ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

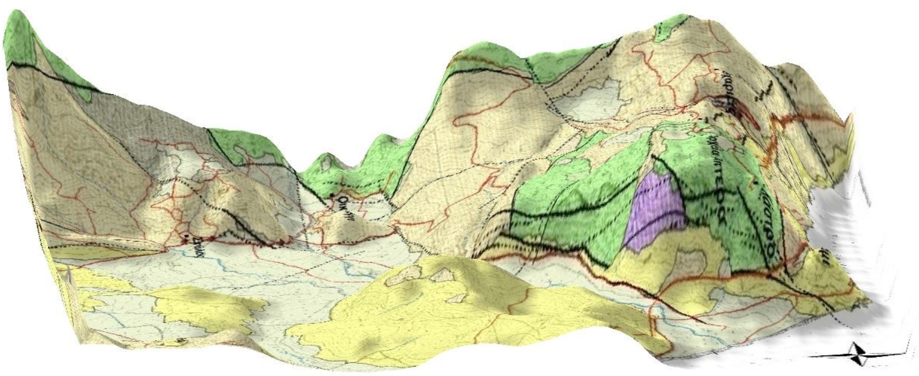
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΟΡΥΚΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

« Συμβολή της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας στην δημιουργία προκαταρκτικού τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου στην περιοχή Στύλου, Ν. Χανίων»



Καραγιάννης Χρίστος

Εξεταστική επιτροπή:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Αν. Καθηγητής

Σουπιός Παντελής, Αν. Καθηγητής(ΤΕΙ Κρήτης)

ΧΑΝΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2010

Αφιερώνεται

Στους γονείς μου Γιώργο, Ελευθερία

Στην αδερφή μου Κάρι

Σε όλους τους καλούς μου φίλους

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την δημιουργία ενός αρχικού τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου στην περιοχή του Στύλου του νομού Χανίων στην Δυτική Κρήτη με στόχο την ανίχνευση του μετώπου υφαλμύρωσης και τη διαχείριση του μεγάλου όγκου γεωφυσικών και γεωλογικών δεδομένων. Αφορμή της δημιουργίας του μοντέλου αυτού αποτέλεσε η διαπίστωση παρουσίας υφάλμυρων υδάτων σε ερευνητικές γεωτρήσεις που είχε πραγματοποιήσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. κατά την χρονική περίοδο 1981-1982, σε πόλγη που βρίσκεται 1300 m περίπου, Β-ΒΔ του οικισμού Στύλος, στην επαρχεία Αποκορώνου, του νομού Χανίων. Για την δημιουργία του μοντέλου αυτού χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία βυθοσκοπήσεων ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας και γεωτρήσεων που είχαν γίνει στην περιοχή. Ακολούθησε η απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης λαμβάνοντας υπόψη κατά κύριο λόγω τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης και τα υπάρχοντα γεωλογικά στοιχεία . Η εισαγωγή των δεδομένων και η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού πακέτου Rockworks 2006. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης μπορεί να χωριστεί σε δύο γεωλογικές ενότητες. Το δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης δομείται από αλπικούς σχηματισμούς που δημιουργούν έντονο ανάγλυφο , ενώ το πεδινό ανατολικό της τμήμα που διαρρέουν οι ποταμοί Κοιλιάρης και Μεσοπόταμος δομείται από μεταλπικά ιζήματα που αναπτύσσονται εντός λεκανών νεογενούς και τεταρτογενούς ηλικίας. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής σχηματίζεται το φαράγγι του Κεραμιού (Δικταμου) στη βόρεια έξοδο του οποίου υπάρχουν χαρακτηριστικές καρστικές δομές. Τέλος το γεωλογικό μοντέλο αποτελεί τη βάση για την δημιουργία μοντέλου διαχείρισης υπόγειων νερών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μια διπλωματική εργασία αποτελεί τόσο για τον φοιτητή που την εκπονεί τόσο για την οικογένεια του και για τους ανθρώπους που συνεργάζεται για την ολοκλήρωση της μια εμπειρία που απαιτεί προσπάθεια επιμονή και υπομονή σε όλα τα επίπεδα και συχνά επιφυλάσσει προβλήματα πάσης φύσεως που όλοι οι εμπλεκόμενοι σε αυτή τη διαδικασία καλούνται να τα επιλύσουν και μάλιστα τις περισσότερες φορές υπό τη πίεση του χρόνου. Ολοκληρώνοντας λοιπόν το πόνημα αυτό, από τη θέση αυτή, θα ήθελα να εκφράσω στις ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες λοιπόν οφείλω στο επιβλέποντα Καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνιο, Πρόεδρο του Τμήματος και Διευθυντή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την ενδιαφέρουσα αυτή εργασία, για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της, για τη διόρθωση και τις υποδείξεις του στο αντικείμενο και γενικά για την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου για το χρόνο που διέθεσε για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και τα ουσιαστικά του σχόλια πάνω στην εργασία.

Στον Αναπληρωτή Καθηγητή του ΤΕΙ Κρήτης κ. Σουπιό Παντελή για το χρόνο που διέθεσε για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να δώσω στον Δρ. Hamdan Hamdan και τον γεωλόγο κύριο Παναγόπουλο Γεώργιο για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, για τις υποδείξεις τους και πάνω από όλα για την συμπαράστασή τους και τη διάθεσή τους να

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου αυτά χρόνια μέχρι την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στις χαρούμενες και στις δύσκολες στιγμές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα Πινάκων & Σχημάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε πόλγη που βρίσκεται Βορειοανατολικά του οικισμού Φαράγγι στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Στύλος, στο νομό Χανίων χημικές αναλύσεις σε νερό από ερευνητικές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την χρονική περίοδο 1981 –1982, έδειξαν υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων της τάξης των 2500 ppm. Το γεγονός ότι η θέση των γεωτρήσεων βρίσκεται σε μεγάλη σχετικά απόσταση από την ακτογραμμή δημιουργήθηκε προβληματισμός γενικότερης θαλάσσιας υφαλμύρινσης του υπό εκμετάλλευση υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής. Η υφαλμύρινση των υπογείων νερών σε παράκτιες περιοχές είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί έντονα καθώς όταν επέλθει είναι πολλή δύσκολη έως αδύνατη η αποκατάσταση. Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «Περιβάλλον – Πυθαγόρας ΙΙ : “Συνδυασμένη γεωφυσική έρευνα για την ανίχνευση του μετώπου υφαλμύρινσης και την διαχείριση των υπογείων νερών στην περιοχή Στύλος Χανίων”».

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός προκαταρκτικού τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου στην περιοχή του Στύλου. Για την δημιουργία του τρισδιάστατου γεωλογικού προκαταρκτικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα το οποία εισήχθησαν στο Rockworks 2006. Τα γεωφυσικά δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα είναι από βυθοσκοπήσεις ηλεκτρική τομογραφία και σεισμική διάθλαση ενώ τα γεωλογικά από γεωτρήσεις.

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας είναι η εξής:

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται στοιχεία για το γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης και ειδικότερα για την περιοχή μελέτης, για την κατανόηση της στρωματογραφικής εξέλιξης και της στρωματογραφικής θέσης των σχηματισμών ενδιαφέροντος της περιοχής αυτής.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που περιλαμβάνει την ηλεκτρική τομογραφία και τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις . Τέλος γίνεται μια αναφορά στη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η εισαγωγή των γεωλογικών, τοπογραφικών και γεωφυσικών δεδομένων στο πρόγραμμα Rockworks 2006 . Τα γεωλογικά στοιχεία εισάγονται από γεωτρήσεις ενώ τα γεωφυσικά από ηλεκτρική τομογραφία, βυθοσκοπήσεις και σεισμική διάθλαση. Από τα τοπογραφικά δεδομένα προκύπτει το τρισδιάστατο πλεγματικό μοντέλο το οποίο μετέπειτα θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου. Τέλος γίνεται η εισαγωγή ψευδογεωτρήσεων για την κάλυψη σημείων της περιοχής μελέτης.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η ερμηνεία των γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων και η κατασκευή του τρισδιάστατου προκαταρκτικού λιθολογικού μοντέλου. Επίσης κατασκευάζονται δισδιάστατα και τρισδιάστατα διαγράμματα τα οποία προκύπτουν από το μοντέλο και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας. Τέλος πραγματοποιείται σύγκριση του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου με την γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής.

Στο κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εργασία αυτή και γίνονται ορισμένες προτάσεις για την περαιτέρω αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

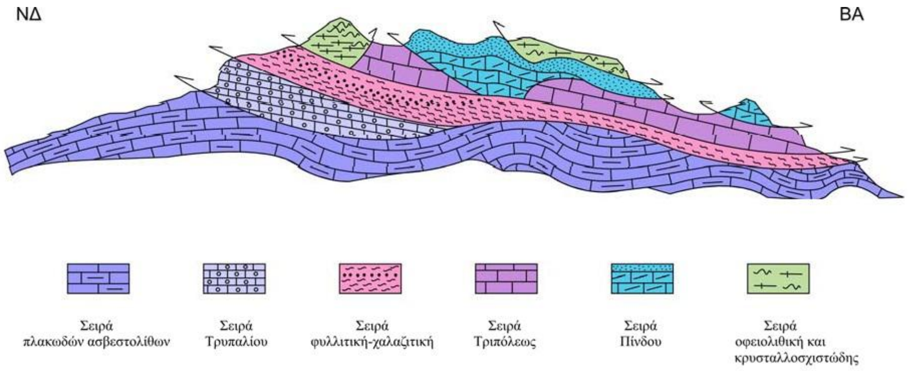
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η υφιστάμενη γεωλογική πληροφορία για την περιοχή έρευνας.

2.2 Η γεωλογική δομή της νήσου Κρήτης

Η Γεωλογία της Κρήτης (Μουντράκης, 1985), χαρακτηρίζεται από τα αλλεπάλληλα επωθημένα τεκτονικά καλύμματα των Ελληνίδων ζωνών τα οποία συνωθούνται στον μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού, με γενική κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο. (Σχήμα 2.1. Κατά Κίλια et al., 1985)



Σχήμα 2.1 :Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της νήσου Κρήτης με τα αλλεπάλληλα τεκτονικά καλύματα (Κατά Κίλια et al, 1985).

Γενικά η Κρήτη συγκροτείται από ένα αυτόχθονο (ή σχετικά αυτόχθονο) σύστημα, που είναι η ενότητα Ταλέα Όρη των πλακωδών ασβεστολίθων (Plattenkalk), πάνω στο οποίο τοποθετούνται με λεπιοειδή τεκτονική διάταξη οι σειρές των πετρωμάτων των άλλων ζωνών και ενοτήτων.

Η ενότητα Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι περιλαμβάνει κυρίως τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους με πυριτικές ενστρώσεις και κερατολιθικούς κονδύλους, αλλά επίσης και μαζώδεις ασβεστόλιθους, δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και φυλλιτικές-χαλαζιτικές παρεμβολές. Η σειρά αυτή έχει ηλικία από Πέρμιο μέχρι Ηώκαινο, είναι ημιμεταμορφωμένη και ανήκει πιθανότατα στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη. Αποτελεί το σχετικά αυτόχθονο υπόβαθρο της Κρήτης και αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές του νησιού υπό μορφή πολλαπλού τεκτονικού παραθύρου κάτω από τα αλλεπάλληλα επωθημένα καλύμματα. Μεγάλες μάζες των ορεινών όγκων των Λευκών Ορέων και της Ίδης δομούνται από την σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων.

Πάνω στην σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων βρίσκεται μια σειρά κροκαλοπαγών-λατυποπαγών ασβεστολίθων που ονομάζεται σειρά Τρυπαλίου. Η ηλικία της θεωρήθηκε Άνω Τριαδική-Κάτω Ιουρασική αν και δεν αποκλείεται και πολύ νεότερη ηλικία. Από γεωτεκτονική άποψη η σειρά Τρυπαλίου θεωρείται από άλλους μεν ως ο υποκείμενος ορίζοντας της αμέσως ανώτερης φυλλιτικής σειράς, ενώ από άλλους ως επικλυσιγενή σειρά πάνω στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και επομένως αποτελεί λιθοφασική πλευρική διαφοροποίηση της ίδιας της ενότητας Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι.

Επωθημένη πάνω στην ενότητα Ταλέα Όρη και στην σειρά Τρυπαλίου βρίσκεται μια φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά ηλικίας Περμίου-Τριαδικού, που αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες, μετα-κροκαλοπαγή, μετα-ψαμμίτες, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετα-βασίτες και μετά- ανδεσίτες. Η μεταμόρφωση της σειράς έγινε σε συνθήκες υψηλής πίεσης (γλαυκοφανιτική). Η γεωτεκτονική θέση της παραμένει άγνωστη. Άλλοι την θεωρούν υπόβαθρο της Γαβρόβου-Τριπόλεως και άλλοι ανεξάρτητη μονάδα προερχόμενη με επώθηση από πιο εσωτερικά.

Πάνω στην φυλλιτική σειρά τοποθετείται η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως με τους γνωστούς νηριτικούς ασβεστόλιθους και σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου.

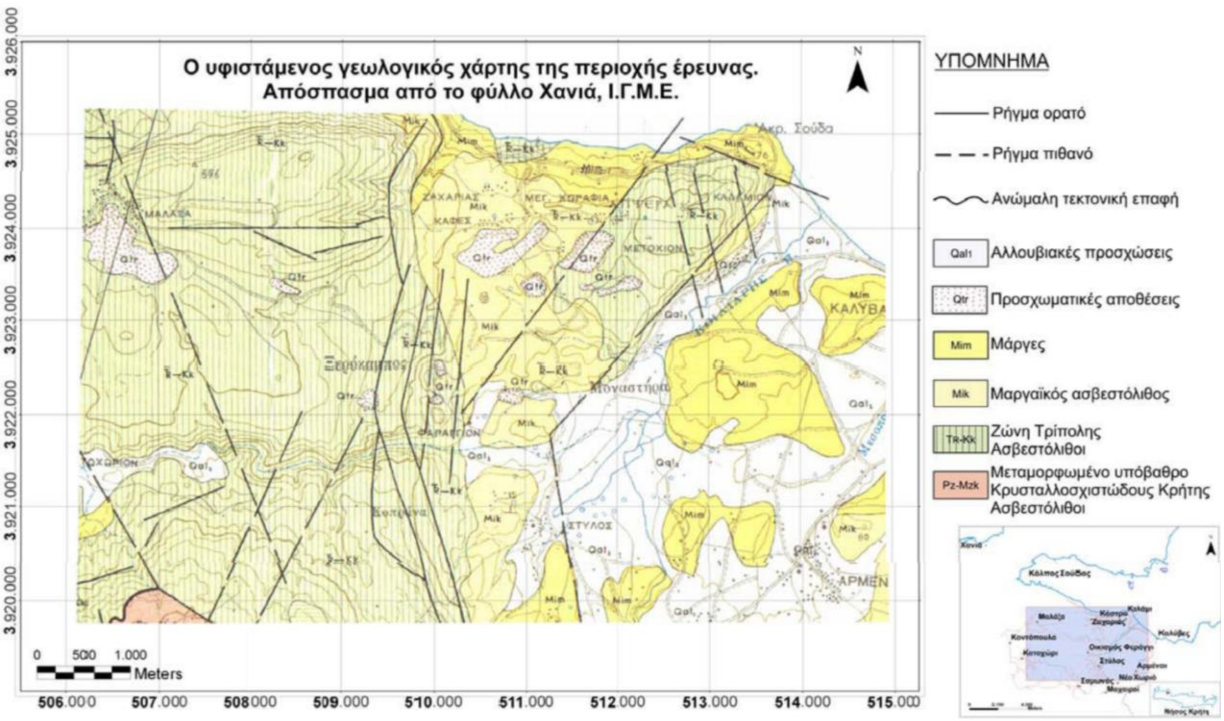
Εκτός από τα παραπάνω τεκτονικά καλύμματα των εξωτερικών Ελληνίδων στον χώρο της Κρήτης βρίσκονται σε ακόμη ανώτερη τεκτονική θέση και αλλόχθονα τεκτονικά λέπια των εσωτερικών ζωνών. Τέτοια είναι η ενότητα Άρβης με οφιολιθικά πετρώματα καθώς και άλλες διάσπαρτες οφιολιθικές εμφανίσεις που θεωρούνται ότι έχουν επωθηθεί από τον χώρο της Υποπελαγονικής, όπως επίσης και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες της ενότητας Αστερούσια) με προέλευση την Πελαγονική.

Τέλος, πάνω σε αυτούς τους αλπικούς σχηματισμούς κάθονται σε στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς (κυρίως κλαστικά θαλάσσια ιζήματα) τα οποία έχουν μεγάλο πάχος και εξάπλωση στις παραλιακές περιοχές της Κρήτης.

2.3 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης που διοικητικά ανήκει στο Νομό Χανίων εκτείνεται νοτίως της εθνικής οδού Χανίων Ρεθύμνης. Στο δυτικό τμήμα της οριοθετείται από προαλπικούς σχηματισμούς που δημιουργούν έντονο ανάγλυφο ενώ το πεδινό ανατολικό της τμήμα διαρρέουν οι ποταμοί Κοιλιάρης και Μεσοπόταμος. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής σχηματίζεται το φαράγγι του Κεραμιού (Δικτάμου) στην βόρεια έξοδο του οποίου υπάρχουν χαρακτηριστικές καρστικές δομές.

Βασική πηγή πληροφόρησης για την γεωλογική δομή της περιοχής, αποτέλεσε ο υφιστάμενος γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο Χανιά, 1971(Γεωλογική χαρτογράφηση από Ε.Δ. Καραγεωργίου, τα έτη 1951-1969. Στρωματογραφία: Σ. Τσαϊλά-Μονώπολη), απόσπασμα του οποίου, με την περιοχή έρευνας παρατίθεται στον ακόλουθο χάρτη (Σχήμα 2.2). Σύμφωνα με το φύλλο χάρτη για την περιοχή έρευνας, απαντούν οι ακόλουθοι σχηματισμοί:



Σχήμα 2.2: Απόσπασμα από τον υφιστάμενο γεωλογικό χάρτη (φύλλο Χανιά, Ι.Γ.Μ.Ε. 1971) με την περιοχή έρευνας (κλίμακα 1:50.000).

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ (ΟΛΟΚΑΙΝΟ)

- **Αλλουβιακές προσχώσεις (Qal1)**: Πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χαλίκια. Οι αποθέσεις αυτές είναι χαλαρές και μικρού πάχους (πάχος μικρότερο του ενός μέχρι και μερικά μέτρα).
- **Προσχωματικές αποθέσεις ερυθρογής (Qtr)**: Παρατηρούνται εντός καρστικών εγκοίλων.

ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

- **Μάργες (Mim)**: Κιτρινόφαιες έως λευκοκίτρινες, πολλές φορές εναλλασσόμενες με στρώματα μαργαικών ψαμμιτών και πλακώδων μαργαικών ασβεστολίθων ενώ εγκλείουν απολιθώματα θαλάσσιων μαλακίων.
- **Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος (Mik)**: Συμπαγής, λευκοκίτρινος έως λευκότεφρος, με θαλάσσια απολιθώματα (ελασματοβράχια, εχινόδερμα, βρυόζωα, εχίνους, θραύσματα οστρακόδερμων και πλούσια μικροπανίδα).

ΤΡΙΑΔΙΚΟ - ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

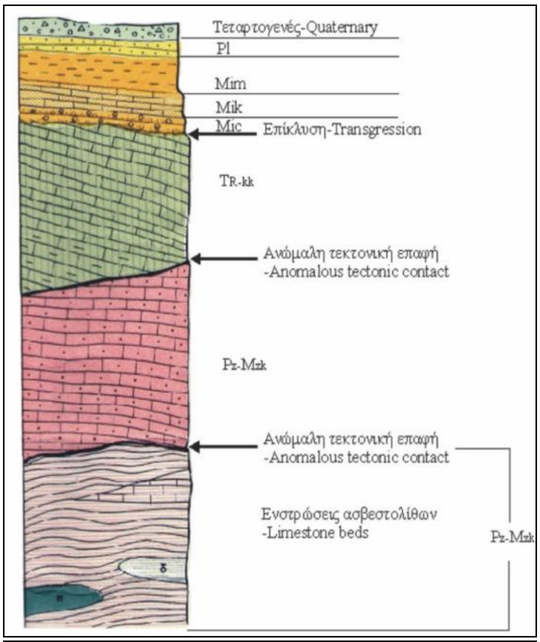
- **Ζώνη Τρίπολης**
- **Ασβεστόλιθοι ($T_{R\text{-}kk}$)**: Συμπαγείς, λευκόφαιοι έως υποκύανοι, μικροκρυσταλλικοί έως στιφροί συνήθως με θραύσματα ρουδιστών, ενίοτε λατυποπαγείς, κατά τόπους δολομιτιωμένοι και ισχυρά καρστικοποιημένοι. Ενδεχομένως να περιλαμβάνονται και κατώτερα μέλη, ιουρασικής έως τριαδικής ηλικίας, χωρίς αυτό να επιβεβαιώνεται παλαιοντολογικά.

ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟ-ΜΕΣΟΖΩΪΚΟ

- **Μεταμορφωμένο Υπόβαθρο Κρυσταλλοσχιστώδους Κρήτης**

- **Ασβεστόλιθοι (Pz-Mzk)** : συμπαγείς, κρυσταλλικοί, λευκοί έως λευκόφαιοι, κατά τόπους ύπομέλανες, κυανόφαιοι, λεπτοπλακώδεις, ενίοτε δολομιτικοί και κατά τόπους δολομίτες του αύτοχθόνου συστήματος της νήσου Κρήτης, μη προσδιορισθείσης ηλικίας, πιθανόν παλαιοζωικής ή έως και μεσοζωικής.
- **Κρυσταλλικοί σχιστόλιδοι του αυτοχθόνου συστήματος της Κρήτης (Pz-Mzsh)** : (φυλλίτες, μαρμαρυγιακοί, γραφιτικοί, σερικιτικοί, χαλαζιτικοί, χλωριτικοί και λαμπυρίζοντες σχιστόλιθοι), κατά τόπους έγκλείοντες πλακώδεις μέλανας ασβεστόλιθους. Ύποπράσινοι περιδοτίτες (π), έξαλλοιωμένοι σε σερπεντίνη, ενίοτε με φλέβες αμιάντου. Συμπαγής ύποπρασινίζων διαβάσης (δ).

Η στρωματογραφική στήλη από το σχετικό φύλλο χάρτη φαίνεται στο σχήμα 2.3



Σχήμα 2.3: Στρωματογραφική στήλη από Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Χανιά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Σκοπός της γεωφυσικής έρευνας

Όπως προαναφέρθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχουν αλπικοί και μετά-αλπικοί σχηματισμοί (Νεογενές – Τεταρτογενές). Οι αλπικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή είναι καρστικοποιημένοι, Η ανάπτυξη ενός καρστικού συστήματος προϋποθέτει την ύπαρξη διόδων μέσα από τις οποίες θα εισέλθει και θα κυκλοφορήσει στη μάζα του πετρώματος το νερό, μαζί με τα όξινα ανθρακικά ή άλλα ανιόντα που θα προσβάλλουν το πέτρωμα. Οι αρχικές αυτές δίοδοι, δεν είναι άλλες από τις πάσης φύσεως τεκτονικές ασυνέχειες του πετρώματος (ρήγματα, διακλάσεις κλπ) και επηρεάζουν την κυκλοφορία του νερού σε όλες τις κλίμακες, από τη μικροσκοπική (τριχοειδή φαινόμενα) και τη μακροσκοπική (σε επίπεδο καρστικού συστήματος στο σύνολό του), μέχρι τη μεγασκοπική. Ο τεκτονικός ιστός του πετρώματος (γεωμετρία, σχιστότητα, πυκνότητα, διασύνδεση, χάσματα των ασυνεχειών κ.λπ.) είναι πρωταρχικός καθοριστικός παράγοντας της ελευθερίας και του προσανατολισμού της κίνησης του νερού και της ταχύτητας με την οποία θα προχωρήσει η καρστικοποίηση. Εξάλλου, έχει διαπιστωθεί (ειδικά σε περιοχές με έντονη και συνεχιζόμενη τεκτονική δραστηριότητα, όπως η Ελλάδα) ότι η ανάπτυξη των επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών, όπως οι γλυφές, φρέατα, οχετοί, σπήλαια κ.λπ., είναι σαφώς προσανατολισμένη σύμφωνα με ρηξιγενείς ζώνες και συστήματα διακλάσεων που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Αυτό το δεδομένο έχει μεγάλη σημασία καθώς η αναγνώριση και διερεύνηση των τεκτονικών συνθηκών αποτελεί ένα από τα ασφαλέστερα εργαλεία για τη διαπίστωση ή πρόβλεψη της υπόγειας κυκλοφορίας του νερού, σε όλα τα στάδια της εξέλιξης ενός καρστικού συστήματος. Συγκεκριμένα στην περιοχή Στύλος, και με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, οι σεισμικές μέθοδοι και οι μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κρίθηκαν ως οι πιο κατάλληλες για τον προσδιορισμό του μετώπου θαλασσινού / γλυκού νερού. Συγκεκριμένα, η μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης χρησιμοποιήθηκε για μια πρωταρχική και γρήγορη εκτίμηση (μεγάλης κλίμακας) της γεωλογικής και περιβαλλοντικής κατάστασης. Από τα αποτελέσματα των βυθοσκοπήσεων, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης επιλέχτηκαν οι περιοχές με το περισσότερο υδρογεωλογικό, τεκτονικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον, όπου πραγματοποιήθηκαν λεπτομερές γεωφυσικές διασκοπήσεις. Οι διασκοπήσεις αυτές περιλαμβάνουν τις μεθόδους τις σεισμικής διάθλασης και Πολυκάναλη ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh, κυρίως για τον ακριβή χαρακτηρισμό των γεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών στις περιοχές μελέτης.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμφάνιση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης χρονολογείται από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Με τη χρήση των μεθόδων αυτών επιτεύχθηκε ο εντοπισμός φυσικού αερίου στη Ρουμανία το 1923 και αλατούχων δόμων στη Γαλλία το 1926. Η συστηματική εφαρμογή τους ξεκίνησε τη δεκαετία του ’70 και αυτό λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γεγονός που βοήθησε τόσο στη συλλογή των δεδομένων όσο και στην επεξεργασία τους.

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. Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός της τιμής, καθώς και η μελέτη των μεταβολών της στα επιφανειακά στρώματα, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται σημαντική αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος. Η χρήση των ηλεκτρικών μεθόδων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των γεωεπιστημών όπως είναι η κοιτασματολογία, η υδρογεωλογία, η τεχνική γεωλογία, η χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών αλλά και την αρχαιολογία.

Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων. Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία, και η ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

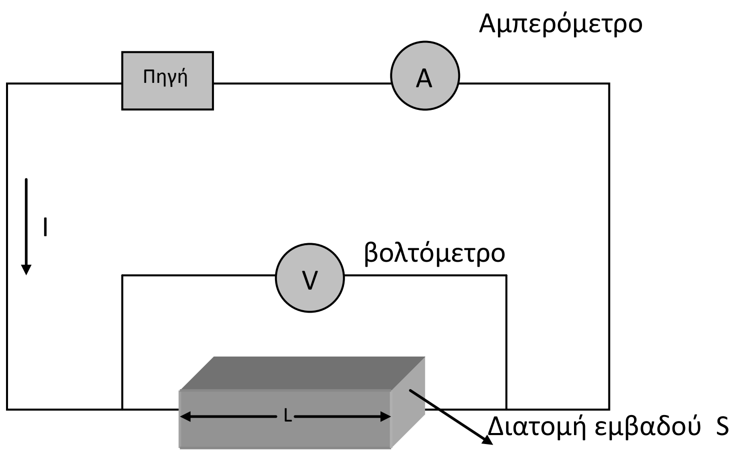
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988), σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

$$\mathrm{R} = \frac{\Delta \mathrm{V}}{\mathrm{I}} \qquad (3.1)$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν S της τομής του αγωγού(σχήμα 3.1) και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του.

$$R = \rho \frac{L}{S} = \Delta V / I \qquad (3.2)$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.



Σχήμα 3.1: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το 1 Ωm. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα 1Ωcm και είναι 1 Ωm = 100 Ωcm. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από 10^{-6} Ωm σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι 10^{15} Ωm σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^{-6} και 10^{-1} Ωm χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί, ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^{8} και 10^{15} Ωm. 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.

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, σχήμα (3.2). Επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διαρρέει τη γη.

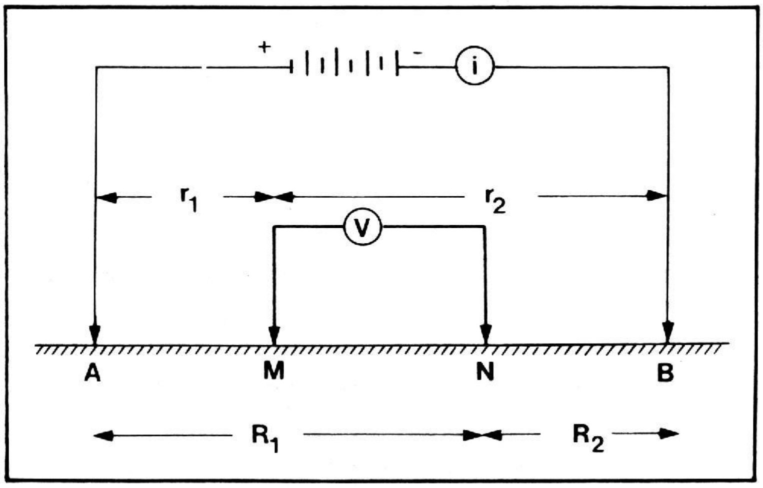
Χρησιμοποιώντας δύο άλλα ηλεκτρόδια για την μέτρηση του δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους είναι εφικτός ο υπολογισμός της αντίστασης (R) του υπεδάφους σύμφωνα με τη σχέση:

$$R = \frac{\rho}{2\pi}\left[\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}\right)-\left(\frac{1}{AN}-\frac{1}{BN}\right)\right] = k\rho \qquad (3.3)$$

όπου AM, BM, AN και BN είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος (A,B) και των ηλεκτροδίων δυναμικού (M,N) (Σχήμα 3.1), ενώ το k ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής.

Η αντίσταση που υπολογίζεται από τη προηγούμενη σχέση εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_α).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων που θα περιγραφούν παρακάτω.



Σχήμα 3.2 Απεικόνιση της βασικής αρχής της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η διαφορά δυναμικού μετράται στα ηλεκτρόδια δυναμικού Μ,Ν.

3.2.2ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων. Στο σχήμα 3.3 απεικονίζονται οι τρεις πιο σημαντικές διατάξεις πού είναι:

α) Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, AM = MN = NB = α, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.α έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_α θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_\alpha = 2\pi \frac{V_{MN}}{I}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}\right)^{-1} = 2\pi\alpha \frac{V_{MN}}{I} \qquad (3.4)$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση που δίνει την δομή του υπεδάφους, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της βυθοσκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης το α παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχείται στο κέντρο της κάθε διάταξης ηλεκτροδίων.

Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.

β) Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος Α και Β βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού Μ και Ν είναι ανάμεσα στα Α και Β και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι ΑΒ = 2L και ΜΝ = 2b = I (σχήμα 3.3.b), η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής Κ θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$K=2\pi\left(\frac{1}{L-b}-\frac{1}{L+b}-\frac{1}{L+b}-\frac{1}{L-b}\right)^{-1}=(L^2-b^2)\frac{\pi}{2b} \qquad (3.5)$$

Επειδή όμως (L>>b) τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_\alpha = \frac{\pi L^2}{2b}\frac{\Delta V}{I} \qquad (3.6)$$

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.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

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 γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

γ) Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Σε αυτή τη διάταξη η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με α. Ομοίως α είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με nα (n>>α), όπως φαίνεται στο σχήμα (3.3.γ).

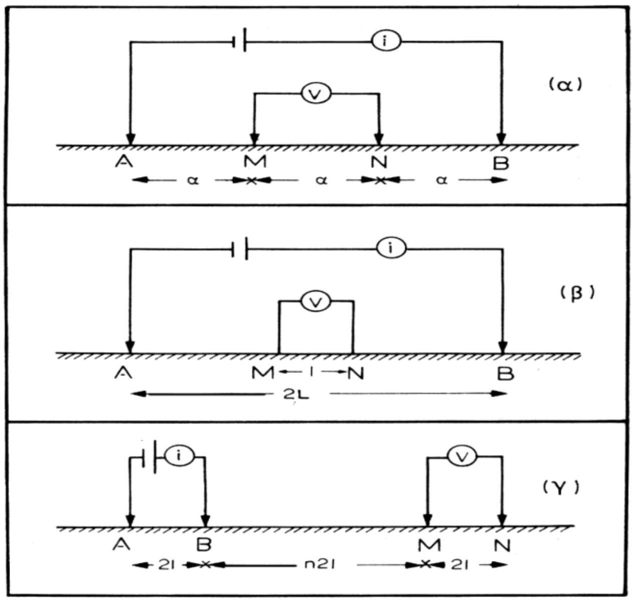
Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου–διπόλου και για n>>1, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = n\pi\alpha(n+1)(n+2) \qquad (3.7)$$

και η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_\alpha = n\pi\alpha(n+1)(n+2)\frac{\Delta V}{i} \qquad (3.8)$$

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση 2nα, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.



Σχήμα 3.3: Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ) (Παπαζάχος, 1986)

3.3 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ

Η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση αποτελεί μέρος της ηλεκτρικής διασκόπησης, στην οποία μελετάται η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Απεικονίζει δηλαδή την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης κατά μία μόνο διάσταση, αυτή του βάθους, πράγμα το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με πληροφορίες από γεώτρηση. Στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση αντί του γεωφυσικού χάρτη, προκύπτει γράφημα της ειδικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους. Η βυθοσκόπηση είναι μία σχετικά γρήγορη και μικρού κόστους γεωηλεκτρική διασκόπηση η οποία επιτρέπει την εξαγωγή αξιόλογων συμπερασμάτων για την εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος.

3.3.1 Διαδικασία Ηλεκτρικής Βυθοσκόπησης

Η διαδικασία εκτέλεσης της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα, αναφερόμενα με σειρά προτεραιότητας.

- Ορίζεται η ευθεία πάνω στην οποία θα γίνει η ανάπτυξη της γραμμής, η οποία πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν παράλληλα. Έτσι, ελέγχεται η περιοχή μελέτης πριν να ξεκινήσει η βυθοσκόπηση για την αποφυγή προβλημάτων όπως η ύπαρξη χειμάρρων, φαραγγιών, λόφων, οικημάτων, φρακτών κ.α.
- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται στο σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της Βυθοσκόπησης (Ο), το οποίο επιλέγεται ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του σημείου Ο 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 συνάρτηση μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ρ_α, με το βάθος σχεδιάζεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί κατά τη λήψη των μετρήσεων έτσι ώστε να ελέγχεται με ένα ακόμη τρόπο η αξιοπιστία των μετρήσεων.
- Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης AB/2, ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το 0,1 mV, η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του MN/2 και για το ίδιο AB/2 λαμβάνεται διπλή μέτρηση.
- Το μέγιστο μήκος της ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος καθορίζεται από το αν έχει εντοπιστεί γεωηλεκτρικά το πέτρωμα που στόχο έχει η βυθοσκόπηση. Η κατάσταση αυτή διαπιστώνεται από την ανοδική ή την καθοδική πορεία της καμπύλης.
- Η απόσταση του ημιαναπτύγματος AB/2 και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την μετέπειτα επεξεργασία τους

3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η λεπτομερής απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο όρος τομογραφία παράγεται από τη λέξη «τομή» και σημαίνει απεικόνιση τομής π.χ. του υπεδάφους. 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.

3.4.1. Θεωρία

Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

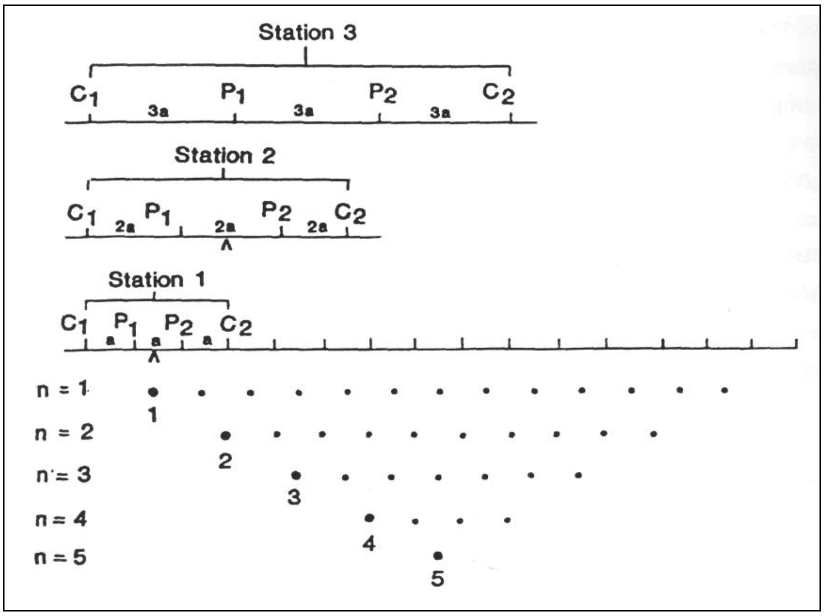
Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_α, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ, σε αντίθεση με τη φαινόμενη που είναι φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, είναι ιδιότητα των πετρωμάτων και των ορυκτών.

3.4.2 Τρόπος Πραγματοποίησης των Μετρήσεων

Στην ηλεκτρική τομογραφία της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η συνδυαστική διάταξη Wenner – Schlumberger και διπόλου-διπόλου. 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).

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους (σχ.3.4) 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 δημιουργείται μια εικόνα της κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο επίπεδο της τομής. Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο το επόμενο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο. Η βελτίωση αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις. 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 (Γκανιάτσος,1995). 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.



Σχήμα 3.4 Ψευδοτομή (pseudosection) φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων

3.5 Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης

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.

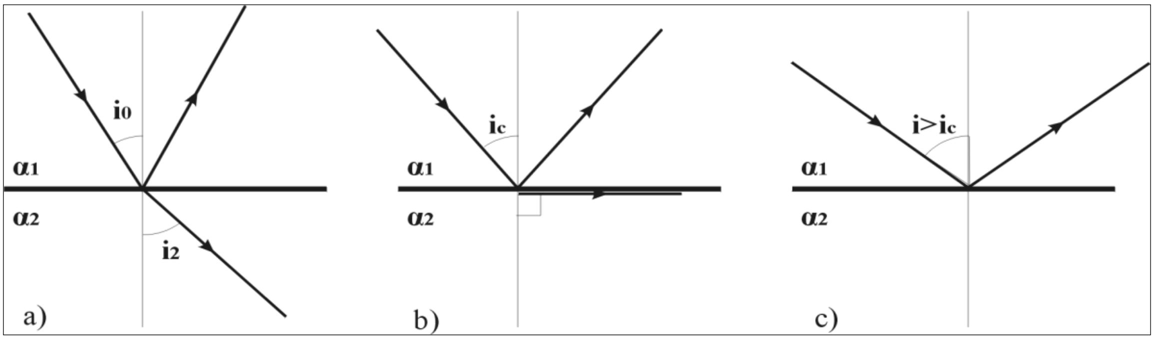
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0, η γωνία διάθλασης, i_2, και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα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

$$p = \frac{\sin(i_0)}{\alpha_1} = \frac{\sin(i_2)}{\alpha_2} \qquad (3.9)$$

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 3.5 b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

$$\sin(i_c) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \qquad (3.10)$$

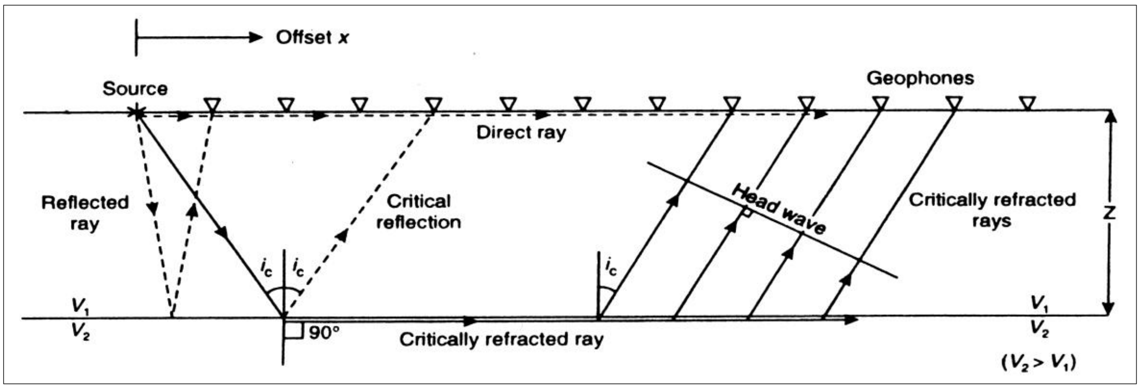
Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση.



Σχήμα 3.5 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

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 3.6).

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.



