMS7 και επιλογή πρώτων αφίξεων (κόκκινη γραμμή). Ο οριζόντιος άξονας εκφράζει την απόσταση των γεωφώνων στη γραμμή μελέτης (σε m) ενώ ο κατακόρυφος τους χρόνους καταγραφής σεισμικής κίνησης σε κάθε γεώφωνο.*

2. **Δημιουργία αρχικού μοντέλου ταχυτήτων:**

Το αρχικό μοντέλο ταχυτήτων, το οποίο είτε δημιουργείται με τη μέθοδο αντιστροφής των χρόνων καθυστέρησης, είτε κατασκευάζεται βάσει ορισμένων παραμέτρων , παρέχει τις πρώτες πληροφορίες για τις ταχύτητες διάδοσης και τα βάθη των επί μέρους σεισμικών στρωμάτων. Η διαδικασία που ακολουθείται με τη μέθοδο αντιστροφής των χρόνων καθυστέρησης (time-term) συνοψίζεται στα εξής. Μετά την επιλογή των πρώτων αφίξεων, όλων των εκτονώσεων των σεισμικών πηγών μιας συγκεκριμένης γραμμής μελέτης, δημιουργείται το δρομοχρονικό διάγραμμα (διάγραμμα χρόνου διαδρομής συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης πηγής - γεωφώνου). Αρχικά επιλέγεται ο αριθμός των στρωμάτων. Το σημείο που εμφανίζεται αλλαγή κλίσης την καμπύλη των πρώτων αφίξεων, αποτελεί ένδειξη αλλαγής στρώματος. Οι πρώτες αφίξεις από τα επιμέρους σεισμικά στρώματα (απευθείας-μετωπικά) τονίζονται με διαφορετικό χρώμα.



Σχήμα 2. 9 *Δρομοχρονικό διάγραμμα σεισμικών καταγραφών (γραμμή μελέτης AMS7). Στο διάγραμμα αυτό επιλέγονται τα επάλληλα στρώματα από τα οποία προέρχονται οι καταγραφές. (Απ' ευθείας κύματα από το επιφανειακό στρώμα με κόκκινο χρώμα και Μετωπικά από τα επόμενα στρώματα με πράσινο χρώμα)*

Σκοπός της μεθόδου είναι ο σχεδιασμός του αρχικού μοντέλου ταχυτήτων. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι χρόνοι καθυστέρησης (delay times) από το δρομοχρονικό διάγραμμα. Οι χρόνοι καθυστέρησης, υπολογίζονται από τις επί μέρους κλίσεις των ευθειών των πρώτων αφίξεων, που ορίζονται για κάθε στρώμα, μέσω της γραμμικής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων. Ταυτόχρονα, μπορούν να εισαχθούν τα υψόμετρα στις θέσεις των γεωφώνων και προκύπτει το αρχικό μοντέλο βάθους. Στο Σχήμα 2.11 α απεικονίζεται το αρχικό μοντέλο ταχυτήτων όπως προέκυψε για την γραμμή σεισμικής διάθλασης AMS7.

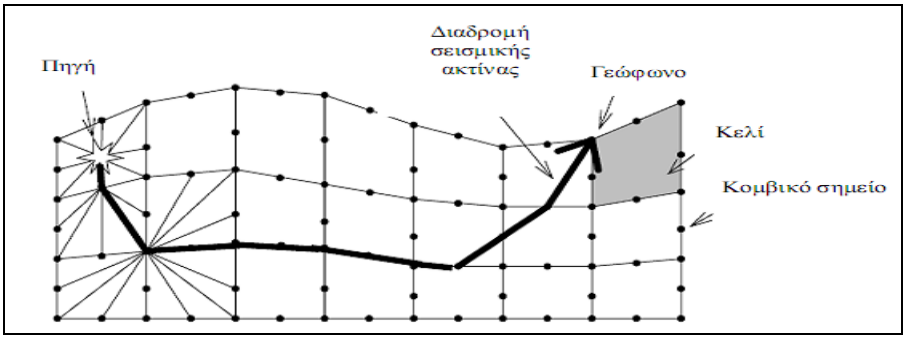
3. <u>Αντιστροφή των χρόνων πρώτων αφίξεων</u>

Ευθύ πρόβλημα σε αυτή τη διαδικασία είναι η εύρεση του ελάχιστου χρόνου διαδρομής της σεισμικής ακτίνας ενώ αντίστροφο η διαδικασία υπολογισμού της σεισμικής βραδύτητας (ή ταχύτητας) σε κάθε κελί.

Η διαδικασία εύρεσης του ελάχιστου χρόνου διαδρομής του κύματος, από την πηγή στο γεώφωνο, για κάθε ζεύγος πηγής – γεωφώνου (ευθύ πρόβλημα) ακολουθεί τα εξής βήματα:

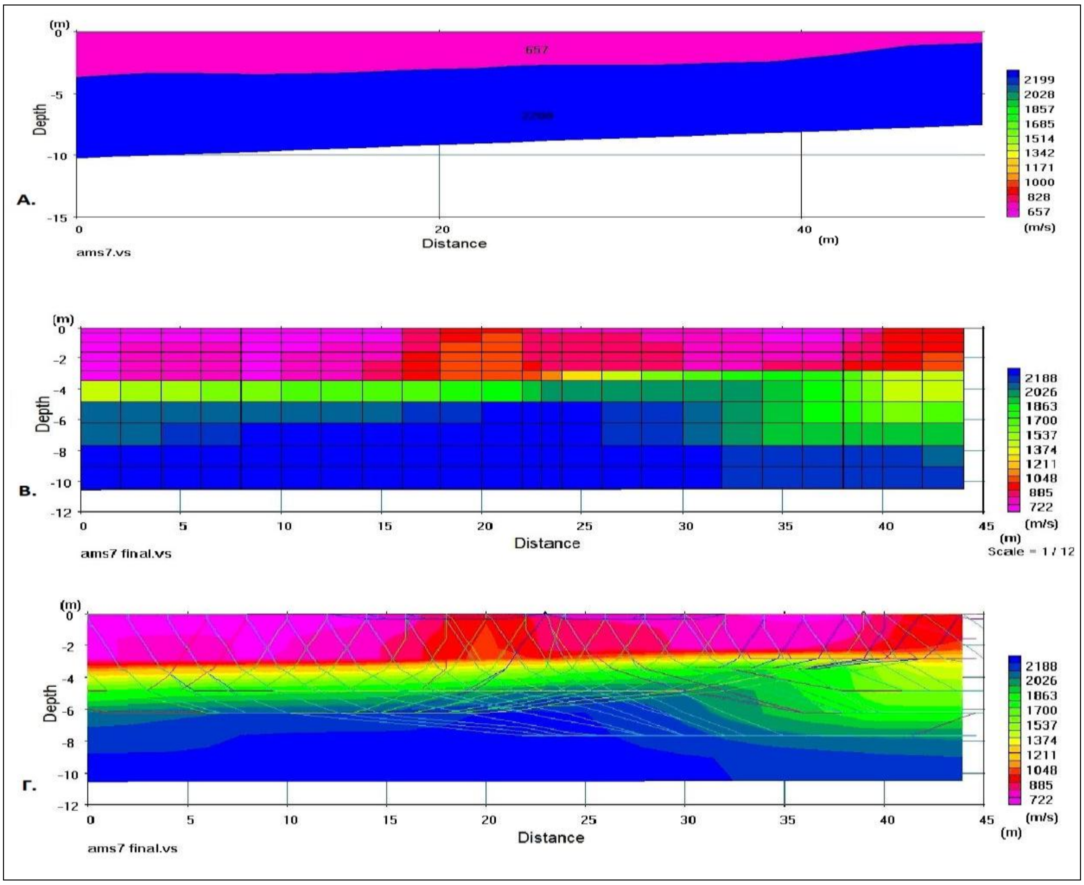
- Το αρχικό μοντέλο χωρίζεται σε περιοχές-κελιά (cells) σταθερής ταχύτητας.
- Καθορίζεται η τιμή των παρακάτω παραμέτρων: αριθμός των επαναλήψεων, αριθμός των κομβικών σημείων (nodes) στις πλευρές του κελιού, εξομάλυνση κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα.
- Σχεδιάζονται οι πιθανές διαδρομές της σεισμικής ακτίνας από την πηγή στο γεώφωνο (raypaths). Τα σημεία τομής της ακτίνας με το κελί, ονομάζονται κομβικά σημεία.

Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10 *Σχεδιασμός κανάβου στο αρχικό μοντέλο ταχυτήτων. (Παπαθανασίου, 2007).*

Η διαδικασία υπολογισμού της σεισμικής βραδύτητας (ή ταχύτητας) σε κάθε κελί (αντίστροφο πρόβλημα) επαναλαμβάνεται, μέχρι να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ των χρόνων διαδρομής που παρατηρήθηκαν και αυτών που υπολογίζονται. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι το τελικό μοντέλο που προκύπτει (Σχήμα 2.11 γ) και είναι αντιπροσωπευτικό των ταχυτήτων διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων των επιμέρους στρωμάτων.



__Σχήμα 2.11__ Τελικό στάδιο επεξεργασίας (γραμμή μελέτης AMS7). Διακρίνονται α) Μοντέλο αντιστροφής χρόνων ταχυτήτων β) Μοντέλο τομογραφίας οπού διακρίνονται οι μέσες τιμές ταχυτήτων σε κάθε κελί του σεισμικού καννάβου γ) Τελικό μοντέλο βάθους τομογραφίας οπού διακρίνονται οι επιμέρους σεισμικές ακτίνες (Raypaths)

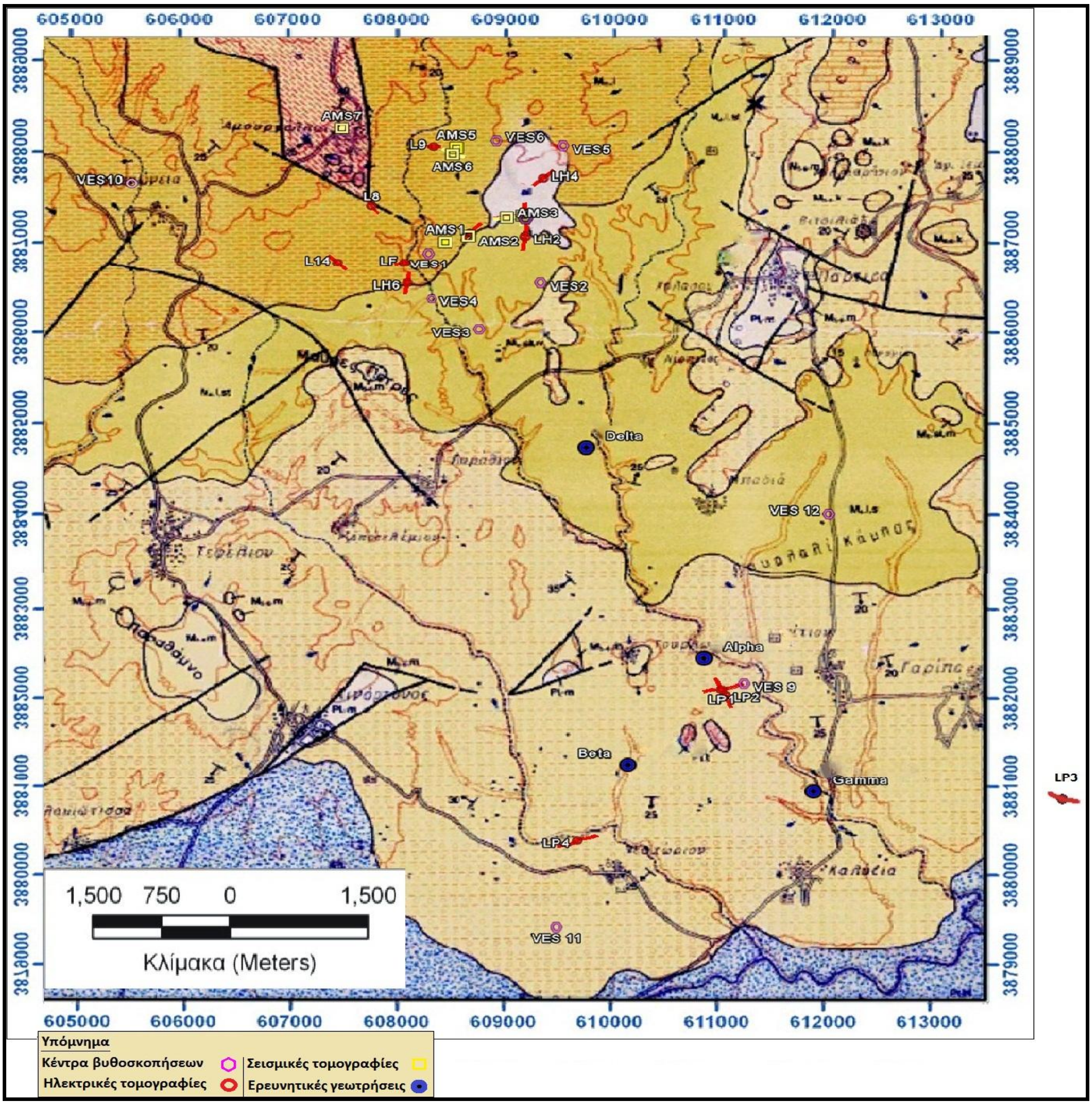
2.3.3 Περιορισμοί σεισμικής διάθλασης

Οι βασικές πηγές σφαλμάτων κατά την εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής διάθλασης εντοπίζονται κυρίως σε φαινόμενα τυφλής ζώνης (Βογανάτσης, 2000), δηλαδή αδυναμία της μεθόδου να εντοπίσει κάποιο ενδιάμεσο στρώμα. Σε μια τέτοια περίπτωση συνεπάγεται η υπερεκτίμηση των παχών ορισμένων στρωμάτων, καθώς και ο εσφαλμένος προσδιορισμός των ταχυτήτων των στρωμάτων. Όταν η ταχύτητα του ενός υπερκείμενου στρώματος είναι μεγαλύτερη από του υποκείμενου. Σε αυτή την περίπτωση η ακτίνα διάθλασης (σύμφωνα με το νόμο του Snell) αποκλίνει από την διαχωριστική επιφάνεια, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η δημιουργία μετωπικών κυμάτων στη διεπιφάνεια των δύο στρωμάτων. Πρακτικά, το γεγονός αυτό συνεπάγεται τον περιορισμό του βάθους διασκόπησης της σεισμικής διάθλασης στο βάθος που συναντάται το υπερκείμενο στρώμα μεγαλύτερων ταχυτήτων.

Κεφάλαιο 3- Αποτελέσματα γεωφυσικής και γεωτρητικής έρευνας

3.1 Εισαγωγή

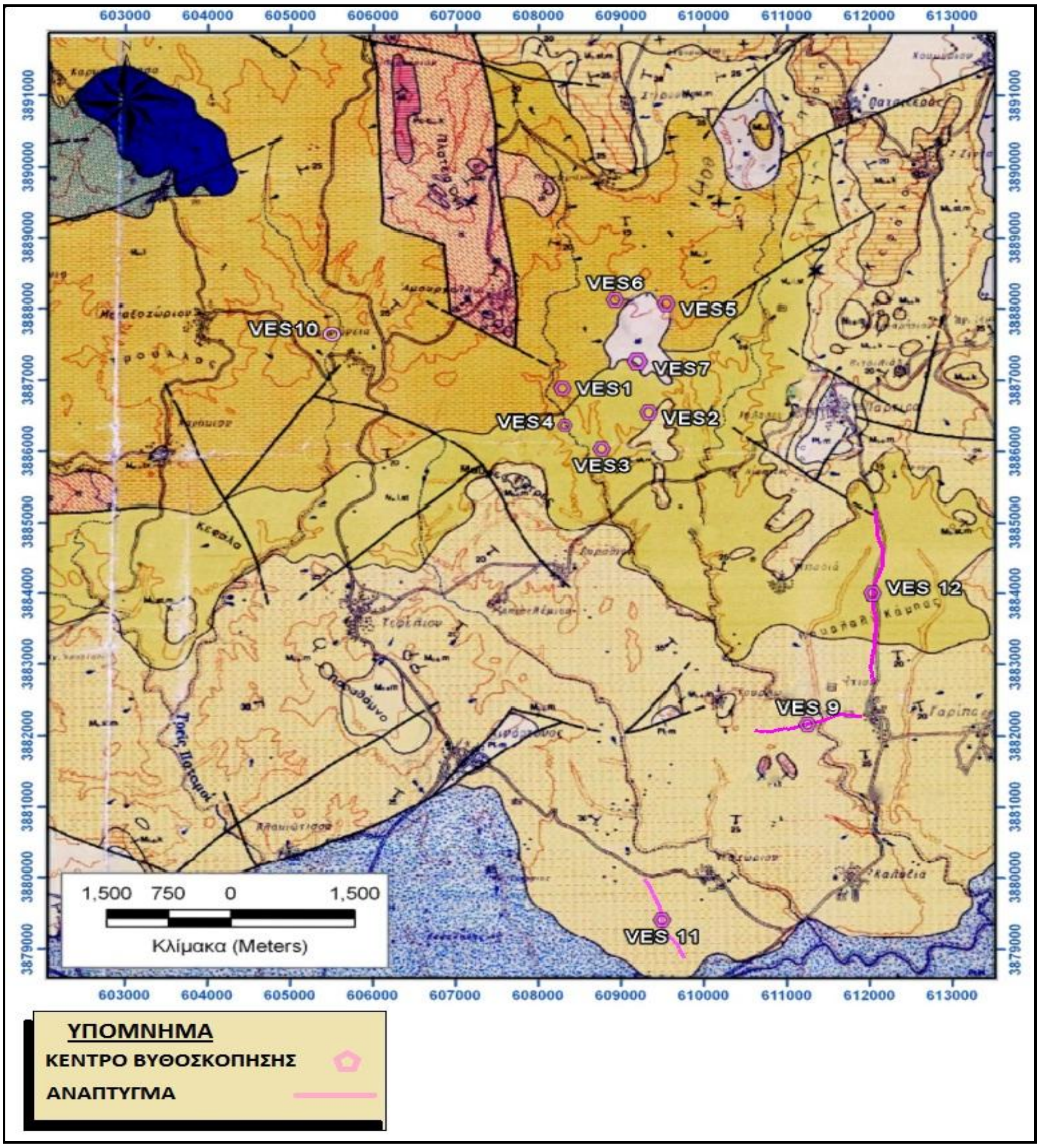
Συνολικά, η γεωφυσική έρευνα περιελάμβανε 7 γραμμές σεισμικής διάθλασης, συνολικού μήκους 1096 m, 12 ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις με μέγιστο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ρεύματος 2600 m και 16 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, συνολικού μήκους 4880 m.. Στο Σχήμα 3.1 παρατίθεται τμήμα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται οι θέσεις γεωφυσικής διασκόπησης.



Σχήμα 3. 1 *Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γεωφυσικών διασκοπήσεων και των γεωτρήσεων. Οι συντεταγμένες του χάρτη είναι σε ΕΓΣΑ'87.*

3.2 Ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις

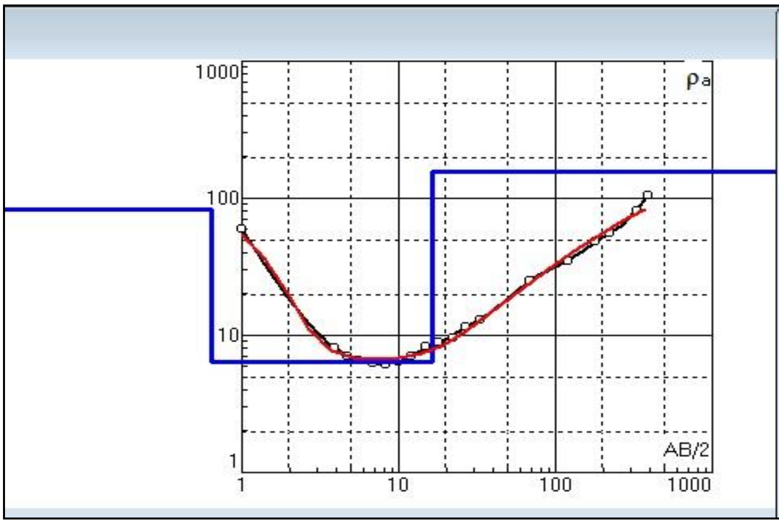
Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν συνολικά 12 ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις. Η επιλογή των θέσεων των βυθοσκοπήσεων έγινε με στόχο την εκτίμηση του πάχους των νεογενών σχηματισμών. Περαιτέρω παράγοντες που επηρέασαν την επιλογή θέσεων ήταν το ανάγλυφο, τα ρήγματα και η ευκολία πρόσβασης. Οι θέσεις των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και τα αναπτύγματα γνωστών συντεταγμένων, παρατίθενται στο Σχήμα 3.2. Οι βυθοσκοπήσεις VES1 – VES7 διασκοπήθηκαν στα πλαίσια του μαθήματος «Ασκήσεις Υπαίθρου IV», ενώ για τη συλλογή των δεδομένων των βυθοσκοπήσεων VES8, VES9, VES10, VES11 και VES12 συμμετείχε ο συντάκτης της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 3. 2 *Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης (1:50.000, Φύλλο Επάνω Αρχάναι), όπου απεικονίζονται οι θέσεις των κέντρων των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και τα γνωστά αναπτύγματα.*

3.2.1 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES1

Η βυθοσκόπηση VES1 πραγματοποιήθηκε νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1120 m. Λόγω της υψηλής τιμής της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, η τελευταία μέτρηση, σε απόσταση από το κέντρο 560m εκατέρωθεν, δεν συμπεριελήφθη (η τιμή ξεπερνούσε τα 1200 Ohm.m). Το νέο μέγιστο ανάπτυγμα κατόπιν διόρθωσης φτάνει τα 940m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES1 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3.



N	ρ	h	d	Alt
1	83	0.641	0.641	-0.641
2	6.42	15.6	16.2	-16.24
3	155			

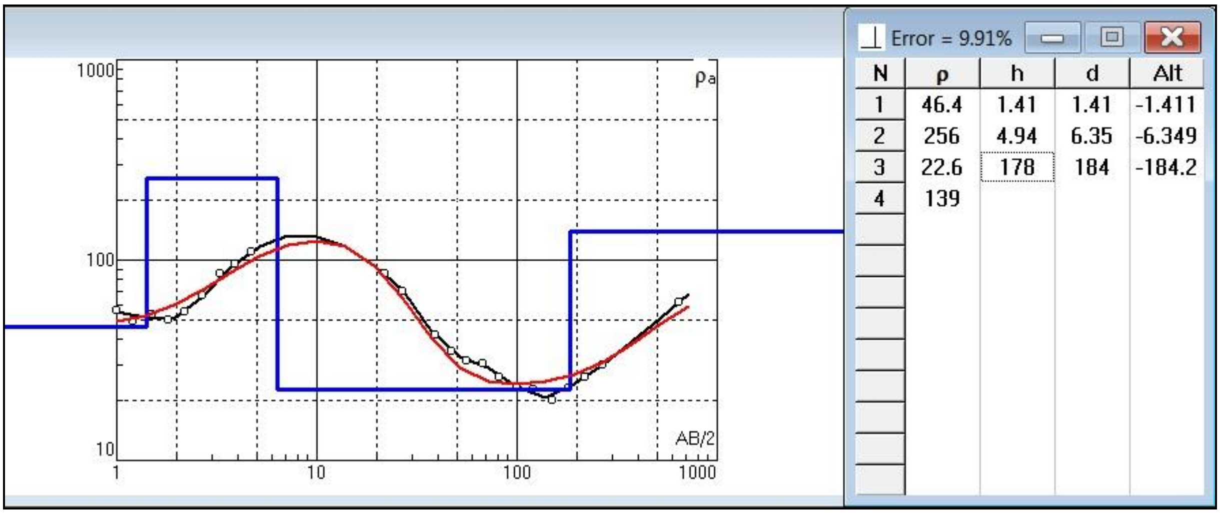
Σχήμα 3.3 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES1: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (≅ 0.6 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 83 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 16 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση περίπου 6.5 ohm.m.
3. Ένα τρίτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 16.3 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 155 ohm.m.

3.2.2 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES2

Η βυθοσκόπηση VES2 πραγματοποιήθηκε νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1300 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES2 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4.



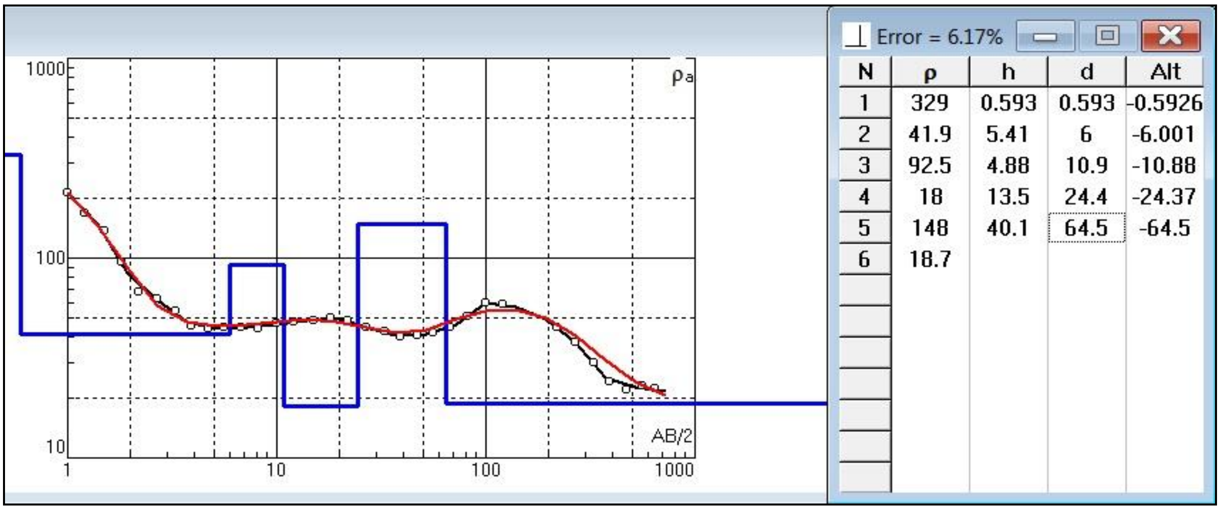
Σχήμα 3.4 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES2: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (≅ 1.4 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 46.4 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 5 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 256 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 178 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση περίπου 23 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 184 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 139 ohm.m.

3.2.3 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES3

Η βυθοσκόπηση VES3 πραγματοποιήθηκε νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1300 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES3 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.5.



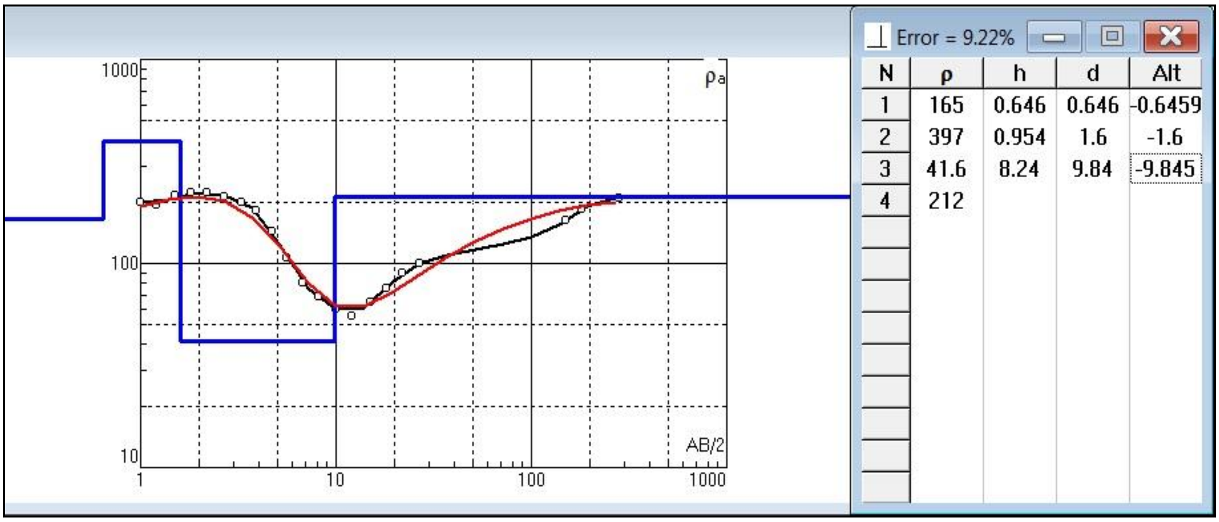
Σχήμα 3.5 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES3: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται έξι γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. **1.** Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (0.6 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 330 ohm.m.
2. **2.** Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 5.5 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση περίπου 42 ohm.m.
3. **3.** Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 4.8 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση περίπου 93 ohm.m.
4. **4.** Ένα τέταρτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 13.5 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 18 ohm.m.
5. **5.** Ένα πέμπτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 40 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 148 ohm.m.
6. **6.** Ένα έκτο γεωλογικό στρώμα σε βάθος περίπου 65 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 19 ohm.m.

