

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΥΝΤΟΥΡΑ, Δ. ΠΕΛΕΚΑΝΟΥ, Ν. ΧΑΝΙΩΝ

A. Βαφειδης¹, H. Hamdan¹, N. Ανδρονικίδης¹, A. Δασύρας³, Γ. Κρητικάκης¹, M. Κουκαδάκη¹, N. Κουμάκης², Σ. Λαμπθαάκης³, E. Μανούσογλου¹, N. Οικονόμου¹, K. Παπακωνσταντίνου² and N. Σπανουδάκης¹

¹Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 73100, Πολυτεχνειούπολη, Χανιά, nandron@mred.tuc.gr

² ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ, Περιγιάλι 83, Καβάλα

³ ΟΑΔΥΚ Πλατεία 1866 & Κριάρη, Χανιά

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην περιοχή της Κουντούρας του Δήμου Πελεκάνου Χανίων. Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο τον προσδιορισμό του πάχους των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών πάνω στους οποίους θα εδραστεί η λιμνοδεξαμενή και την υπόδειξη θέσεων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει 7 γραμμές μελέτης σεισμικής διάθλασης συνολικού μήκους 1012 m, 3 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 248 m καθώς και 7 γραμμές μελέτης στις οποίες πραγματοποιήθηκαν ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις VLF.

Στο τμήμα της περιοχής μελέτης δυτικά της επαρχιακής οδού προς Βουτά, η σεισμική διάθλαση υποδεικνύει τρία στρώματα, το πρώτο και το δεύτερο αντιστοιχούν σε λατυποπαγή σχηματισμό. Σε μία από τις σεισμικές γραμμές μελέτης πραγματοποιήθηκε διασκόπηση και με την ηλεκτρική τομογραφία (διάταξη Wenner). Συγκρίνοντας την γεωηλεκτρική τομή με την αντίστοιχη σεισμική παρατηρείται ότι το τρίτο στρώμα του μοντέλου σεισμικής ταχύτητας είναι ηλεκτρικά πύο αγώγιμο και αντιστοιχεί σε μάργες του Νεογενούς. Τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν από πληροφορίες τόσο δειγματοληπτικής γεώτρησης όσο και διαγραφιών φυσικής ραδιενέργειας οι οποίες διενεργήθηκαν σε γεώτρηση που υποδείχθηκε από τη γεωφυσική διασκόπηση.

Στο τμήμα της περιοχής μελέτης ανατολικά της επαρχιακής οδού προς Βουτά, εμφανίζεται έντονη πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία οφείλεται σύμφωνα με δειγματοληπτική γεώτρηση σε εξαλλοιωμένο φυλλίτη που παρεμβάλλεται στις μάργες του Νεογενούς. Από τα γεωφυσικά και γεωτρητικά στοιχεία κατασκευάστηκε τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής των μαργών του νεογενούς, οι οποίες υπόκεινται του επιφανειακού λατυποπαγούς στρώματος. Όπως γίνεται εμφανές από αυτό το μοντέλο, το βάθος που απαντάται ο σχηματισμός της μάργας παρουσιάζει διακυμάνσεις, οι οποίες όμως δεν φαίνεται να οφείλονται στην ύπαρξη ρήγματος αλλά σχετίζονται με το παλαιοανάγλυφο της αποσαθρωμένης ζώνης φυλλιτών-χαλαζιτών και των υποκείμενων αυτής ασβεστολίθων.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την γεωφυσική έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε περιοχή όπου πρόκειται να κατασκευαστεί λιμνοδεξαμενή. Τόσο η γεωλογική έρευνα όσο και η γεωφυσική δεν είναι ικανές από μόνες τους να παρέχουν το πλήθος των απαραίτητων πληροφοριών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό αυτού του τεχνικού έργου. Ο συνδυασμός των γεωλογικών στοιχείων με τα γεωφυσικά δεδομένα, δίνει την δυνατότητα για εξαγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται με τις γεωλογικές συνθήκες. Τα γεωφυσικά αποτελέσματα (σεισμική διάθλαση, ηλεκτρική τομογραφία) αξιολογήθηκαν και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις σε θέσεις που υπέδειξε η γεωφυσική έρευνα προκειμένου να επαληθευτεί η αρχική ερμηνεία.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Κουντούρα βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του νομού Χανίων, 7 km περίπου δυτικά της Παλαιόχωρας. Η περιοχή της Κουντούρας χαρακτηρίζεται από ήπιο ανάγλυφο και είναι ελαφρά επικλινή με κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης περιτοιχίζεται στα νότια από το εκκλησάκι του Αγ. Γεωργίου, στα ανατολικά από τον λόφο Τρούλα, στα δυτικά από την περιοχή Πλάτες και στα βόρεια από το εκκλησάκι του Αρχ. Μιχαήλ. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η περιοχή μελέτης διαιρείται από τμήμα της επαρχιακής οδού που κατευθύνεται στο Βουτά. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης καθώς επίσης και τα όρια της λιμνοδεξαμενής.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή είναι:

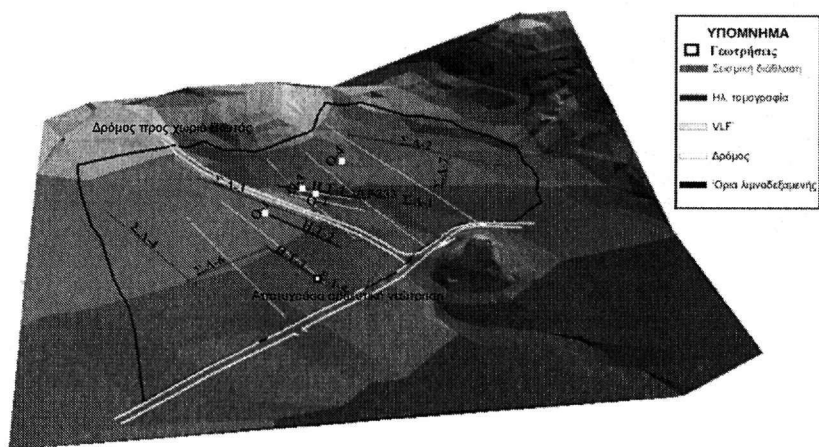
α) Τεταρτογενείς αποθέσεις : είναι οι νεότερες αποθέσεις της περιοχής και αποτελούνται από κροκάλες, άμμους και άλλα υλικά χαλαρής συνεκτικότητας. Το μέγιστο πάχος τους στο φύλλο χάρτη «Παλαιόχωρα» δίνεται περί τα 100 μέτρα. Εντός των ορίων της περιοχής μελέτης το ορατό τους πάχος ποικίλλει και κυμαίνεται από μερικά εκατοστά στην ανατολική κλιτή, πάνω από τους ανθρακικούς σχηματισμούς, δύο περίπου μέτρα κατά μήκος μιας τομής στο κεντρικό τμήμα και περί τα 15 μέτρα κατά μήκος του δρόμου στο βόρειο τμήμα της περιοχής.

β) Νεογενείς αποθέσεις: αποτελούνται κυρίως από μάργες, ψαμμίτες, μαργαίους ασβεστόλιθους, λατυποπαγή και κροκαλοπαγή.

γ) Φυλλιτικοί-Χαλαζιτικοί σχηματισμοί: ανήκουν στην ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών που βρίσκεται επωθημένη πάνω στην σειρά Τρυπαλιού.

δ) Ανθρακικοί σχηματισμοί: αποτελούν τους πλέον διαδεδομένους για τα τεκτονικά καλύμματα της Πίνδου και Τρίπολης.

Σύμφωνα με τα στοιχεία αποτυχούσας αρδευτικής γεώτρησης στην περιοχή (Σχ. 1), το επιφανειακό στρώμα των λατυποπαγών είναι συνεκτικό και έχει πάχος 18 m. Ο υποκείμενος σχηματισμός αντιστοιχεί σε μάργες του Νεογενούς.



Σχήμα 1. Τοπογραφικό ομοίωμα της περιοχής μελέτης.