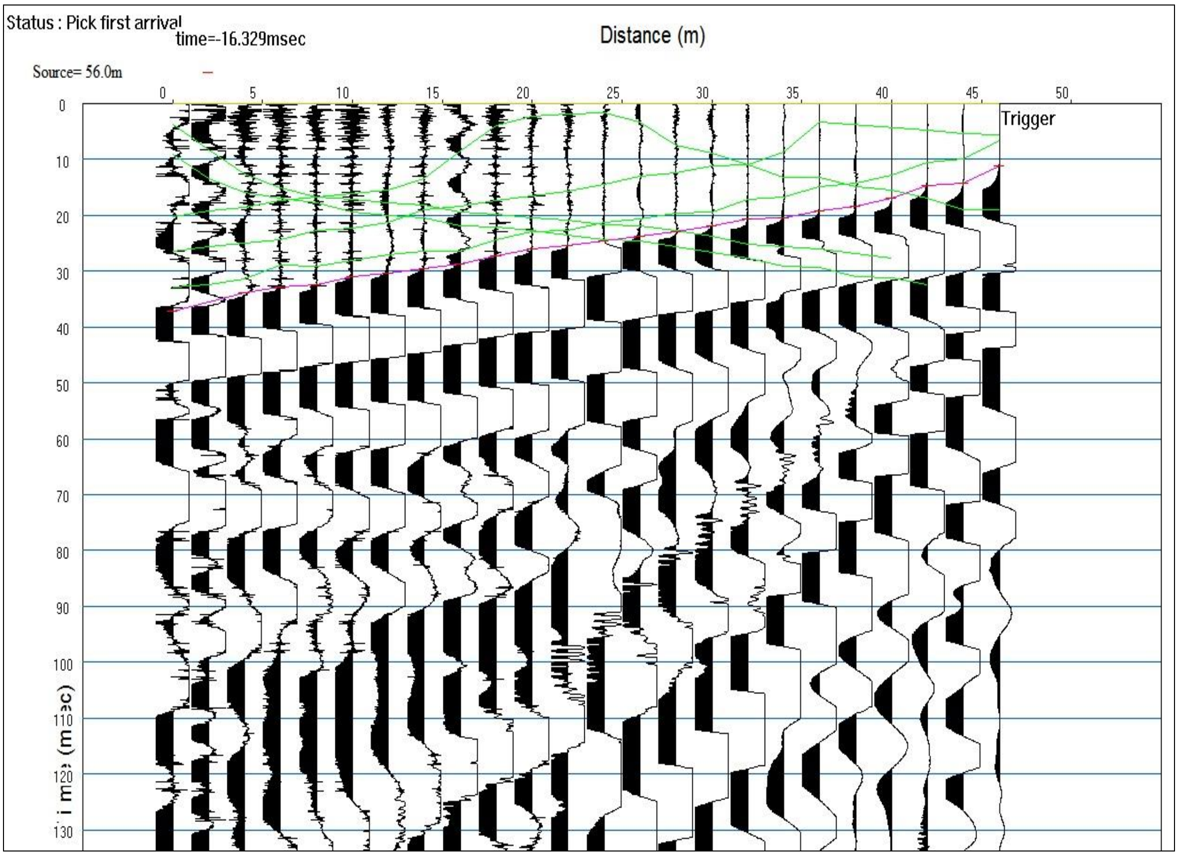
Σχήμα 3.6 Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Raynolds, 1997)

3.5.1Επεξεργασία 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. **<u>Επιλογή πρώτων αφίξεων</u>**:

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 σεισμογραφήματος. 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 3.7.



Σχήμα 3.7 Σεισμικές καταγραφές πάνω στη σεισμική γραμμή μελέτης AMS7 και επιλογή πρώτων αφίξεων (κόκκινη γραμμή). Ο οριζόντιος άξονας εκφράζει την ισαπόσταση των γεωφόνων (σε m) ενώ ο κατακόρυφος τους χρόνους καταγραφής σεισμικής κίνησης σε κάθε γεώφονο.

2. Η μέθοδος Αντιστροφής των Χρόνων Καθυστέρησης (Time-Term):

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. Τα σεισμικά στρώματα τονίζονται με διαφορετικό 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. 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.

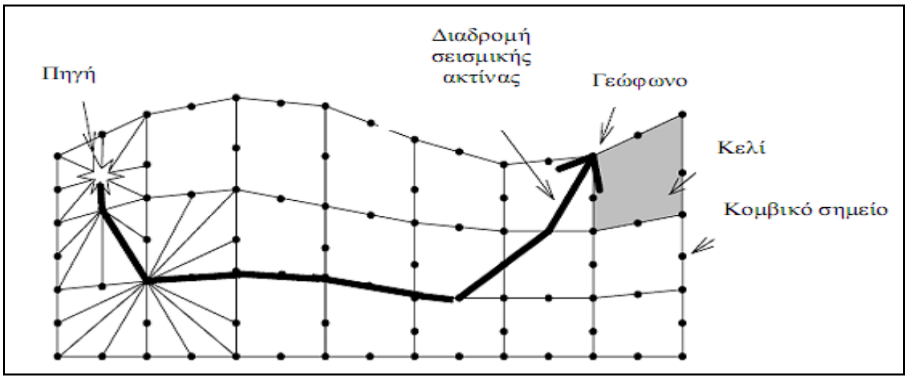
3. Αντιστροφή των χρόνων πρώτων αφίξεων

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 3.8.



Σχήμα 3.8 Σχεδιασμός κανάβου στο αρχικό μοντέλο ταχυτήτων. (Παπαθανασίου, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ-ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Εισαγωγή

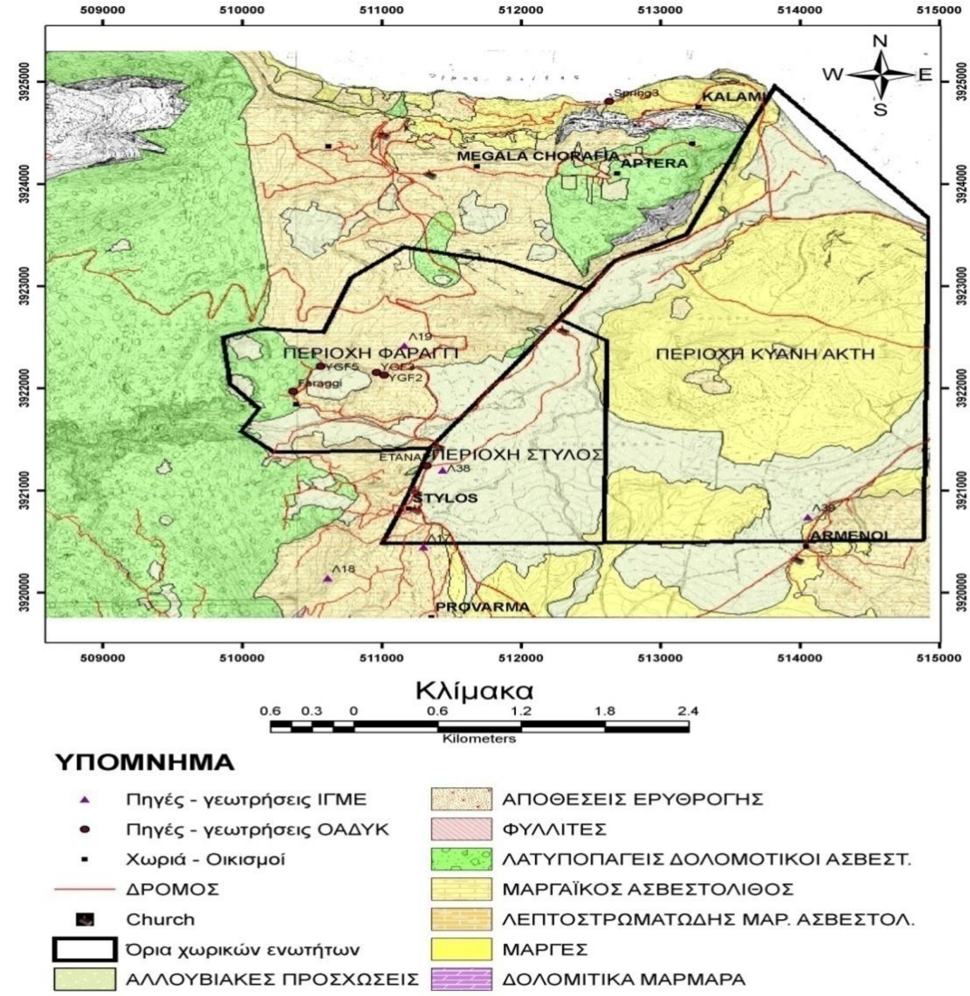
Η εισαγωγή των δεδομένων έγινε με τη χρήση του λογισμικού RockWorks2006. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα διαχείρισης γεωλογικών δεδομένων το οποίο δίνει την δυνατότητα οπτικοποίησης των δεδομένων, κατασκευής λιθολογικών και στρωματογραφικών μοντέλων σε δύο ή τρεις διαστάσεις, ογκομετρήσεων σχηματισμών, γεωστατιστικών υπολογισμών και πολλών άλλων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι γεωλογικά και γεωφυσικά. Τα γεωλογικά δεδομένα εισήχθησαν στο πρόγραμμα με τη μορφή γεωτρήσεων ενώ τα γεωφυσικά με τη μορφή βυθοσκοπήσεων, ηλεκτρικής τομογραφίας και σεισμικών. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν και ψευδογεωτρήσεις με στοιχεία από το γεωλογικό χάρτη επειδή τα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα δεν ήταν επαρκή.

4.2 Περιγραφή Του Προγράμματος Rockworks 2006

Το σύνολο των εργασιών για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου έγινε με την χρήση του λογισμικού πακέτου RockWorks 2006. Το λογισμικό RockWorks δημιουργήθηκε το 1985 και εξελίσσεται από την εταιρία Rockware Incorporated με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από την μεταλλευτική και την πετρελαϊκή βιομηχανία καθώς και για περιβαλλοντικές μελέτες, για την υπεδάφια οπτικοποίηση γεωλογικών δεδομένων και τη διαχείριση των βάσεων δεδομένων τους για την δημιουργία πλεγματικών και στερεών μοντέλων καθώς και τον υπολογισμό των όγκων τους. Το πρόγραμμα αποτελεί μια ολοκληρωμένη συλλογή γεωλογικών εφαρμογών. Διαθέτει μεγάλη ποικιλία από διάφορες δυνατότητες, που βοηθούν σε αυτές τις εφαρμογές, όπως: η απεικόνιση σημείων στο χάρτη (point mapping), η δημιουργία ισοϋψών (contouring), η δημιουργία κανάβων (gridding), η μοντελοποίηση όγκων-στερεών (solid-modelling), η δημιουργία στρωματογραφικών στηλών (strip logs), η δημιουργία διατομών (cross-sections), η δημιουργία τομών σχηματισμών ανάμεσα από γεωτρήσεις (Fence diagrams). Η παρούσα έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η πιο πρόσφατη έκδοση 2006, που είναι ενημερωμένη με όλα τα σύγχρονα γεωλογικά υπολογιστικά εργαλεία. Οι δυνατότητες που παρέχει αυτό το πρόγραμμα και οι διαδικασίες με τις οποίες επιτυγχάνεται η μοντελοποίηση των γεωλογικών δεδομένων περιγράφονται παρακάτω :

- **Εισαγωγή γεωλογικών δεδομένων**

Ο συνολικός αριθμός των γεωτρήσεων για την περιοχή μελέτης είναι εννέα. Το πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή των γεωλογικών δεδομένων στο πρόγραμμα Rockworks2006. Αρχικά εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα για την κάθε γεώτρηση (συντεταγμένες, υψόμετρο, μέγιστο βάθος κ.τ.λ.), που θα βοηθήσουν στη δημιουργία των διαφόρων διαγραμμάτων και χαρτών. Τα γεωτρητικά δεδομένα προέκυψαν από το γεωτρητικό έργο «Κατασκευή Υδροληπτικών έργων Αγιάς και πειραματικών Υδρογεωτρήσεων πηγών Στύλου και Αρμένων» που ανατέθηκε από τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (Ο.Α.ΔΥ.Κ) στην εταιρεία ΓΑΙΑΚΜΗ Ε.Π.Ε., υπό την επίβλεψη του γεωλόγου κ. Κ. Σερελή. Οι γεωτρήσεις υλοποιήθηκαν κατά τα έτη 1980 – 1982. Στο Σχήμα 4.1 διαχωρίζεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης σε μικρότερες χωρικές ενότητες, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και των γεωτρήσεων. Στη συνέχεια φαίνεται ένα δείγμα των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των γεωτρήσεων τα οποία εισάχθηκαν στο πρόγραμμα Rockworks2006.



Σχήμα 4..1:Διαχωρισμός της ευρύτερης περιοχής μελέτης σε μικρότερες χωρικές ενότητες, όπου απεικονίζονται και οι θέσεις των πηγών και των γεωτρήσεων

Πίνακας 4. 1: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΥΓΦ2.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΓΦ2 **Πηγάδια – ΒΑ της πόλγης (Μέγιστο βάθος 50 m)** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 511017 , Y = 3922130 , Z = + 30,79				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**

Λευκός μαργαϊκός ασβεστόλιθος	20	0	Στάθμη νερού στα 20.41m Αγωγιμότητα 837 (μS/cm)	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Μαύρος δολομιτικός ασβεστόλιθος διερρηγμένος και με καρστ	12	20		Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
Μυλωνιτοποιημένος Λευκός μαργαϊκός ασβεστόλιθος	15	32		μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Άργιλος	1	47		μάργες
Μαύρος δολομιτικός ασβεστόλιθος καρστικός και κυψελώδης	-	48		Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι

Πίνακας 4. 2: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΥΓΦ3.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΓΦ3 Πηγάδια Φαραγγιού– ΒΑ της πόλγης (Μέγιστο βάθος 51 m) ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510963 , Y = 3922156 , Z = + 28				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**
Διερρηγμένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος	22	0	Στάθμη νερού στα 23.09m Αγωγιμότητα 598 (μS/cm)	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Διερρηγμένος και καρστικοποιημένος μαύρος δολομιτικός ασβεστόλιθος	-	22		Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
Μαύρος δολομιτικός ασβεστόλιθος διερρηγμένος και με καρστικοποιημένος, κυψελώδους υφή	-	53		Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι

Πίνακας 4. 3: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΥΓΦ5.

<table>
<tr><th colspan="5">ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΓΦ5

Δυτικά της πόλγης (Μέγιστο βάθος 40 m)

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510563 , Y = 3922216 , Z = + 28,42</th></tr>
<tr><th>Σχηματισμός</th><th>Πάχος (m)</th><th>Βάθος (m)</th><th>Παρατηρήσεις</th><th>Ενοποίηση σχηματισμών</th></tr>
<tr><td>Μαργαϊκός ασβεστόλιθος διαφόρου σκληρότητας με πολλά καρστ</td><td>32</td><td>0</td><td rowspan="2">Στάθμη νερού στα 17.9m Αγωγιμότητα 417 (μS/cm)</td><td>μαργαϊκός ασβεστόλιθος</td></tr>
<tr><td>Κατακερματισμένος καρστικός δολομιτικός ασβεστόλιθος</td><td>-</td><td>32</td><td>Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι</td></tr>
</table>

Πίνακας 4. 4: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΕΓΣ - ΦΑΡΑΓΓΙ.

<table>
<tr><th colspan="5">ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΕΓΣ - ΦΑΡΑΓΓΙ

Φαράγγι – (Μέγιστο βάθος 85 m)

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510365 , Y = 3921969 , Z=33</th></tr>
<tr><th>Σχηματισμός</th><th>Πάχος (m)</th><th>Βάθος (m)</th><th>Παρατηρήσεις</th><th>Ενοποίηση σχηματισμών</th></tr>
<tr><td>Ασβεστόλιθος διερρηγμένος με μέτριο κάρστ</td><td>53</td><td>0</td><td rowspan="3"></td><td>μαργαϊκός ασβεστόλιθος</td></tr>
<tr><td>Δολομιτικός ασβεστόλιθος κρυσταλλικός με πολλά μικροκενά</td><td>16</td><td>110</td><td>Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι</td></tr>
<tr><td>Λατυποπαγής δολομιτικός ασβεστόλιθος κρυσταλλικός, διερρηγμένος</td><td>16</td><td>126</td><td>Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι</td></tr>
</table>

Δολομιτικός ασβεστόλιθος κρυσταλλικός με αρκετά κενά	16	132		Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι

Πίνακας 4. 5: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΕΓΣ- 33.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΕΤΑΝΑΠ **Στύλος – Δισαλορέματα (Μέγιστο βάθος 52 m)** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: Χ =511329 , Υ =3921247 , Ζ= 29				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**
Επιφανειακές προσχώσεις		1,5		Επιφανειακές προσχώσεις
ιλυόλιθοι		32		μάργες
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος		52		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος

Πίνακας 4. 6: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΕΓΣ- 28.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΕΓΣ – 28 **Στύλος – Δισαλορέματα (Μέγιστο βάθος 55 m)** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: Χ =511143 , Υ =3920175 , Ζ=41				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**
Φερτά υλικά	2	0	Στάθμη νερού στα 20.60 m	Επιφανειακές προσχώσεις
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κατακερματισμένος διαπερατός	18	2		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Πλαστική ερυθρά άργιλος	1	20		μάργες

Μαργαϊκός ασβεστόλιθος εναλλασσόμενος με λευκή μάργα κατά στρώματα	16	21		μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Κρυσταλλικός ασβεστόλιθος μαργαϊκός με εναλλαγές μάργας	5	37		μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Γκριζόμαυρη συμπαγής αδιαπέρατη μάργα	-	42		μάργες

Πίνακας 4. 7: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΥΓΣ- 21 - Β.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΓΣ – 21-Β **Στύλος – Κτήμα Αντιτσάκη (Μέγιστο βάθος 33 m)** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X =511180 , Y =3920498 , Z=35				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**
Χειμάρρειοι αποθέσεις (Άργιλος, Χάλικες, Κροκάλες)	2	0	Στάθμη νερού στα 10.8m	Επιφανειακές προσχώσεις
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος διερρηγμένος (εντός των διαρρήξεων ερυθρά άργιλος)	13	2		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Κροκάλες εκ μαργαϊκού ασβεστόλιθου	9	15		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
μαργαϊκός ασβεστόλιθος διερρηγμένος (εντός των διαρρήξεων ερυθρά άργιλος)	2	24		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Κιτρινόλευκος μαργαϊκός ασβεστόλιθος συμπαγής	-	26		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος

Πίνακας 4. 8: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΥΓΣ- 21 - Β.