3.2.4 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES4

Η βυθοσκόπηση VES4 πραγματοποιήθηκε νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 500 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES4 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.6.



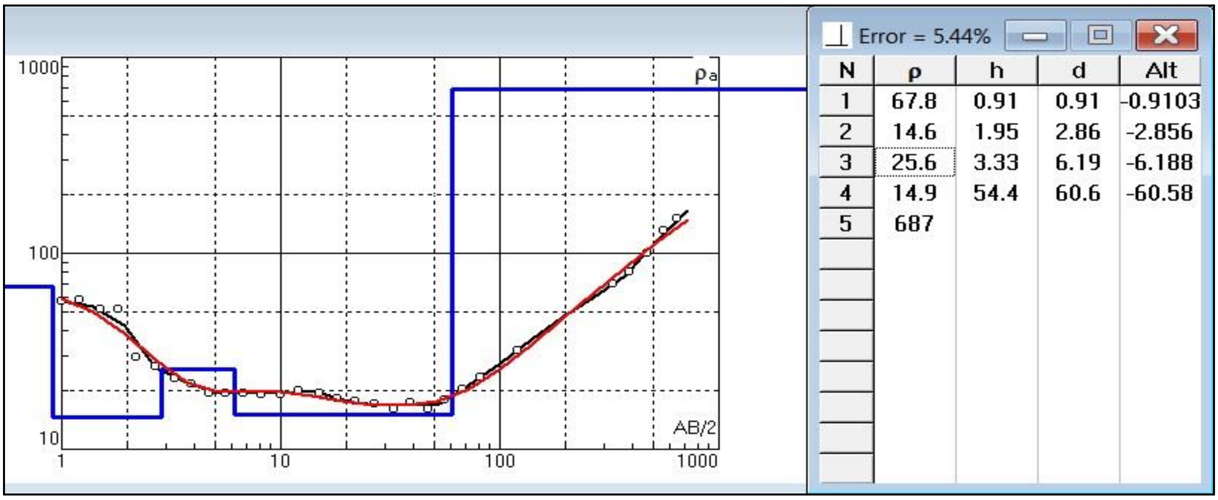
Σχήμα 3.6 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES4: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (≅ 1 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 165 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 1 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 397 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 8.2 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 41 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο γεωηλεκτρικό στρώμα σε βάθος περίπου 10 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 212 ohm.m.

3.2.5 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES5

Η βυθοσκόπηση VES5 πραγματοποιήθηκε ανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1300 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES5 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.7.



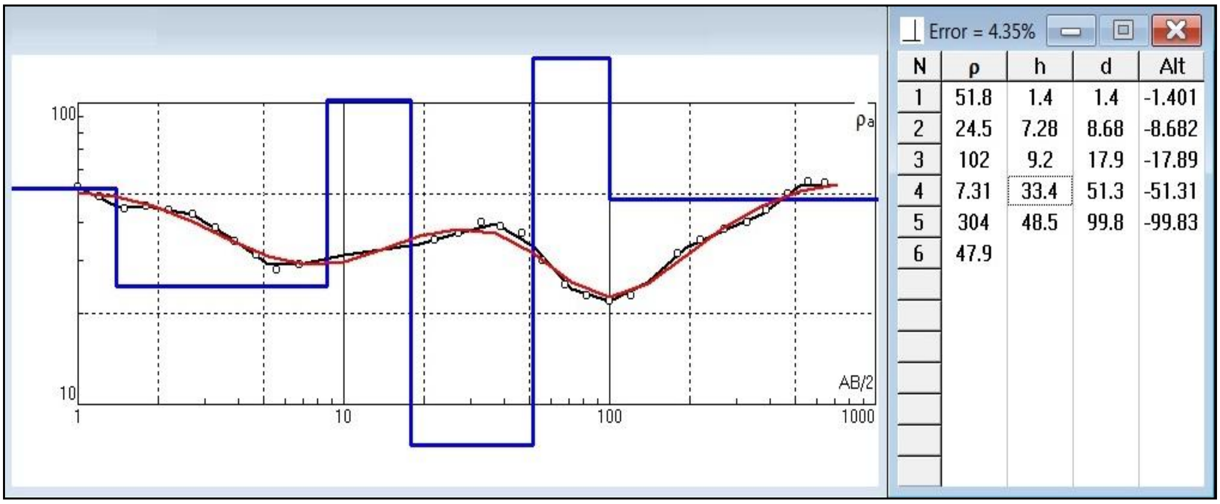
Σχήμα 3.7 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES5: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται έξι γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. **1.** Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (≅ 1 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 68 ohm.m.
2. **2.** Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 2 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 14.6 ohm.m.
3. **3.** Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 3.3 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 25.6 ohm.m.
4. **4.** Ένα τέταρτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 55 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 15 ohm.m.
5. **5.** Ένα πέμπτο γεωλογικό στρώμα σε βάθος περίπου 60 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 687 ohm.m.

3.2.6 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES6

Η βυθοσκόπηση VES6 πραγματοποιήθηκε ανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1300 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES6 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.8.



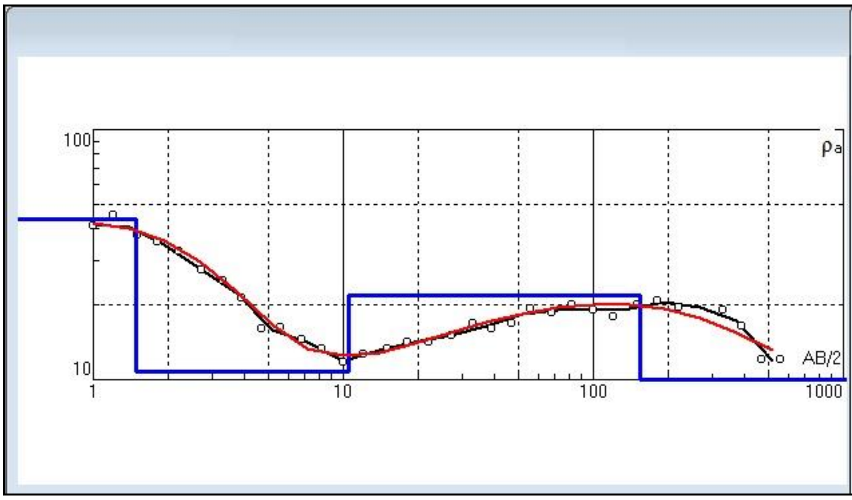
Σχήμα 3.8 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES6: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται έξι γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (1.4 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 52 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 7.3 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 25 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 9.2 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 102 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο γεωλογικό εντοπίζεται πάχους 33.4 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 7.3 ohm.m.
5. Ένα πέμπτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 48 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 304 ohm.m.
6. Ένα έκτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 100 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 48 ohm.m.

3.2.7 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES7

Η βυθοσκόπηση VES7 πραγματοποιήθηκε ανατολικά-νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1220 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES7 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.9.



N	ρ	h	d	Alt
1	43.8	1.48	1.48	-1.483
2	10.8	9.02	10.5	-10.5
3	21.7	143	154	-153.5
4	10			

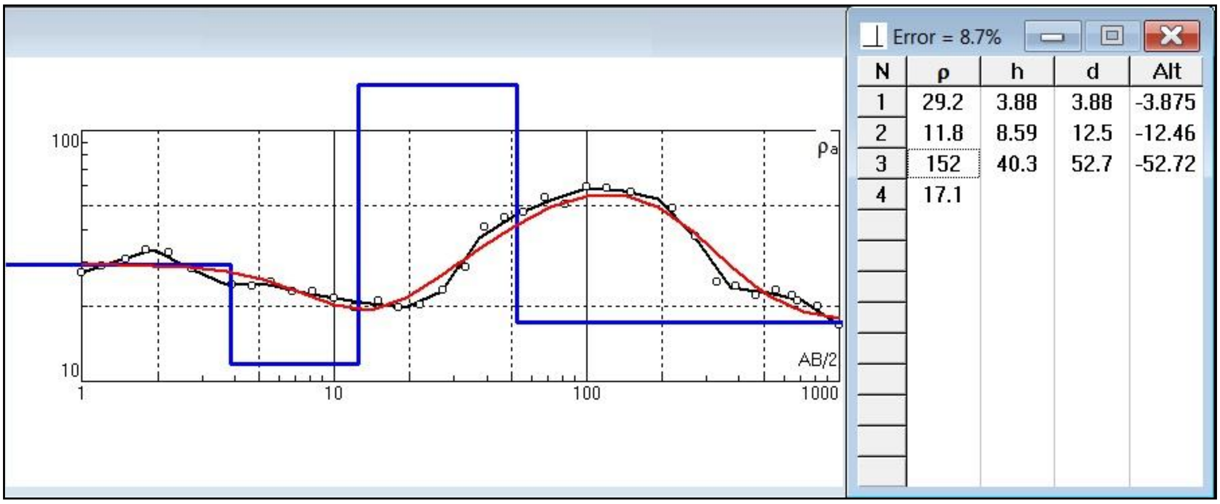
Σχήμα 3.9 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES7: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (1.5 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 44 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 9 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 11 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 143 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 22 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 154 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 10 ohm.m.

3.2.8 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES8

Η βυθοσκόπηση VES8 πραγματοποιήθηκε στο ίδιο σημείο με την VES3, νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 2000 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES8 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.10.



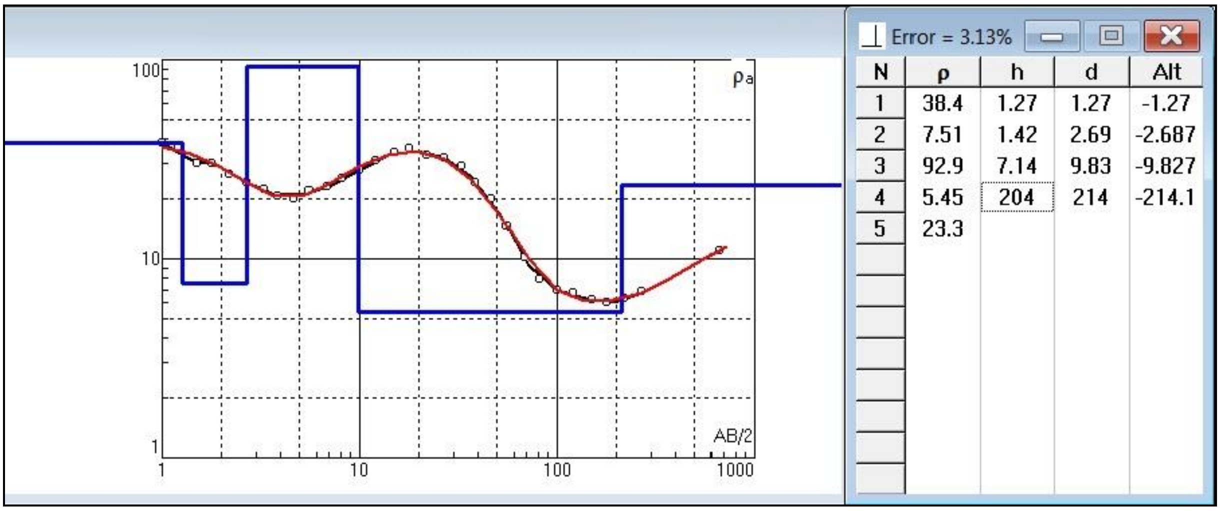
Σχήμα 3.10 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES8: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 3.9 m περίπου με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 29 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 9 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 12 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 40 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 152 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 53 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 17 ohm.m.

3.2.9 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES9

Η βυθοσκόπηση VES9 πραγματοποιήθηκε ανατολικά του χωριού Τουρλωτή. Η θέση και το ανάπτυγμα της βυθοσκόπησης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2. Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1220 m με διεύθυνση Δ-Α. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES9 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.11.



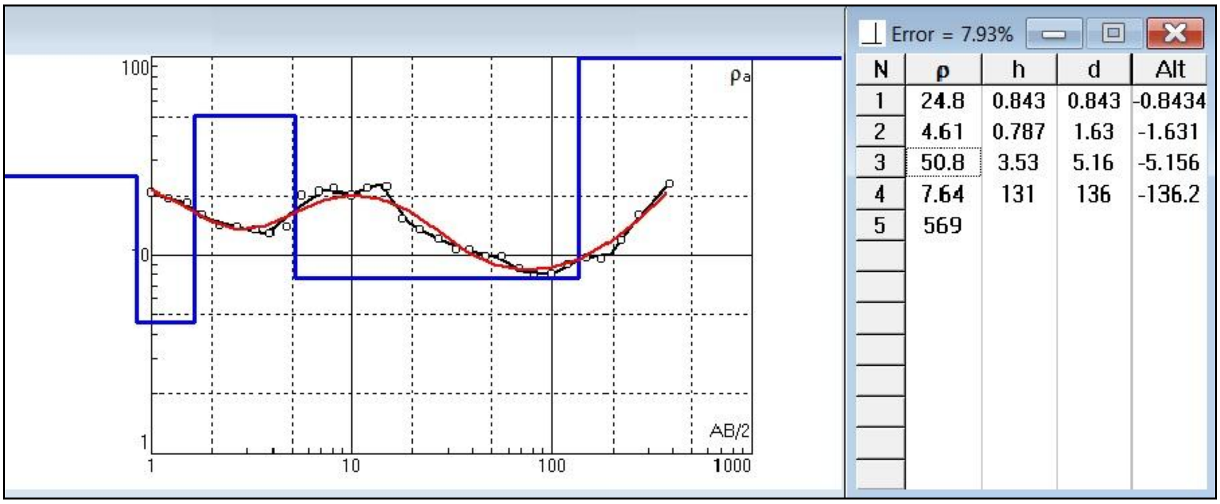
Σχήμα 3.11 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES9: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται πέντε γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (≅ 1.3 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 38.4 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 1.4 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 7.5 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 7.1 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 93 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 204 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 5.5 ohm.m.
5. Ένα πέμπτο γεωλογικό στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 214 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 23.3 ohm.m.

3.2.10 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES10

Η βυθοσκόπηση VES10 πραγματοποιήθηκε βόρεια του χωριού Αρμανώγια (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 940 m. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES10 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.12.



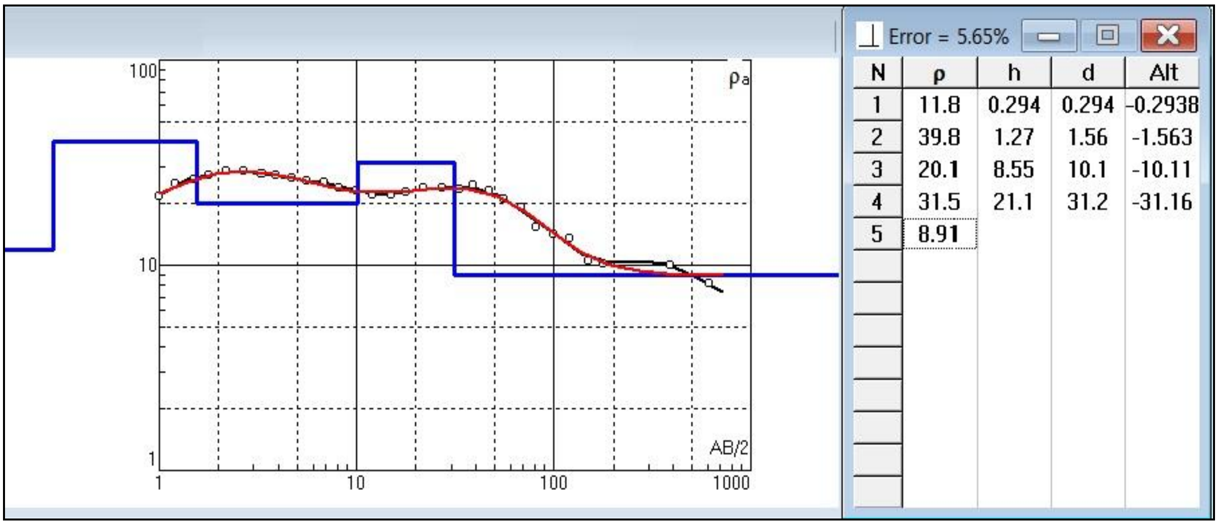
Σχήμα 3.12 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES10: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται πέντε γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (≅ 0.8 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 25 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 0.8 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 5 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 3.5 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 51 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 131 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 7.6 ohm.m.
5. Ένα πέμπτο γεωηλεκτρικό στρώμα που εμφανίζετε σε βάθος περίπου 136 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση περίπου 569 ohm.m.

3.2.11 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES11

Η βυθοσκόπηση VES11 πραγματοποιήθηκε νότια του χωριού Τουρλωτή. Η θέση και το ανάπτυγμα της βυθοσκόπησης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2. Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 1220 m με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES11 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.13.



N	ρ	h	d	Alt
1	11.8	0.294	0.294	-0.2938
2	39.8	1.27	1.56	-1.563
3	20.1	8.55	10.1	-10.11
4	31.5	21.1	31.2	-31.16
5	8.91			

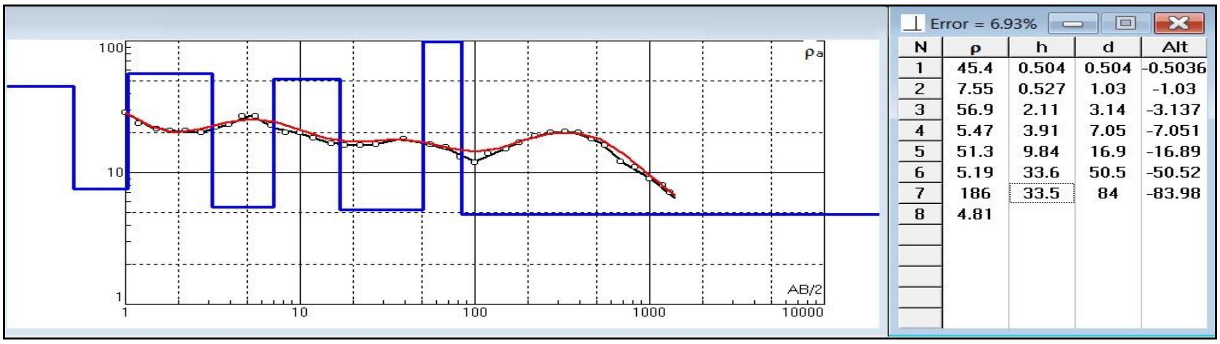
Σχήμα 3.13 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES11: οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m).*

Παρατηρούνται πέντε γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (0.3 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 12 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 1.3 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 40 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 8.5 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 20 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 21 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 32 ohm.m.
5. Ένα πέμπτο γεωλογικό στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 31 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 9 ohm.m.

3.2.12 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση VES12

Η βυθοσκόπηση VES12 πραγματοποιήθηκε βόρεια του χωριού Δραπέτι. Η θέση και το ανάπτυγμα της βυθοσκόπησης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2. Το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 2600 m με διεύθυνση Β-Ν. Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης VES12 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.14.



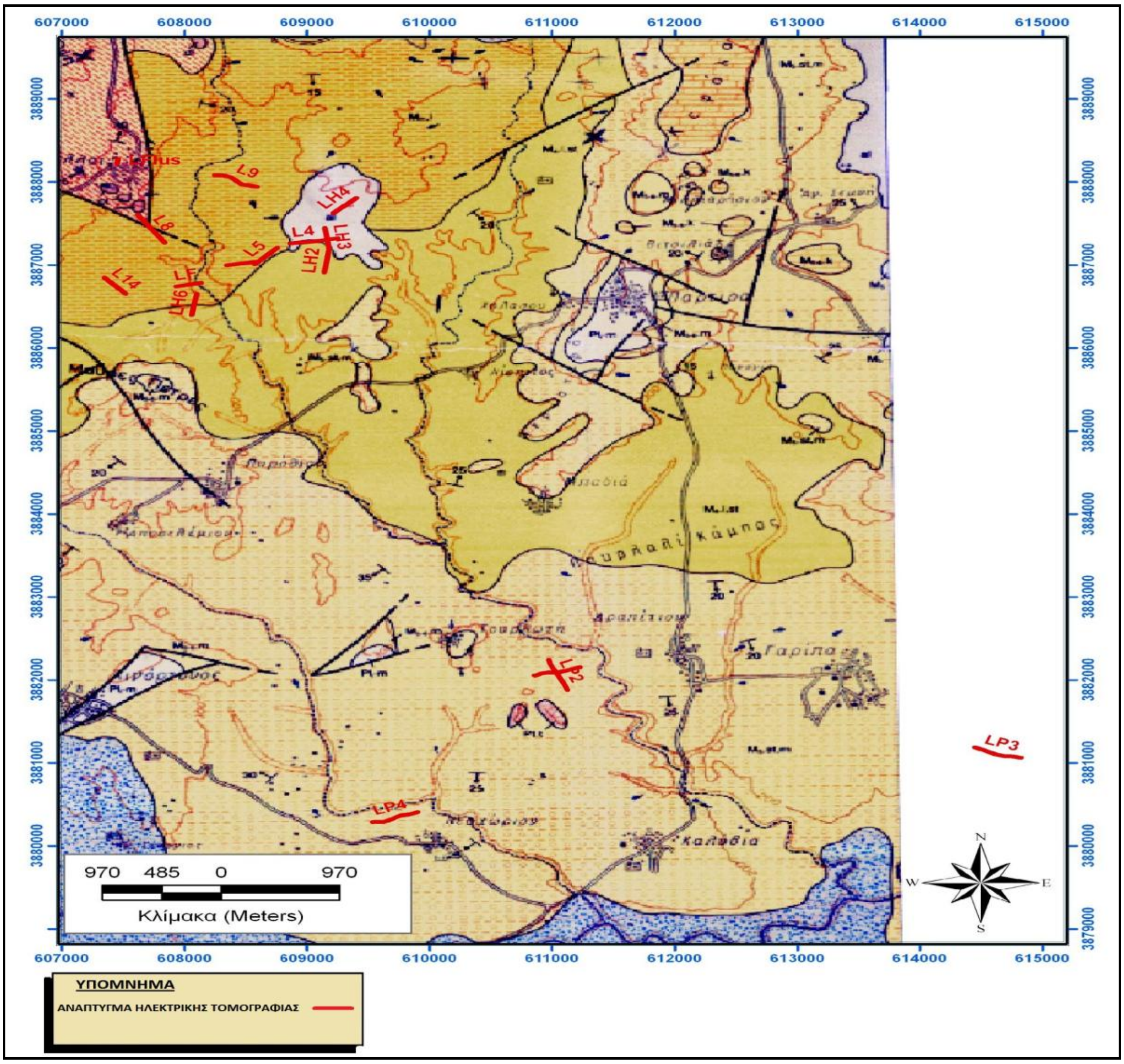
Σχήμα 3.14 *Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES12:Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a σε Ohm·m), η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στις υπολογισμένες τιμές της ρ_a και η μπλε, στο τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο (πίνακας αριστερά του σχήματος, όπου ρ: Πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm·m), h: πάχος γεωηλεκτρικού στρώματος (m), d: βάθος γεωηλεκτρικού στρώματος (m)*

Παρατηρούνται οκτώ γεωηλεκτρικά στρώματα:

1. Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους (0.5 m) με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 45.4 ohm.m.
2. Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα μικρού πάχους 0.5 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 7.55 ohm.m.
3. Ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα πάχους 2.1 m περίπου, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 57 ohm.m.
4. Ένα τέταρτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 4 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 5.5 ohm.m.
5. Ένα πέμπτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 10 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 51.3 ohm.m.
6. Ένα έκτο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 33.6 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 5.2 ohm.m.
7. Ένα έβδομο γεωλογικό στρώμα πάχους περίπου 33.5 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 186 ohm.m.
8. Ένα όγδοο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος περίπου 85 m, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 5 ohm.m.

3.3 Ηλεκτρική τομογραφία

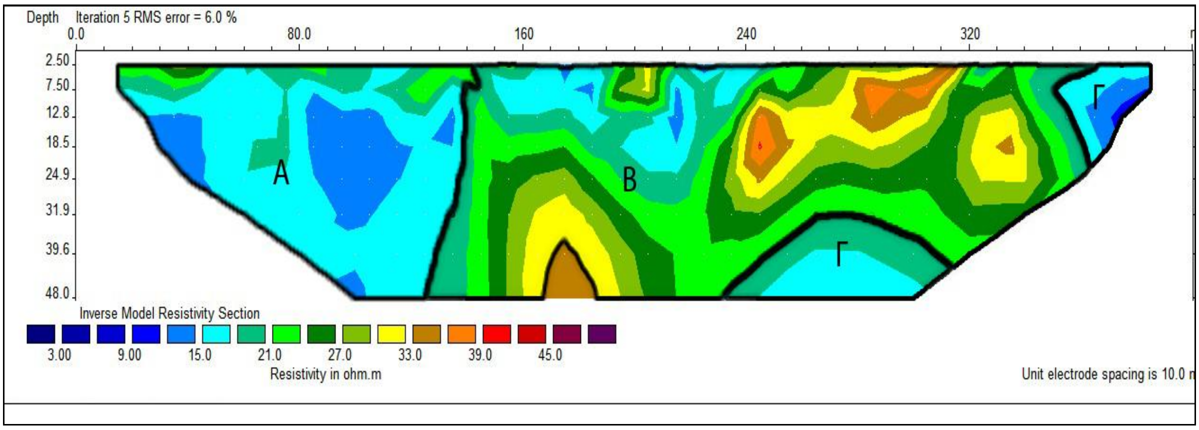
Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία σε 15 γραμμές της ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 4880 m. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Ασκήσεις Υπαίθρου IV» και του ερευνητικού έργου «05ΕΠΕΡΚΡ07: Εντοπισμός και η αξιολόγηση βιοαερίου νεογενών σχηματισμών της περιοχής Αρκαλοχωρίου Ηρακλείου Κρήτης για ενεργειακή χρήση.» Βασική επιδίωξη της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αντίστασης των ιζηματογενών πετρωμάτων που δομούν τους σχηματισμούς της περιοχής μελέτης. Οι θέσεις των γραμμών επιλέχτηκαν βάσει των αποτελεσμάτων της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και της λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης και παρατίθενται στο Σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15 *Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης (1:50.000, Φύλλο Επάνω Αρχάναι), όπου απεικονίζονται οι θέσεις των ηλεκτρικών τομογραφιών. Οι συντεταγμένες του χάρτη είναι σε ΕΓΣΑ'87.*

3.3.1 Ηλεκτρική τομογραφία L8

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας L8 τοποθετείται νότια του χωριού Αμουργέλες και βορείως της λίμνης (Σχήμα 3.15), σε περιοχή, που σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης, παρατηρείται επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Βιάννου στην αρχή της γραμμής και φλύσχη στη συνέχεια. Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΝΑ προς ΒΔ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.16 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L8, με διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.16 παρατηρούνται:

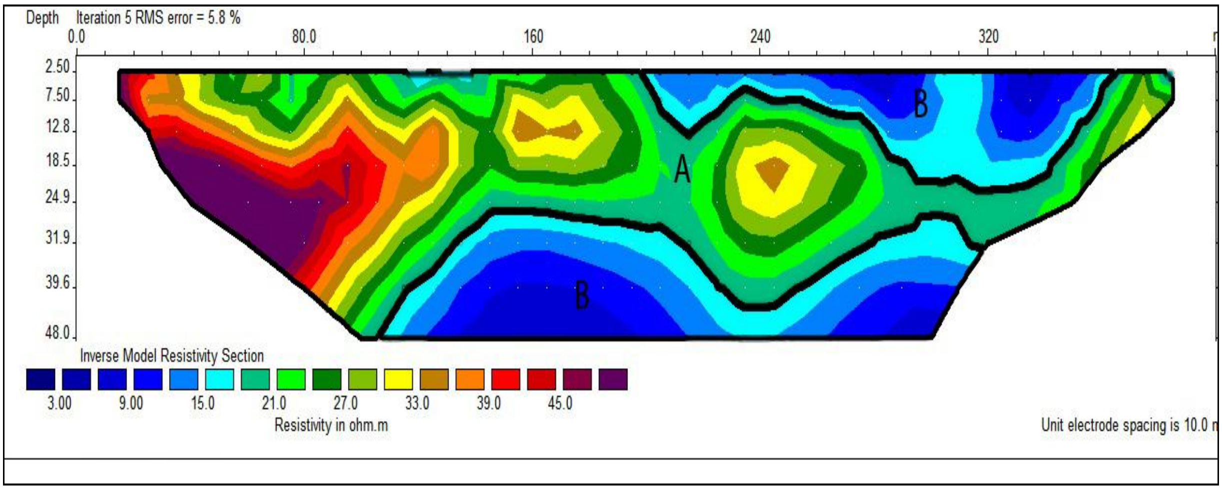
Α. Σχηματισμούς με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 15 – 20 ohm.m, μέχρι τα πρώτα 140 m της γραμμής μελέτης και μέχρι το βάθος διασκόπησης των 45 m.