3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

3.1 Μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης

Η σεισμική διάθλαση ανήκει στις σεισμικές μεθόδους διασκόπησης. Η αρχή της μεθόδου αυτής βασίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων και των κυμάτων διάθλασης και τη χρησιμοποίηση, κατόπιν, των καμπύλων του χρόνου διαδρομής των κυμάτων αυτών, για τον καθορισμό της ταχύτητας των κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα (Lankston 1992). Η διασκόπηση με τη σεισμική διάθλαση πραγματοποιήθηκε κατά μήκος επτά γραμμών μελέτης (Σχ. 1). Οι σεισμικές γραμμές μελέτης 1 έως 4 αποτελούνται από δύο αναπτύγματα 24 γεωφώ-

νων και μήκους 92 m το κάθε ένα, ενώ οι υπόλοιπες τρεις από ένα ανάπτυγμα μήκους 92 m. Η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 4m. Η παραγωγή σεισμικών κυμάτων πραγματοποιήθηκε με την κρούση βαριοπούλας πάνω σε μεταλλική πλάκα, τόσο άκρα της διάταξης των γεωφώνων όσο και μεταξύ των γεωφώνων. Στην πρώτη περίπτωση η απόσταση της πηγής ήταν 2 και 20 m από το 1^ο και το 24^ο γέωφωνο, ενώ στη δεύτερη η πηγή βρισκόταν μεταξύ των γεωφώνων 6 -7, 12 -13 και 18 -19.

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας (Loke & Barker 1996). Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες των σχηματισμών, όπως ρήγματα. Η διασκόπηση με την ηλεκτρική τομογραφία πραγματοποιήθηκε κατά μήκος τριών γραμμών μελέτης με τη διάταξη Wenner και ισαπόσταση ηλεκτροδίων 4m.

Η μέθοδος VLF ανήκει στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης. Όταν Η/Μ κύματα διαδίδονται στο υπέδαφος επάγουν ηλεκτρικά ρεύματα σε όποιο αγώγιμο σώμα συναντήσουν. Τα ρεύματα αυτά δημιουργούν δευτερογενές μαγνητικό πεδίο. Επειδή η ένταση του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου μεταβάλλεται με το χρόνο, το άκρο της συνισταμένης τους θα διαγράφει έλλειψη (ελλειπτικά πολωμένο κύμα), της οποίας ο μέγιστος άξονας σχηματίζει γωνία θ με το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο. Η γωνία θ ονομάζεται γωνία κλίσης της συνισταμένης έντασης του μαγνητικού πεδίου. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου VLF πραγματοποιούνται μετρήσεις της γωνίας κλίσης σε διάφορα σημεία τομών. Μεταβολή της τιμής της γωνίας κλίσης υποδηλώνει δομές υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ρήγματα). Στην Κουντούρα Χανίων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της γωνίας κλίσης με το ηλεκτρομαγνητικό όργανο WADI κατά μήκος 7 γραμμών μελέτης.

3.2 Αποτελέσματα γεωφυσικής διασκόπησης

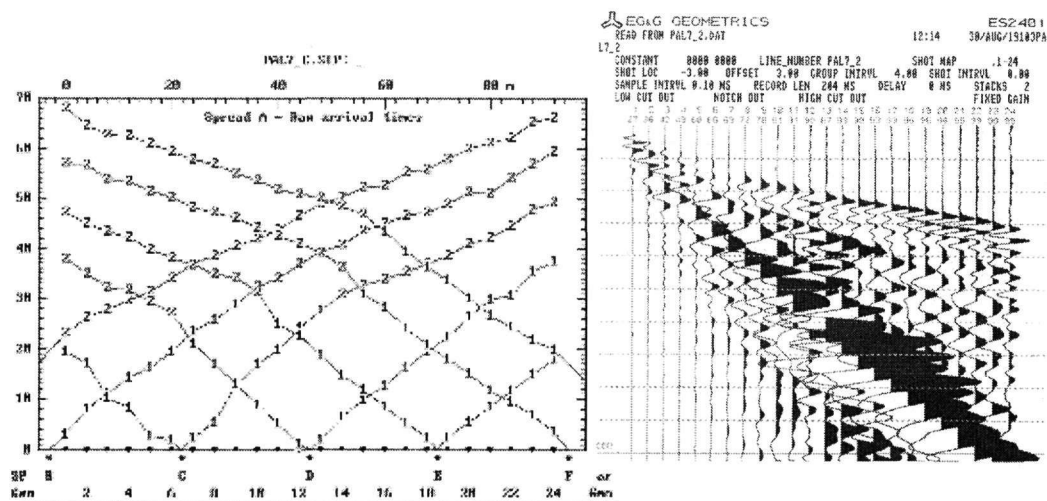
3.2.1 Αποτελέσματα σεισμικής διασκόπησης