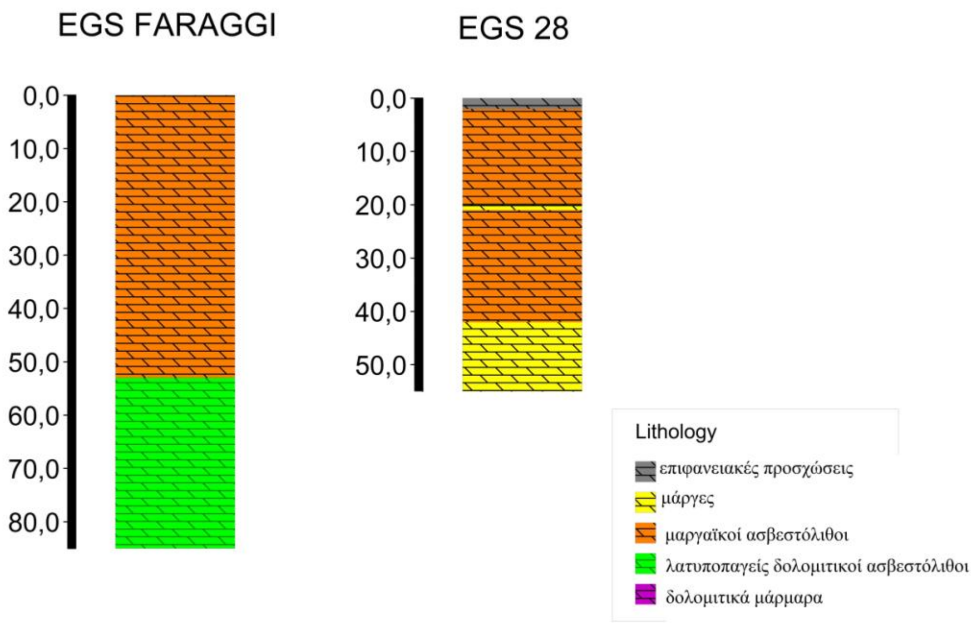
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΓΣ – 21-Γ **Στύλος – Κτήμα Ανιτσάκη (Μέγιστο βάθος 34 m)** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X =511209 , Y =3920480, Z=37				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**
Χειμάρρειοι αποθέσεις (Άργιλος, Χάλικες, Κροκάλες)	3	0	Στάθμη νερού στα 11m	Επιφανειακές προσχώσεις
Εναλλαγές κιτρινόλευκης μάργας μετά κιτρινόλευκου μαργαϊκού ασβεστόλιθου – μετρίως διερρηγμένος	17	3		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Κροκάλες εκ κιτρινόλευκου μαργαϊκού ασβεστόλιθου μετά ερυθράς ιλύος	3	20		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Κιτρινόλευκος διερρηγμένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος μετά ερυθράς πλαστικής αργίλου	-	23		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος

Πίνακας 4. 9: Γεωλογικός χαρακτηρισμός της γεώτρησης ΥΓΣ- 21 - Β.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΓΣ – 27 **Στύλος – Κτήμα Πισσαδάκη (Μέγιστο βάθος 51,5 m)** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X =511164 , Y =3920175 , Z=40				
Σχηματισμός	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Παρατηρήσεις**	**Ενοποίηση σχηματισμών**

Φερτά υλικά	3	0		Επιφανειακές προσχώσεις
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος με άργιλος σε στρώματα	6	3		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κατακερματισμένος	9	9		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
ερυθρά πλαστική άργιλος	1	18	Στάθμη νερού στα 26 m	μάργες
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος με στρώσεις μάργας και ερυθράς αργίλου	16	19		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Κρυσταλλικός μαργαϊκός ασβεστόλιθος κατακερματισμένος	8	35		Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Γκριζόμαυρη συμπαγής αδιαπέρατος μάργα	-	43		μάργες

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω γεωτρήσεις λόγω της μεγάλης πληθώρας γεωλογικών δεδομένων έγινε ενοποίηση των γεωλογικών μας σχηματισμών τα οποία εισήχθησαν στο Rockworks 2006 .Για παράδειγμα τα φερτά υλικά εντάχθηκαν στην κατηγορία των επιφανειακών προσχώσεων και ο έντονα καρστικοποιημένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος στην κατηγορία των μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στο Rockworks 2006 . Η δημιουργία λιθολογικών στηλών παρέχουν πληροφορίες για την κάθε γεώτρηση ξεχωριστά. Η εναλλαγή σχημάτων και χρωμάτων δείχνουν την εναλλαγή στρωμάτων σε κάθε γεώτρηση και έτσι γίνεται εύκολη η κατανόηση της λιθολογίας σε κάθε σημείο της. Δείχνει επίσης το βάθος και το πάχος των στρωμάτων. Στο σχήμα (4.2) φαίνονται δύο στήλες στρωματογραφίας για τα σημεία της γεώτρησης ΕΓΣ-28 και ΕΓΣ-ΦΑΡΑΓΓΙ. Στο σημείο ΕΓΣ-28 για παράδειγμα, η οποία έχει 41 m υψόμετρο, φαίνεται ότι οι επιφανειακές προσχώσεις έχουν πάχος 2m, ακολουθούν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με πάχος 18m ύστερα οι μάργες με πάχος 1m και τέλος οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και οι μάργες με αντίστοιχα πάχη 21m και 13m.

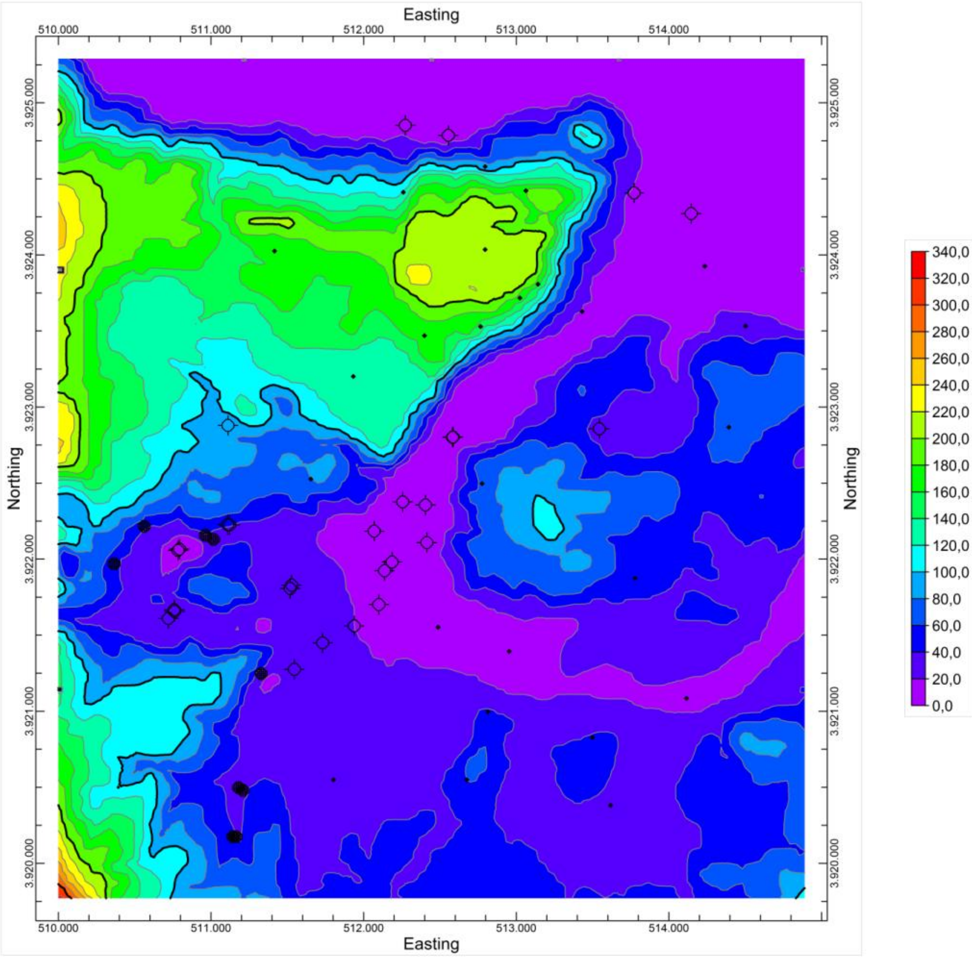


Σχήμα 4.2 Λιθολογικές στήλες ΕΓΣ-ΦΑΡΑΓΓΙ και ΕΓΣ-28

- ## Εισαγωγή τοπογραφικών δεδομένων

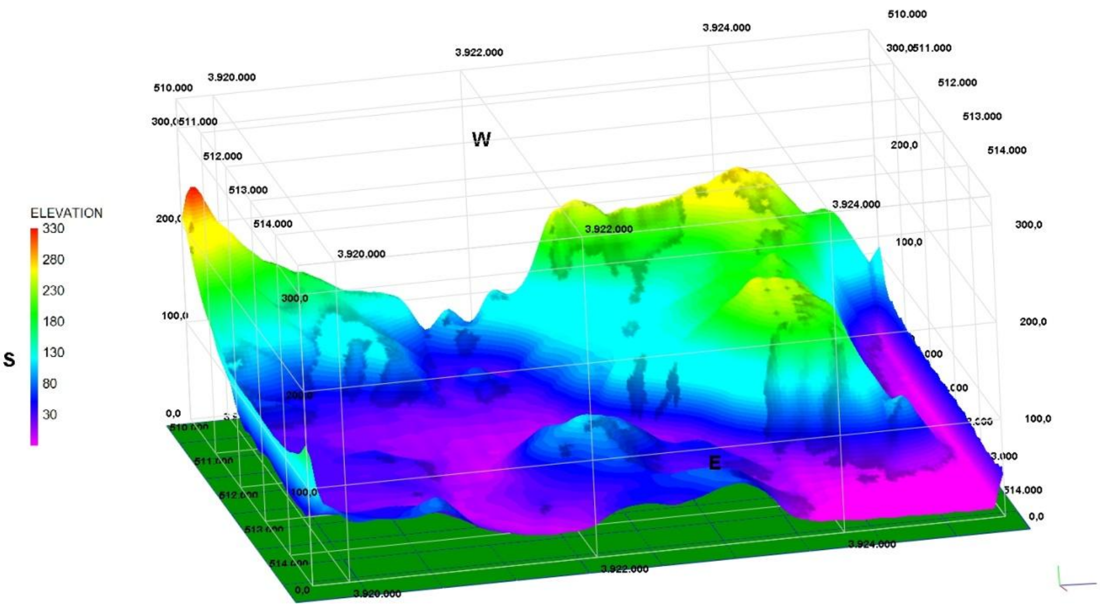
Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία χαρτών. Για κάθε είδος χαρτογράφησης υπάρχει μια εντολή με διάφορες επιλογές, οπότε εύκολα και γρήγορα μπορούν να δημιουργηθούν: χάρτες που απεικονίζουν τα διάφορα σημεία (point maps), χάρτες ισοϋψών, χάρτες ισοϋψών βάσει κανάβων (grid-based contour maps), τρισδιάστατοι χάρτες επιφάνειας (3D surface maps) κ.α. Τα δεδομένα που εισάγονται στο λογισμικό για την δημιουργία ενός χάρτη πλέγματος είναι συντεταγμένες σημείων της περιοχής οι οποίες προέκυψαν από το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM). Στο σχήμα (4.3) φαίνεται ένας χάρτης πλέγματος που δημιουργήθηκε από το

Rockworks2006 για την περιοχή μελέτης . Τα διάφορα σημεία των βυθοσκοπήσεων, γεωτρήσεων, ψευδογεωτρήσεων καθώς και τα αντίστοιχα σύμβολα φαίνονται επίσης στο χάρτη. Συγκεκριμένα οι μικρές κουκκίδες αφορούν τις ψευδογεωτρήσεις οι μεγάλες μαύρες τις γεωτρήσεις και οι ανοιχτές τα γεωφυσικά δεδομένα



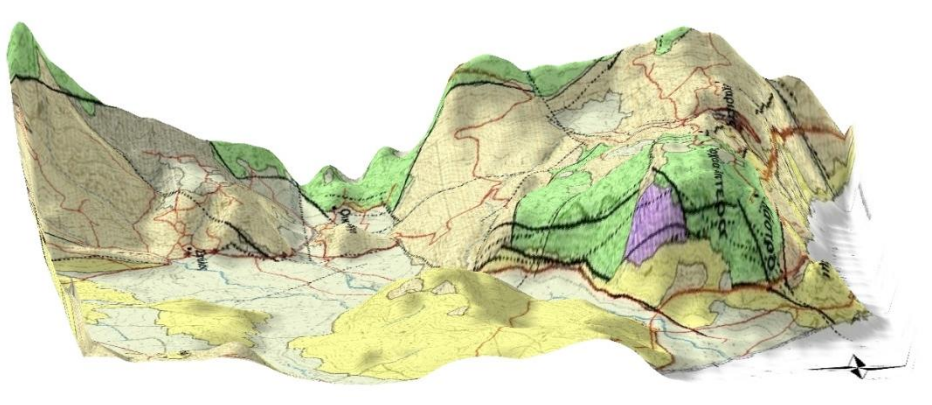
Σχήμα 4.3 Δισδιάστατος χάρτης πλεγματικού μοντέλου

Τέλος επειδή χρειάζεται απεικόνιση ανάγλυφου επιλέγεται το τρισδιάστατο για να αναπαρασταθεί η επιφάνεια που μελετάται. Το σχήμα 4.4 απεικονίζει ένα τρισδιάστατο χάρτη επιφάνειας . Τα διαφορετικά χρώματα (συνήθως τα πιο έντονα) απεικονίζουν περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο.



Σχήμα 4.4. :Τρισδιάστατο πλεγματικό μοντέλο(vertical exaggeration=8)

Σ' αυτό το πλεγματικό μοντέλο θα επικολληθεί στη συνέχεια ο γεωλογικός χάρτης με τις συντεταγμένες του οποίου κατασκευάστηκε το πλεγματικό μοντέλο. Απ' το μενού του Geological Utilities επιλέγεται απ' τη μπάρα εργαλείων η επιλογή Grafix➔3D Utilities➔Images➔Drape. Έτσι υποδεικνύεται στο πρόγραμμα να «επικολλήσει» επάνω στο πλεγματικό μοντέλο τον γεωλογικό χάρτη. Το σχήμα 4.5 απεικονίζει το γεωλογικό χάρτη πάνω στο πλεγματικό μοντέλο



Σχήμα 4.5 : Επισύναψη γεωλογικού χάρτη στο πλεγματικό μοντέλο

- **Εισαγωγή γεωφυσικών δεδομένων**

Ο αριθμός των βυθοσκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης είναι δεκατρείς. Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των γεωφυσικών δεδομένων στο πρόγραμμα Rockworks2006. Στη συνέχεια εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα για την κάθε βυθοσκόπηση (συντεταγμένες, υψόμετρο κ.τ.λ.), που θα βοηθήσουν στη δημιουργία των διαφόρων διαγραμμάτων και χαρτών. Στον παρακάτω πίνακα 4.2.5 φαίνεται ένα δείγμα των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των βυθοσκοπήσεων τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα Rockworks2006. Στο σχήμα 4.6 απεικονίζονται οι θέσεις των γεωφυσικών διασκοπήσεων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Πίνακας 4.10:Συνοπτική παρουσίασης των αποτελεσμάτων των ερευνητικών βυθοσκοπήσεων.

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Η1 (360 m) **Πόλγη – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510784 , Y = 3922057, Z=12					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	22	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	14	24	1	Κορεσμένες αλλούβιες προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	498		25	Κορεσμένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Η2 (360 m) **Νότια της Πόλγης – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510761 , Y = 3921656, Z=31					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός**	**Ενοποιημένος**

				σχηματισμός	γεωλογικός σχηματισμός
1.	70	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	925	7	1	Ακόρεστες Αλλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	113	22	8	Καρστικοποιημένος Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	253		31	Συμπαγής μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ H3 (384 m) **Πεδιάδα Κοιλιάρη – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 512256 , Y = 3922376 Z=4					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	106	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	37	7	1	Μάργες	Μάργες
3.	225	6	8	Καρστικοποιημένος Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	57		14	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε θαλασσινό νερό ή μάργα	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Α2 (660 m)					

Πεδιάδα Κοιλιάρη – Αλλουβιακές προσχώσεις ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 512186 , Y = 3921981, Z=10					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	192	2		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	390	2	2	Αλλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	113	34	4	Καρστικοποιημένος Μαργαϊκός ασβεστόλιθος με προσμίξεις αργιλικών κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	79		38	Καρστικοποιημένος Μαργαϊκός ασβεστόλιθος με προσμίξεις αργιλικών κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Α3 (740 m) **ΒΑ Πεδιάδα Κοιλιάρη –Μάργες** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 512586 , Y = 3922803, Z=6					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	104	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	15	2	1	Αλλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	112	4	3	Αλλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις

4.	14	32	7	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος (?) – Πιθανό ρήγμα	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
5.	522		39	Συμπαγής μαργαϊκός ασβεστόλιθος	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Α4 (700 m) **Ανατολικά της Πόλγης – Μαργαϊκός ασβεστόλιθος** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: Χ = 511122 , Υ = 3922225, Ζ=44					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	537	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	143	2	1	Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	274	15	3	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	3163	42	18	Κορεσμένος δολομιτικός ασβεστόλιθος	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
5.	224		60	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό (?)	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Α5 (700 m) **Βόρεια της πόλγης – Μαργαϊκός ασβεστόλιθος** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: Χ = 511111 , Υ = 3922879, Ζ=87					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**

1.	235	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	33	9	1	Πλευρικά κορήματα αργιλικής σύστασης	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	432	28	10	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	4300		38	Δολομιτικός ασβεστόλιθος	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ S1 (1020 m) **Πεδιάδα Κοιλιάρη – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 512414 , Y = 3922109, Z=8					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	887	1		Ακόρεστο εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	504	5	1	Ακόρεστες Αλλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	45	18	6	Καρστικοποιημένος Μαργαϊκός ασβεστόλιθος με προσμίξεις αργιλικών κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	4689		24	Δολομιτικός ασβεστόλιθος	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ S2 (780 m) **Πεδιάδα Κοιλιάρη – Αλλουβιακές προσχώσεις**					

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 512069 , Y = 3922184, Z=9					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	1000	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	67	5	1	Αλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	25	5	6	Κορεσμένες Αλλουβιακές προσχώσεις	Επιφανειακές προσχώσεις
4.	188	12	11	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
5.	32		23	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος με προσμείξεις αργίλων κορεσμένος σε θαλασσινό (?) νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος

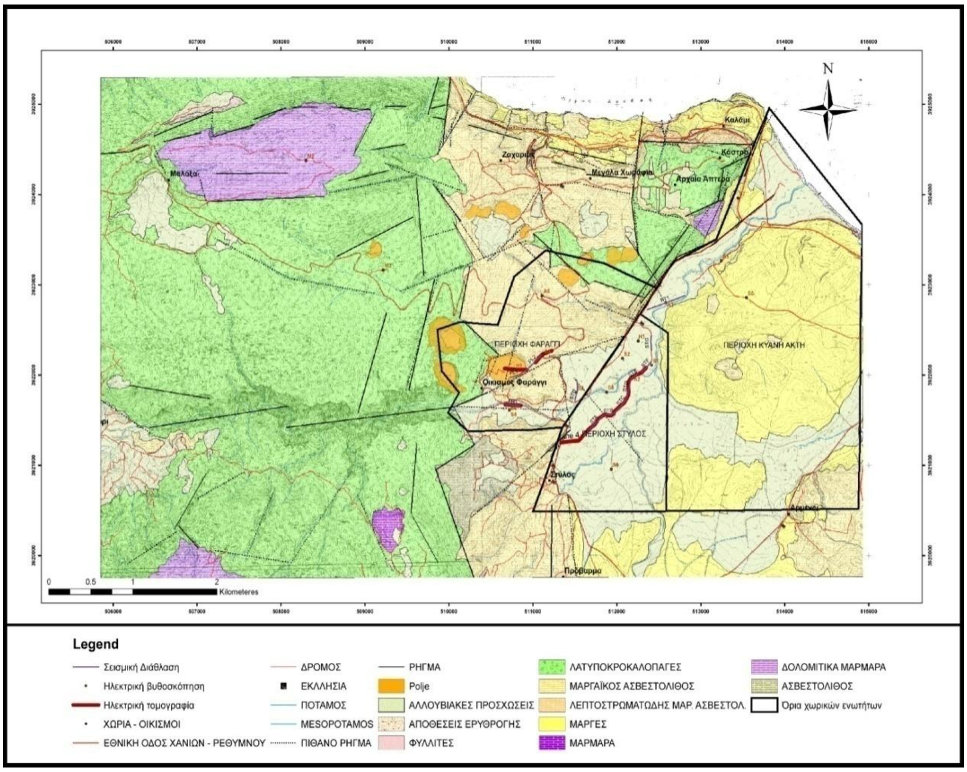
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ S3 (1020 m) **Πεδιάδα Κοιλιάρη – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 511519 , Y = 3921807, Z=23					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	265	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	69	1	1	Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	553	5	2	Αλουβιακές προσχώσεις με	Επιφανειακές

				συντρίμματα μαργαϊκού ασβεστόλιθου	προσχώσεις
4.	107	16	7	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
5.	3091		23	Συμπαγής μαργαϊκός ασβεστόλιθος ή δολομιτικός ασβεστόλιθος	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ S4 (174 m) **Νότια της Πόλγης – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510721 , Y = 3921610, Z=31					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	860	3		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	2820	3	3	Ακόρεστες Αλλουβιακές προσχώσεις, πιθανόν με ασβεστολιθικά εγκλείσματα	Επιφανειακές προσχώσεις
3.	196	18	6	Καρστικοποιημένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	612		24	Συμπαγής μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ S5 (1480 m)					

Λόφος μάργας – Μάργα ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 513544 , Y = 3922857, Z=37					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	76	1		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	21	17	1	Μάργες	Μάργες
3.	105	18	18	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	10	97	26	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε θαλασσινό νερό ή μάργες	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
5.	1233		123	Συμπαγής δολομιτικός ασβεστόλιθος	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι

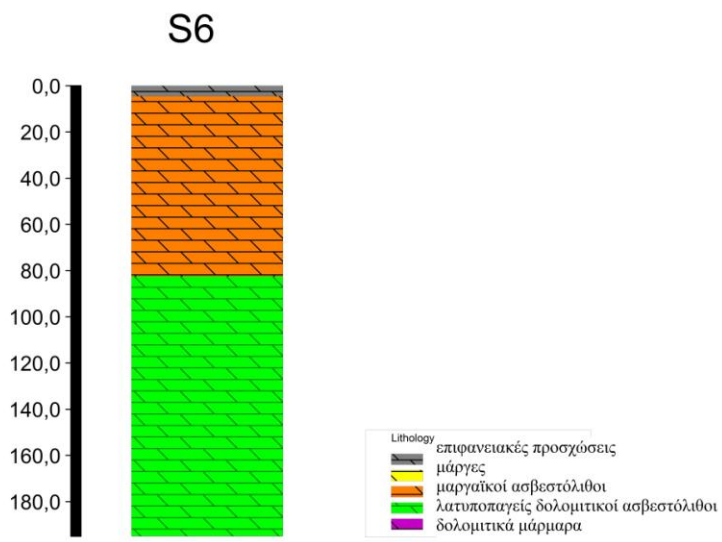
ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ S6 (780 m) **Νότια της Πόλγης – Αλλουβιακές προσχώσεις** ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: X = 510721 , Y = 3921610, Z=31					
α/α	**ρ (ohm.m)**	**Πάχος (m)**	**Βάθος (m)**	**Γεωλογικός σχηματισμός**	**Ενοποιημένος γεωλογικός σχηματισμός**
1.	328	1.5		Εδαφικό κάλυμμα	Επιφανειακές προσχώσεις
2.	225	3	4.5	Ακόρεστες Αλλουβιακές προσχώσεις,	Επιφανειακές προσχώσεις

3.	441	7	11.5	Ακόρεστος καρστικοποιημένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
4.	92	20	31.5	Καρστικοποιημένος μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
5.	277	51	82.5	Συμπαγής μαργαϊκός ασβεστόλιθος κορεσμένος σε νερό	μαργαϊκός ασβεστόλιθος
6.	1869			Συμπαγής δολομιτικός ασβεστόλιθος	Λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι



Σχήμα 4.6: Διαχωρισμός της ευρύτερης περιοχής μελέτης σε μικρότερες χωρικές ενότητες, όπου απεικονίζονται και οι θέσεις των γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω βυθοσκοπήσεις δίνονται στοιχεία για τις συντεταγμένες τις κάθε βυθοσκόπησης για τα βάθη των γεωλογικών σχηματισμών και την ειδική ηλεκτρική αντίσταση όπως και το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων της κάθε βυθοσκόπησης. Για το λόγο της μεγάλης πληθώρας γεωλογικών δεδομένων όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες ομαδοποιήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή γεωλογικών δεδομένων. Γνωρίζοντας το μέγιστο ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος υπολογίστηκε το μέγιστο βάθος (εξαρτάται από το ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος της βυθοσκόπησης) της κάθε βυθοσκόπησης . Στην παρακάτω εικόνα 4.7 παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στο Rockworks 2006 με τη μορφή λιθολογικής στήλης όσο αφορά την βυθοσκόπηση S6.