Β. Σχηματισμοί με μεγαλύτερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (25 –35 ohm.m) μετά τα 140 m και μέχρι το τέλος της γραμμής μελέτης, οι οποίοι εμφανίζονται επιφανειακά και φτάνουν μέχρι το βάθος της διασκόπησης (20 m).

Γ. Από τα 240 m της γραμμής μελέτης και μέχρι το τέλος της και σε βάθη από 40 έως 48 m παρατηρείται σχηματισμός με μικρότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (15- 20 Ohm.m).

3.3.2 Ηλεκτρική τομογραφία L4

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας L4 τοποθετείται νότια του χωριού Αμουργέλες και βορείως της λίμνης, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Σχοινιά (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΝΔ προς ΒΑ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.17 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L4, με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

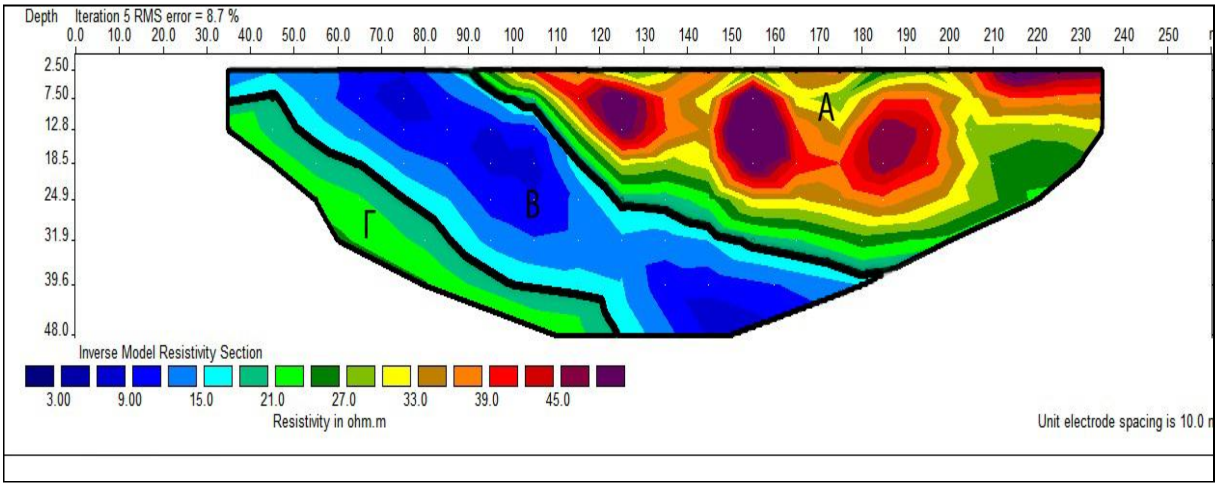
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.17 παρατηρούνται:

A. Σχηματισμός που εμφανίζεται επιφανειακά και φτάνει μέχρι και το βάθος των 45 m με ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερες από 35 ohm.m.

B. Σχηματισμοί με χαμηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (5-15 ohm.m) οι οποίοι εμφανίζονται επιφανειακά στην οριζόντια διεύθυνση από 200 έως 350 m της γραμμής μελέτης καθώς επίσης και σε βάθη από 30 έως 45 m από τα 100 έως τα 250m οριζοντίως.

3.3.3 Ηλεκτρική τομογραφία L5

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας L5 τοποθετείται νότια-νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες και νότια της λίμνης, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Βιάννου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΝΔ προς ΒΑ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.18 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L5, με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.18 παρατηρούνται:

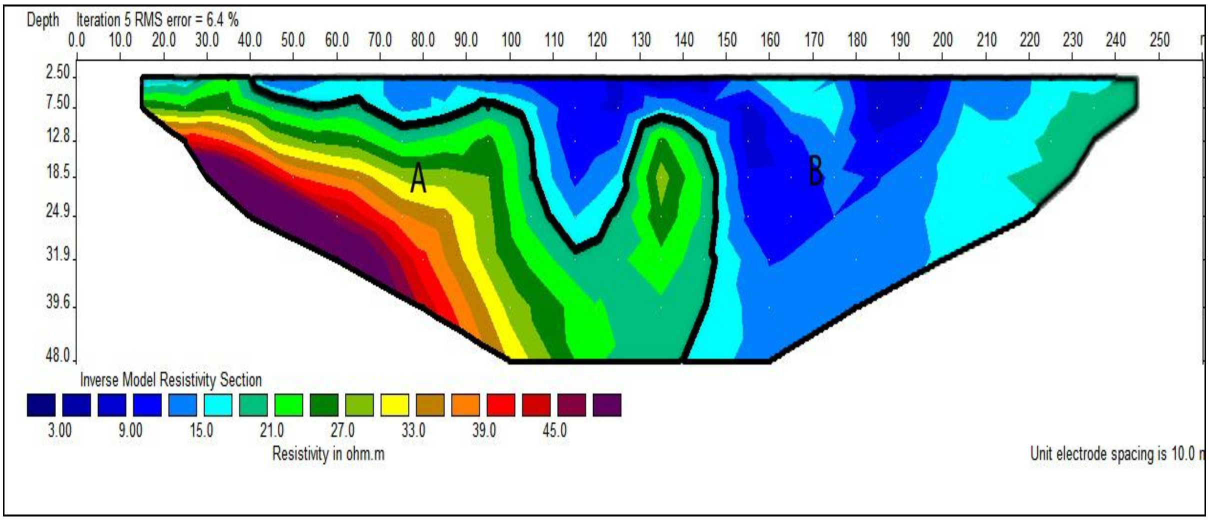
Α. Επιφανειακοί σχηματισμοί από τα 90m μέχρι το τέλος της γραμμής μελέτης με ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 20 έως 45 ohm.m, που εκτείνονται διαγωνίως μέχρι το βάθος των 40 m.

Β. Σχηματισμός χαμηλότερων τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (5-15 ohm.m), ο οποίος υπόκειται του προαναφερθέντος βαθαίνοντας προς το τέλος της γραμμής μελέτης έως τα 45 m.

Γ. Σχηματισμός ηλεκτρικής αντίστασης 20-25 ohm.m, στην αρχή της γραμμής μελέτης, σε διαγώνια στρώση, που υπόκειται του Β και εκτείνεται σε βάθος 48m.

3.3.4 Ηλεκτρική τομογραφία LH2

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LH2 τοποθετείται νότια-νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες και ανατολικά της λίμνης, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Σχοινιά (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Ν προς Β, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.19 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LH2, με διεύθυνση Ν-Β. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

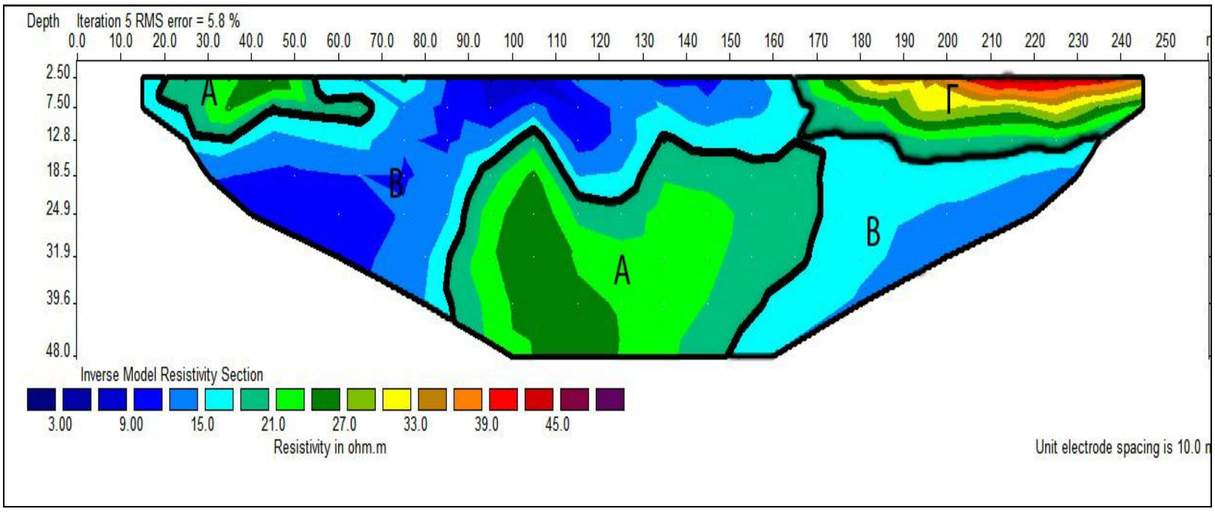
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.19 παρατηρούνται:

Α. Σχηματισμός μέχρι τα 145 m της γραμμής μελέτης και μέχρι το βάθος των 45 m με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 20 – 45 ohm.m.

Β. Σχηματισμοί μικρότερων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (6-20 ohm.m) στο υπόλοιπο τμήμα της γεωηλεκτρικής τομής.

3.3.5 Ηλεκτρική τομογραφία LH3

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LH3 τοποθετείται νότια-νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες και ανατολικά της λίμνης , σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Σχοινιά στην αρχή της γραμμής μελέτης και αλουβιακών αποθέσεων προς το τέλος αυτής (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Ν προς Β, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.20 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LH3, με διεύθυνση Ν-Β. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.20, παρατηρούνται:

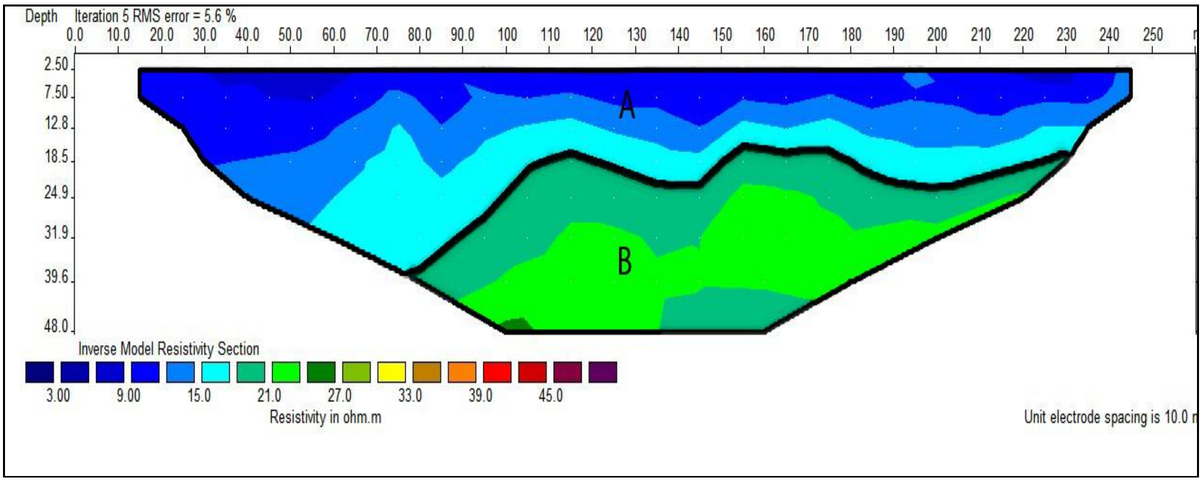
Α. Στην αρχή της γραμμής μελέτης επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 15 m, καθώς και στο κέντρο αυτής και σε βάθη 15-45 m σχηματισμοί με ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 20-30 ohm.m.

Β. Στα υπόλοιπα τμήματα της γεωηλεκτρικής τομής παρατηρούνται σχηματισμοί με μικρότερες τιμές της ειδικής αντίστασης 10-15 ohm.m.

Γ. Στο τέλος της γραμμής μελέτης επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 15 m, σχηματισμοί με ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 35-40 ohm.m.

3.3.6 Ηλεκτρική τομογραφία LH4

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LH4 τοποθετείται νότια-νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες και βορειοανατολικά της λίμνης, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση αλουβιακών αποθέσεων (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Ν προς Β, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.21 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LH4, με διεύθυνση Ν-Β. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

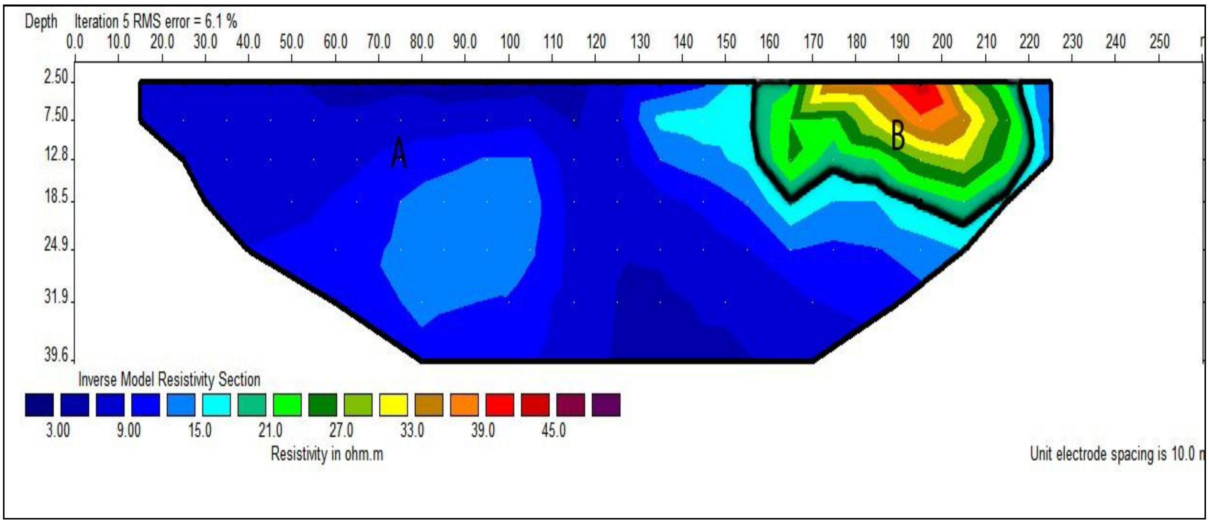
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.21 παρατηρούνται:

Α. Ομαλή κατανομή των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης τόσο στην κατακόρυφη όσο και στην οριζόντια διεύθυνση της γεωηλεκτρικής τομής.

Β. Σχηματισμοί όπου αναλόγως με το βάθος αυξάνονται και οι τιμές της ειδικής αντίστασης από 8 (Α) έως 25 ohm.m (Β). Οι επιφανειακοί σχηματισμοί εκτείνονται μέχρι το βάθος των 20 μέτρων.

3.3.7 Ηλεκτρική τομογραφία LH6

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LH6 τοποθετείται νότια του χωριού Αμουργέλες και νότια της λίμνης (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Ν προς Β, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.22 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LH6, με διεύθυνση N-B. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

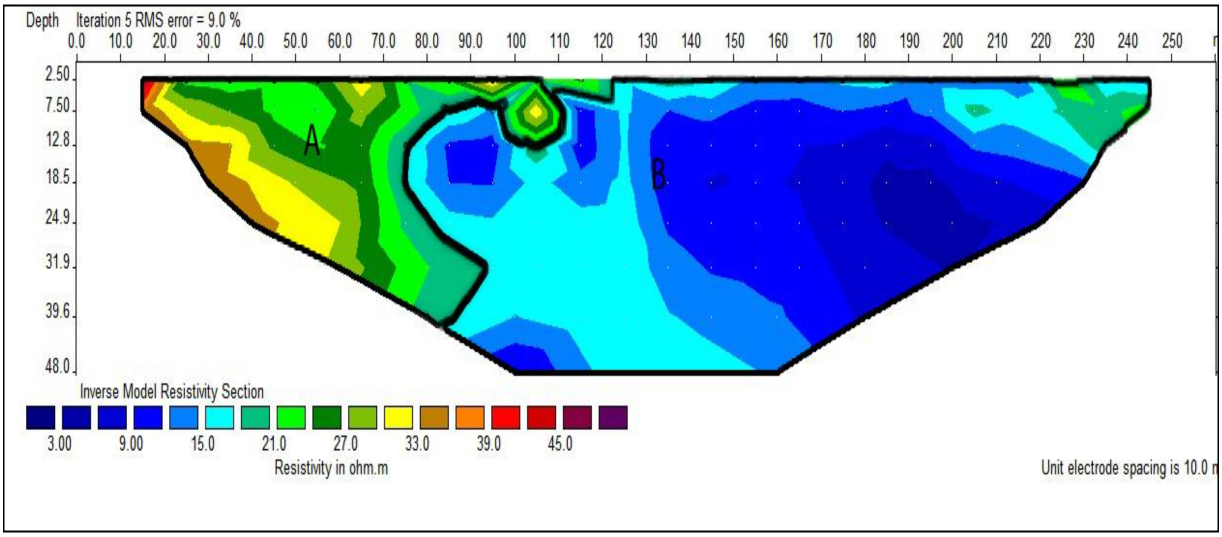
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.22, παρατηρούνται:

Α. Πολύ χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (5-10 ohm.m),.

Β. Επιφανειακή εμφάνιση σχηματισμού μεγαλύτερες τιμές της ειδικής αντίστασης (10-45 ohm.m).

3.3.8 Ηλεκτρική τομογραφία L14

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας L14 τοποθετείται νότια-νοτιοδυτικά του χωριού Αμουργέλες και βορειοδυτικά της λίμνης, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Βιάννου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΒΑ προς ΝΔ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.23 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L14, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

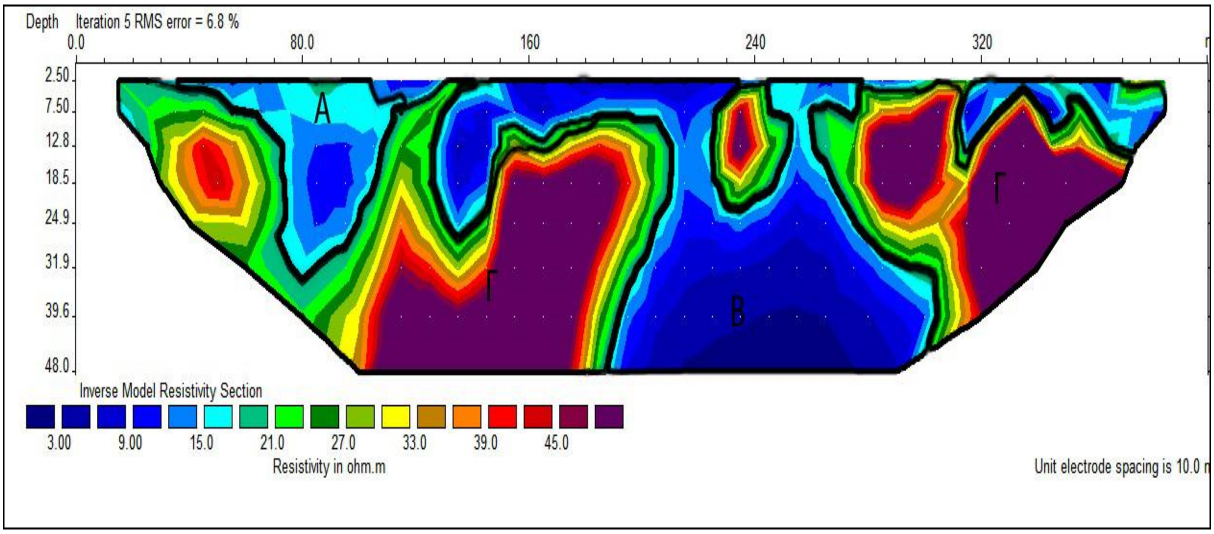
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.23, παρατηρούνται:

Α. Σχηματισμός υψηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (25-40 ohm.m) τα πρώτα μέτρα της γραμμής μελέτης (40-110 m) με επιφανειακή ανάπτυξη έως βάθος 40 m.

Β. Σχηματισμοί με μικρότερη τιμή της ειδικής αντίστασης (9-15 ohm.m) στο υπόλοιπο τμήμα της γεωηλεκτρικής τομής.

3.3.9 Ηλεκτρική τομογραφία L9

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας L9 τοποθετείται νότια-νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες και βορειοανατολικά της λίμνης, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Βιάννου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΝΑ προς ΒΔ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.24 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L9, με διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.24, παρατηρούνται:

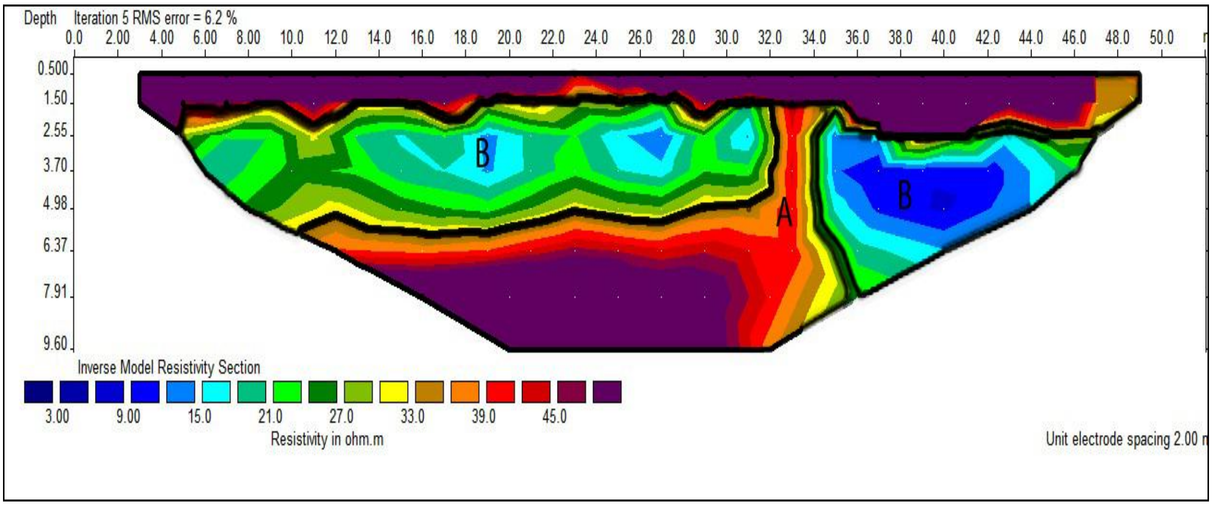
Α. Επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 15 m σχηματισμός με τιμές της ειδικής αντίστασης 8-20 ohm.m.

Β. Ανάπτυξη του επιφανειακού σχηματισμού χαμηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στα 205-290 m της γραμμής μελέτης και σε βάθη 25-45 m.

Γ. Σχηματισμοί μεγαλύτερων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (20-55 ohm.m) τόσο σε βάθος (αρχή γραμμής μελέτης) όσο και επιφανειακά (τέλος γραμμής μελέτης).

3.3.10 Ηλεκτρική τομογραφία Lflysx

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας Lflysx τοποθετείται στο χωριό Αμουργέλες και πραγματοποιήθηκε σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση φλύσχη του υποβάθρου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Ν προς Β, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.25 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LFlusx, με διεύθυνση Ν-Β. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

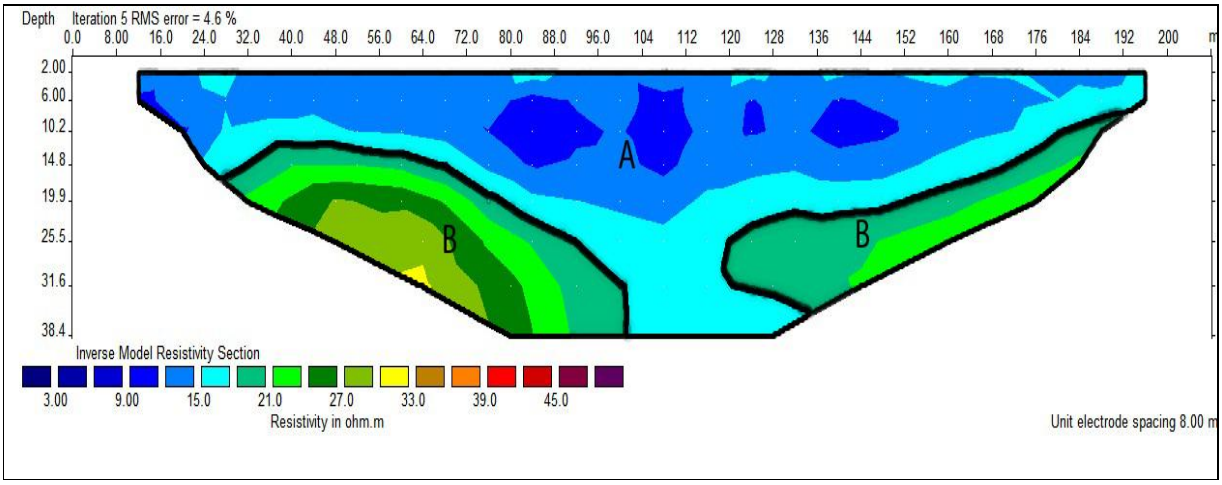
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.25, παρατηρούνται:

Α. Ένα γεωλογικό στρώμα μέχρι το βάθος των 2 m και ένα δεύτερο σε βάθη από 4-9 m με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 50 ohm.m.

Β. Ένα γεωλογικό στρώμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο προαναφερθέντων με χαμηλότερες τιμές της ειδικής αντίστασης.

3.3.11 Ηλεκτρική τομογραφία LF

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LF τοποθετείται νότια του χωριού Αμουργέλες και νότια της λίμνης (Φρύδι), σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Βιάννου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Δ προς Α, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (27 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=8 m).