Οι καταγραφές των σεισμικών δεδομένων αποτελούνται από σειсмоγράμματα, στα οποία απεικονίζεται η εδαφική ταλάντωση σε συνάρτηση με το χρόνο (Σχ. 2). Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα SIP της EG&G GEOMETRICS ©. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων που αντιστοιχούν σε απευθείας ή μετωπικά κύματα. Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) επιλογή των πρώτων αφίξεων β) δημιουργία δρομοχρονικού διαγράμματος γ) προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους με την τροποποιημένη μέθοδο συν-πλην (Haeni *et al.* 1987). Η σεισμική έρευνα περιελάμβανε 7 γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 1012 m. Ανατολικά του επαρχιακού δρόμου προς Βουτά βρίσκονται οι σεισμικές γραμμές ΣΔ-1, ΣΔ-2 και ΣΔ-7, ενώ δυτικά του δρόμου οι υπόλοιπες γραμμές.

Δυτικά του επαρχιακού δρόμου βρίσκονται οι σεισμικές γραμμές ΣΔ-3, ΣΔ-4, ΣΔ-5 και ΣΔ-6. Στις σεισμικές γραμμές ΣΔ-3 και ΣΔ-6 προσδιορίστηκαν τρία στρώματα με ταχύτητες των P – κυμάτων από 1492 έως 1862 m/sec για το πρώτο στρώμα, από 2091 έως 2434 m/sec για το δεύτερο στρώμα και από 3081 έως 4009 m/sec για το τρίτο στρώμα. Στην σεισμική γραμμή ΣΔ-4 προσδιορίστηκαν δύο στρώματα με ταχύτητες των P – κυμάτων από 1714 έως 1995 m/sec για το πρώτο και από 3132 έως 3448 m/sec για το δεύτερο. Στην ΣΔ-5 δεν κατέστη δυνατή η εύρεση του μοντέλου βάθους λόγω περιορισμένου αριθμού πρώτων αφίξεων για τα μετωπικά κύματα. Σύμφωνα με τα στοιχεία της δειγματοληπτικής γεώτρησης O-1, το δεύτερο στρώμα στις ΣΔ-3 και ΣΔ-6 είναι λατυποπαγές με ταχύτητα που κυμαίνεται από 2091 έως 2434m/s, ενώ σε όλες αυτές τις γραμμές το τελευταίο στρώμα αντιστοιχεί στις μάργες του Νεογενούς. Συμπερασματικά, παρατηρείται ότι οι μάργες παρουσιάζουν μεγαλύτερες σεισμικές ταχύτητες από τα υπερκείμενα λατυποπαγή, παρ' όλο που αυτά είναι συνεκτικά.

Ανατολικά του επαρχιακού δρόμου προς Βουτά βρίσκονται οι ΣΔ-1, ΣΔ-2 και ΣΔ-7. Η διεύθυνση των ΣΔ-1 και ΣΔ-2 είναι ΒΔ-ΝΑ. Στην ΣΔ-1 προσδιορίστηκαν τρία εδαφικά στρώματα με ταχύτητες P – κυμάτων 861 m/sec, 2036 m/sec και 2476 m/sec αντίστοιχα. Το πάχος του πρώτου στρώματος κυμαίνεται από 2 έως 6 m και του δεύτερου από 6.5 έως 15 m. Στην ΣΔ-2 προσδιορίστηκαν δύο στρώματα. Η ταχύτητα των P – κυμάτων στο πρώτο στρώμα κυμαίνεται από 1055 έως 1120 m/sec και στο δεύτερο από 2656 έως 3993 m/sec. Το πάχος του πρώτου στρώματος αυξάνει από 7 στα

20 m προς ΝΑ. Στην ΣΔ7 διεύθυνσης ΝΔ-ΒΑ προσδιορίστηκαν δύο στρώματα με ταχύτητες των P – κυμάτων 1140 m/sec και 2241 m/sec αντίστοιχα. Τα μέσο πάχος του πρώτου στρώματος είναι 10 m.