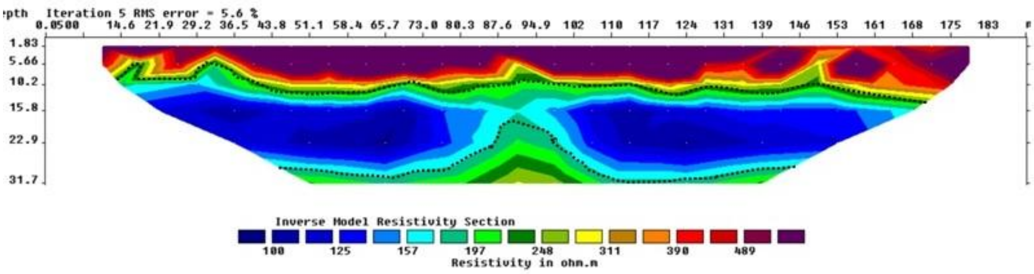
Σχήμα 4.7 Λιθολογική στήλη S6

Εκτός όμως από τις βυθοσκοπήσεις χρησιμοποιήθηκαν οχτώ γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας και τρεις σεισμικής διάθλασης. Συγκεκριμένα, κρίθηκε απαραίτητη η διερεύνηση θέσεων πιθανών ρηγμάτων που υποδείχτηκε από την λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση, με σκοπό τον εντοπισμό τεκτονικών συνθηκών που ευνοούν την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Επίσης, θέσεις όπου η ηλεκτρική βυθοσκόπηση εντόπισε ζώνες πολύ χαμηλής τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ή υπήρχε δυσκολία στην γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων της βυθοσκόπησης, επιλέχτηκαν για περαιτέρω διερεύνηση με την ηλεκτρική τομογραφία, καθώς αποτελεί μέθοδο υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στόχος της σεισμικής διασκόπησης ήταν να προσδιοριστεί η στρωματογραφία των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, καθώς και να εντοπιστούν πιθανές τεκτονικές συνθήκες που ευνοούν την διείσδυση του θαλασσινού νερού.

Η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας L1 πραγματοποιήθηκε 200 m περίπου νοτιοανατολικά της πόλγης του χωριού Φαράγγι, κοντά στην θέση της βυθοσκόπησης Η2 για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της βυθοσκόπησης . Η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ήταν Δ προς Α, ενώ η διάταξη Wenner – Schlumberger επιλέχτηκε για την συλλογή των δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκαν 28 ηλεκτρόδια με απόσταση α = 7 m ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια, και συνολικό μήκους γραμμής μελέτης 189 m.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 4.8 όπου παρατηρούνται τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίσταση που κυμαίνονται από 600 μέχρι και 1000 ohm.m. Αυτό το στρώμα έχει πάχος 8-10 m περίπου, αν και φτάνει και τα 15 m στο ανατολικό τμήμα της γραμμής μελέτης.
- Ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα, με χαμηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (100 – 180) ohm.m.
- Το τελευταίο γεωηλεκτρικό στρώμα, που βρίσκεται σε βάθη 25 - 30 m από την επιφάνεια, και έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση 200 – 300 ohm.m.



Σχήμα 4.8:Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L1, με διεύθυνση Δ-Α. Στον Χ άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον Ψ άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης, ενώ η διακεκομμένη μαύρη γραμμή δείχνει τα όρια των γεωηλεκτρικών στρωμάτων.

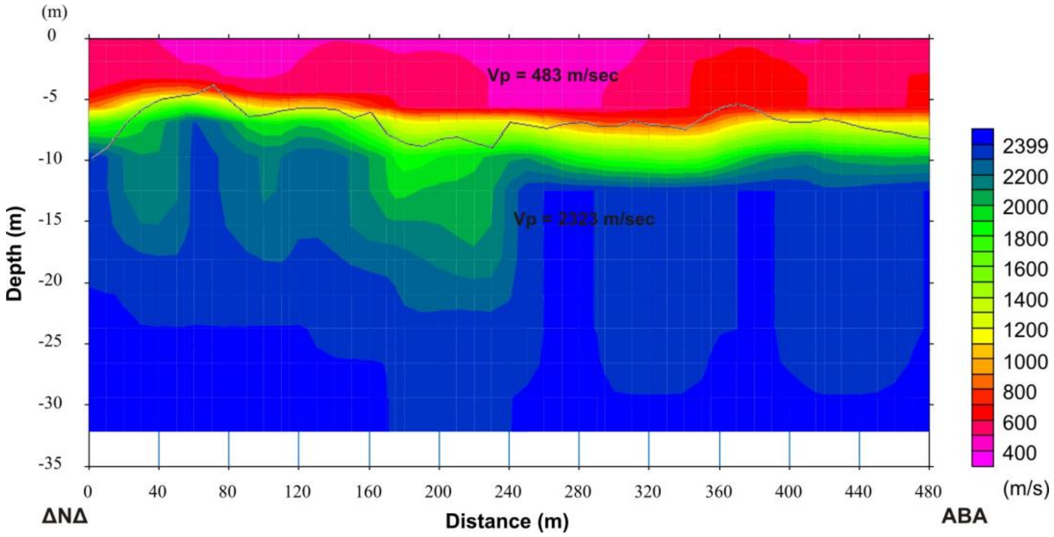
Λόγω της αλληλοεπικάλυψης ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας στα περισσότερα σημεία της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν μόνο τρεις γραμμές σεισμικών σαν δεδομένα στο πρόγραμμα.

Η σεισμική γραμμή CAS1 πραγματοποιήθηκε βορειανατολικά της εκκλησίας του Αγίου Ιωάννου. Αποτελείται από 2 αναπτύγματα 24 γεωφώνων, συνολικού μήκους 470 m και έχει διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ. Η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 10 m.

Στις σεισμικές καταγραφές πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των πρώτων αφίξεων των P - κυμάτων: α) με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και β) με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας.

Με βάση τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρατηρούνται δύο σεισμικά στρώματα:

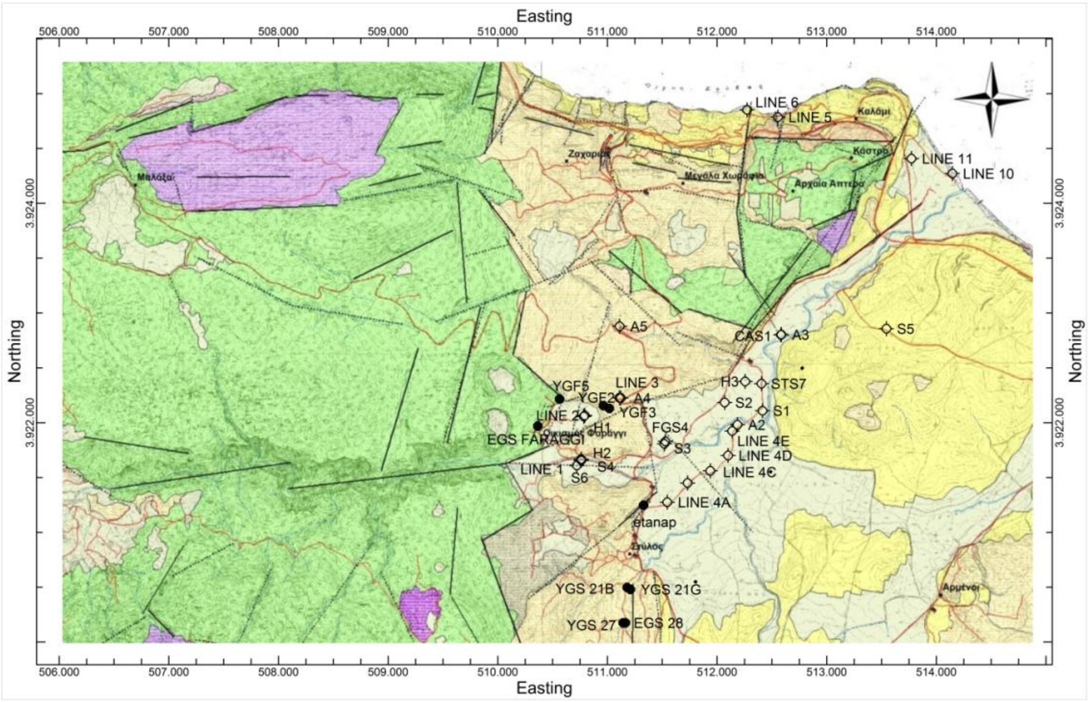
- Ένα επιφανειακό στρώμα με τιμές της ταχύτητας διάδοσης των P - κυμάτων που κυμαίνονται από 400 έως 1000 m/sec περίπου. Το πάχος του κυμαίνεται από τα 5 m στα ΔΝΔ έως τα 8 m περίπου στα ΑΒΑ της γραμμής μελέτης.
- Το δεύτερο στρώμα, υπόκειται του επιφανειακού και έχει ταχύτητα διάδοσης των P – κυμάτων 1000 – 2400 m/sec περίπου. Στα πρώτα 240 m της γραμμής μελέτης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας, παρατηρείται ομαλότερη διαβάθμιση της ταχύτητας διάδοσης των P – κυμάτων μέχρι τα 20 m περίπου.



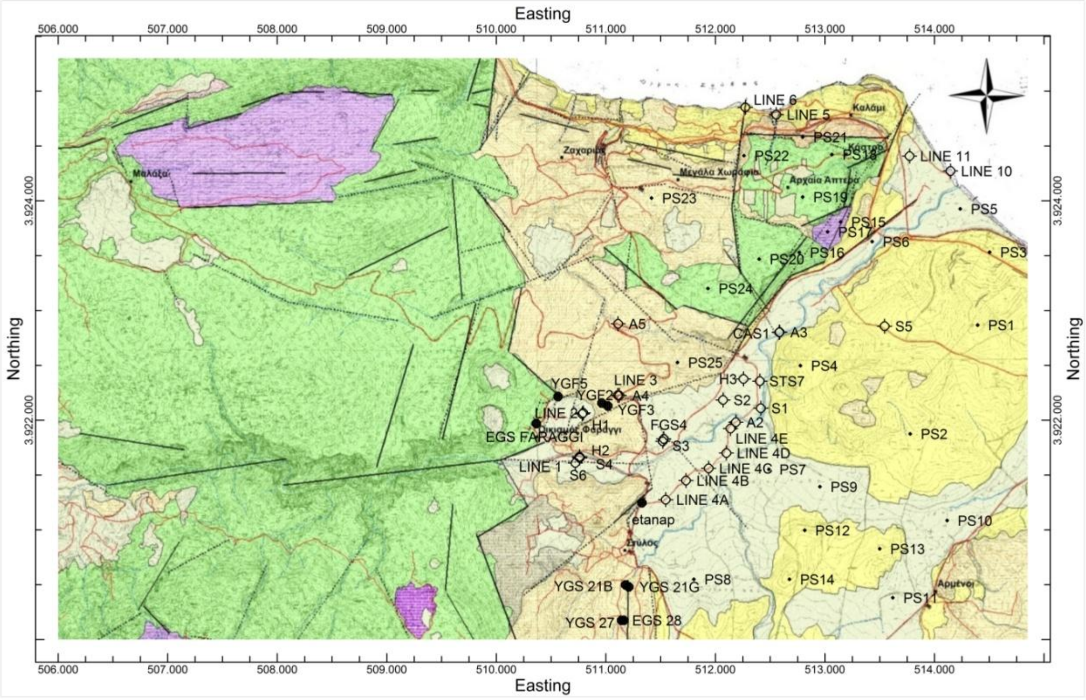
Σχήμα4.9: Υπέρθεση των αποτελεσμάτων της σεισμικής διάθλασης, της σεισμικής τομογραφίας και της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων για την σεισμική γραμμή CAS1. Ως Vp συμβολίζονται οι ταχύτητες που προέκυψαν από τη σεισμική διάθλαση, ενώ η οριζόντια τεθλασμένη γραμμή ορίζει τη διεπιφάνεια των στρωμάτων.

- **Εισαγωγή ψευδογεωτρήσεων**

Για το λόγο ότι τα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα που υπήρχαν δεν μπορούσαν να καλύψουν όλοι την περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ψευδογεωτρήσεις παίρνοντας στοιχεία από το γεωλογικό χάρτη της περιοχής. Ο συνολικός αριθμός των ψευδογεωτρήσεων είναι είκοσι πέντε. Στις παρακάτω εικόνες 4.10-4.11 παρουσιάζεται η αρχική περιοχή μελέτης χωρίς τις ψευδογεωτρήσεις και η τελική με τις ψευδογεωτρήσεις.



Σχήμα 4.10 Περιοχή μελέτης με γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα



Σχήμα 4.11 Περιοχή μελέτης με γεωλογικά, γεωφυσικά δεδομένα και ψευδογεωτρήσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ-ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Το επόμενο στάδιο της εργασίας αυτής, είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και γεωτρήσεων και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών σε δύο η τρεις διαστάσεις. Για το σκοπό αυτό επιλέχτηκε το πρόγραμμα Rockworks 2006 που διαθέτει το εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το RockWorks 2006 είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή γεωλογικών προγραμμάτων για ανάλυση, διαχείριση και παρουσίαση (Visualization) γεωλογικών δεδομένων.

5.2 Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου.

Το λογισμικό RockWorks 2006 έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα των γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων που έχουν ορισθεί μέσω της υποσέλιδος Borehole Manager, με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου. Χρησιμοποιεί ένα αλγόριθμο προεκτείνοντας οριζόντια τα δεδομένα μέχρι τη μισή απόσταση από την παρακείμενη γεώτρηση ή βυθοσκόπηση. Αν δεν υπάρχει γεώτρηση η βυθοσκόπηση προεκτείνεται οριζόντια μέχρι τα όρια του μοντέλου. Η δημιουργία αυτού του μοντέλου έγινε με βάση το αρχικό ανάγλυφο της περιοχής.

Για την κατασκευή του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα :

- Τα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα της περιοχής με τη μορφή γεωτρήσεων, βυθοσκοπήσεων καθώς και ψευδογεωτρήσεις.
- Το πλεγματικό μοντέλο που προέκυψε από τα τοπογραφικά δεδομένα.
- Ο αλγόριθμος του λογισμικού RockWorks2006 για την κατασκευή τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων. Οι παράμετροι για την εξαγωγή του μοντέλου περιελάμβαναν τα πεδία **Interpolate Outliers**, **Randomize Blending** και **Stratabound**. Στη παράμετρο Stratabound η επιφάνεια «περιορισμού» είναι το πλεγματικό μοντέλο της τοπογραφίας της περιοχής.

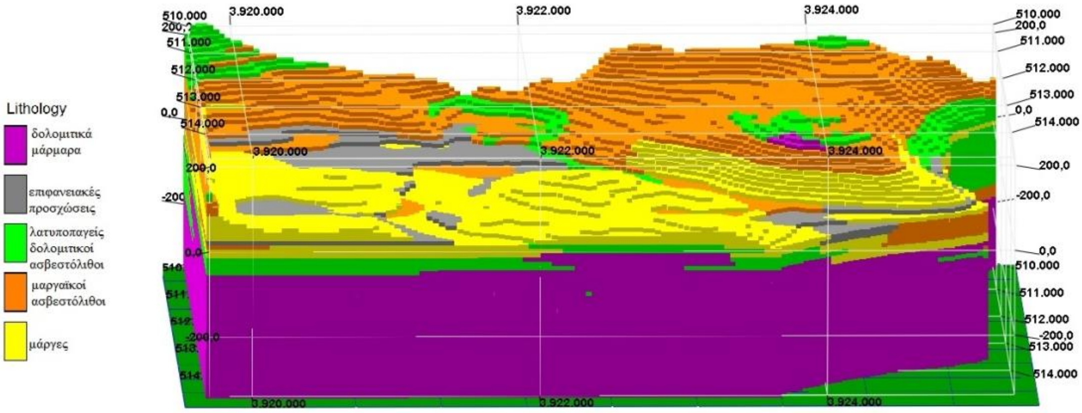
Ακολούθως περιγράφονται τα πεδία **Interpolate Outliers**, **Randomize Blending** και **Stratabound** :

- **Randomize Blending:** Η επιλογή αυτή εξομαλύνει τις απότομες αλλαγές στη λιθολογία.

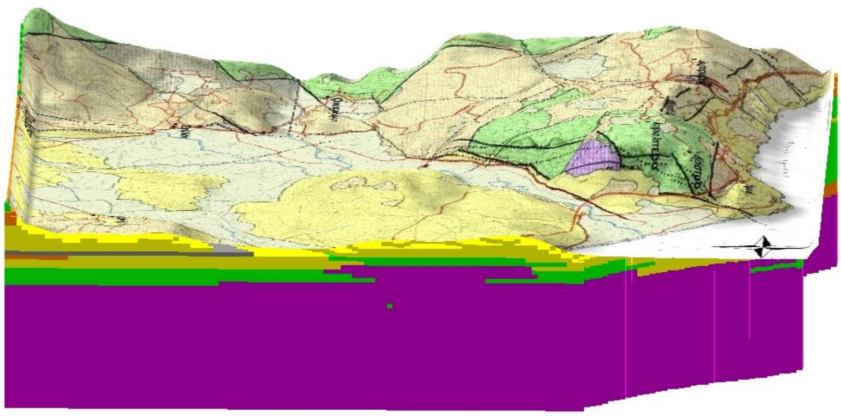
- **Interpolate Outliers:** Αν επιλεχθεί, το πρόγραμμα θα προσδιορίσει λιθολογικούς τύπους για όλους τους κόμβους, ασχέτως της απόστασής τους από μία γεώτρηση. Αν δεν επιλεχθεί, οι απομακρυσμένοι αυτοί κόμβοι, θα έχουν τιμή 0 για λιθολογικό τύπο.

- **Stratabound:** Η επιλογή αυτή «περιορίζει» το στερεό μοντέλο από μία ανώτερη ή κατώτερη επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι μόνο οι κόμβοι που βρίσκονται μεταξύ προκαθορισμένων επιφανειών θα συνυπολογιστούν. Η ανώτερη επιφάνεια μπορεί να είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο ή κάποιο άλλο επίπεδο. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τους κατάλληλους χάρτες πλέγματος (grid map) για να ορίσουν την άνω και κάτω επιφάνεια περιορισμού. Τέλος είναι πάρα πολύ σημαντικό το μοντέλο της επιφανείας καθώς και το τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο να έχουν ακριβώς τις ίδιες X, Y διαστάσεις καθώς και ίδιο διάκενο των κόμβων διότι τον μοντέλο ενδέχεται να μην λειτουργεί.