Σχήμα 3.26 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LF, με διεύθυνση Δ-Α. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

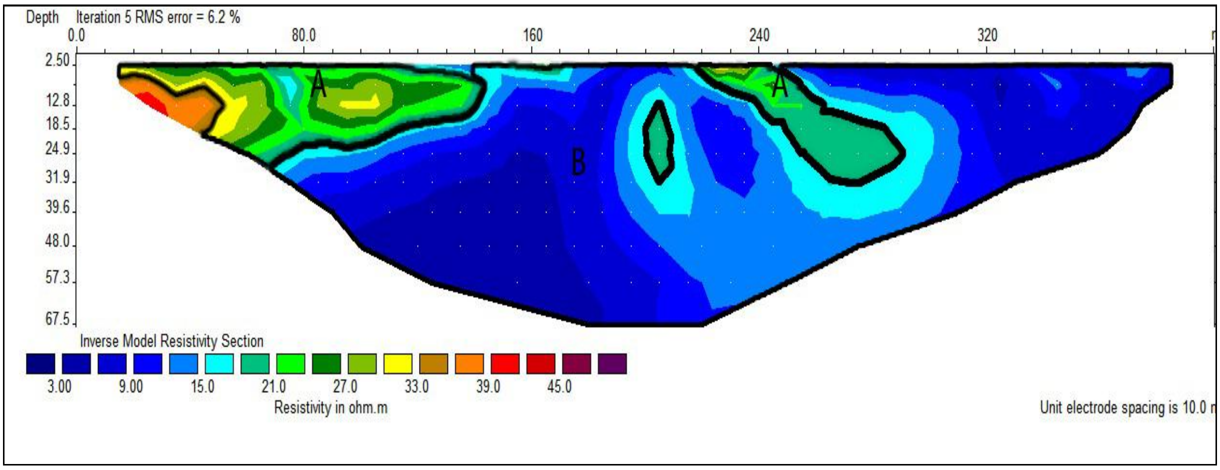
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.26, παρατηρούνται:

A. Σχηματισμός με μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (9-15 ohm.m) που εκτείνεται από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 32 m, με ρηχότερη εμφάνιση στα 44 m της γραμμής μελέτης (βάθος 8 m) και βαθύτερη στα 108 m της γραμμής μελέτης (βάθος 36 m).

B. Σχηματισμός που υπόκειται του προαναφερθέντος με λίγο μεγαλύτερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (20-30 ohm.m), ιδιαιτέρως στα πρώτα μέτρα της γραμμής μελέτης και σε βάθη 14 έως 36 m.

3.3.12 Ηλεκτρική τομογραφία LP1

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LP1 τοποθετείται βορειοανατολικά του χωριού Τουρλωτή, ανάμεσα στα χωριά Τουρλωτή και Δραπέτι, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Αμπελούζου (Σχήμα 3.15). Στα 150 m από την αρχή της γραμμής μελέτης και στα 20 m δυτικότερα αυτής, υπάρχει γεώτρηση βάθους 210 m. Επίσης, η γραμμή μελέτης LP2 τέμνει την LP1 στην θέση των 200 m. Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΒΑ προς ΝΔ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (41 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.27 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LP1, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης.*

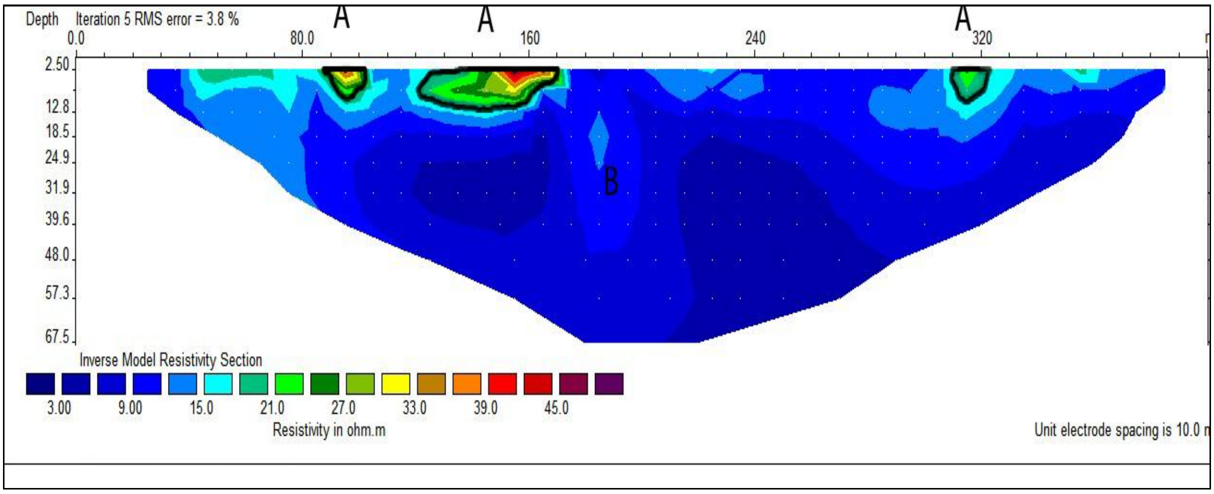
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.27, παρατηρούνται:

Α. Σχηματισμοί με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 15-40 ohm.m μέχρι το βάθος των 25 μέτρων που αναπτύσσονται στα πρώτα 160 m της γραμμής μελέτης και στα 240 m στο τελευταίο τμήμα αυτής..

Β. Περιοχές με χαμηλές τιμές της ειδικής αντίστασης 5-15 ohm.m, που αναπτύσσονται σε όλη την υπόλοιπη γραμμή μελέτης, οι οποίες εκτείνονται σε βάθος μέχρι 68 m.

3.3.13 Ηλεκτρική τομογραφία LP2

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LP2 τοποθετείται βορειοανατολικά του χωριού Τουρλωτή, ανάμεσα στα χωριά Τουρλωτή και Δραπέτι, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Αμπελούζου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Ν-ΝΑ προς Β-ΒΔ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (41 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m



Σχήμα 3.28 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LP2, με διεύθυνση ΝΝΑ-ΒΒΔ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης.*

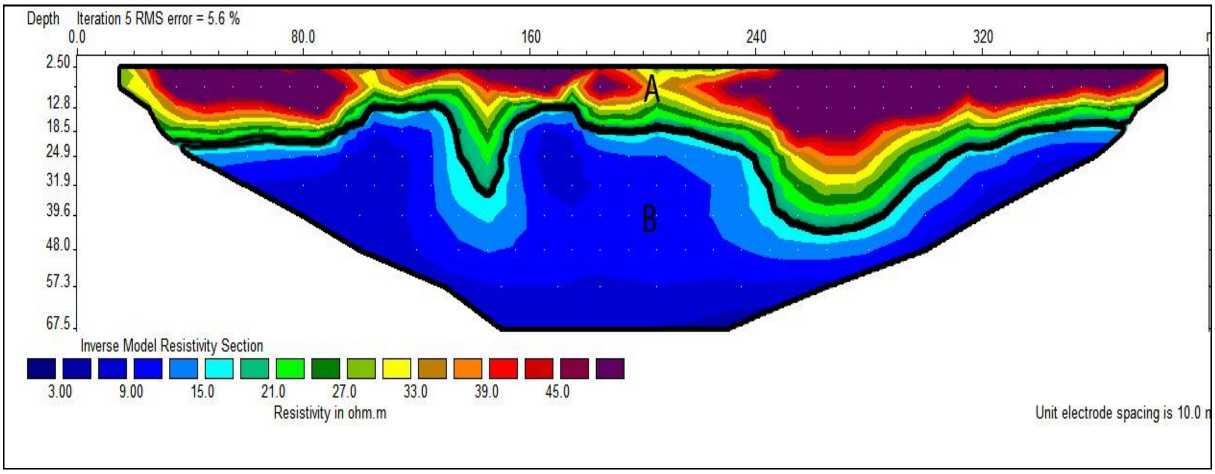
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.28, παρατηρούνται:

Α. Κατά τόπους επιφανειακές εμφανίσεις με τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 20 έως 40 ohm.m.

Β. Γεωλογικό στρώμα μικρών ειδικών αντιστάσεων (5-10 ohm.m) με ανάπτυξη μέχρι το βάθος των 68m.

3.3.14 Ηλεκτρική τομογραφία LP3

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LP3 τοποθετείται βορειοανατολικά του χωριού Γαρίπα, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Αμπελούζου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΒΔ προς ΝΑ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (41 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.29 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LP3, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

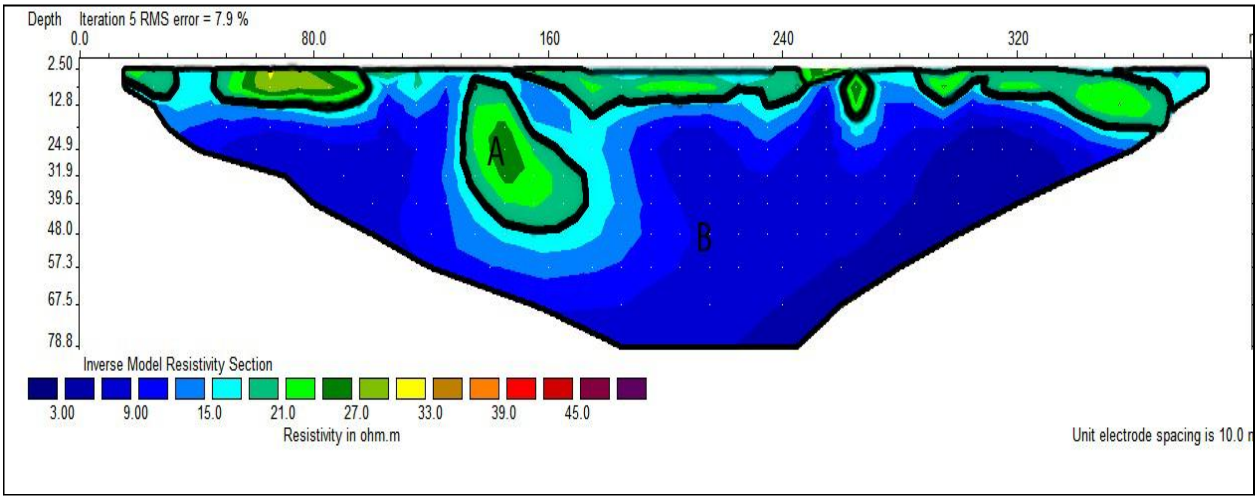
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.29, παρατηρούνται:

A. Τμήματα της γεωηλεκτρικής τομής με ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 15 έως 40 ohm.m.

B. Τμήματα της γεωηλεκτρικής τομής με ειδική ηλεκτρική αντίσταση μικρότερες των 10 ohm.m.

3.3.15 Ηλεκτρική τομογραφία LP4

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας LP4 τοποθετείται βορειοανατολικά του χωριού Γαρίπα, σε περιοχή με επιφανειακή εμφάνιση του Σχηματισμού Αμπελούζου (Σχήμα 3.15). Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν ΒΔ προς ΝΑ, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχθηκε για την συλλογή των δεδομένων (41 ηλεκτρόδια, ισαπόσταση a=10 m).



Σχήμα 3.30 *Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή LP4, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον κατακόρυφο άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης*

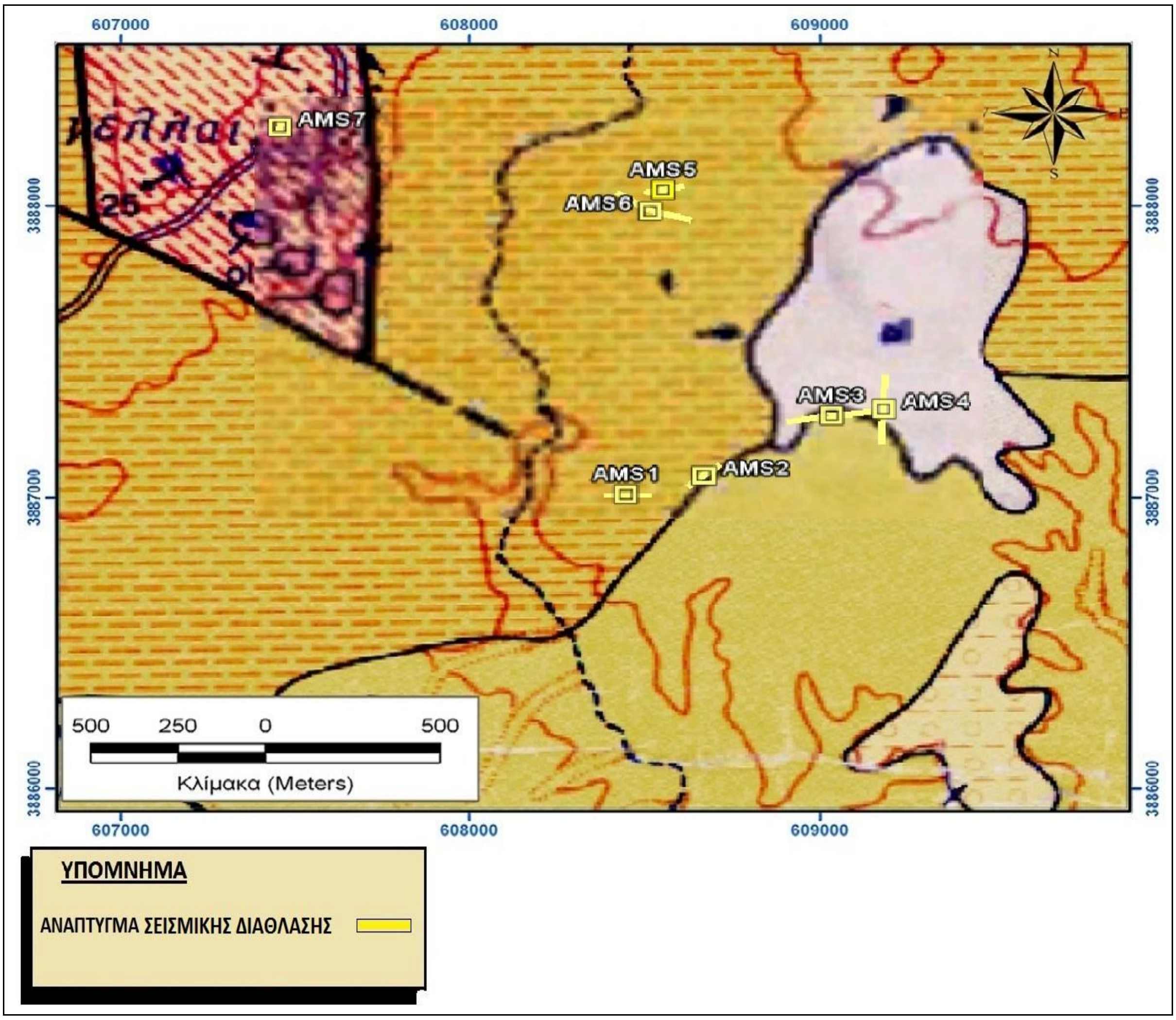
Από τα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.30, παρατηρούνται:

Α. Επιφανειακή εμφάνιση, σε όλη τη γραμμή μελέτης, περιοχών με τιμές της ειδικής αντίστασης μεγαλύτερες των 20 ohm.m. Οι σχηματισμοί εκτείνονται σε βάθος έως 12 m και στα 130 m της γραμμής εκτείνονται σε βάθος 50 m.

Β. Περιοχές με τιμές της ειδικής αντίστασης μικρότερες των 10 ohm.m που αναπτύσσονται σε όλο το υπόλοιπο τμήμα της τομής.

3.4 Σεισμική τομογραφία

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «05ΕΠΕΡΚΡ07: Εντοπισμός και η αξιολόγηση βιοαερίου νεογενών σχηματισμών της περιοχής Αρκαλοχωρίου Ηρακλείου Κρήτης για ενεργειακή χρήση» και του μαθήματος του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων «Ασκήσεις Υπάιθρου IV», διασκοπήθηκαν επτά σεισμικές γραμμές με την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης, συνολικού μήκους 1096 m. Στην παρούσα παράγραφο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τριών σεισμικών γραμμών μελέτης (AMS3, AMS6, AMS7) συνολικού μήκους 516 m, στις οποίες πραγματοποιήθηκε επεξεργασία με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Οι τομές των υπόλοιπων σεισμικών γραμμών (AMS1, AMS2, AMS4, AMS5) αναπαράχθηκαν από την έκθεση του προαναφερθέντος ερευνητικού προγράμματος και παρατίθενται στο παράρτημα ΠΙ. Οι θέσεις των σεισμικών γραμμών μελέτης απεικονίζονται στον Σχήμα 3.31. Για την καταγραφή των σεισμικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δύο 12-κάναλοι σεισμογράφοι GEODE της Geometrics(TM) και γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας χαρακτηριστικής συχνότητας 4.5. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την διάταξη κοινής πηγής σε όλες τις γραμμές μελέτης. Η παραγωγή σεισμικών κυμάτων πραγματοποιήθηκε με την κρούση βαριοπούλας 6 kg πάνω σε μεταλλική πλάκα ή με τη χρήση του Seisgun “Betsy”. Στις σεισμικές καταγραφές πραγματοποιήθηκε επιλογή και κατ’ επέκταση επεξεργασία των πρώτων αφίξεων των P - κυμάτων με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας.



Σχήμα 3. 31 *Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης (1:50.000, Φύλλο Επάνω Αρχάναι), όπου απεικονίζονται οι θέσεις των σεισμικών γραμμών μελέτης. Οι συντεταγμένες του χάρτη είναι σε ΕΓΣΑ'87.*

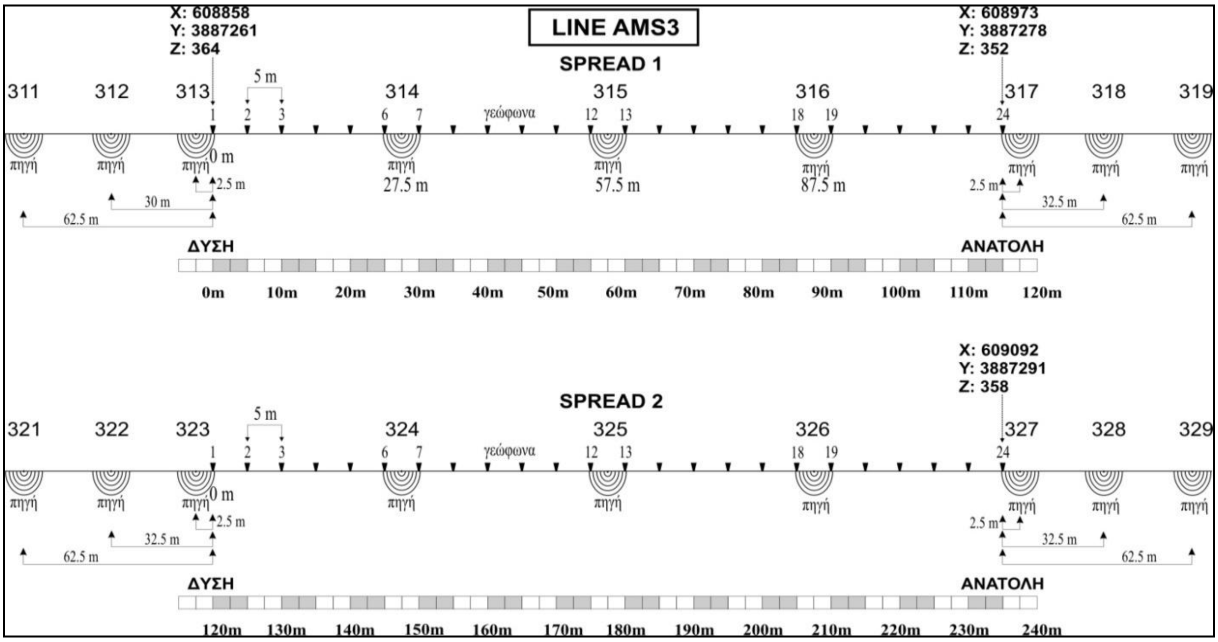
3.4.1 Σεισμική γραμμή AMS3

Η σεισμική γραμμή AMS3 πραγματοποιήθηκε νοτιοανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.31), ανατολικά - βορειανατολικά από το φράγμα των Αμουργελών. Αποτελείται από 2 αναπτύγματα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 235 m και έχει διεύθυνση Δ – Α. Η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 5 m, ενώ οι θέσεις των σεισμικών πηγών και των γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης AMS3 απεικονίζεται στο Σχήμα 3.32.

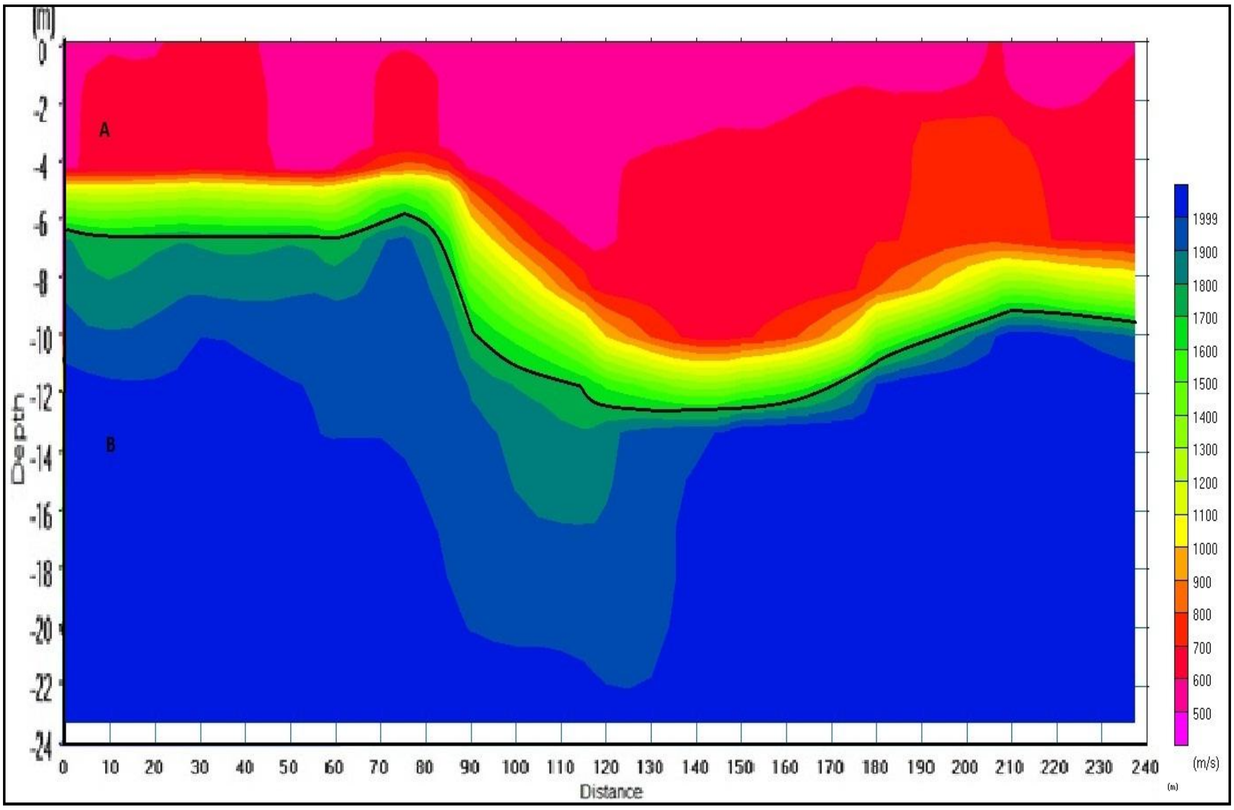
Με βάση τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Σχήμα 3.33), παρατηρούνται δύο σεισμικά στρώματα:

Α. Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 500 έως 1500 m/s περίπου. Το πάχος του κυμαίνεται από 5 – 6 m στα δυτικά της τομής, έως 11 m περίπου στο κεντρικό τμήμα της γραμμής μελέτης και περίπου 9 m στα ανατολικά της γραμμής μελέτης.

Β. Το δεύτερο στρώμα, στα δυτικά της γραμμής μελέτης, απαντάται σε βάθη μεγαλύτερα από 6 m, στα ανατολικά, σε βάθη μεγαλύτερα από 9 m, ενώ στο κέντρο της γραμμής μελέτης, σε βάθη μεγαλύτερα από 11 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η ταχύτητα διάδοσης των P - κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται περίπου από 1500 έως 2000 m/s..



Σχήμα 3.32 *Θέσεις των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης AMS3. Αποτελείται από 2 αναπτύγματα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 235 m και έχει διεύθυνση Δ –Α. Η ισαπόσταση των γεωφώνων είναι 5 m.*



Σχήμα 3.33 *Αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS3. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ενώ ο κατακόρυφος στο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ισότιμες καμπύλες των ταχυτήτων απεικονίζουν την κατανομή της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο υπέδαφος.*

3.4.2 Σεισμική γραμμή AMS6

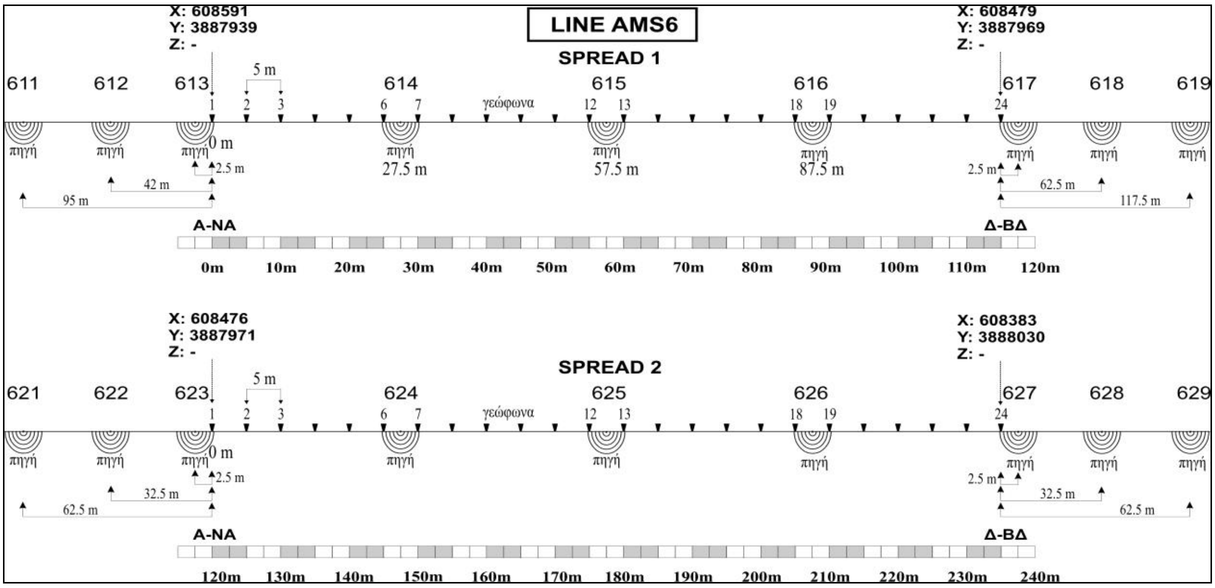
Η σεισμική γραμμή AMS6 πραγματοποιήθηκε ανατολικά του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.31) και βόρεια από το φράγμα των Αμουργελών. Αποτελείται από 2 αναπτύγματα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 235 m και έχει διεύθυνση Α / ΝΑ – Δ / ΒΔ. Η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 5 m, ενώ οι θέσεις των σεισμικών πηγών και των γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης AMS6 απεικονίζεται στο Σχήμα 3.34.