Σχήμα 2. Δρομοχρονικό διάγραμμα και τυπική καταγραφή για τη γραμμή μελέτης ΣΔ-7. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε msec, ενώ στον οριζόντιο, η απόσταση από τη σεισμική πηγή Β και τα 24 κανάλια (γεώφωνα).. Το '1' συμβολίζει απευθείας σεισμικά κύματα, ενώ το '2', τα μετωπικά κύματα.

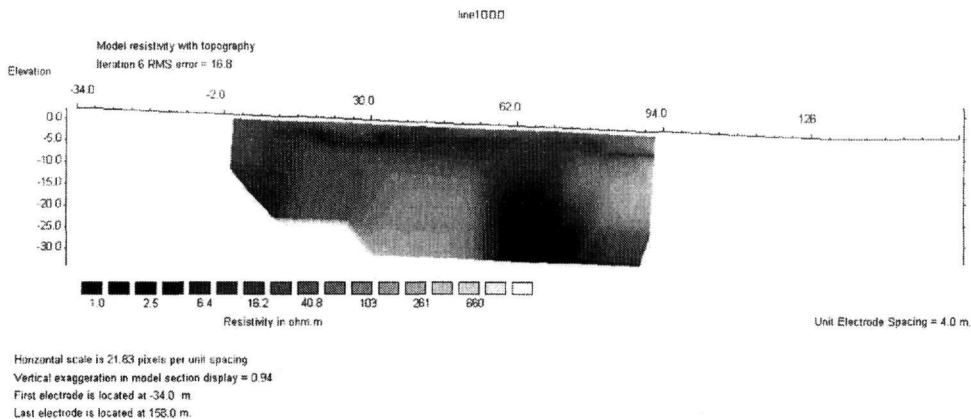
Για την ερμηνεία των σεισμικών τομών χρησιμοποιήθηκαν οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις Ο-1, Ο-2 καθώς και οι ερευνητικές Ο-3 και Ο-4. Η γεώτρηση Ο-3 βρίσκεται στην γραμμή μελέτης ΣΔ-1 και διέτρησε μάργες του Νεογενούς μέχρι βάθους 30m. Το εύρος των τιμών της σεισμικής ταχύτητας στο δεύτερο στρώμα (2036 m/s) και στο τρίτο (2476 m/s) κατά μήκος της ΣΔ-1 συμφωνεί με τις αντίστοιχες της μάργας στη βιβλιογραφία.

Με βάση τα παραπάνω η οροφή του στρώματος της μάργας δυτικά του δρόμου, προς Βούτα, χαρτογραφήθηκε χρησιμοποιώντας ταχύτητες που κυμαίνονταν από 3000 έως 4009 m/s, ενώ ανατολικά του δρόμου η μάργα εμφανίζει μικρότερες ταχύτητες που κυμαίνονται από 2000 έως 2500 m/s.