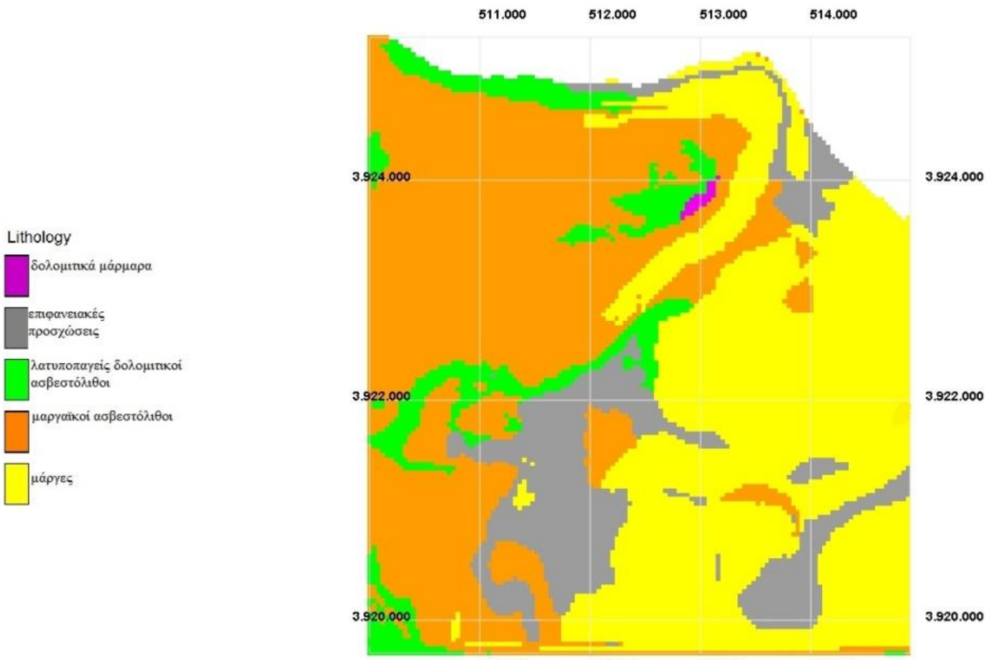
Στη επόμενη εικόνα (5.1) φαίνεται το τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο με την τοπογραφία στην εικόνα (5.2.) η επισύναψη του γεωλογικού χάρτη με το τρισδιάστατο προκαταρκτικό γεωλογικό μοντέλο και στην εικόνα (5.3) η κάτοψη του τρισδιάστατου μοντέλου



Σχήμα 5.1 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας του κοιτάσματος.(vertical exaggeration=3)



Σχήμα 5.2 : Επισύναψη τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου με γεωλογικό χάρτη



Σχήμα 5.3 :κάτοψη λιθολογικού μοντέλου

5.3. Σχολιασμός τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου με βάση τη γεωλογική χαρτογράφηση

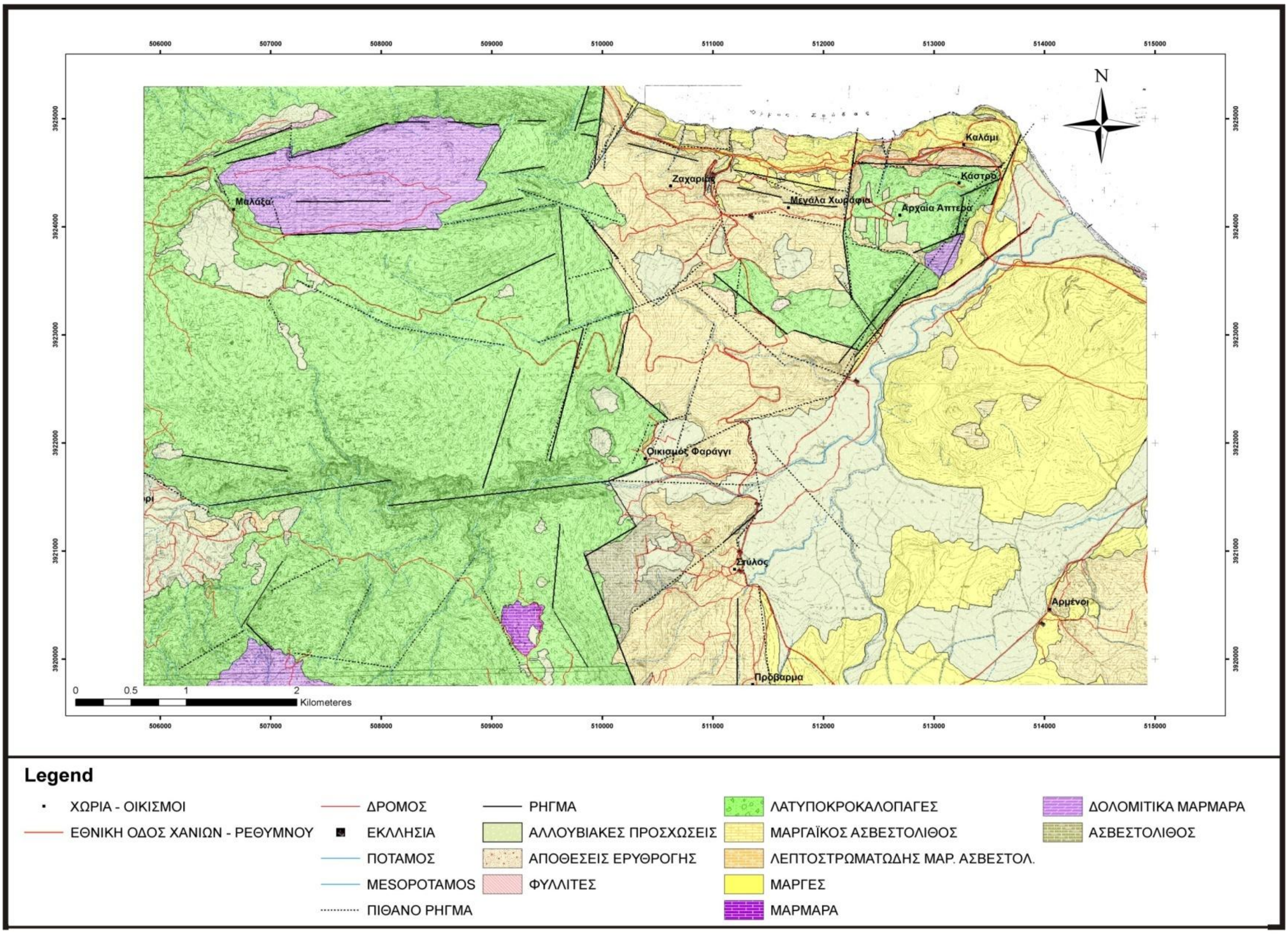
Όπως παρατηρείται το τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο αποτελείται από επιφανειακές προσχώσεις, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες, λατυποπαγείς δολομιτικούς ασβεστόλιθους, καθώς και δολομιτικά μάρμαρα.

Στο Σχήμα 5.4 παρατίθεται ο τελικός γεωλογικός χάρτης της περιοχής που προέκυψε από την λεπτομερή χαρτογράφηση, Από τον οποίο προέκυψαν τα εξής νέα στοιχεία:

- Η τεκτονικά κατώτερη στρωματογραφική ενότητα στην περιοχή είναι τα ανθρακικά πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων
- Η επόμενη στρωματογραφικά ενότητα η οποία έχει και την μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση στην περιοχή που δομείται από το αλπικό υπόβαθρο

είναι λατυποπαγή μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα πιθανώς της Ενότητας του Τρυπαλίου.

- Η λεκάνη του Νεογενούς έχει δημιουργηθεί από κανονικά ρήγματα που η διεύθυνση τους είναι γενικά ΒΒΔ – ΝΝΑ.
- Εντός της λεκάνης του Νεογενούς παρατηρείται ευδιάκριτα μια νεότερη λεκάνη πιθανώς του Τεταρτογενούς που έχει δημιουργηθεί από ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΑ – ΝΝΔ.
- Υπάρχει άμεση γεωμετρική σχέση με την δημιουργία της λεκάνης του Τεταρτογενούς και την ανύψωση του τεκτονικού κέρατος των Απτέρων.



Σχήμα 5.4 :Το αποτέλεσμα της τελικής γεωλογικής χαρτογράφησης

Η λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος με τίτλο «Περιβάλλον – Πυθαγόρας ΙΙ : “Συνδυασμένη γεωφυσική έρευνα για την ανίχνευση του μετώπου υφαλμύρινσης και την διαχείριση των υπογείων νερών στην περιοχή Στύλος Χανίων”». υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ.

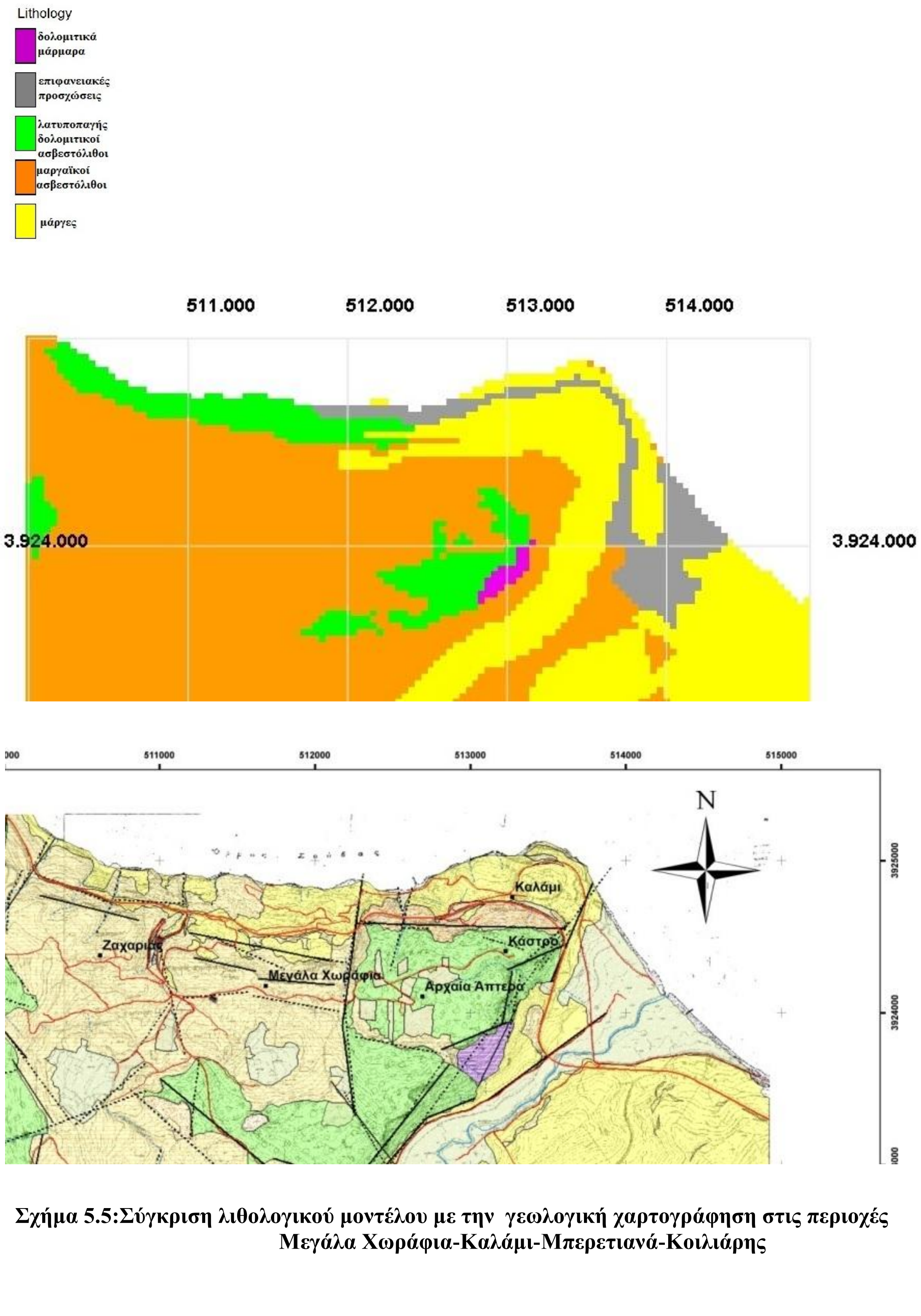
Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε στις ακόλουθες 5 περιοχές κατά τις εργασίες γεωλογικής χαρτογράφησης. Αυτές είναι οι εξής :

- Μεγάλα Χωράφια
- Καλάμι
- Μπερετιανά
- Κοιλιάρης
- Οικισμός Φαράγγι

Για λόγους ευκολίας η σύγκριση του λιθολογικού μοντέλου με τη γεωλογική χαρτογράφηση θα γίνει σε δύο περιοχές .Έτσι η περιοχή Φαράγγι παραμένει ως έχει και ενοποιούνται οι υπόλοιπες τέσσερις περιοχές.

5.3.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΓΑΛΑ ΧΩΡΑΦΙΑ- ΚΑΛΑΜΙ – ΜΠΕΡΕΤΙΑΝΑ-ΚΟΙΛΙΑΡΗΣ

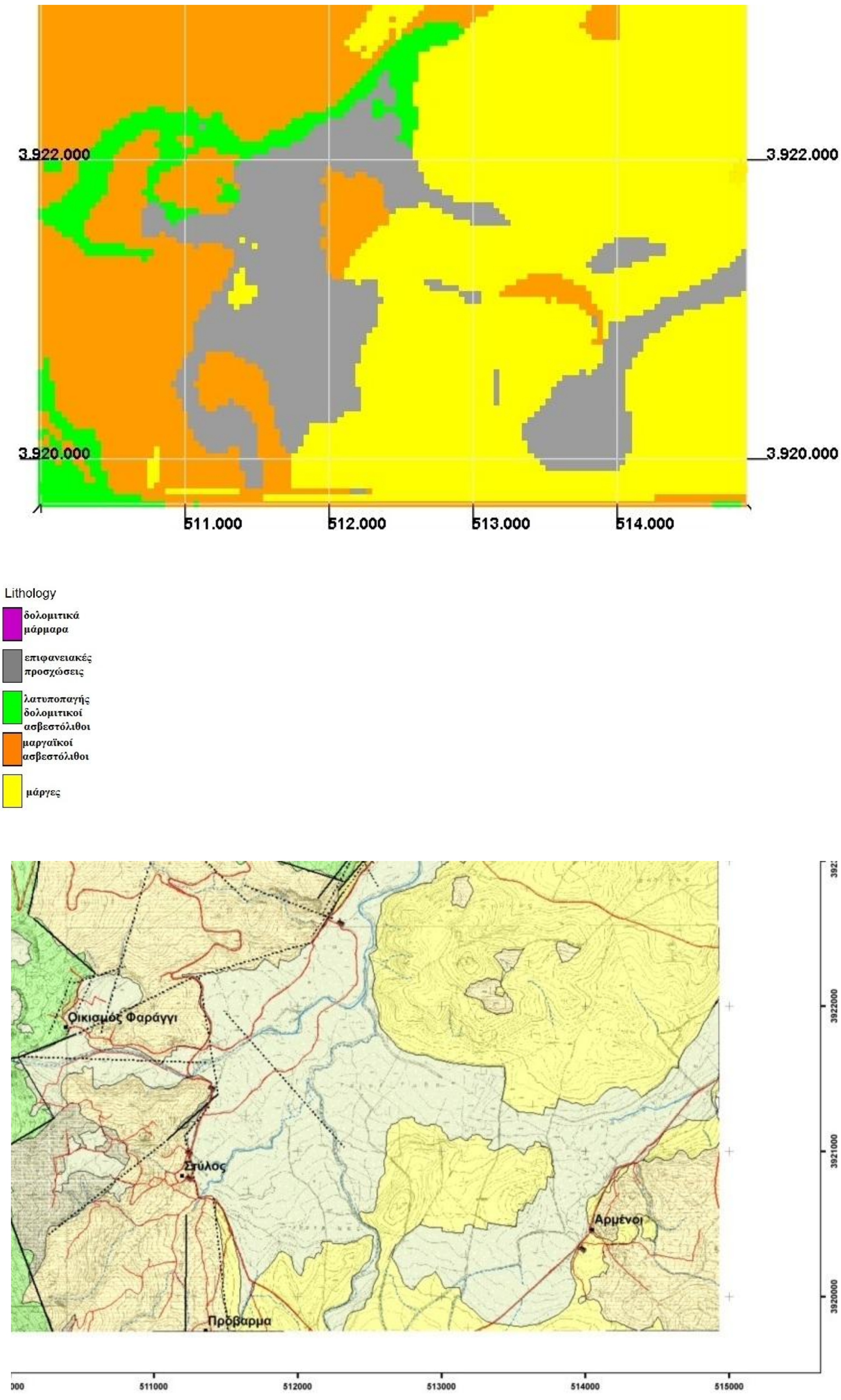
Στην περιοχή Μεγάλα Χωράφια παρατηρούνται κυρίως μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι (κατά θέσεις εναλλάσσονται με μάργες), που καλύπτουν σχεδόν το μεγαλύτερο τμήμα της. Στην περιοχή Καλάμι το Βόρειο τμήμα της καλύπτεται από θάλασσα, ενώ η περιοχή οριοθετείται περίπου 200 m Βόρεια του αρχαιολογικού χώρου των Απτέρων, και ανατολικά 200 m Βόρεια της εκβολής του ποταμού Κοιλιάρη στην θάλασσα. Το ελάχιστο υψόμετρο της περιοχής είναι αυτό της ακτογραμμής στο επίπεδο της θάλασσας (0 m) και μέγιστο 211 m στο ΝΑ τμήμα της περιοχής, 500 m δυτικά του κάστρου που βρίσκεται στο Νότιο τμήμα της περιοχής σε υψόμετρο 190 m περίπου. Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται λατυποπαγείς δολομιτικοί ασβεστόλιθοι στην περιοχή του Κάστρου. Επίσης είναι εμφανής η παρουσία μαργαϊκών ασβεστόλιθων όπως και μαργών. Στην περιοχή του Κοιλιάρη στο ΒΔ τμήμα της περιοχής βρίσκεται ο αρχαιολογικός χώρος Άπτερα σε μέσο υψόμετρο 215 m. ΝΑ του αρχαιολογικού χώρου και σε υψόμετρο μικρότερο των 200 m παρατηρούνται δολομιτικά μάρμαρα, τα οποία φαίνονται υποκείμενα του μετα-Λατυπο-κροκαλοπαγούς. Η παρουσία τους είναι αναμφισβήτητη λόγου της ύπαρξης μεγάλης τεχνητής τομής που προσφέρεται από την ύπαρξη ανενεργού λατομείου στο χώρο αυτό. Συγκρίνοντας τα στοιχεία από το γεωλογικό χάρτη με το λιθολογικό μοντέλο παρατηρείται στο κεντρικό κομμάτι η ύπαρξη δολομιτικών μαρμάρων μαζί με λατυποπαγείς δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Το μεγαλύτερο μέρος το καταλαμβάνουν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Στο ΝΑ τμήμα της περιοχής εμφανίζονται κυρίως μάργες και στο ΒΑ επιφανειακές προσχώσεις. Τέλος η μεγάλη προέκταση των λατυποπαγών δολομιτικών ασβεστόλιθων στο ΒΔ κομμάτι της κάτοψης του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου προκύπτει από την έλλειψη στοιχείων στο κομμάτι της περιοχής αυτής και επίσης όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω το Rockworks χρησιμοποιεί ένα αλγόριθμο προεκτείνοντας οριζόντια τα δεδομένα μέχρι τη μισή απόσταση από την παρακείμενη γεώτρηση η βυθοσκόπηση. Αν δεν υπάρχει γεώτρηση η βυθοσκόπηση προεκτείνεται οριζόντια μέχρι τα όρια του μοντέλου. Τέλος στο σχήμα (5.5) απεικονίζεται η κάτοψη του λιθολογικού μοντέλου με την γεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή αυτή.