Με βάση τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Σχήμα 3.35), παρατηρούνται τρία σεισμικά στρώματα:

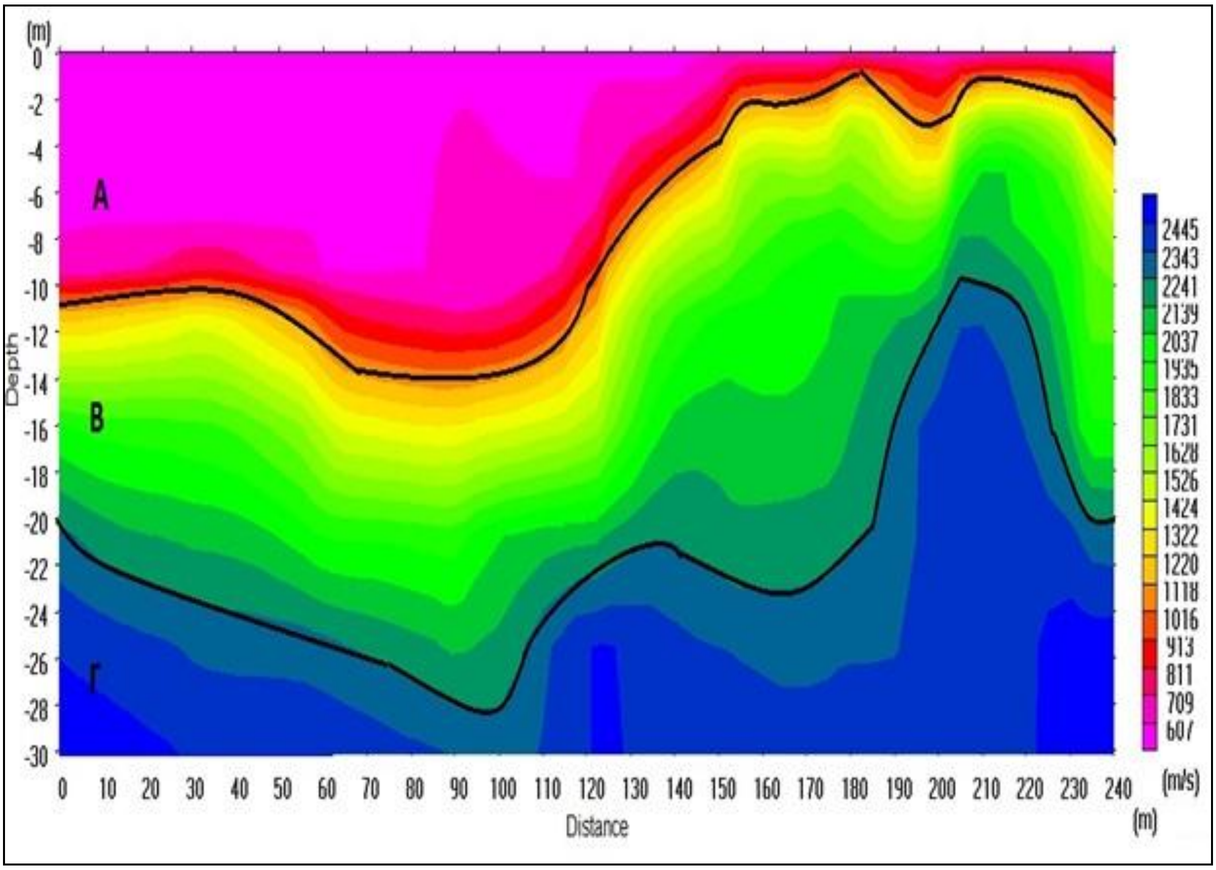
Α. Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 600 έως 1400 m/s περίπου. Το πάχος του κυμαίνεται από 10 m στα Α – ΝΑ της τομής, έως τα 2 m περίπου στο Δ – ΒΔ άκρο της γραμμής μελέτης, ενώ παρατηρείται απότομη μεταβολή του πάχους του στρώματος αυτού στο κέντρο περίπου της τομής (130 m) .

Β. Το ενδιάμεσο στρώμα, με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 1400 έως 2000 m/s περίπου, εντοπίζεται μέχρι τα 15 m στα Α – ΝΑ της γραμμής μελέτης, ενώ στα Δ – ΒΔ, ακολουθεί την ίδια μεταβολή με το επιφανειακό στρώμα και καταλήγει μέχρι τα 10 m περίπου από την επιφάνεια.

Γ. Το τρίτο στρώμα ακολουθεί επίσης το ανάγλυφο που ορίζουν τα υποκείμενά του στρώματα. Η ταχύτητα διάδοσης των P - κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται περίπου από 2000 έως 2500 m/s.



Σχήμα 3.34 *Θέσεις των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης AMS6. Αποτελείται από 2 αναπτύγματα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 235 m και έχει διεύθυνση Α / ΝΑ – Δ / ΒΔ . Η ισαπόσταση των γεωφώνων είναι 5 m.*



Σχήμα 3.35 *Αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS6. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ενώ ο κατακόρυφος στο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ισότιμες καμπύλες των ταχυτήτων απεικονίζουν την κατανομή της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο υπέδαφος.*

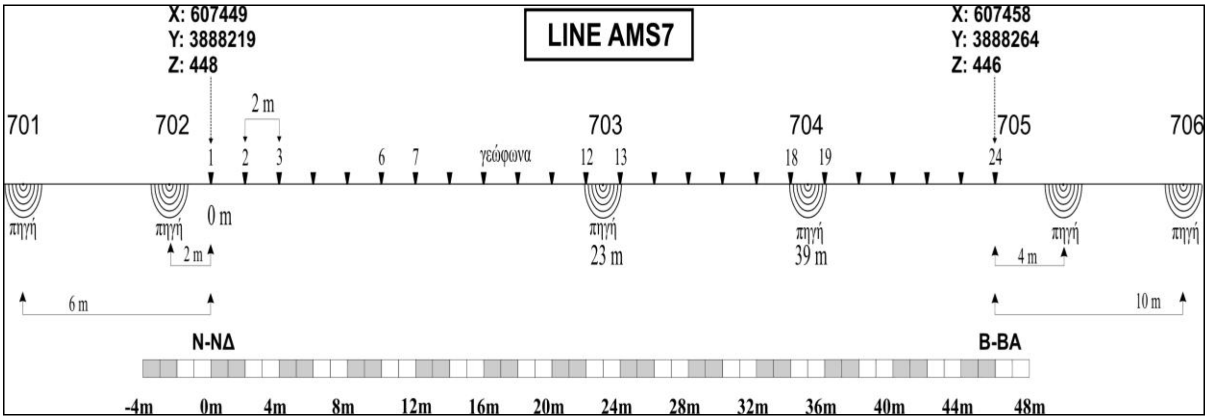
3.4.3 Σεισμική γραμμή AMS7

Η σεισμική γραμμή AMS7 πραγματοποιήθηκε βόρεια του χωριού Αμουργέλες (Σχήμα 3.31) με στόχο τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στον Φλύσχη. Αποτελείται από 1 ανάπτυγμα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 46 m και έχει διεύθυνση Ν / ΝΔ – Β / ΒΑ. Η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 2 m, ενώ οι θέσεις των σεισμικών πηγών και των γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης AMS7 απεικονίζεται στο Σχήμα 3.36.

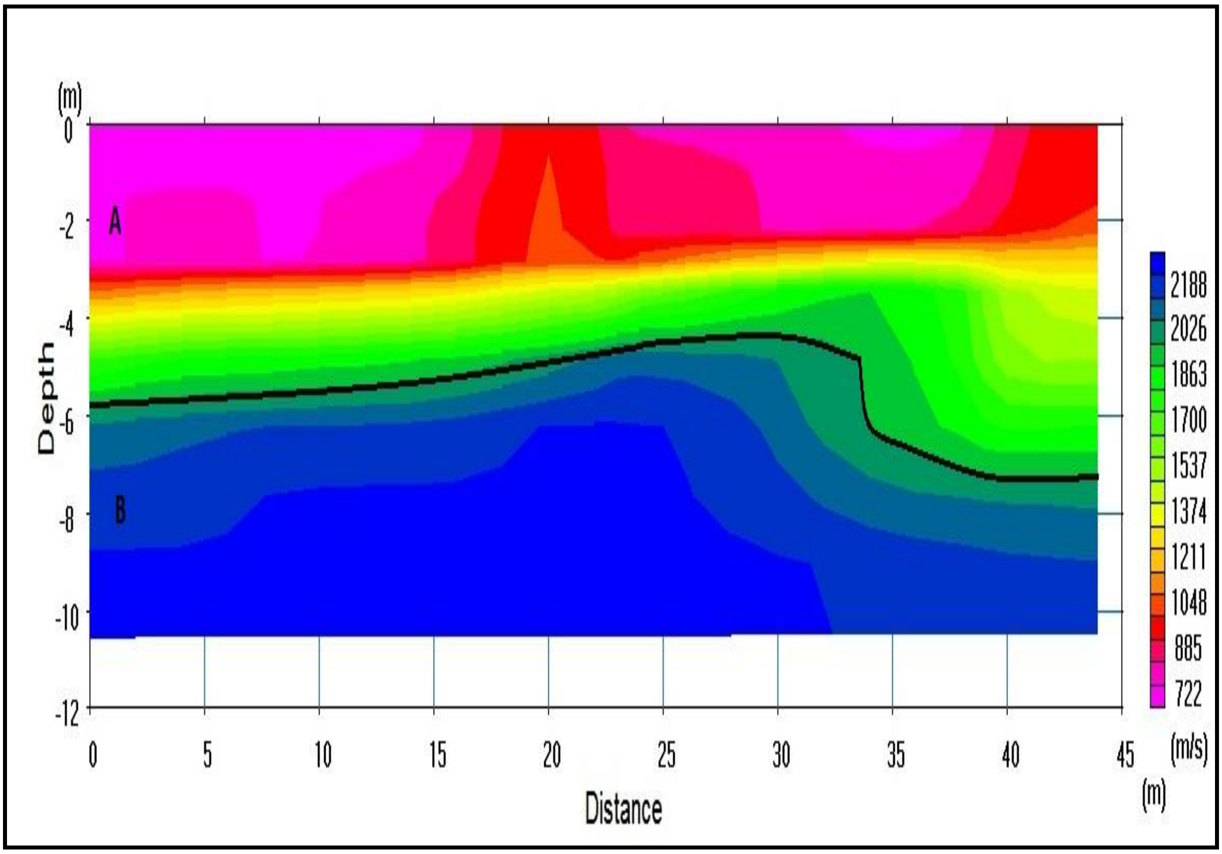
Με βάση τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Σχήμα 3.37), παρατηρούνται δύο σεισμικά στρώματα:

Α. Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 700 έως 1900 m/s περίπου. Το πάχος του κυμαίνεται από 6 m στα Ν – ΝΔ της τομής, έως τα 7 m περίπου στο Β – ΒΑ άκρο της γραμμής μελέτης, ενώ στο κέντρο περίπου της διάταξης των γεωφώνων και προς τα Β – ΒΑ (25 – 35 m) το πάχος του μειώνεται στα 5 περίπου μέτρα. Το στρώμα αυτό αποδίδεται στην αργιλική φάση του Φλύσχη.

Β. Το δεύτερο στρώμα ακολουθεί επίσης το ανάγλυφο που ορίζει το επιφανειακό στρώμα. Η ταχύτητα διάδοσης των P - κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται περίπου από 1900 έως 2200 m/s.



Σχήμα 3.36 *Θέσεις των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης AMS7. Αποτελείται από 1 ανάπτυγμα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 46 m και έχει διεύθυνση Ν / ΝΔ – Β / ΒΑ . Η ισαπόσταση των γεωφώνων είναι 2 m.*



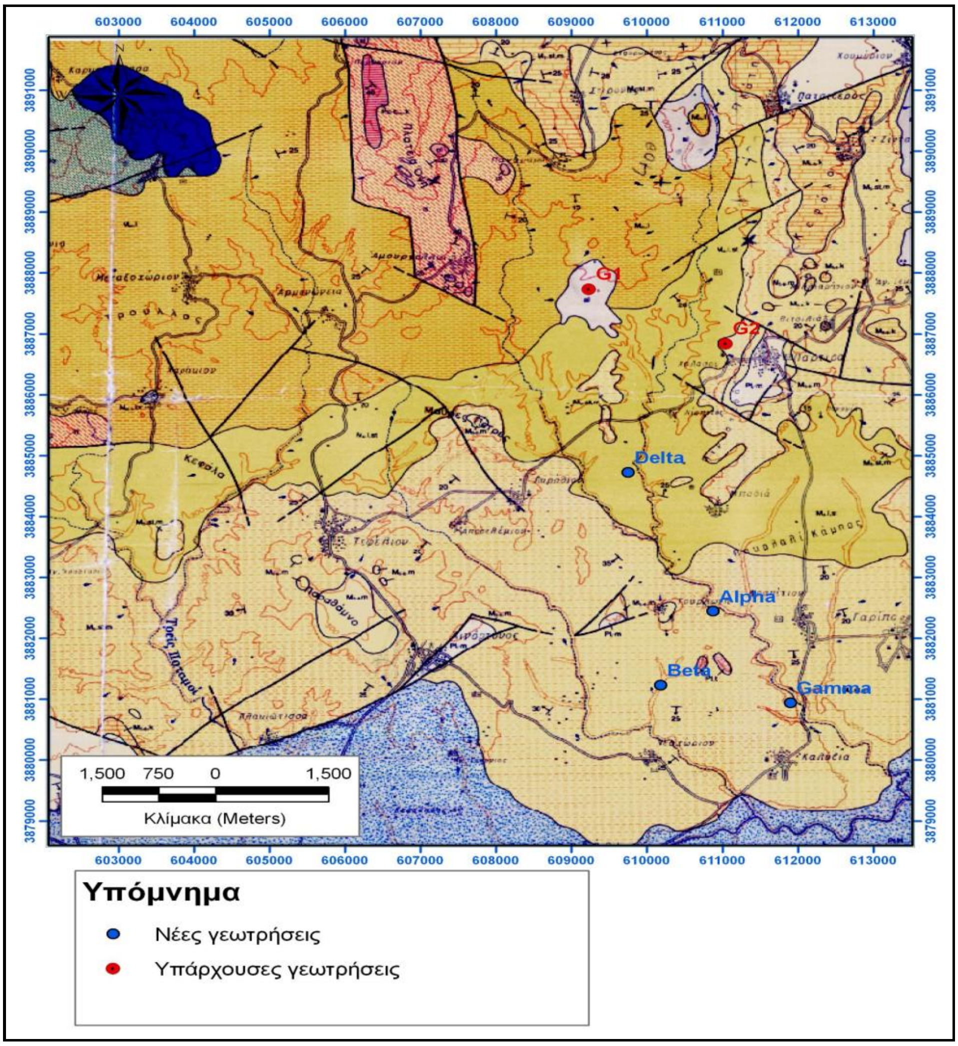
Σχήμα 3.37 *Αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS7. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ενώ ο κατακόρυφος στο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ισότιμες καμπύλες των ταχυτήτων απεικονίζουν την κατανομή της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο υπέδαφος.*

3.5 Παρουσίαση γεωτρητικών δεδομένων

Στην περιοχή μελέτης, ορίστηκαν οι θέσεις τεσσάρων ερευνητικών γεωτρήσεων (Σχήμα 3.38) των οποίων οι συντεταγμένες στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ’87 παρατίθενται στον Πίνακα 3.1. Επισημαίνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή προϋπήρχαν δύο ακόμα υδρογεωτρήσεις στις οποίες έγινε αντιληπτή η παρουσία αερίων υδρογονανθράκων.

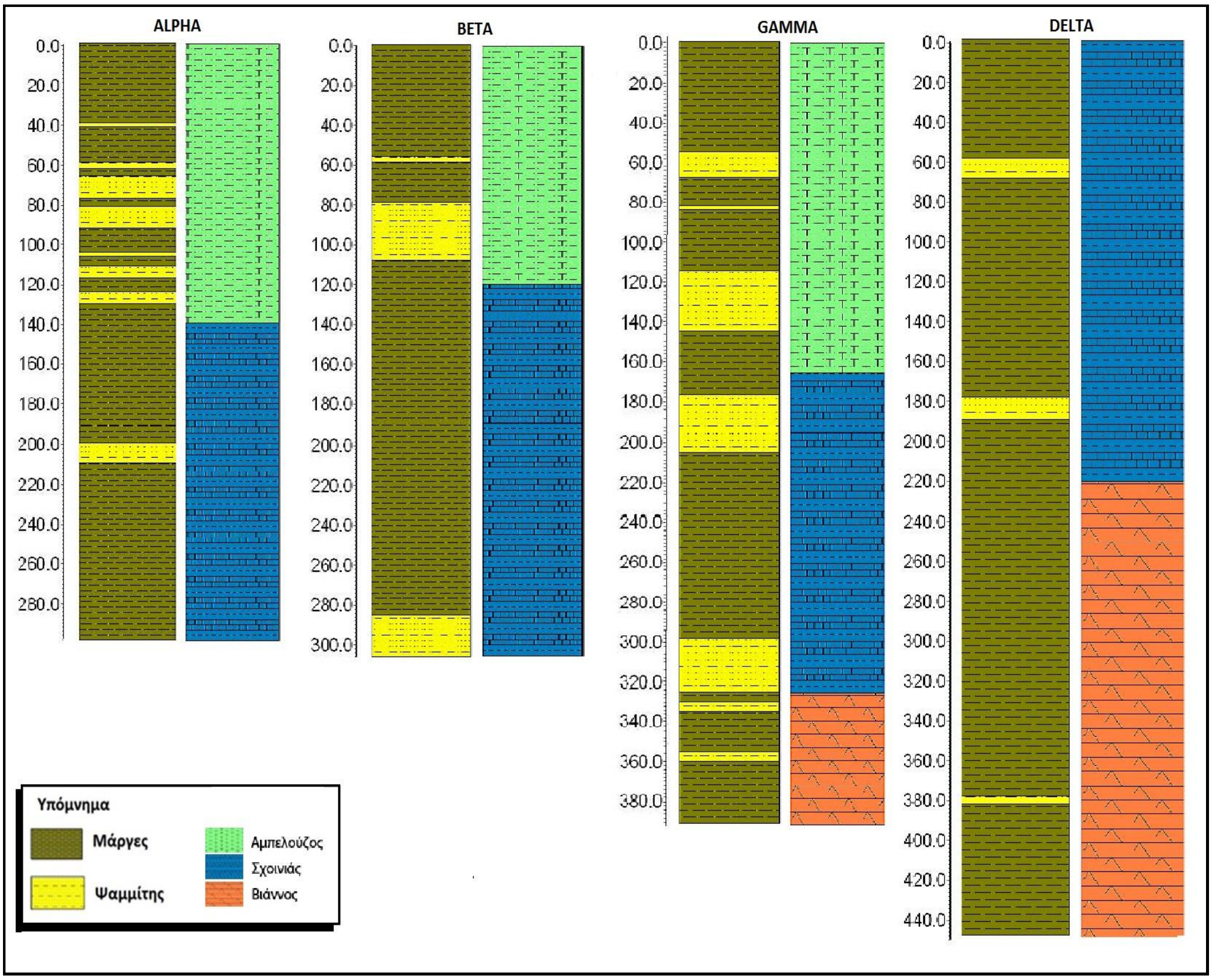
Πίνακας 3. 1 *Στοιχεία ερευνητικών γεωτρήσεων*

Όνομα	X (ΕΓΣΑ’87)	Y (ΕΓΣΑ’87)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	Βάθος διάτρησης
Alpha	610876	3882448	170	280
Beta	610186	3881234	224	300
Gamma	611903	3880942	180	380
Delta	609753	3884729	235	440



Σχήμα 3. 38 *Αποτύπωση θέσεων γεωτρήσεων επί του γεωλογικού χάρτη (Μανούτσογλου, 2007).*

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι λιθολογικές και λιθοστωματογραφικές στήλες των ερευνητικών γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις Delta, Alpha και Gamma βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία με διεύθυνση ΝΝΑ – ΒΒΔ όπου πιο Βόρεια βρίσκεται η Delta και πιο νότια η Gamma, ενώ η Beta βρίσκεται έξω από αυτή την ευθεία και πλευρικά της Alpha. Οι στήλες των γεωτρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.39. Δεν παρέχονται πληροφορίες για τις αντίστοιχες στήλες των προϋπαρχόντων γεωτρήσεων.



Σχήμα 3.39 *Λιθοστωματογραφικές και λιθολογικές στήλες ερευνητικών γεωτρήσεων. Αριστερά για κάθε στήλη εμφανίζεται η λιθολογική αλληλουχία ενώ δεξιά ο σχηματισμός που αυτή ανήκει (τροποποιημένο από Μανούτσογλου,2007).*

Στο σύνολο των γεωτρητικών διεργασιών (νέων και υφιστάμενων) έγινε αντιληπτή η παρουσία αερίων υδρογονανθράκων. Αναλυτικότερα στοιχεία, που αφορούν στην ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αερίων υδρογονανθράκων, παρατίθενται από το υποέργο «Ολοκληρωμένες γεωτρήσεις αποτελέσματα ανάλυσης βιοαερίου» του έργου «05ΕΠΕΡΚΡ07: Εντοπισμός και η αξιολόγηση βιοαερίου νεογενών σχηματισμών της περιοχής Αρκαλοχωρίου Ηρακλείου Κρήτης για ενεργειακή χρήση.» (Μανούτσογλου, 2008) και συνοψίζονται στα εξής:

- Η γεώτρηση G1 βρίσκεται μεταξύ των χωριών Αμουργέλες και Δραπέτι (Σχήμα 3.38) και έχει διανοιχτεί τουλάχιστον πριν έξι χρόνια. Αρχικά, παρατηρήθηκε οπτικά η διαφυγή του αερίου από το νερό με την μορφή φυσαλίδων. Λόγω της κατασκευής της, (μη στεγανή σωλήνωση) δεν κατέστη δυνατή η αξιόπιστη ποσοτική μέτρηση του εκλυόμενου αερίου, το οποίο χαρακτηρίζεται ως μίγμα αερίων που περιέχει μεθάνιο.
- Στη γεώτρηση G2, η οποία είναι σωληνωμένη και χρησιμοποιείται για άρδευση, αναλύθηκε η σύσταση του αερίου το οποίο διέφευγε στην ατμόσφαιρα από την κορυφή της, τόσο κατά τη διάρκεια της άντλησης, όσο και χωρίς αυτή. Η θέσης της γεώτρησης παρουσιάζεται επίσης στο Σχήμα 3.38. Η συγκέντρωση μεθανίου στην κορυφή της γεώτρησης, και χωρίς ροή, μετρήθηκε ίση με 5.4% κ.ό.. Στην διάρκεια της άντλησης διαπιστώθηκε ότι υπήρχε συνεχώς παρουσία μεθανίου, η συγκέντρωση του οποίου όμως δεν ήταν σταθερή. Επισημαίνεται ότι μετρήθηκαν τιμές έως και 18.0 % κ.ό.
- Δείγματα του αερίου των γεωτρήσεων ALPHA, GAMMA και DELTA αναλύθηκαν με αέρια χρωματογραφία. Η σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου είναι όμοια στο σύνολο των γεωτρήσεων, δηλαδή 90% CH_4 κ.ο και 10% N_2 κ.ο.
- Στην γεώτρηση BETA, πραγματοποιήθηκαν μόνο αναλύσεις σύστασης του παραγόμενου νερού, διότι η παροχή του βιοαερίου ήταν μικρή και σταμάτησε οριστικά μετά την απόφραξη της.
- Στο σύνολο των γεωτρήσεων έγινε ανάλυση, του νερού που βρέθηκε, σε βασικά ιόντα. Στο σύνολο των δειγμάτων που μετρήθηκε βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- (5760-37000 ppm). Η εξαιρετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ιόντα Cl^- και η χαμηλή συγκέντρωση των θειικών υποδεικνύει ότι το νερό προέρχεται από θαλάσσιο παλαιοπεριβάλλον.

Κεφάλαιο 4 –Συνδυαστική ερμηνεία γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων

4.1 Συνδυαστική ερμηνεία δεδομένων γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης και γεωτρητικών δεδομένων

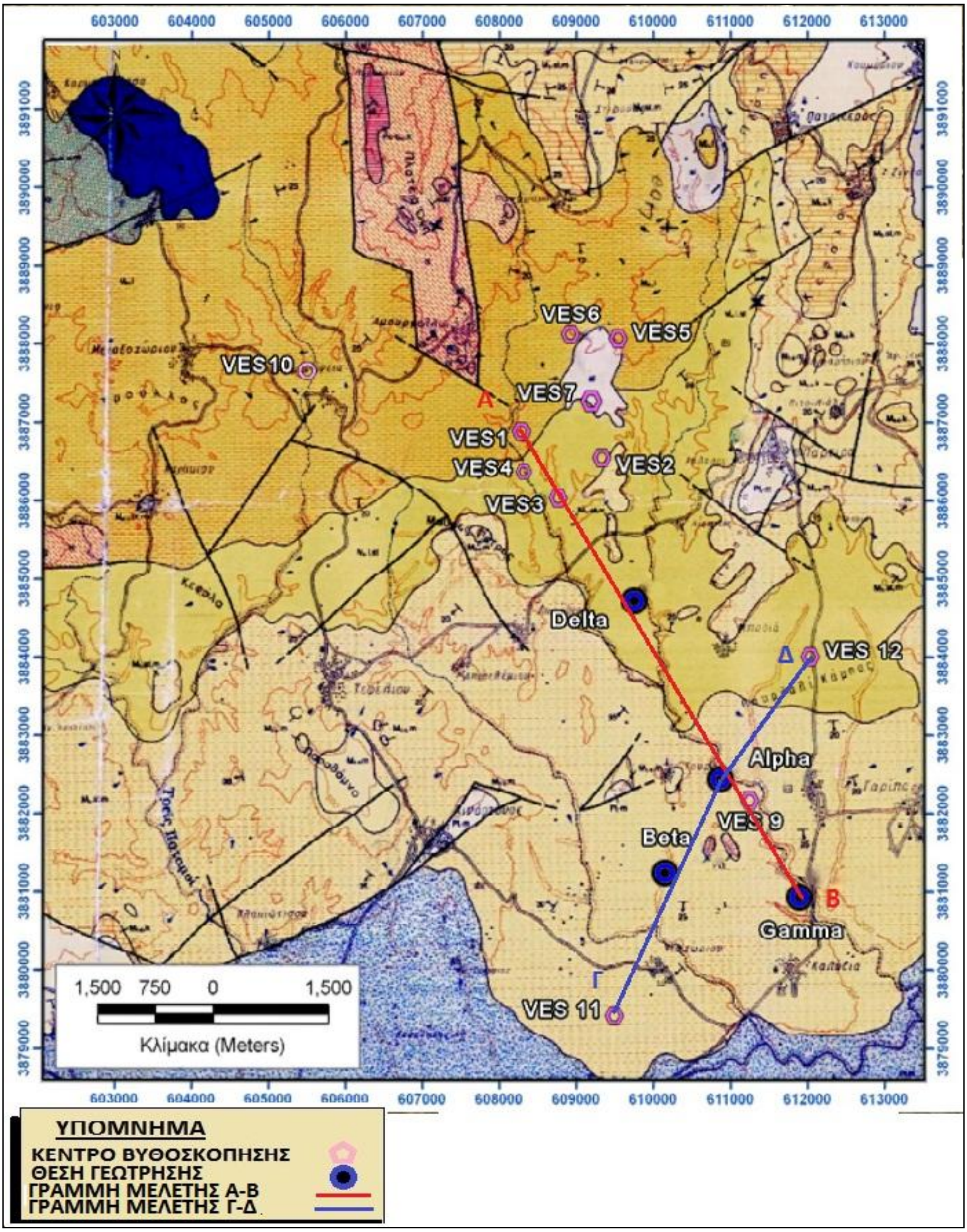
Η μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποσκοπεί κυρίως στον προσδιορισμό του πάχους των νεογενών σχηματισμών. Επιπρόσθετα όμως, παρέχει πληροφορίες για την διαδοχή σε βάθος των επιμέρους γεωηλεκτρικών στρωμάτων. Στην παρούσα παράγραφο επιχειρείται η αξιοποίηση της πληροφορίας αυτής σε συνδυασμό και με τα δεδομένα των γεωτρήσεων.