3.2.2 Αποτελέσματα ηλεκτρικής τομογραφίας

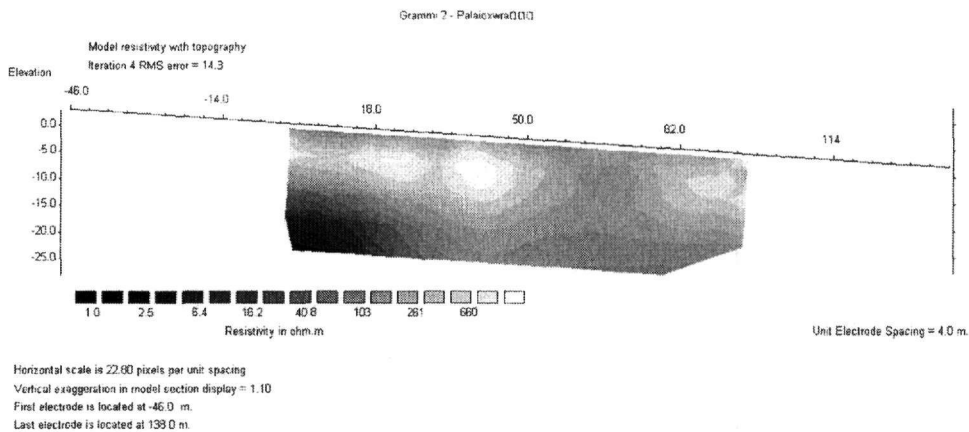
Ο υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επιτυγχάνεται με την χρήση του λογισμικού πακέτου Res2Dinv (Loke & Barker 1996). Στο πρόγραμμα αυτό θεωρείται ότι κάθε τομή του υπεδάφους διαιρείται σε τμήματα σχήματος παραλληλόγραμμου. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση θεωρείται σταθερή σε κάθε στοιχειώδες τμήμα. Ξεκινώντας, υπολογίζονται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο. Με διαδοχικές επαναλήψεις επιλέγεται το τελικό μοντέλο για το οποίο η διαφορά μετρούμενων και υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης γίνεται ελάχιστη. Επίσης, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής των υψομέτρων για καλύτερη προσέγγιση του πραγματικού μοντέλου του υπεδάφους.

Η γραμμή μελέτης HT-1 μήκους 92m και διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ αποτελείται από 24 κέντρα με απόσταση 4 m (Σχ. 3). Οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m) που εμφανίζονται από την επιφάνεια της γης μέχρι βάθους 10 m περίπου είναι πιθανόν να αντιστοιχούν σε πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις. Πολύ ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή με τις πολύ χαμηλές τιμές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (1-10 ohm.m) σε απόσταση 58 – 70 m από την αρχή της γραμμής και σε βάθος μεγαλύτερο των 10 m. Στη θέση αυτή δειγματοληπτική γεώτρηση διάτρησε την αποσαθρωμένη ζώνη της σειράς των φυλλιτών-χαλαζιτών.



Σχήμα 3. Η γεωηλεκτρική τομή για την γραμμή HT-1, με κατεύθυνση από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά.

Η γραμμή μελέτης HT-2 μήκους 96m και διεύθυνσης περίπου ΒΔ-ΝΑ αποτελείται από 25 κέντρα με ισαπόσταση 4 m (Σχ. 4). Οι σχετικά υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (100 – 700 ohm.m) που εμφανίζονται από την επιφάνεια της γης μέχρι βάθος 12-22 m περίπου, είναι πιθανόν να αντιστοιχούν στους λατυποπαγείς σχηματισμούς. Ενώ οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m), κυρίως στο βορειοδυτικό άκρο της γεωηλεκτρικής τομής και σε βάθος μεγαλύτερο από 10 m, είναι πιθανόν να οφείλονται στις μάργες. Παρατηρείται πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και σε αυτήν τη γραμμή (62 m – 70 m από την αρχή της γραμμής), όπου μειωμένες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (150 ohm.m) διακόπτουν τη συνέχεια του σχηματισμού των λατυποπαγών, αν και αυτή η μεταβολή δεν είναι τόσο έντονη όπως αυτή της πρώτης γραμμής.