Σχήμα 5.5:Σύγκριση λιθολογικού μοντέλου με την γεωλογική χαρτογράφηση στις περιοχές Μεγάλα Χωράφια-Καλάμι-Μπερετιανά-Κοιλιάρης

5.3.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΑΡΑΓΓΙ

Στο ΒΔ τμήμα της περιοχής υπάρχει πόλγη, η οποία είναι και η μεγαλύτερη που παρατηρήθηκε στην ευρύτερη περιοχή έρευνας και βρίσκεται ΒΑ του οικισμού Φαράγγι. Η πόλγη είναι πληρωμένη με ιζήματα του Τεταρτογενούς (κυρίως πηλοί και άργιλοι), ενώ η βλάστηση της είναι ελώδης. Η παρουσία της πόλγης στην περιοχή αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό δείκτη του έντονου βαθμού καρστικοποίησης των ανθρακικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής. Περιφερειακά της πόλγης υπάρχουν 3 γεωτρήσεις, η ΥΓΦ5 βρίσκεται στο Δυτικό της τμήμα (υψόμετρο 29 m), οι υπόλοιπες δύο (ΥΓΦ2, ΥΓΦ3) στα ΒΑ της πόλγης, σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, σε υψόμετρα 28 m και 30 m αντίστοιχα. Από τα δελτία απογραφής των γεωτρήσεων εκτιμάται το πάχος των μαργαϊκών Ασβεστόλιθων λίγο μεγαλύτερο από 20m. Νοτιότερα απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ενώ σε άλλες θέσεις εναλλάσσονται με μάργες. Κατά θέσεις είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και το υποκείμενο (-μετα)-Λατυπο-κροκαλοπαγές ανθρακικό πέτρωμα, το οποίο εμφανίζεται στα δυτικά του οικισμού Φαράγγι. Συγκρίνοντας το λιθολογικό μοντέλο της περιοχής αυτής με τη γεωλογική χαρτογράφηση παρατηρούνται μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι στο δυτικό κομμάτι και μάργες στο ανατολικό. Ανάμεσα στους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τις μάργες συναντούνται επιφανειακές προσχώσεις. Παρατηρείται ότι το λιθολογικό μοντέλο συμπίπτει με το γεωλογικό χάρτη με εξαίρεση την εκτεταμένη προέκταση των λατυποπαγών δολομιτικών ασβεστόλιθων από δυτικά προς βορειοανατολικά στην κάτοψη του λιθολογικού μοντέλου. Αν και υπάρχουν γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα στην περιοχή αυτή η εκτεταμένη εμφάνιση των λατυποπαγών δολομιτικών ασβεστόλιθων οφείλεται στο ότι οι γεωτρήσεις και οι βυθοσκοπήσεις δεν , είναι παρακείμενες μόνο ως προς τις Χ, Ψ συντεταγμένες αλλά και ως προς τις Ζ λόγω τις υψομετρικής διαφοράς που υπάρχει. Γιατί όπως ειπώθηκε και παραπάνω το Rockworks χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο προεκτείνοντας οριζόντια τα δεδομένα μέχρι τη μισή απόσταση από την παρακείμενη γεώτρηση η βυθοσκόπηση. Τέλος στο σχήμα (5.6) απεικονίζεται η κάτοψη του λιθολογικού μοντέλου με την γεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή αυτή.



Σχήμα 5.6: Σύγκριση λιθολογικού μοντέλου με την γεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή Φαράγγι

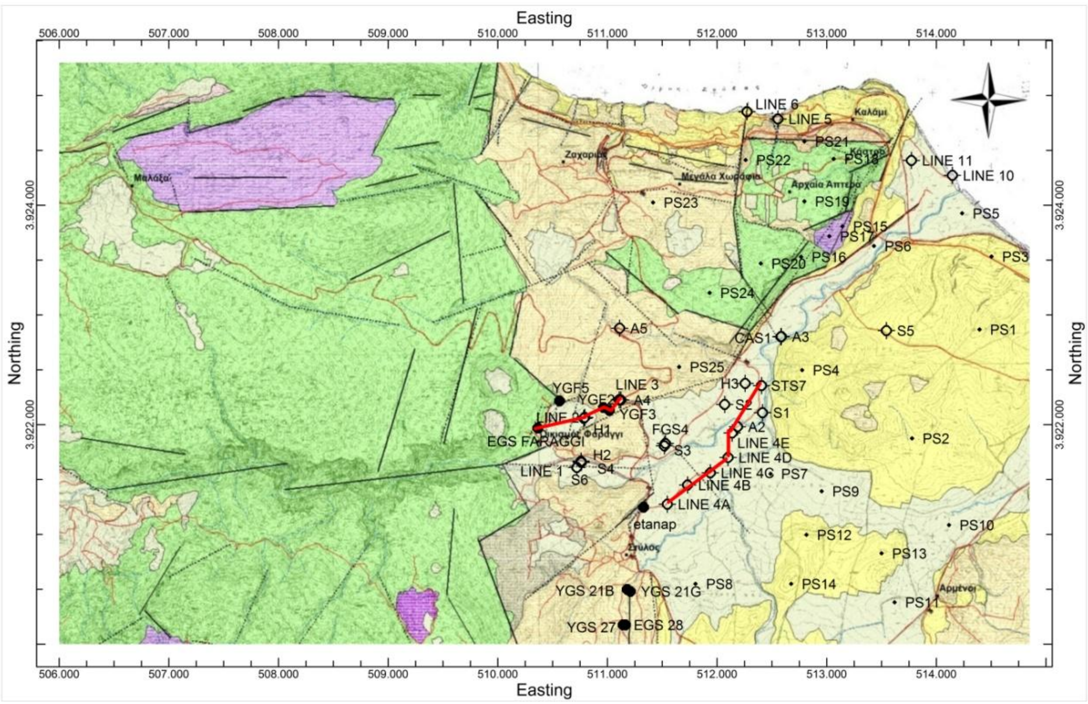
5.4 Παρουσίαση δισδιάστατών και τρισδιάστατων τομών από το γεωλογικό μοντέλο και σύγκριση με ηλεκτρική και σεισμική τομογραφία

Μερικές ακόμη από τις δυνατότητες που προσφέρει το πρόγραμμα Rockworks 2006 είναι η δημιουργία κατακόρυφων τομών(section diagram)και αλλεπάλληλων τομών (fence diagram) και τομών πάνω στο τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο . Η ανώτατη επιφάνεια του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου χρησιμοποιείται για την σύγκριση με την γεωλογική χαρτογράφηση. Για την προσέγγιση της γεωλογικής δομής σε βάθος με βάση το λιθολογικό μοντέλο κατασκευάζονται τομές σε δύο και τρεις διαστάσεις. Από τις τομές αυτές μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την γεωλογική δομή της περιοχής Παρακάτω παρουσιάζονται πιο αναλυτικά.

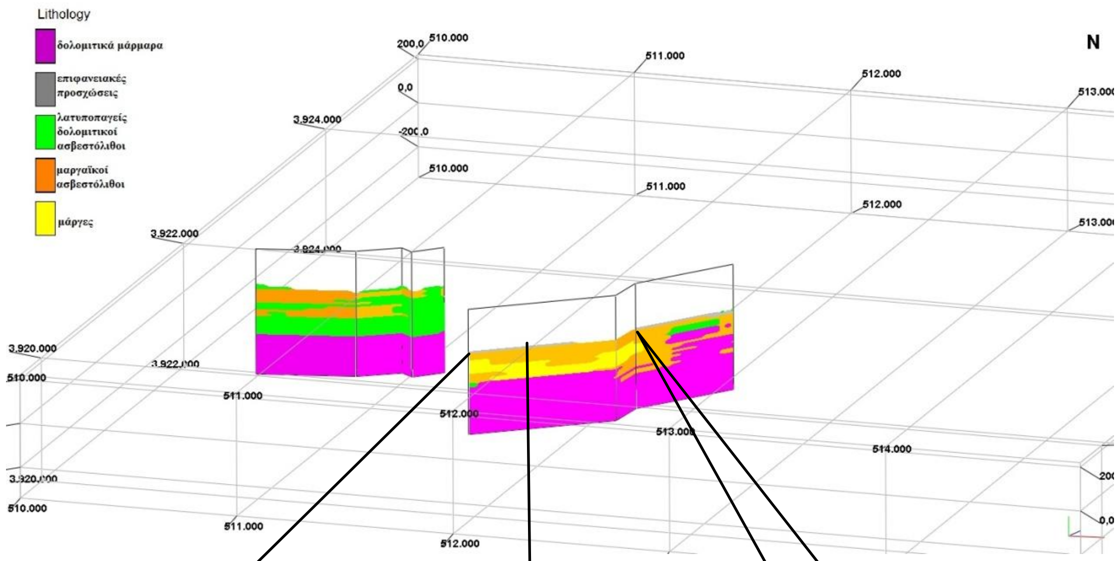
- **Δημιουργία κατακόρυφων τομών (Fence diagram)**

Πρόκειται για διαγράμματα τομών σχηματισμών ανάμεσα από γεωτρήσεις, βυθοσκοπήσεις. Ένα τέτοιο διάγραμμα μπορεί να περιέχει τις επιλεγμένες λιθολογικές στήλες χωρίς να συνδυάζονται μεταξύ τους, ή να συνδυάζονται μεταξύ τους με γραμμές συσχέτισης , ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Στα διαγράμματα τύπου **«Fence»** οι γραμμές μπορούν να τέμνονται μεταξύ τους. Επίσης οι τομές ανάμεσα από βυθοσκοπήσεις, γεωτρήσεις δίνουν καλύτερη εικόνα για την θέση των επιλεγμένων λιθολογικών στηλών στο χώρο. Αυτό γίνεται μέσω ενός τρισδιάστατου διαγράμματος που περιέχει τις επιλεγμένες βυθοσκοπήσεις, γεωτρήσεις με τις αντίστοιχες συντεταγμένες. Το σχήμα (5.7) δείχνει ένα διάγραμμα τομών σχηματισμών ανάμεσα από βυθοσκοπήσεις και γεωτρήσεις που επιλέχτηκε ως παράδειγμα και δείχνει το πώς βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση της γεωλογικής δομής της περιοχής. Επιλέχτηκαν δυο γραμμές η πρώτη γραμμή αποτελείται από γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα και συγκεκριμένα από τις γεωτρήσεις ΕΓΣ-

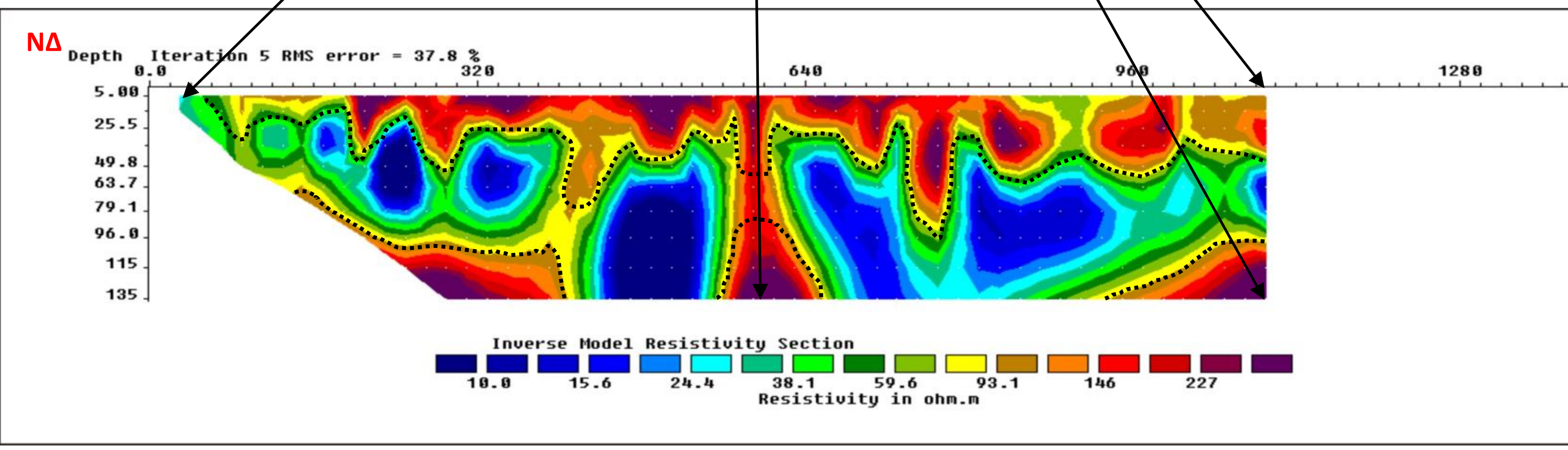
ΦΑΡΑΓΓΙ , ΥΓΦ5 και ΥΓΦ2 τις βυθοσκοπήσεις Η1 και Α4 και από την ηλεκτρική τομογραφία line 2, και line3. Η δεύτερη γραμμή αποτελείται μόνο από γεωφυσικά δεδομένα και συγκεκριμένα από τις γραμμές τις ηλεκτρικής τομογραφίας line 4A , line 4B, line4C, line 4D, line 4E από τη βυθοσκόπηση Α2 και από τη σεισμική διάθλαση STS7. Η πρώτη γραμμή έχει πραγματοποιηθεί στην περιοχή φαράγγι ενώ η δεύτερη στην περιοχή του Στύλου. Τέλος στο σχήμα (5.9) απεικονίζεται η ηλεκτρική τομογραφία για την γραμμή Line 4 και στο σχήμα (5.10) απεικονίζονται σε τομή υπέρθεσης τα αποτελέσματα της ενοποιημένης σεισμικής γραμμής (STS1-7) που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων με τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης (ταχύτητες με την ένδειξη Vp και η διακεκομμένη τεθλασμένη γραμμή), της σεισμικής τομογραφίας (ασπρόμαυρες ισότιμες καμπύλες ταχυτήτων διάδοσης των P-κυμάτων) σε αντιπαράθεση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ηλεκτρική τομογραφία. Η τομή της σεισμικής τομογραφίας έχει τοποθετηθεί στις σωστές συντεταγμένες και με ίδιες αναλογίες της οριζόντιας απόστασης και του βάθους σε σχέση με την ηλεκτρική τομογραφία.



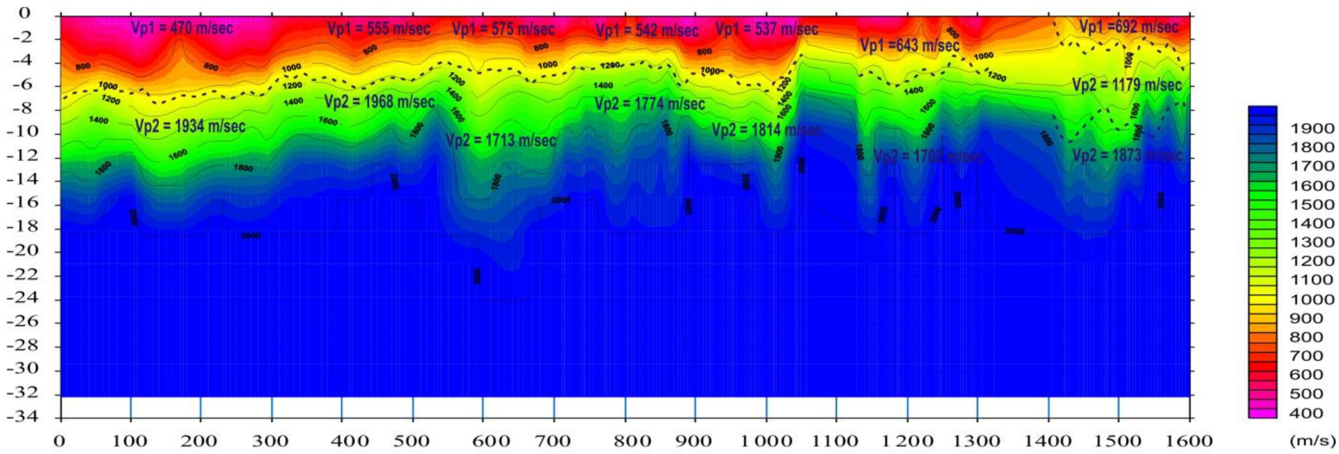
Σχήμα 5.7 Χάρτης τομών σχηματισμών ανάμεσα από βυθοσκοπήσεις και γεωτρήσεις (fence diagram).



Σχήμα 5.8 Διάγραμμα τομών σχηματισμών ανάμεσα από βυθοσκοπήσεις και γεωτρήσεις (fence diagram).



Σχήμα 5.9: Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την γραμμή L4, με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Στον Χ άξονα σημειώνεται η απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης και στον Ψ άξονα το βάθος από την επιφάνεια. Τα διάφορα χρώματα απεικονίζουν τις διαφορετικές τιμές της ειδικής αντίστασης, ενώ η διακεκομμένη μαύρη γραμμή δείχνει τα όρια των γεωηλεκτρικών στρωμάτων.



Σχήμα 5.10: Υπέρθεση των αποτελεσμάτων της ενοποιημένης σεισμικής γραμμής STS1-7. Οι ταχύτητες με την ένδειξη Vp, καθώς και η διακεκομμένη τεθλασμένη γραμμή που οριοθετεί την διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων, προέκυψαν από την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης. Οι έγχρωμες και ασπρόμαυρες ισότιμες καμπύλες ταχυτήτων προέκυψαν από την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας.

Η γεωλογική και υδρογεωλογική ερμηνεία της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας συνοψίζεται ως εξής:

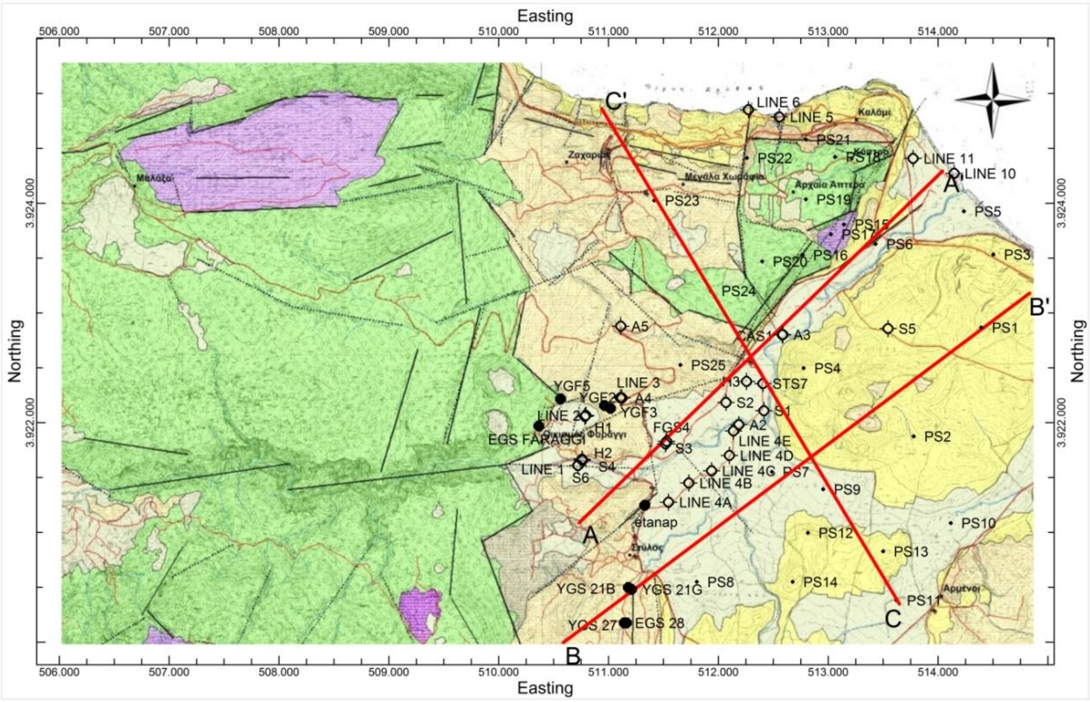
- Επιφανειακά, εντοπίζεται ένα στρώμα με ταχύτητες διάδοσης των P – κυμάτων που κυμαίνονται από 400 έως 1000 m/sec. Το στρώμα αυτό εμφανίζεται να έχει πάχος 5 – 7 m μέχρι τα 1300 m της σεισμικής γραμμής, ενώ στα τελευταία 200 m της σεισμικής γραμμής, το πάχος του δεν υπερβαίνει τα 4 m. Το στρώμα αυτό δεν εμφανίζεται στην ηλεκτρική τομογραφία, εφόσον τα δεδομένα των μετρήσεων της προέρχονται από βάθος μεγαλύτερο των 5 m, λόγω της μεγάλης ισαπόστασης (20 m) των ηλεκτροδίων. Το συγκεκριμένο στρώμα αποδίδεται σε ακόρεστες (λόγω των υψηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προέκυψαν από τις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις) αλουβιακές προσχώσεις.
- Στα τελευταία 200 m της σεισμικής γραμμής (1400 m – 1600 m) εμφανίζεται ένα ενδιάμεσο σεισμικό στρώμα με ταχύτητες διάδοσης των P κυμάτων 1000 – 1800 m/sec περίπου. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε μάργες του νεογενούς οι οποίες φαίνεται να αποσφηνώνονται προς τα ΝΔ της περιοχής, εφόσον δεν εμφανίζονται στην υπόλοιπη γραμμή μελέτης.
- Ο μαργαϊκός ασβεστόλιθος απαντάται κάτω από τις επιφανειακές αλουβιακές προσχώσεις ή τις μάργες του νεογενούς.

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας, μέσα στον κορεσμένο μαργαϊκό ασβεστόλιθο εμφανίζεται μια ζώνη πολύ χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων (10 – 50 Ohm.m) που πιθανόν να οφείλεται σε έντονα καρστικοποιημένο μαργαϊκό ασβεστόλιθο με αργιλικές προσμίξεις ή στην παρουσία υφάλμυρου νερού.

Η δεύτερη κατακόρυφη τομή στο σχήμα (5.8) παρατηρείται ότι αποτελείται από επιφανειακές προσχώσεις πάχους που δεν ξεπερνάει τα 5m ακολουθεί μαργαϊκός ασβεστόλιθος και μάργες με πάχη γύρω στα 40m και στο υπόβαθρο τα δολομιτικά μάρμαρα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας με την δεύτερη κατακόρυφη τομή παρατηρείται ότι συμπίπτουν.