Για το σκοπό αυτό χαράχθηκαν επί του γεωλογικού χάρτη της περιοχής δύο γραμμές μελέτης, η Α-Β, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και η Γ-Δ, με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Οι γραμμές αυτές απεικονίζονται επί του γεωλογικού χάρτη στο Σχήμα 4.1.

Ταυτόχρονα, τα δεδομένα των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων αναπαράχθηκαν γραφικά ώστε να είναι απευθείας συγκρίσιμα με αυτά των γεωτρήσεων. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τη γραφική απεικόνιση των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων είναι το Ip2win μέσω της υπορουτίνας Resgraph. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει τη δυνατότητα:

- Γραφικής απεικόνισης της ηλεκτρικής αντίστασης σε σχέση με το βάθος διασκόπησης,
- Γραφικής απεικόνισης περισσοτέρων από μίας ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων ταυτόχρονα.
- Δημιουργίας της θεωρητικής ψευδο-τομής της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους μεταξύ των μετρήσεων αυτών.

Τα δεδομένα που εισάγονται από τον χρήστη είναι τα αρχεία .dat που εξάγονται από την επεξεργασία και αποθήκευση κάθε βυθοσκόπησης από το πρόγραμμά Ip2win, τα υψόμετρα των βυθοσκοπήσεων και η απόσταση μεταξύ τους. Ως μέγιστο βάθος διασκόπησης των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων ορίστηκε το 1/6 του αναπτύγματος τους (Βαφείδης, 2001).



Σχήμα 4. 1 *Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων. Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα η γραμμή Α-Β με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, και με μπλε η γραμμή Γ-Δ με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.*

Η γραμμή μελέτης Α-Β ορίζεται ως η ευθεία που εμπεριέχει τις βυθοσκοπήσεις VES1-VES4-VES3-VES9 και τις γεωτρήσεις DELTA-ALPHA-GAMMA. Τα υψόμετρα και οι συντεταγμένες των βυθοσκοπήσεων και των γεωτρήσεων παρατίθενται στον Πίνακα 4.1. Οι αποστάσεις από την αρχή τις γραμμής μελέτης υπολογίστηκαν από τις συντεταγμένες κάθε γεώτρησης ή βυθοσκόπησης. Το απόλυτο μέγιστο βάθος τους υπολογίστηκε από τη διαφορά του υψομέτρου και του βάθους διασκόπησης. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται σχηματικά τα αποτελέσματα των βυθοσκοπήσεων και οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων για τη γραμμή μελέτης Α-Β.

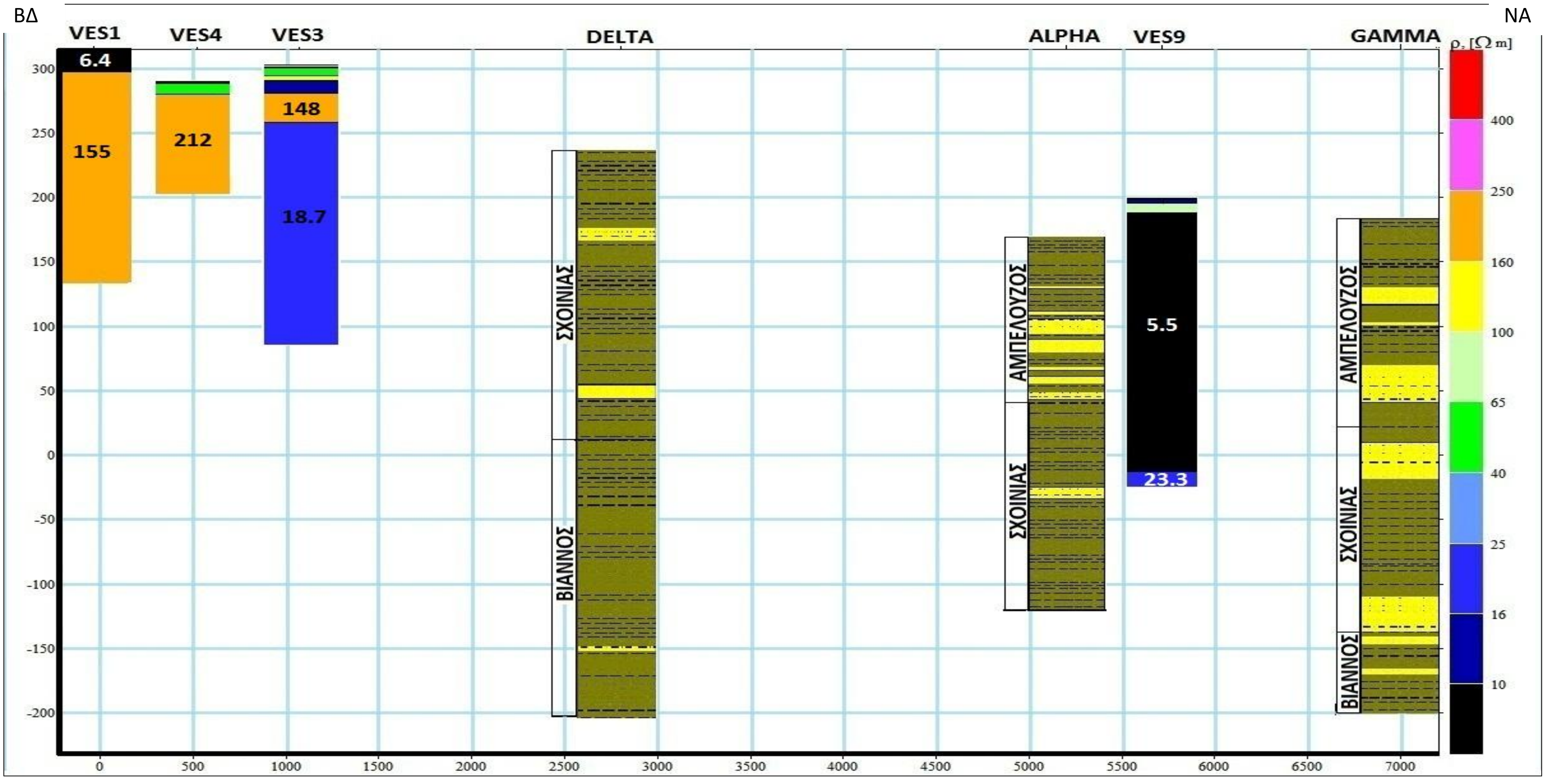
Πίνακας 4. 1 *Στοιχεία βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων της γραμμής μελέτης Α-Β*

	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87					
Όνομα	**Χ**	**Ψ**	**Απόλυτο υψομετρο**	**Βάθος διασκόπησης – διάτρησης (m)**	**Απόλυτο μέγιστο βαθος**	**Αποσταση από την αρχή της γραμμής**
VES1	608274	3886867	314	186.7	127.3	0
VES4	608309	3886350	290	93.4	196.6	518
VES3	608750	3886018	301	216.7	84.3	1070
DELTA	609753	3884729	235	440	-205	2703
ALPHA	610876	3882448	170	280	-110	5246
VES9	611236	3882155	200	203.3	-3.3	5710
GAMMA	611903	3880942	180	380	-200	7094

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ομοίως για τη γραμμή μελέτης Γ-Δ. Η γραμμή μελέτης Γ-Δ ορίζεται ως η ευθεία που εμπεριέχει τις βυθοσκοπήσεις και γεωτρήσεις VES11-BETA-ALPHA-VES12. Τα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα 4.2. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται σχηματικά τα αποτελέσματα των βυθοσκοπήσεων και οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων για τη γραμμή μελέτης Γ-Δ.

Πίνακας 4. 2 *Στοιχεία βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων της γραμμής μελέτης Γ-Δ*

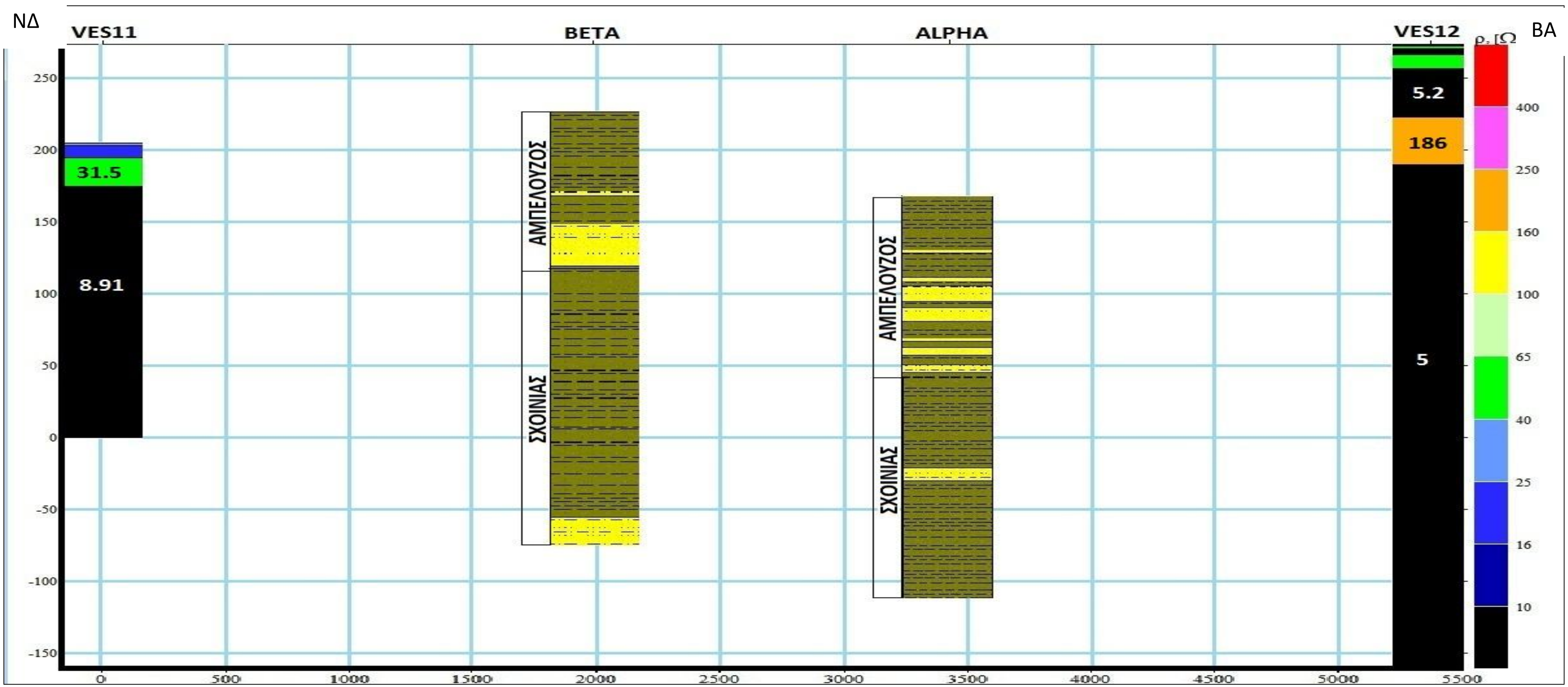
	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87					
Όνομα	**Χ**	**Ψ**	**Απόλυτο υψομετρο**	**Βάθος διασκόπησης – διάτρησης (m)**	**Απόλυτο μέγιστο βαθος**	**Αποσταση από την αρχή της γραμμής**
VES11	609547	3879365	205	203.4	1.6	0
BETA	610186	3881234	224	300	-76	1975.21695
ALPHA	610876	3882448	170	280	-110	3371.603716
VES12	611984	3884013	273	433.3	-160.3	5289.125293



Σχήμα 4. 2 *Γραφική απεικόνιση γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων της γραμμής μελέτης Α-Β, Διακρίνονται τα προφίλ των βυθοσκοπήσεων VES1, VES4, VES3 και VES9 καθώς και οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων DELTA, ALPHA και GAMMA. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ των κέντρων των βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων, ενώ ο κατακόρυφος στο απόλυτο υψόμετρο. Δεξιά διακρίνετε η κλίμακα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Εντός των σχηματικών απεικονίσεων για κάθε βυθοσκόπηση αναγράφονται οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις (σε Ohm.m) που παρατηρήθηκαν για το εκάστοτε γεωηλεκτρικό στρώμα.*

Από τη σχηματική απεικόνιση της γραμμής μελέτης Α-Β (Σχήμα 4.2) συνοψίζονται τα εξής:

- Από τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις και τις γεωτρήσεις της γραμμής αυτής δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί το πάχος των νεογενών σχηματισμών και η επαφή τους με το αλπικό υπόβαθρο.
- Στο ΒΔ τμήμα της γραμμής μελέτης και ειδικότερα στις βυθοσκοπήσεις VES1,VES4,VES3 παρατηρείται ένα στρώμα με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 148-212 Ohm.m. Το στρώμα αυτό παρουσιάζει κυμαινόμενο πάχος. Σύμφωνα και με τα γεωλογικά δεδομένα, το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μαργαϊκούς-αργιλικούς σχηματισμούς, με μεγάλη συμμετοχή ψαμμιτικών στρωμάτων, που αυξάνουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του συνόλου του γεωηλεκτρικού στρώματος.
- Η γεώτρηση ALPHA απέχει περίπου 450m από το κέντρο της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης VES9 ωστόσο από την απευθείας συσχέτιση της λιθοστρωματογραφικής στήλης της γεώτρησης με τα επί μέρους γεωηλεκτρικά στρώματα της βυθοσκόπησης παρουσιάζεται ασυμφωνία. Τα στρώματα της άμμου που εμφανίζονται σε βάθος έως τα πρώτα 140m της γεώτρησης δεν εμφανίζουν την αναμενόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση στη βυθοσκόπηση. Το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει από την παρουσία υδροφορίας στην ευρύτερη περιοχή που εμφανίζεται τόσο στη γεώτρηση ALPHA όσο και σε παρακείμενη υδρογεώτρηση κοντά στη συμβολή των γεωηλεκτρικών τομών LP1και LP2 (Σχήμα 3.15). Επισημαίνεται επίσης, ότι το ανάπτυγμα της βυθοσκόπησης VES9 είναι κάθετο στη γραμμή μελέτης.
- Από τις στήλες των γεωτρήσεων GAMMA, ALPHA και DELTA παρατηρείται σταδιακή μείωση του πάχους των ψαμμιτικών στρωμάτων για τον σχηματισμό Σχοινιά από ΝΑ προς ΒΔ.
- Από τις στήλες των γεωτρήσεων GAMMA και DELTA αλλά και από τη στήλη των γεωηλεκτρικών στρωμάτων της βυθοσκόπησης VES1 παρατηρείται μια σταδιακή μείωση των ψαμμιτικών στρωμάτων από Βορρά προς Νότο για τον σχηματισμό Βιάννου.



Σχήμα 4. 3 *Γραφική απεικόνιση βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων της γραμμής μελέτης Γ-Δ, Διακρίνονται τα προφίλ των βυθοσκοπήσεων VES11 και VES12 καθώς και οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων BETA και ALPHA. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ των κέντρων των βυθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων, ενώ ο κατακόρυφος στο απόλυτο υψόμετρο. Δεξιά διακρίνεται η κλίμακα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (σε Ohm.m). Εντός των σχηματικών απεικονίσεων για κάθε βυθοσκόπηση αναγράφονται οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις που παρατηρήθηκαν για το εκάστοτε γεωηλεκτρικό στρώμα.*

Από τη σχηματική απεικόνιση της γραμμής μελέτης Γ-Δ (Σχήμα 4.3) συνοψίζονται τα εξής:

- Από τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (ιδιαίτερα η βυθοσκόπηση VES12 που θεωρητικά το μέγιστο βάθος διασκόπησης της ξεπερνά τα 400m) και τις γεωτρήσεις της γραμμής αυτής δεν ήταν δυνατό να προσδιοριστεί το πάχος των νεογενών σχηματισμών και η επαφή τους με το αλπικό υπόβαθρο.

- Η βυθοσκόπηση VES12 έγινε σε περιοχή επιφανειακής εμφάνισης του σχηματισμού Σχοινιά. Από τη γεωηλεκτρική στήλη αυτής, προσδιορίζεται σε βάθος περίπου 60m, γεωηλεκτρικός σχηματισμός ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της τάξης των 182 Ohm.m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μαργαϊκούς-αργιλικούς σχηματισμούς, με ενστρώσεις ψαμμιτών, που αυξάνουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του συνόλου του γεωηλεκτρικού στρώματος. Επισημαίνεται επίσης, ότι το ανάπτυγμα της βυθοσκόπησης VES12 έχει διεύθυνση Β-Ν.

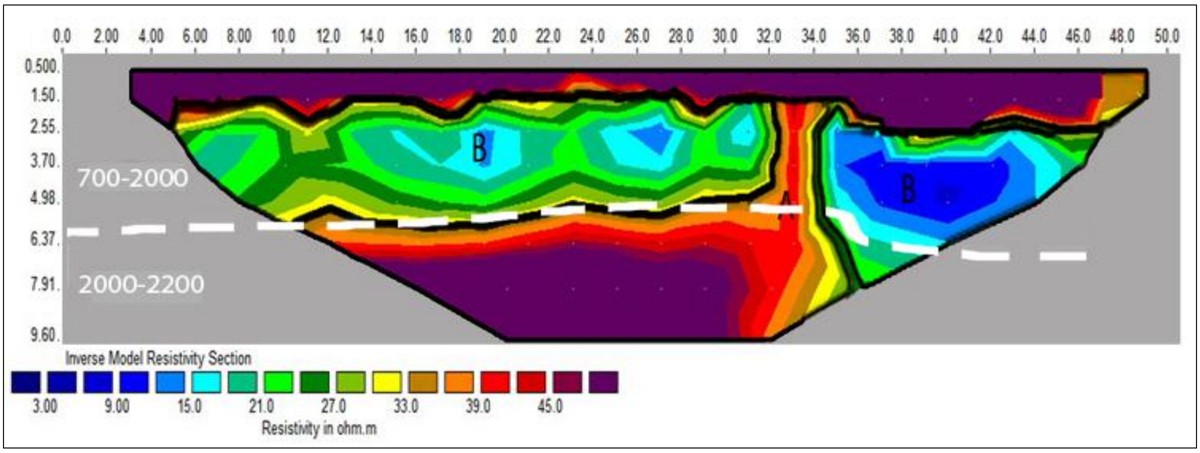
- Από τις λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων BETA και ALPHA παρατηρείται σταδιακή μείωση της συμμετοχής της άμμου για τον σχηματισμό Σχοινιά από ΝΔ προς ΒΑ. Επιπρόσθετα προκύπτει ότι ο σχηματισμός του Σχοινιά παρουσιάζει τοπική έξαρση στην περιοχή της γεώτρησης BETA, ενδεχομένως ακολουθώντας το ανάγλυφο.

- Από τις λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων BETA και ALPHA αλλά και από τη γεωηλεκτρική στήλη της βυθοσκόπησης VES11 παρατηρείται ακανόνιστη διαδοχή και ανάπτυξη αργιλικών και ψαμμιτικών στρωμάτων για τον σχηματισμό Αμπελούζου. Ειδικότερα εμφανίζονται περισσότερα αλλά λεπτότερα ψαμμιτικά στρώματα στη λιθοστρωματογραφική στήλη της γεώτρησης ALPHA, σε σχέση με τα λιγότερα αλλά μεγαλύτερου πάχους ψαμμιτικά στρώματα της στήλης της γεώτρησης BETA. Στη γεωηλεκτρική στήλη της VES11 ωστόσο, δεν παρατηρείται γεωηλεκτρικό στρώμα με ειδική ηλεκτρική αντίσταση που να δικαιολογεί την παρουσία ψαμμιτών.

4.2 Συνδυαστική ερμηνεία σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας

Στην παρούσα παράγραφο αντιπαραβάλλονται τα δεδομένα ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας, για την πληρέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων, τόσο για την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων, όσο και για την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των γεωλογικών στρωμάτων που απαρτίζουν κύρια τον σχηματισμό Βιάννου, καθώς και το Φλύσχη του προνεογενούς υποβάθρου. Με λευκές διακεκομμένες γραμμές αποτυπώνονται οι διεπιφάνειες μεταξύ των στρωμάτων που παρουσιάζουν διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων οι οποίες αναγράφονται.

Για τον σχηματισμό του Φλύσχη η συνδυαστική τομή AMS7- Lflysh παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4 .



Σχήμα 4.4 *Συνδυαστική απεικόνιση γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS7 –Lflysh*

Από το σχήμα 4.4 για τον σχηματισμό του Φλύσχη παρατηρούνται τα εξής:

Α. Τα γεωηλεκτρικά στρώματα που επισημαίνονται με το γράμμα A εκτείνονται τόσο επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2.5 m όσο και σε βάθη από 4-9 m με ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 35 έως 60 ohm.m. Τα γεωηλεκτρικά αυτά στρώματα αποδίδονται στην ψαμμιτική φάση του φλύσχη.

Β. Το γεωηλεκτρικό στρώμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο προαναφερθέντων στρωμάτων επισημαίνεται με το γράμμα B, παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές της ειδικής αντίστασης 10-25 ohm.m και αποδίδεται στην αργιλική φάση του φλύσχη.

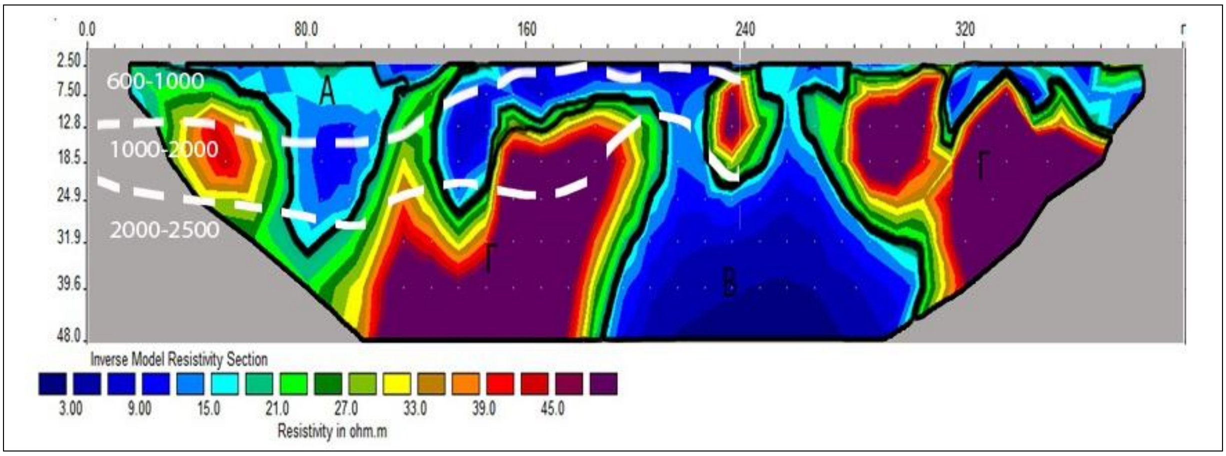
Αντίστοιχα, για τα σεισμικά στρώματα παρατηρούνται τα εξής:

Α. Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 700 έως 1900 m/s περίπου. Το πάχος του κυμαίνεται από 6 m στα Ν – ΝΔ της τομής, έως τα 7 m περίπου στο Β – ΒΑ άκρο της γραμμής μελέτης, ενώ στο κέντρο περίπου της διάταξης των γεωφώνων και προς τα Β – ΒΑ (25 – 35 m) το πάχος του μειώνεται στα 5 περίπου μέτρα. Το στρώμα αυτό αποδίδεται στα στρώματα της επιφανειακής ψαμμιτικής φάσης και της αργιλικής φάσης του Φλύσχη.

Β. Το δεύτερο στρώμα ακολουθεί επίσης το ανάγλυφο που ορίζει το επιφανειακό στρώμα. Η ταχύτητα διάδοσης των P - κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται περίπου από 1900 έως 2200 m/s και αποδίδεται καθαρά στην ψαμμιτική φάση του Φλύσχη.

Για τον σχηματισμό Βιάννου διασκοπήθηκαν συνδυαστικά πέντε γραμμές ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας παρακάτω παρατίθενται οι συνδυαστικές τομές των γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS6-L9 και AMS3-L4 αντίστοιχα, οι οποίες παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 4.5 και 4.6). Οι συνδυαστικές γραμμές των υπόλοιπων γραμμών (AMS2-L5, AMS4-LH3) παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙΙ.

Αναλυτικότερα στο Σχήμα 4.5 παρατίθεται η συνδυαστική τομή των γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS6-L9 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.5 *Συνδυαστική απεικόνιση γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS6-L9*

Στο σχήμα 4.5 για τον σχηματισμό της Βιάννου παρατηρούνται τα εξής:

Α. Το γεωηλεκτρικό στρώμα που επισημαίνεται με τα γράμματα Α και Β, παρουσιάζει χαμηλές τιμές της ειδικής αντίστασης 5-25 ohm.m, και αποδίδεται σε μάργες και αργίλους του σχηματισμού Βιάννου

Β. Οι γεωηλεκτρικοί όγκοι που επισημαίνονται με το γράμμα Γ, παρουσιάζει υψηλότερες τιμές της ειδικής αντίστασης 25-50 ohm.m, και αποδίδονται σε μάργες με ενστρώσεις ψαμμιτών του σχηματισμού Βιάννου.

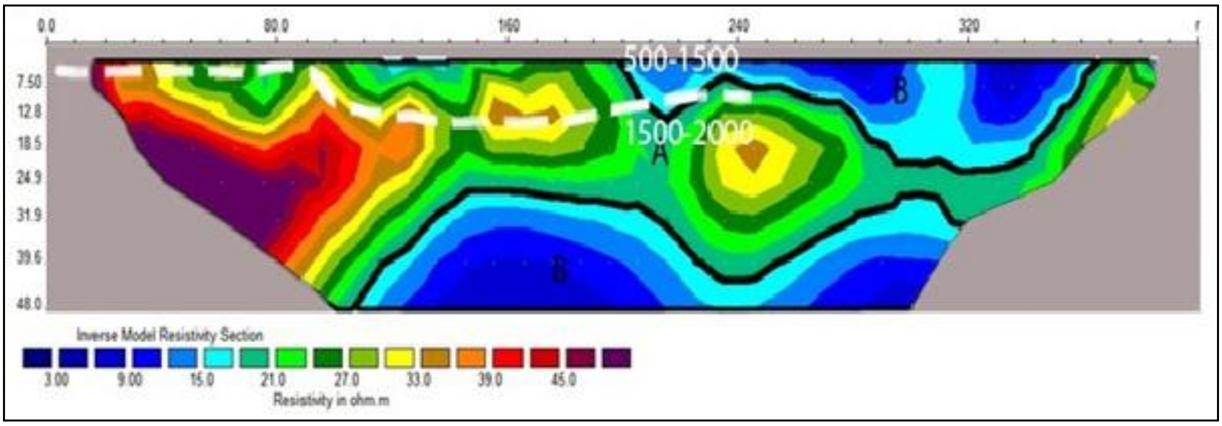
Αντίστοιχα, τα σεισμικά στρώματα που εμφανίζονται στη συγκεκριμένη συνδυαστική τομή ερμηνεύονται ως εξής:

Α. Το επιφανειακό σεισμικό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 600 έως 1000 m/s περίπου χαρακτηρίζεται ως μάργες του σχηματισμού της Βιάννου. Το πάχος του εν λόγω στρώματος κυμαίνεται από 10 m στα Α – ΝΑ της τομής, έως τα 2 m περίπου στο Δ – ΒΔ άκρο της γραμμής μελέτης, ενώ παρατηρείται απότομη μεταβολή του πάχους του στρώματος αυτού στο κέντρο περίπου της τομής (130 m) .