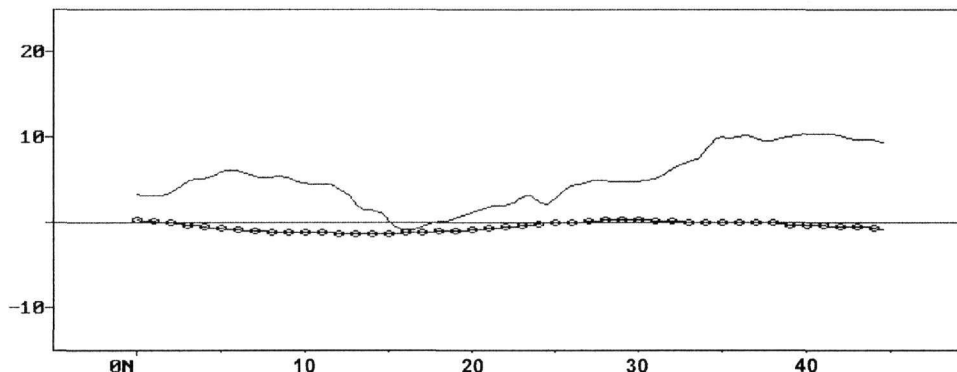


Σχήμα 4. Η γεωηλεκτρική τομή για την γραμμή HT-2, με κατεύθυνση από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά

Η γραμμή HT-3 μήκους 64 m και διεύθυνσης περίπου ΒΔ-ΝΑ αποτελείται από 17 κέντρα με ισαπόσταση 4 m. Σχετικά υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (100 – 700 ohm.m) εμφανίζονται μέχρι βάθος 21-24 m. Αυτές είναι πολύ πιθανόν να αντιστοιχούν στους σχηματισμούς των λατυποπαγών. Οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m), σε βάθος μεγαλύτερα από 20 m, είναι πιθανόν να οφείλονται στις μάργες.

3.2.3 Αποτελέσματα ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης

Οι μετρήσεις της γωνίας κλίσης δεν υπέδειξαν κύριο ρήγμα στην υπό μελέτη περιοχή και σε βάθος μέχρι 30 m. Στο σχήμα 6 παρατίθενται ενδεικτικά οι μετρήσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης VLF333 (Σχ. 5).

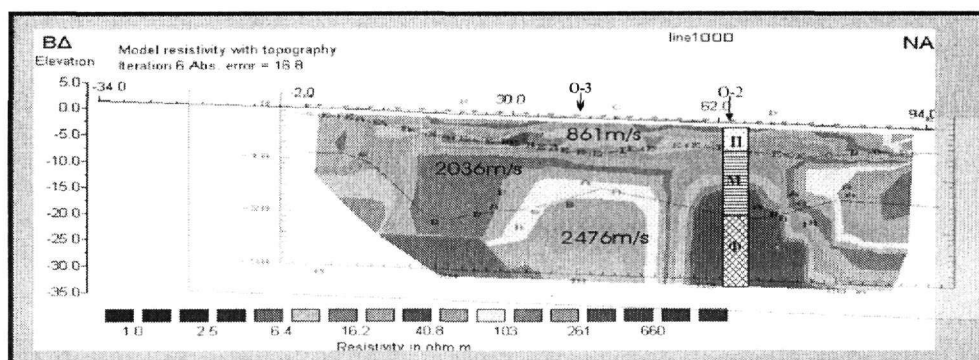


Σχήμα 5. Τυπική καταγραφή της γωνίας κλίσης (συνεχής γραμμή) κατά μήκος της γραμμής μελέτης VLF333.

4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

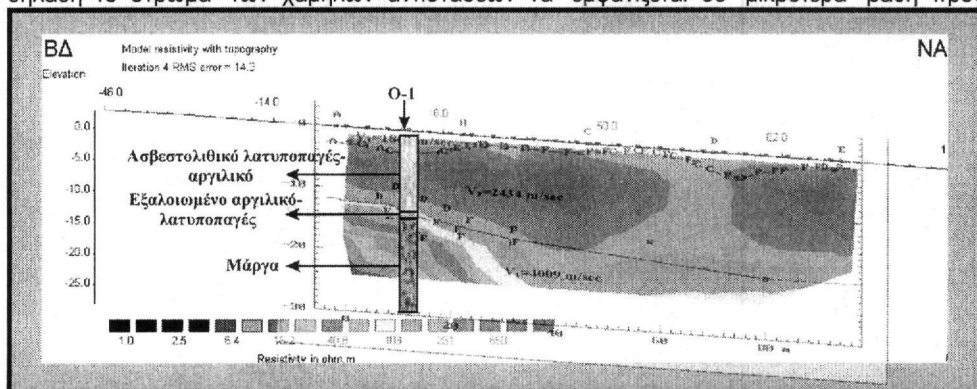
4.1 Συνδυασμένη ερμηνεία γεωφυσικής διασκόπησης