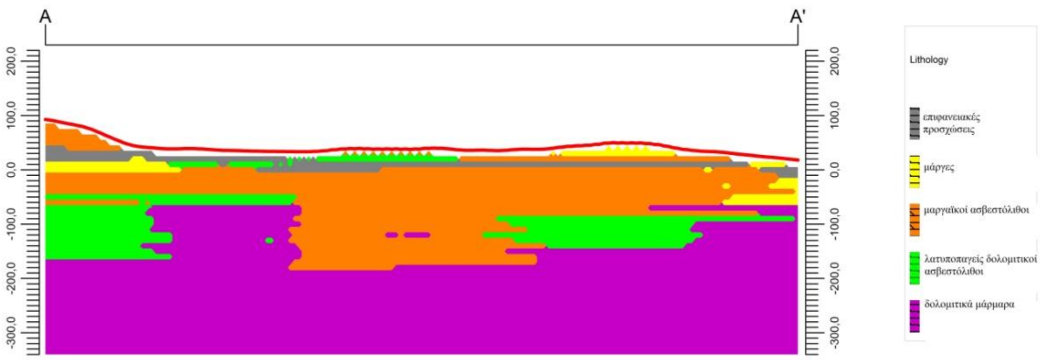
- **Δημιουργία αλλεπάλληλων τομών (section diagram)**

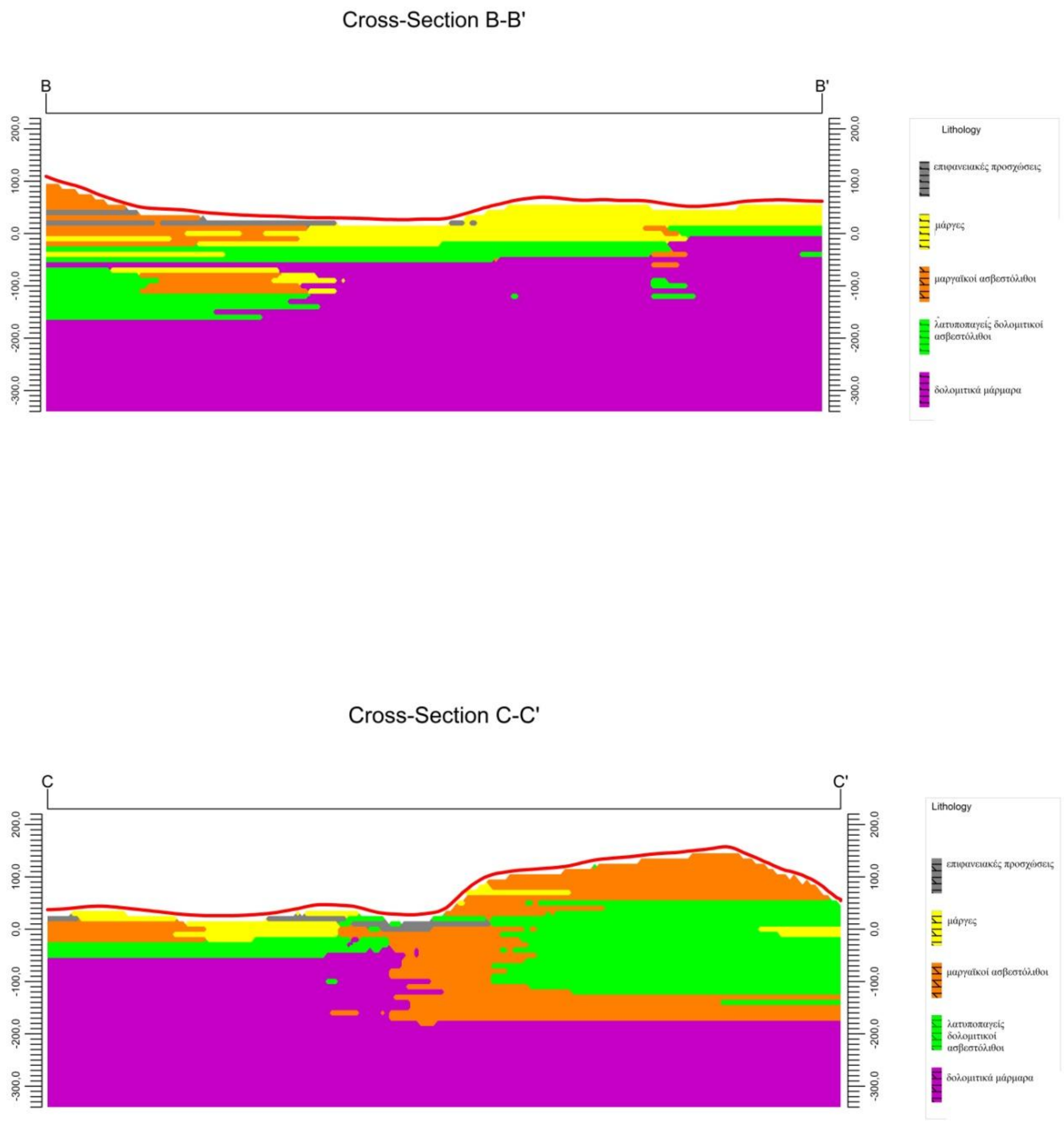
Με την κατασκευή του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου γίνεται μία πρώτη εκτίμηση της επιφανειακής κατανομής των λιθολογικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, με την κατασκευή των παραπάνω αλλεπάλληλων τομών (fence diagram) και κατακόρυφων τομών (section diagram). Κατασκευάστηκαν τρεις τομές που ξεκινούν από τη θάλασσα οι δυο είναι παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση Βόρειο-Ανατολικά με Νότιο-Δυτικά και η τρίτη είναι κάθετη στις άλλες δύο με διεύθυνση Βόρειο-Δυτικά με Νότιο-Ανατολικά. Σκοπός της δημιουργίας των τομών είναι να παρατηρηθεί η πλευρική εξάπλωση των σχηματισμών. Αυτό μπορεί να βοηθήσει προς την κατεύθυνση της οριοθέτησης υδροπερατών – αδιαπέρατων στρωμάτων. Βιβλιογραφικά, από τους λιθολογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης μόνο η μάργα μπορεί να θεωρηθεί ως αδιαπέρατη ενώ όλοι οι άλλοι θεωρούνται διαπερατοί(καρστικοί και κλαστικοί). Στο σχήμα (5.9) απεικονίζεται ο χάρτης με τις αλλεπάλληλες τομές και στο σχήμα (5.10) το αποτέλεσμα των τομών.



Σχήμα 5.11 Χάρτης αλλεπάλληλων τομών (section diagram).

Cross-Section A-A'

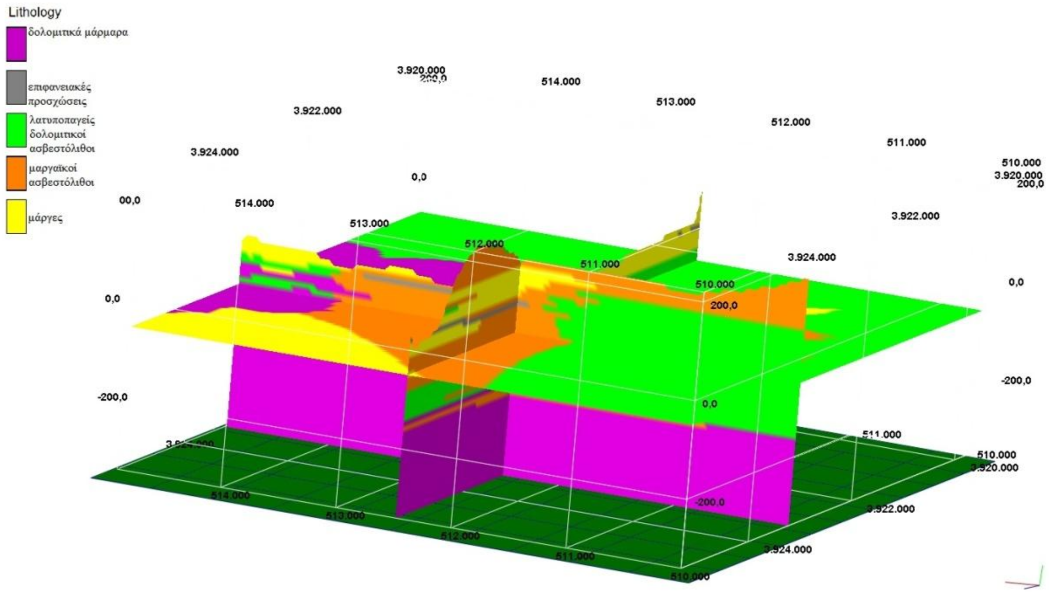




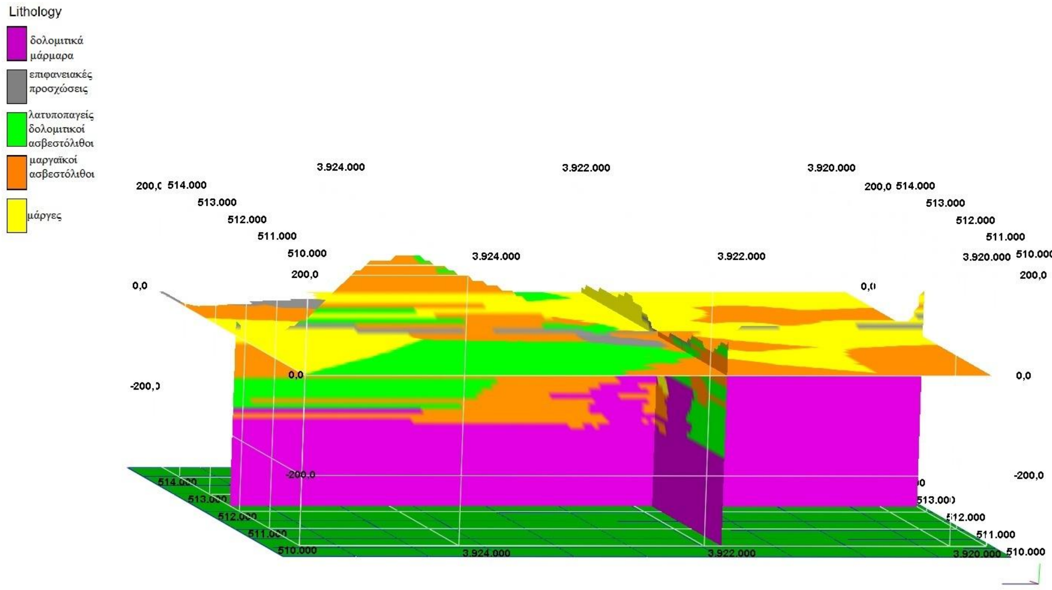
Σχήμα 5.12 Διαγράμματα τομών σχηματισμών (section diagram).

- **Τομές στο τρισδιάστατο μοντέλο**

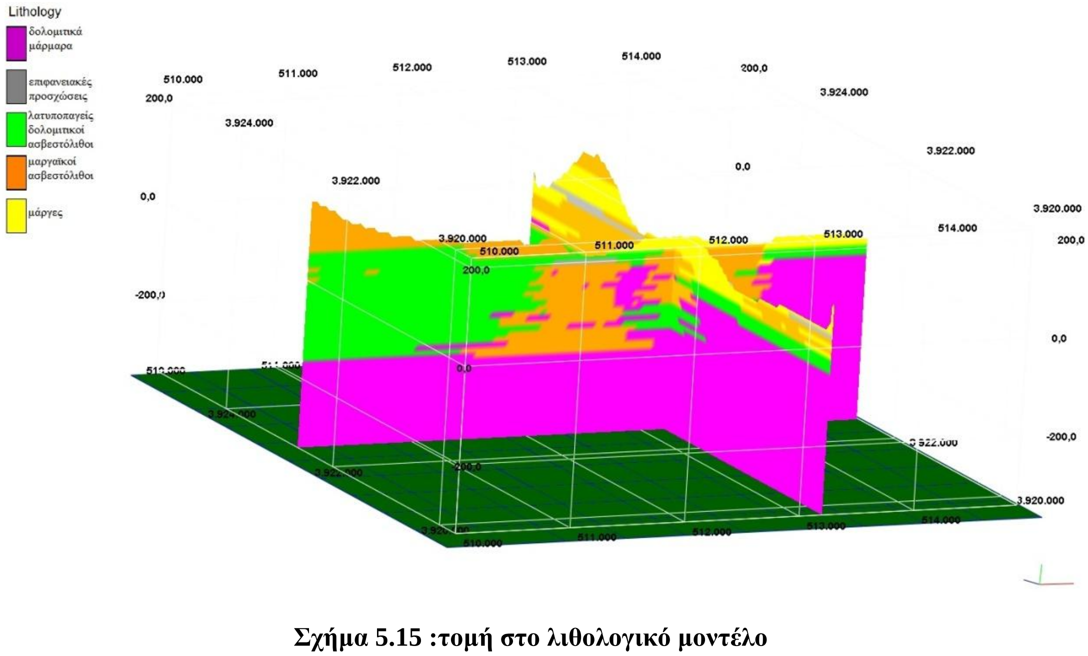
Παρατηρώντας κανείς το παραπάνω μοντέλο καταλαβαίνει ότι δεν αποκτά σαφή εικόνα για την κατανομή των λιθολογικών στοιχείων. Για το λόγο αυτό το πρόγραμμα προσφέρει κάποιες επιλογές που μπορούν να βοηθήσουν τον χρήστη να αντλήσει πληροφορίες για το εσωτερικό του λιθολογικού μοντέλου. Αρχικά για την δημιουργία μιας τομής πρέπει να επιλεχθεί ο προσανατολισμός της. Δηλαδή, αν θα γίνει οριζόντια τομή, προσανατολισμού Βορρά – Νότου, προσανατολισμού Δύσης – Ανατολής. Έπειτα επιλέγεται το σημείο από όπου θα διέρχεται η τομή. Όταν πρέπει να δημιουργηθεί μια οριζόντια τομή επιλέγεται το ύψος στο οποίο θα είναι τοποθετημένη η τομή. Όταν είναι προσανατολισμένη τομή π.χ. **Βορρά – Νότο** τότε επιλέγεται η τιμή **Υ** (**Βόρρεια**) από την οποία θα διέρχεται η τομή. Για τον προσανατολισμό **Δύση – Ανατολή**, αντίστοιχα, επιλέγεται η τιμή **Χ** (**Ανατολικά**). Στις παρακάτω τρεις εικόνες παρουσιάζονται τομές στο λιθολογικό μοντέλο.



Σχήμα 5.13 :τομή στο λιθολογικό μοντέλο



Σχήμα 5.14 :τομή στο λιθολογικό μοντέλο



Σχήμα 5.15 :τομή στο λιθολογικό μοντέλο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας συνδυαστικών γεωφυσικών και γεωλογικών στοιχείων για την κατασκευή του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά, γεωφυσικά δεδομένα καθώς και ψευδογεωτρήσεις. Συλλέχθηκαν δεδομένα από 9 γεωτρήσεις, 13 βυθοσκοπήσεις, 6 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας και 3 γραμμές σεισμικής διάθλασης. Στην συνέχεια ακολούθησε η απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών στο Rockworks 2006.Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία είναι τα εξής :

- Το Rockworks 2006 είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την απεικόνιση και τον συνδυασμό γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων.
- Οι πιο χρήσιμες δυνατότητες του RockWorks 2006 για την απεικόνιση των γεωλογικών και γεωφυσικών στοιχείων, που αποδείχτηκαν κατά την διάρκεια της παρούσας εργασίας είναι: η απεικόνιση σημείων στο χάρτη (point mapping), η δημιουργία λιθολογικών στηλών (strip logs), η δημιουργία κατακόρυφων τομών σχηματισμών ανάμεσα από γεωτρήσεις (fence diagrams) και η δημιουργία αλλεπάλληλων τομών (section diagrams).
- Το τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο είναι συμβατό με τα αποτελέσματα της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας
- Η ευρύτερη περιοχή μελέτης μπορεί να χωριστεί σε δύο γεωλογικές ενότητες. Το δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης δομείται από αλπικούς σχηματισμούς που δημιουργούν έντονο ανάγλυφο , ενώ το πεδινό ανατολικό της τμήμα που διαρρέουν οι ποταμοί Κοιλιάρης και Μεσοπόταμος δομείται από μεταλπικά ιζήματα που αναπτύσσονται εντός λεκανών νεογενούς και τεταρτογενούς ηλικίας. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής σχηματίζεται το φαράγγι του

Κεραμιού(Δικταμου) στη βόρεια έξοδο του οποίου υπάρχουν χαρακτηριστικές καρστικές δομές.

- Οι απότομες διαφοροποιήσεις των φυσικών παραμέτρων των καρστικών σχηματισμών προκαλούν μεγάλα σφάλματα στις μετρήσεις των γεωφυσικών μεθόδων και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό των γραμμών μελέτης της γεωφυσικής διασκόπησης. Για την απεικόνιση των καρστικών δομών η μεθοδολογία πρέπει να περιλαμβάνει συνδυασμένη χρήση γεωφυσικών μεθόδων . Τέλος προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση της περιοχής κοντά στη βυθοσκόπηση S5 όπου εντοπίστηκε ένα στρώμα πολύ χαμηλών αντιστάσεων με την πραγματοποίηση ηλεκτρικής τομογραφίας

- Το γεωλογικό μοντέλο αποτελεί τη βάση για την δημιουργία μοντέλου διαχείρισης υπόγειων νερών

6.2 Προτάσεις

Προτείνεται να εμπλουτιστούν τα γεωτρητικά στοιχεία με νέες γεωτρήσεις σε επιλεγμένες θέσεις καθώς επίσης να πραγματοποιηθούν δοκιμές αντλήσεων και νέες υδρολογικές αναλύσεις σε γεωτρήσεις με ταυτόχρονη εφαρμογή γεωφυσικής διασκόπησης με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Ο στόχος του εγχειρήματος αυτού είναι να προσδιοριστεί η επίδραση της άντλησης του υδροφορέα στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης και να απεικονιστεί η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους πριν , κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας των δοκιμαστικών αντλήσεων.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

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

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

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

Ι.Γ.Μ.Ε.: Φύλλο Χάρτη Χανιά, κλίμακα 1:50.000.

Μουντράκης, Δ. Μ., (1985), “Γεωλογία της Ελλάδας”, Θεσσαλονίκη.

Βαφείδης, Α., (2006), Συνδυασμένη Γεωφυσική Έρευνα για την Ανίχνευση του Μετώπου Υφαλμύρινσης και τη Διαχείριση των Υπόγειων Νερών στην Περιοχή Στύλος Χανίων, έκθεση Συνδυαστικών Αποτελεσμάτων της Γεωφυσικής Διασκόπησης και των Υδρογεωτρήσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Δεκέμβριος, Χανιά.

Φυτρολάκης, Ν. (1980), “Η γεωλογική δομή της Κρήτης”, *Διατριβή επί υφηγεσία*, ΕΜΠ, Αθήνα, 146 S.

Hamdan Hamdan (2000), «Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη του Νομού Χανίων». Διπλωματική Εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Μιχαλάκης Ι., (2007), Συμβολή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας στην Παρακολούθηση της Υφαλμύρινσης Πριν, Κατά τη Διάρκεια και Μετά τη Δοκιμή Άντλησης στον Οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Δεκέμβρης, Χανιά.

Διεθνής βιβλιογραφία

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

Creutzburg & Papastamatiou (1966) : *Νέα συμβολή εις την Γεωλογία της νήσου Κρήτης*.- Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλογικαί και Γεωφυσικαί Μελέται,τ. XI,No 2,σ.173-185, Αθήνα

Rockware Incorporated, Rockworks 2006 documentation.

Creutzburg N., & Seidel E., (1975): ’’Zum Stand der Geologie des Praeneogens auf Kreta’’, *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh*., 149: 363-383, Stuttgard.

Telford et al (1976): *Applied geophysics*. – Cambridge University Press.

Tsourlos P. (1995): *Modelling interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data*. – Ph.D Thesis, University of York

Raulin (1869): Description physique de l’ile de Crete. Actes. Soc. Linn. Bordeaux, T.23,p 1-157,321-444, Bordeaux

Al Chalabi M. & Rees A. (1962): *An experiment on the effect of rainfall on electrical resistivity anomalies in the near surface*. - Bonner Jahrbucher

Beer J.H., Joubert S.J., Van Zijl J.S., (1981), “Resistivity studies of an Alluvial aquifer in the Omaruru Delta, southwest Africa/Namibia”, *Transaction of the Geological Society of South Africa*, Volume 84. pp 115-122, 1981.

Balia R., Gavaudo E., Ardau F., Ghiglieri., (2003) “Geophysical approach to the environmental study of a coastal plaijn”, *Geophysics*, Vol.68, No.5, pp 1446-1459.