Β. Το ενδιάμεσο στρώμα, με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 1400 έως 2000 m/s περίπου, εντοπίζεται μέχρι τα 15 m στα Α – ΝΑ της γραμμής μελέτης, ενώ στα Δ – ΒΔ, ακολουθεί την ίδια μεταβολή με το επιφανειακό στρώμα και καταλήγει μέχρι τα 10 m περίπου από την επιφάνεια. Το στρώμα αυτό χαρακτηρίζεται ως μάργες με ενστρώσεις/εμφανίσεις ψαμμιτών του σχηματισμού της Βιάννου

Γ. Το τρίτο στρώμα ακολουθεί επίσης το ανάγλυφο που ορίζουν τα υποκείμενά του στρώματα. Η ταχύτητα διάδοσης των P - κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται περίπου από 2000 έως 2500 m/s και αποδίδεται σε περιοχές ανάπτυξης ψαμμιτικών πάγκων.

Ακολουθεί η συνδυαστική τομή των γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS3-L4 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.6 Συνδυαστική απεικόνιση γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας *AMS3-L4*

Στο σχήμα 4.6 για τον σχηματισμό Βιάννου παρατηρούνται τα εξής:

Α. Σχηματισμός που εμφανίζεται επιφανειακά και φτάνει μέχρι και το βάθος των 45 m κατά τόπους, με ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερες από 35 ohm.m, ο οποίος χαρακτηρίζεται σαν μάργες με ενστρώσεις ψαμμιτών του Σχηματισμού της Βιάννου.

Β. Σχηματισμοί με χαμηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (5-15 ohm.m) οι οποίοι εμφανίζονται επιφανειακά στην οριζόντια διεύθυνση από 200 έως 350 m της γραμμής μελέτης καθώς επίσης και σε βάθη από 30 έως 45 m από τα 100 έως τα 250m οριζοντίως. Οι εν λόγω σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως μάργες και άργιλοι.

Αντίστοιχα, για τα σεισμικά στρώματα παρατηρούνται τα εξής:

Α. Ένα επιφανειακό σεισμικό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 500 έως 1500 m/s περίπου. Το πάχος του κυμαίνεται από 5 – 6 m στα δυτικά της τομής, έως 11 m περίπου στο κεντρικό τμήμα της γραμμής μελέτης και περίπου 9 m στα ανατολικά της γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό χαρακτηρίζετε ως μάργες και άργιλοί.

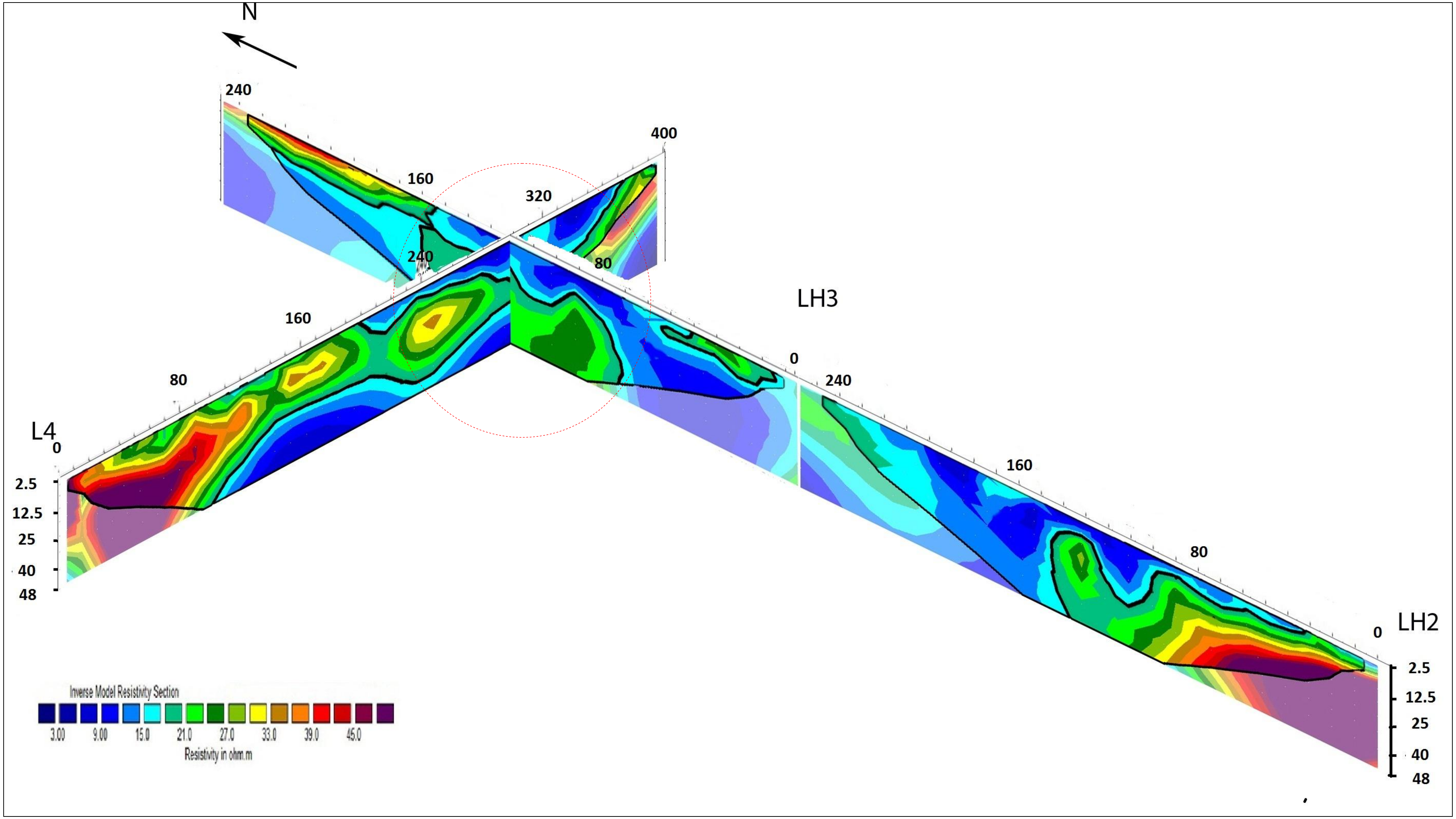
Β. Το δεύτερο στρώμα, στα δυτικά της γραμμής μελέτης, απαντάται σε βάθη μεγαλύτερα από 6 m, στα ανατολικά, σε βάθη μεγαλύτερα από 9 m, ενώ στο κέντρο της γραμμής μελέτης, σε βάθη μεγαλύτερα από 11 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η ταχύτητα διάδοσης των P - κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται περίπου από 1500 έως 2000 m/s. ο οποίος χαρακτηρίζεται ως μάργες με ψαμμίτες του Σχηματισμού της Βιάννου.

4.3 Συνδυαστική αναπαράσταση γεωηλεκτρικών τομών

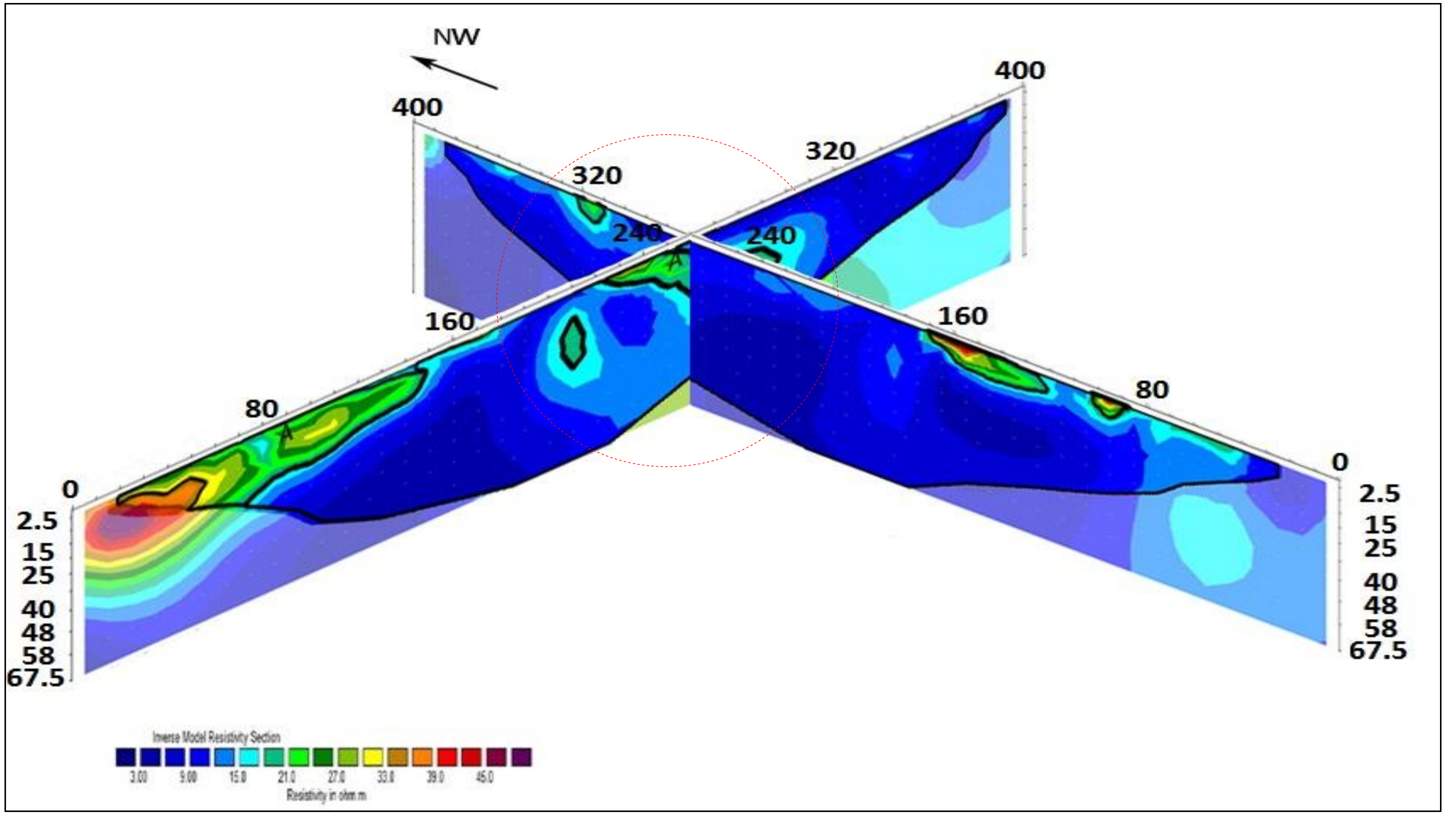
Σκοπός της παραγράφου είναι η παρουσίαση γραφικών απεικονίσεων συνδυασμένων τομών ηλεκτρικής τομογραφίας ώστε να καταστεί δυνατή η εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων που αφορούν στα δομικά στοιχεία των σχηματισμών ενδιαφέροντος. Η διερεύνηση αυτή αφορά κυρίως στη χαρτογράφηση των γεωηλεκτρικών στρωμάτων υψηλών αντιστάσεων στους ανώτερους κύκλους ιζηματογένεσης (κοντά στην επιφάνεια) των σχηματισμών του Αμπελούζου και της Βιάννου. Για το σκοπό αυτό ενδεδειγμένη μέθοδος είναι αυτή της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Στα σχήματα που ακολουθούν, απεικονίζονται με έντονο περίγραμμά και εντονότερο χρωματισμό οι γεωηλεκτρικές τομές όπως προέκυψαν από τη συμβατική επεξεργασία των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας, που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Επιπρόσθετα και για κάθε γεωηλεκτρική τομή ξεχωριστά, απεικονίζεται, με λιγότερο έντονο χρώμα, η γεωηλεκτρική τομή που προέκυψε με τη χρήση της εντολής “extended model” του προγράμματος Res2dinv. Η εντολή αυτή πραγματοποιεί θεωρητική επέκταση των άκρων της ψευδοτομής και προσαρμόζει το σύνολο των μετρήσεων στο μέγιστο βάθος διασκόπησης, κάνοντας χρήση των περιμετρικών μετρήσεων της κάθε περιοχής εκατέρωθεν.

Για τον σχηματισμό Βιάννου παρουσιάζονται και συνδυάζονται τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών τομογραφιών L4, LH3 και LH4 (Σχήμα 4.7), ενώ για τον σχηματισμό Αμπελούζου αυτά των LP1, LP2 (Σχήμα 4.8). Λεπτομέρειες για την διεύθυνση και τα αναπτύγματα των επιλεγμένων ηλεκτρικών τομογραφιών παρατίθενται στο Κεφάλαιο 3 στις αντίστοιχες παραγράφους.



Σχήμα 4. 7 *Συνδυαστική αναπαράσταση των γεωηλεκτρικών τομών L4, LH2 και LH3. Στο σχήμα διακρίνεται εντονότερα και σε περίγραμμα η συμβατική ψευδοτομή για κάθε ηλεκτρική τομογραφία ενώ για την πληρέστερη απεικόνιση έχει χρησιμοποιηθεί η εντολή* extended model*. Η εντολή αυτή επιλύει το σύστημα των φαινόμενων-αυθαίρετων τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης σε όλο το μήκος και πλάτος της τομής προβάλλοντας την τομή ως ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.*



Σχήμα 4. 8 *Συνδυαστική αναπαράσταση των γεωηλεκτρικών τομών LP1 και LP2. Στο σχήμα διακρίνεται εντονότερα και σε περίγραμμα η συμβατική ψευδοτομή για κάθε ηλεκτρική τομογραφία - ενώ για την πληρέστερη απεικόνιση έχει χρησιμοποιηθεί η εντολή* extended model. *Η εντολή αυτή επιλύει το σύστημα των φαινόμενων-αυθαίρετων τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης σε όλο το μήκος και πλάτος της τομής προβάλλοντας την τομή ως ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.*

Από το Σχήμα 4.7 παρατηρούνται τα εξής:

Στην συμβολή των τομών LH3 και L4 (περιοχή που επισημαίνεται με τον κόκκινο κύκλο) παρατηρείται σημαντική πλευρική ανάπτυξη του γεωηλεκτρικού στρώματος με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 25-35 και τοπικά 55 Ohm.m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες με κατά τόπους ενστρώσεις ψαμμιτών. Στο σύνολο των γεωηλεκτρικών τομών που αναπαρίστανται στο Σχήμα 4.7, το στρώμα που προαναφέρθηκε, εμφανίζεται κατά τόπους να υπέρκειται, κατά τόπους να υπόκειται και κατά τόπους να παρεμβάλλεται στρωμάτων χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης.

Από το Σχήμα 4.8 παρατηρούνται τα εξής

Στη συμβολή των τομών LP1 και LP2 (περιοχή που επισημαίνεται με τον κόκκινο κύκλο) και για την τομή LP1, παρατηρείται γεωηλεκτρικός σχηματισμός ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 20-25 Ohm.m, κοντά στην επιφάνεια, για τον σχηματισμό Αμπελούζου. Στην τομή LP2 ωστόσο και για την αντίστοιχη περιοχή, δεν παρατηρούνται αντίστοιχες αντιστάσεις. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την μειωμένη πλευρική ανάπτυξη του εν λόγω γεωηλεκτρικού στρώματος.

Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα, προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα γεωφυσικά αποτελέσματα για τη γεωλογική δομή των νεογενών σχηματισμών της περιοχής μελέτης προκύπτουν τα εξής:

Από την εφαρμογή της μεθόδου σεισμικής διάθλασης κοινής πηγής και την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης οριοθετούνται τρία σεισμικά στρώματα.
- Σεισμικά στρώματα με ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων 500-1500 m/s αντιστοιχούν σε γεωλογικά στρώματα μαργών και αργίλων
- Σεισμικά στρώματα με ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων 1500-2000 m/s αντιστοιχούν σε γεωλογικά στρώματα μαργών και αργίλων με ενστρώσεις/εμφανίσεις ψαμμιτών.
- Σεισμικά στρώματα με ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων 2000-2500 m/s αντιστοιχούν σε γεωλογικά στρώματα ψαμμιτών.
- Η μέθοδος της σεισμικής διάθλαση δεν ενδείκνυται για τον προσδιορισμό εναλλαγών ψαμμιτικών και αργιλικών σχηματισμών, δεδομένου ότι προϋποθέτει την αύξηση της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων με το βάθος.

Από την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης για τα στρώματα μαργών και αργίλων κυμαίνονται από 10-25 Ohm·m.
- Οι ενστρώσεις μαργών και ψαμμιτών παρουσιάζουν αντίσταση 25-55 Ohm·m για τους νεογενείς σχηματισμούς.
- Οι ενστρώσεις ψαμμιτών για το φλύσχη παρουσιάζουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση ελαφρώς αυξημένη (περίπου 60 Ohm·m) σε σχέση με το αντίστοιχο στρώμα του νεογενούς. Η ηλεκτρική τομογραφία είναι δυνατό να απεικονίσει την στρωματική αλληλουχία των νεογενών δομών της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, το βάθος διασκόπησης των γεωηλεκτρικών γραμμών δεν θεωρείται ικανοποιητικό, για τον προσδιορισμό βαθύτερων στρωμάτων νεογενών σχηματισμών και πολύ περισσότερο για τον εντοπισμό του αλπικού υποβάθρου.

Από την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και την αντιπαραβολή με τα δεδομένα των γεωτρήσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, λόγω των εγγενών μειονεκτημάτων της (αρχή της συμπίεσης και ισοδυναμίας) δεν είναι δυνατό να εξάγει ακριβή συμπεράσματα ως προς τα πάχη και τις αντιστάσεις των επί μέρους στρωμάτων. Ωστόσο, μετρήσεις μεγαλύτερων φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων μπορούν να συσχετιστούν με την παρουσία ψαμμιτικών σχηματισμών, ενώ οι μικρότερες αντιστάσεις προέρχονται από αργιλικούς-μαργαϊκούς σχηματισμού.
- Η αντιπαραβολή των δεδομένων των γεωτρήσεων με τα δεδομένα της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης έδειξε εν μέρει ότι σε μεγαλύτερα βάθη η ηλεκτρική βυθοσκόπηση αδυνατεί να προσδιορίσει λεπτά στρώματα μεγαλύτερων ηλεκτρικών αντιστάσεων.
- Από τις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις, αν και κατά θέσεις χρησιμοποιήθηκαν μεγάλα αναπτύγματα ηλεκτροδίων ρεύματος (π.χ. 2600 m στην VES12), δεν κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της επαφής των νεογενών σχηματισμών με το προνεογενές υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.
- Τα πάχη των ψαμμιτικών πάγκων και τα βάθη τα οποία εμφανίζονται διαφοροποιούνται κατά θέσεις με αποτέλεσμα η δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ να μην είναι απόλυτα αντιπροσωπευτική της πραγματικής δομής.

5.2 Προτάσεις

Η υφιστάμενη γεωφυσική έρευνα δεν κατόρθωσε να δώσει απαντήσεις όσον αφορά κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως ο καθορισμός του βάθους του προνεογενούς υποβάθρου και η δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ. Για το λόγο αυτό προτείνονται συμπληρωματικές γεωφυσικές εργασίες που συνοψίζονται στα παρακάτω.

- Από τη μελέτη της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, ενδεδειγμένη μέθοδος για τον προσδιορισμό σε βάθος τέτοιου είδους δομών, είναι η μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης υψηλής ευκρίνειας. Η μέθοδος αυτή παρέχει την υψηλότερη απόδοση πληροφορίας τόσο για την χαρτογράφηση των δομών ενδιαφέροντος (ψαμμιτικοί πάγκοι) όσο και για τον εντοπισμό του βάθους του προνεογενούς υποβάθρου (Fader, 1997). Βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου ωστόσο είναι , το μεγάλο κόστος της εκτέλεσης, ο ακριβός εξοπλισμός καθώς και η δύσκολη και χρονοβόρα επεξεργασία των μετρήσεων. Σε περιπτώσεις διασκοπήσεων μεγάλου βάθους (>1000m), απαιτείται η χρήση ακριβών καταγραφικών οργάνων (σεισμόμετρα) και εξειδικευμένη η σεισμική πηγή για τη διείσδυση των σεισμικών κυμάτων σε δομές μεγάλου βάθους από τη συμβατική κρουστική σφύρα (εκρηκτικές πηγές).

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

Duarte, H., and Pinheiro, L., M., (2007) “High-resolution seismic imaging of gas accumulations and seepage in the sediments of the Ria de Aveiro barrier lagoon (Portugal)”, Geo-Marine Letters Journal)

Fader G. B. J, (1997) “The effects of shallow gas on seismic reflection profiles”. In: Glaciated Continental Margins An Atlas of Acoustic Images, Chapman & Hall pub., London pp. 29-30

Hsu K. J. (1978) (with Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M.B., Erickson, A., Garrison, R.E., Kidd, R.B., Mélières, F., Müller, C., and Wright, R.), **“**History of the Mediterranean Salinity Crisis**”**, IBID, p. 1053-1078, VII

Huber, H. H.-D. (1994) “Search for hyperthermophilic microorganisms in fluids obtained from the KTB pump test”. . Sci. Drill. 4, 127–129.

Ingall, E. V. (1990). “Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments”. . Geochim. Cosmochim. Acta 54, 373– 386. .

Keraudren,P.F. (1979) “Le Plio-Pléistocène marin et oligohalin en Grece: stratigraphie et paléogeographie”, Rev. Géol. dyn. Géogr. Phys. 21 (1979), pp. 17–28.

Meulenkamp, J. J. (1979). “Late Miocene to Early Pliocene development of Crete, -Proceedings of the VI colloquium on the Geology of the Aegean Region”, . Athens, pp. 137—149. .

Res2dinv, 2D “Resistivity and IP Inversion, (1995-2001), Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού”, Version 3.4, Geotomo Software, Malaysia.

Reynolds, M.J., (1997) “An introduction to applied and enviromental geophysics”, John Wiley & Sons Ltd, Chichester

Rice, D. (1993). “Biogenic gas: controls, habitats, and resource potential”. In: Howell, D.G. (Ed.), The Future of Energy Gases. . US Government Printing Office, Washington, pp. 583– 606.

Rice, D. (1992). “Controls, habitat, and resource potential of ancient bacterial gas”. In: Vially, R. (Ed.), Bacterial Gas. . Editions Technip, Paris, pp. 91– 118. .

SeisImager. (2003). “Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.0”, OYO Corporation».

Shurr**,** W.**,** G., and Ridgley**,** L., J., (2003) “Features and sealing mechanism of shallow biogenic gas in incised valley fills, the Qiantang River, eastern China: A case study”, Chinese Journal.

Veen, J. T. and Postma G. (1999). “Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete,Greece)”. Faculty of Earth Sciences, Departement of geology, Utrecht University

Whiticar, M. (2002). “Diagenetic relationships of methanogenesis, nutrients, acoustic turbidity, pockmarks and freshwater seepages in Eckernfoerde Bay”. Marine Geology, 182, 29–53. .

Whiticar, M. F. (1986). “Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO_2 reduction vs. acetate fermentation—isotope evidence”. . Geochimica et Cosmochimica Acta, 50, 693–709 .

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βαργεμέζης,Γ. (2006). "Γεωφυσική έρευνα με ηλεκτρικές-ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους του Ανατολικού τμήματος της λεκάνης του Ανθεμούντα", Ερευνητικό πρόγραμμά 81243, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Βαφείδης, Α. (2001). “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ”, . Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Βαφείδης, Α. (1993). “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι: Σεισμικές Μέθοδοι”. Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Βαφείδης, Α. (2008). “Δεδομένα γεωφυσικής έρευνας-Ερμηνευμένες τομές”:, 7-2.2, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05, ΓΓΕΤ. Αθήνα.

Βιδάκης, Μ. (1992). “Βασικός Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος”, κλίμακα 1:50.000. In I. φύλλο ΑΡΧΑΝΑΙ. Αθήνα.

Βογανάτσης Δ. (2000) “Σεισμική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου Λασιθίου”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Γκανιάτσος, Ι. (1995). “Γεωηλεκτρική τομογραφία με τη διάταξη Wenner”, . Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Κωσταρέλης Κ. (2007). “Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη περιοχή Στύλου Αποκορώνου Χανίων”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Λούης, Ι. (2004). “Εισαγωγικά μαθήματα στη διερευνητική Γεωφυσική”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Αθήνα.

Μανούτσογλου, Ε. (2007). “Γεωλογικός χαρακτηρισμός της περιοχής μελέτης”- Αδημοσίευτη έκθεση πρόοδου φυσικού αντικειμένου, 5-2.1, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05, ΓΓΕΤ. Αθήνα.

Μανούτσογλου, Ε. (2008). “Γεωλογικό μοντέλο της περιοχής επιλεγμένες θέσεις γεωτρήσεων“ 7-2.3, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05, ΓΓΕΤ. Αθήνα.

Μανούτσογλου, Ε. (2008). “Ολοκληρωμένες γεωτρήσεις αποτελέσματα ανάλυσης βιοαερίου“ , 7-3.1, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05, ΓΓΕΤ. Αθήνα

Μουντράκης, Δ. (1985). “Γεωλογία της Ελλάδας”, . Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις “University Studio Press”.

Παπαθανασίου, Χ. (2007), "Γεωφυσική έρευνα με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας στο Μοχό Ηρακλείου", Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, , Χανιά

Παυλίδης Σ. (2007). "NEOTECTONICS by Spyros Pavlides", Ηλεκτρονικές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

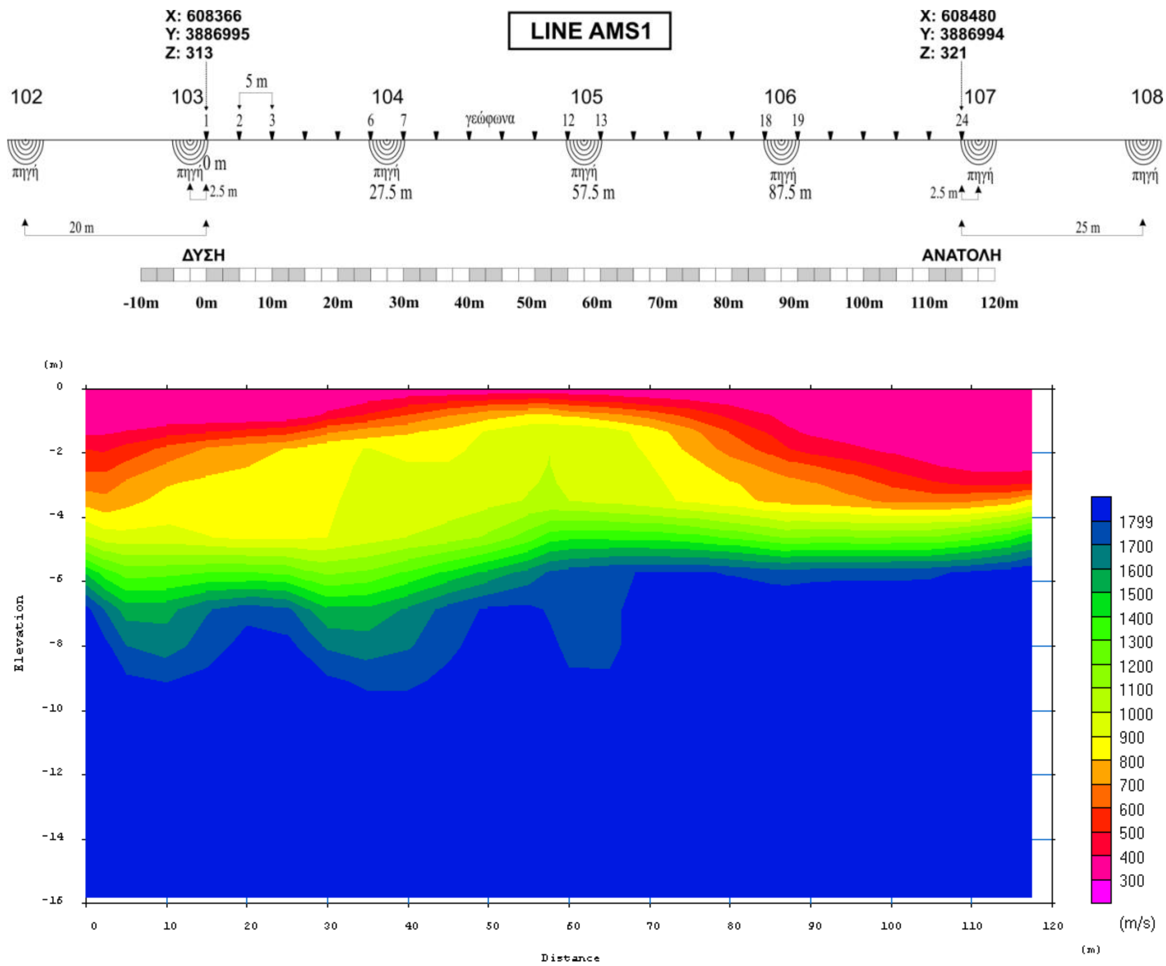
Π1

Στο Παράρτημα Π1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συμπληρωματικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης.

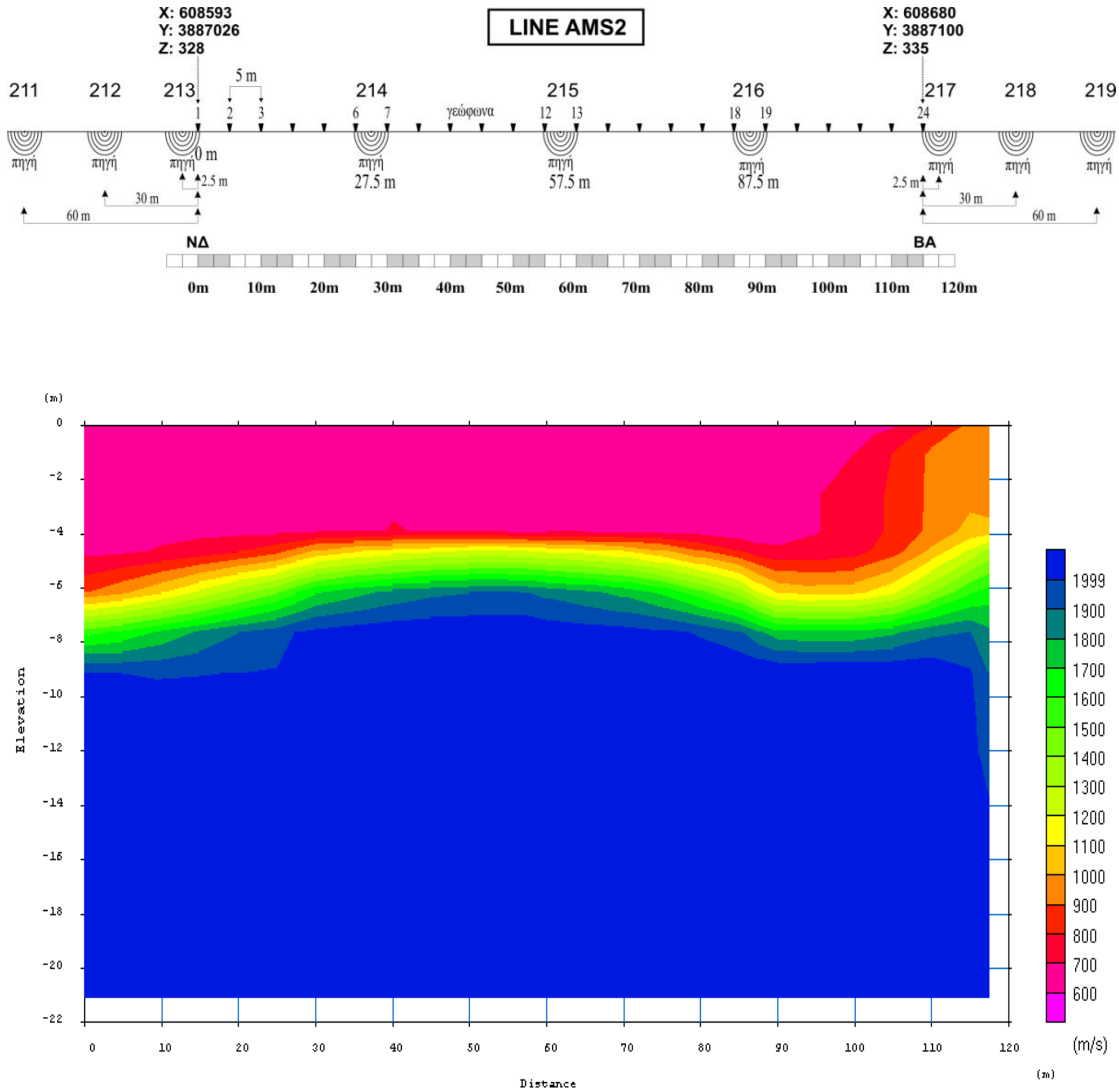
Παρατίθενται επίσης τα αρχικά αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας όπως επεξεργάστηκαν για τις ανάγκες της έκθεσης προόδου φυσικού αντικειμένου με τίτλο *«Δεδομένα γεωφυσικής έρευνας-Ερμηνευμένες τομές»* , 5-2.2, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05.

Επιπρόσθετα αποτελέσματα σεισμικής τομογραφίας

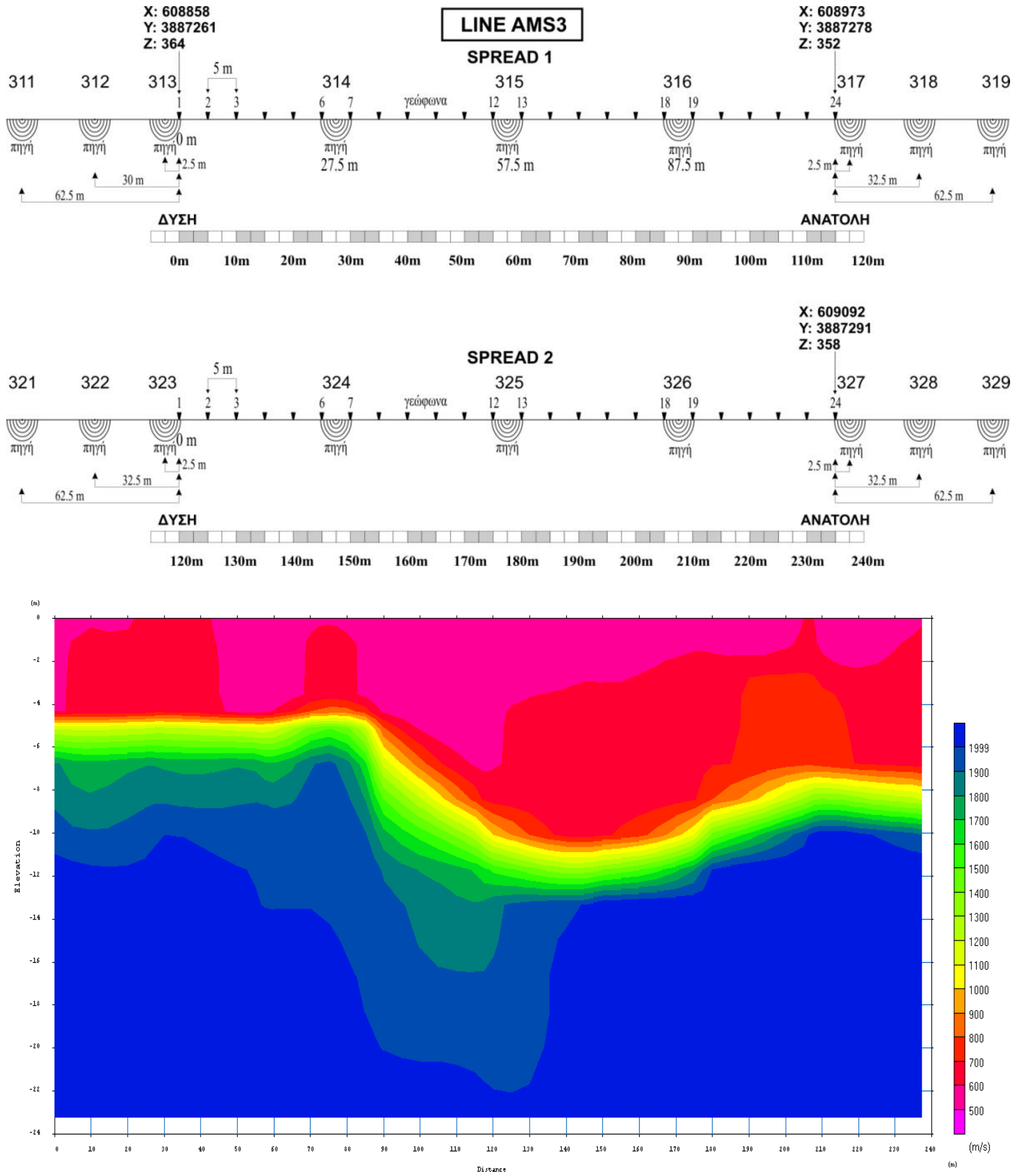
Παρακάτω παρατίθενται τα αρχικά αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας που μεταφέρθηκαν αυτούσια (AMS1 AMS2 AMS4 AMS5) καθώς και αυτά που επεξεργάστηκαν εκ νέου (AMS3 AMS6 AMS7).



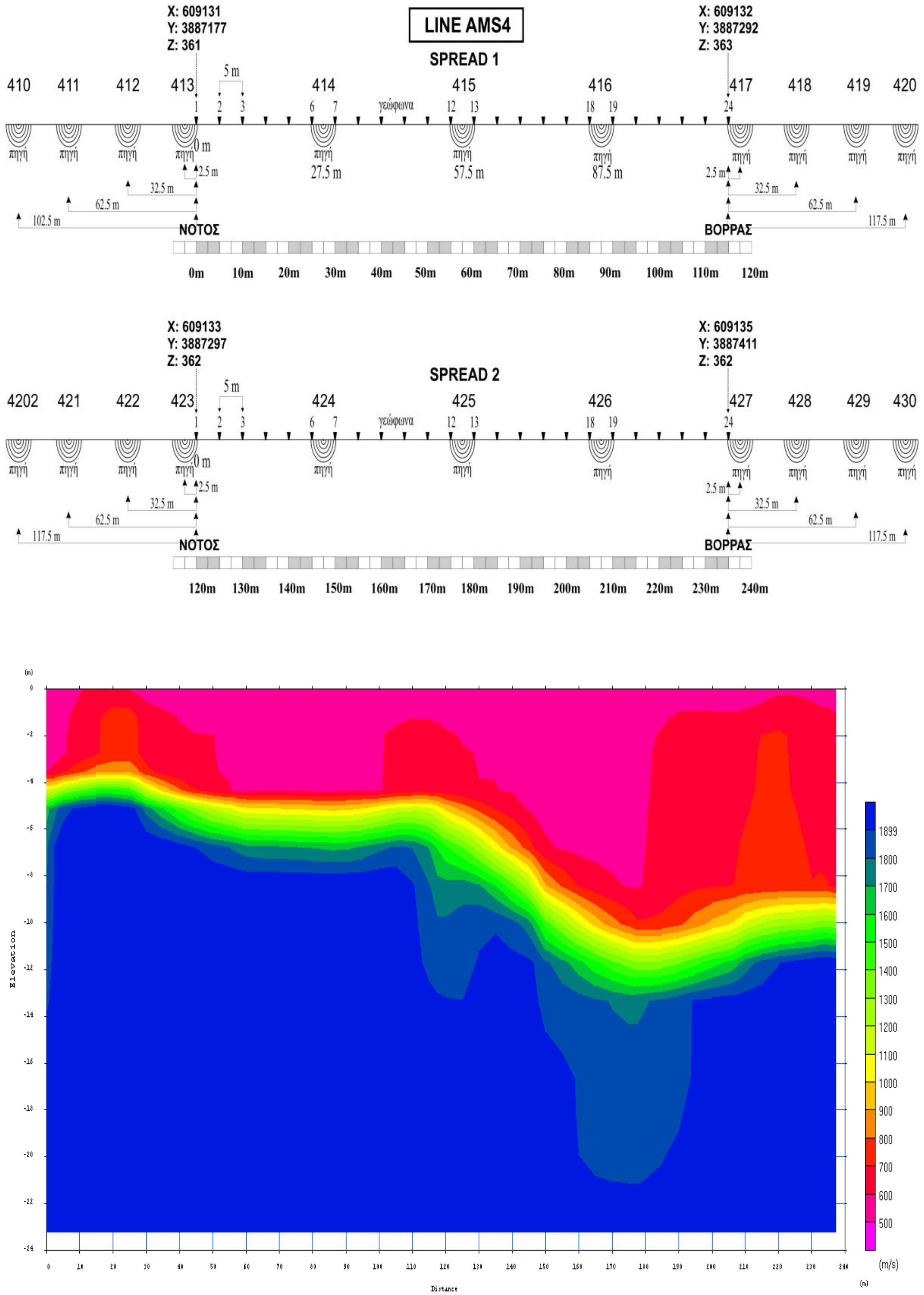
Σχήμα Π.Ι 1 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS1



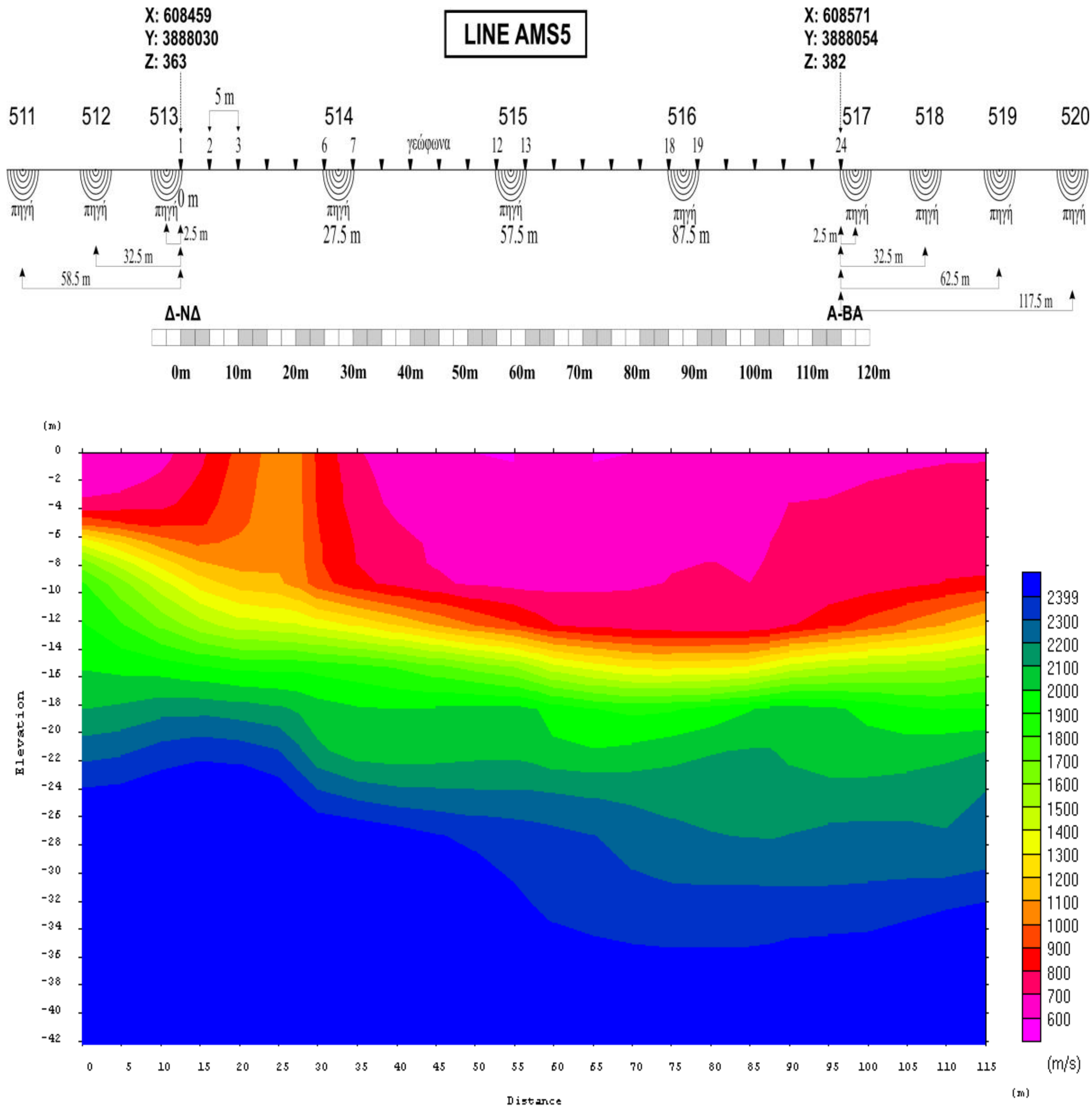
Σχήμα Π.Ι 2 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS2



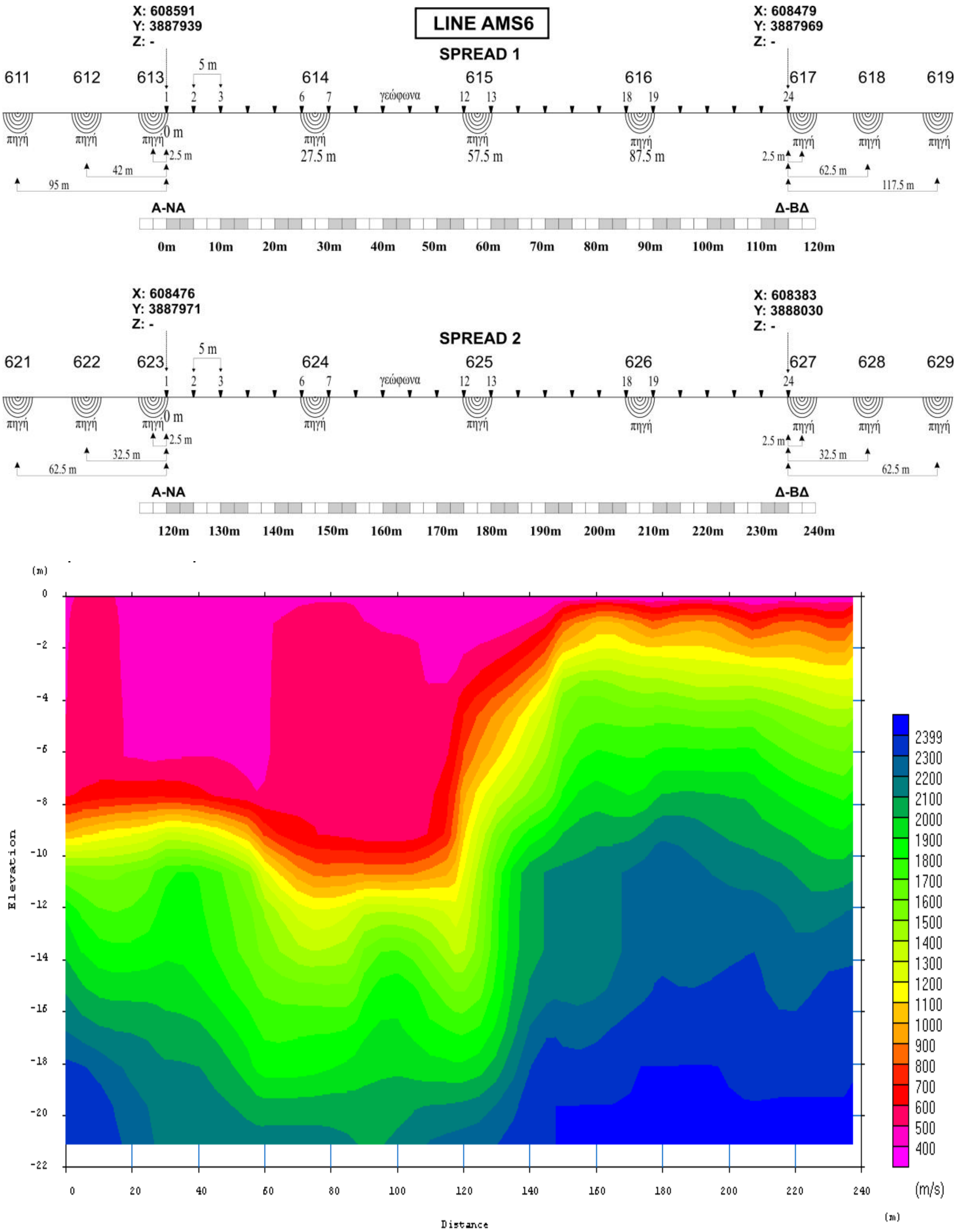
Σχήμα Π.Ι 3 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS3



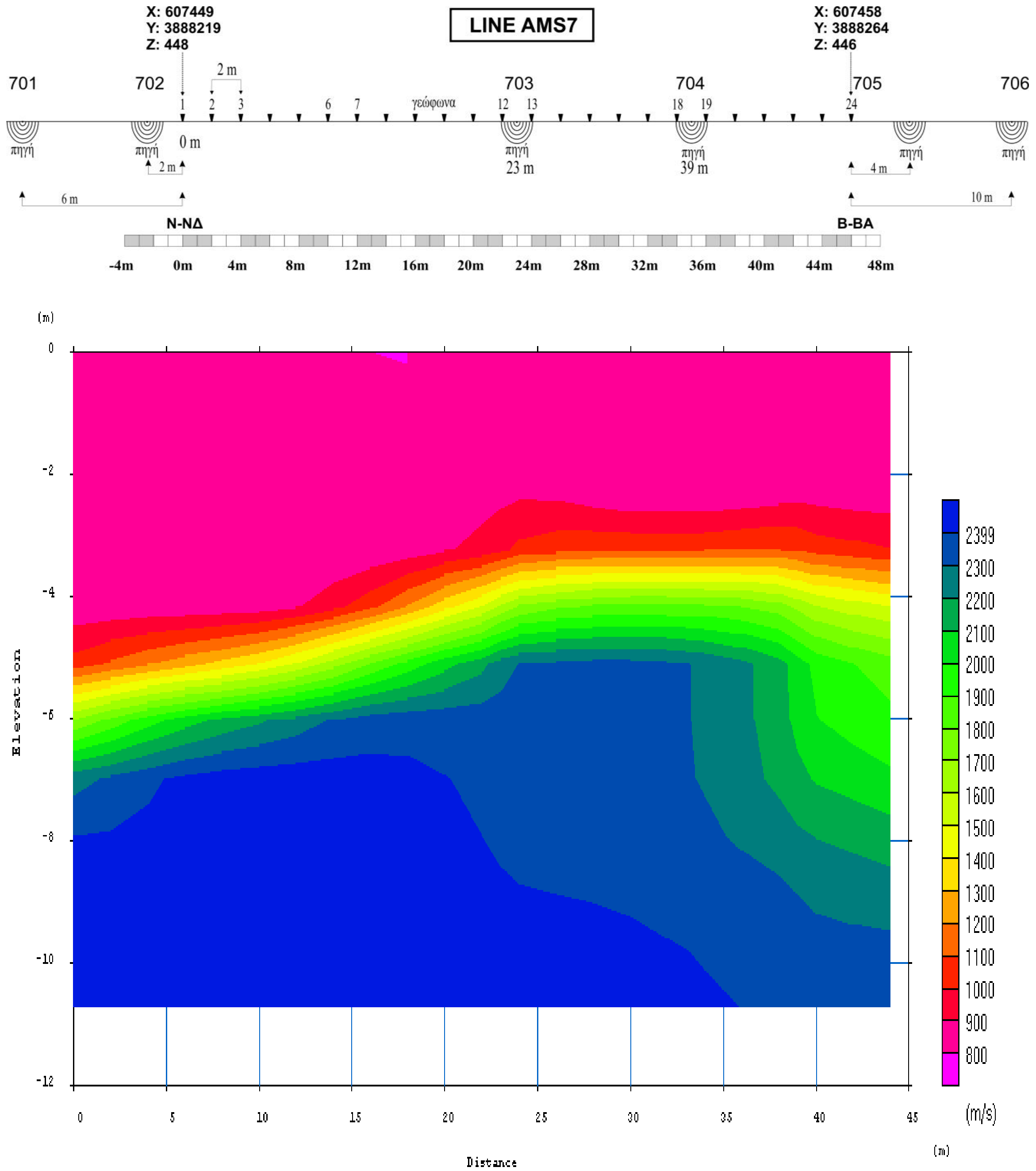
Σχήμα Π.Ι 4 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS4



Σχήμα Π.Ι 5 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS5

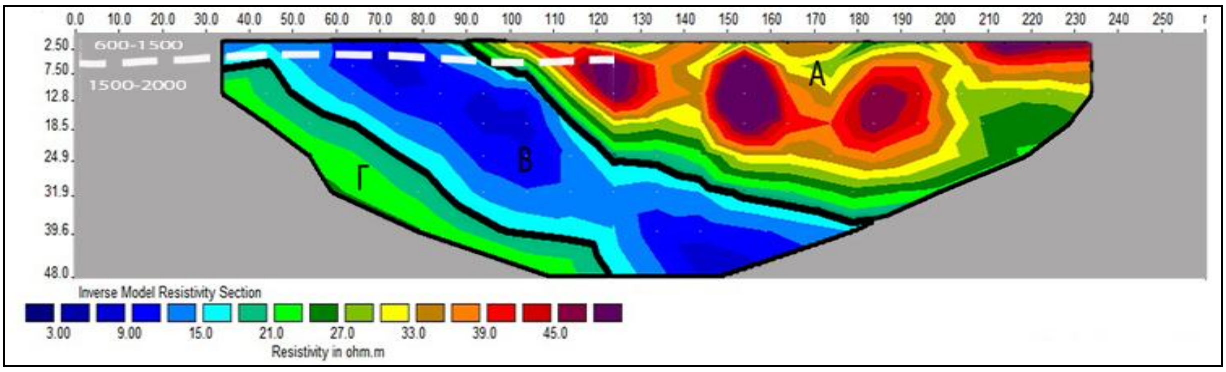


Σχήμα Π.Ι 6 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS6

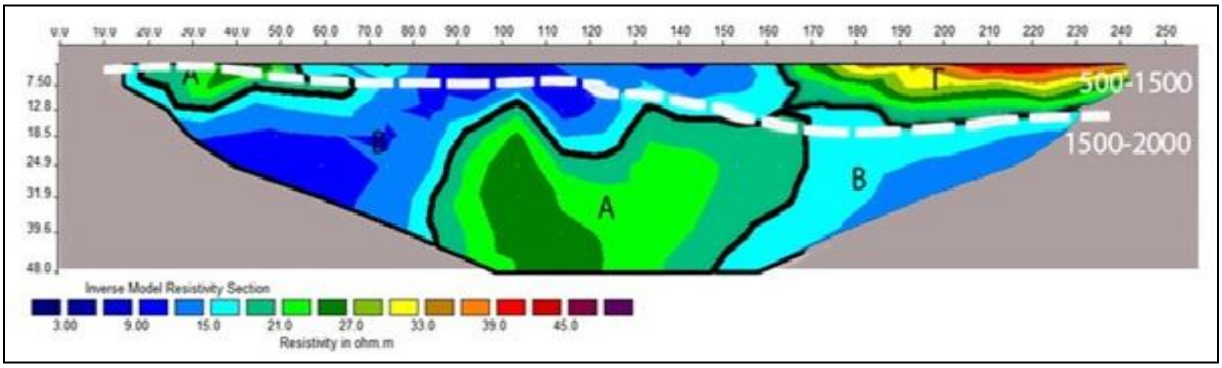


Σχήμα Π.Ι 7 Διάταξη των σεισμικών πηγών και γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας για την σεισμική γραμμή AMS7

Επιπρόσθετες συνδυαστικές τομές ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας



Σχήμα Π.18 *Συνδυαστική απεικόνιση γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS2-L5*



Σχήμα Π.99 *Συνδυαστική απεικόνιση γραμμών σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας AMS4-LH3*