Η ηλεκτρική γραμμή HT-1 συμπίπτει με τμήμα της σεισμικής γραμμής ΣΔ-1. Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η υπέρθεση της γεωηλεκτρικής τομής και του μοντέλου των ταχυτήτων. Τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας δείχνουν να συμφωνούν. Η σεισμική διάθλαση υποδεικνύει ένα επιφανειακό στρώμα στο οποίο η γεωηλεκτρική τομή παρουσιάζει μειωμένες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην γεωηλεκτρική τομή παρατηρείται έντονη πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία αντικατοπτρίζεται με τη έντονη μεταβολή του πάχους του δεύτερου στρώματος στο μοντέλο των ταχυτήτων. Με βάση τα παραπάνω υποδείχθηκε η θέση δύο γεωτρήσεων, η πρώτη σε απόσταση 42 m από την αρχή της γραμμής (ερευνητική) και η δεύτερη σε απόσταση 64 m από την αρχή της γραμμής (δειγματοληπτική). Στο σχήμα 6 τοποθετήθηκαν και τα στοιχεία της δειγματοληπτικής γεώτρησης O2. Στην γεώτρηση O2 διατρήθηκαν τα εξής στρώματα: α) νεότερες αποθέσεις μέχρι βάθους 5 m περίπου, β) μάργα μέχρι τα 17 m περίπου και γ) αποσασθρωμένη ζώνη της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς μέχρι το τέλος της γεώτρησης που έφθασε τα 30 m. Η ερευνητική γεώτρηση O3 διέτρησε νεότερες αποθέσεις και μάργες του νεογενούς μέχρι τα 30 m.



Σχήμα 6. Υπέρθεση του μοντέλου ταχυτήτας της σεισμικής γραμμής Σ.Δ-1 πάνω στην γεωηλεκτρική τομή HT-1. Η γεώτρηση O-2 διέτρησε προσχώσεις (Π), μάργες (Μ) και την αποσασθρωμένη ζώνη της φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς (Φ).

Οι ηλεκτρικές γραμμές HT-2 και HT-3 είναι σχεδόν παράλληλες, και δείχνουν την ίδια τάση, δηλαδή το στρώμα των χαμηλών αντιστάσεων να εμφανίζεται σε μικρότερα βάθη προς τα



Σχήμα 7. Υπέρθεση τμήματος του μοντέλου ταχύτητας της σεισμικής γραμμής ΣΔ-3 και της γεώτρησης O-1 πάνω στην γεωηλεκτρική τομή HT-2.

βορειοδυτικά. Παράλληλα με την ηλεκτρική γραμμή HT-2 και σε απόσταση 18 m προς τα δυτικά βρίσκεται η σεισμική γραμμή ΣΔ-3. Τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας δείχνουν να συμφωνούν (Σχ. 7). Η σεισμική διάθλαση υποδεικνύει δύο επιφανειακά στρώματα με πάχη που κυμαίνονται από 1 έως 3.5m και από 12 έως 20m και με ταχύτητες 1862 και 2436 m/s αντίστοιχα, που αποδίδονται σύμφωνα με τη γεώτρηση O-1 στους λατυποπαγείς σχηματισμούς. Ακόμα, ο διαχωρισμός των λατυποπαγών σε δύο στρώματα στην σεισμική τομή συμφωνεί με την γεωηλεκτρική τομή όπου εμφανίζεται λεπτό επιφανειακό στρώμα με μικρότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το τρίτο στρώμα, στην σεισμική τομή συμπίπτει με το στρώμα χαμηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην γεωηλεκτρική τομή. Οι δύο αυτές τομές δείχνουν την τάση να εμφανισθεί αυτό το στρώμα σε μικρότερα βάθη στο βορειοδυτικό τμήμα της γραμμής. Η θέση της υποδειχθείσας δειγματοληπτικής γεώτρησης, είναι σε απόσταση 12 m από την αρχή της γραμμής. Στην γεώτρηση O-1 διατρήθηκαν τα εξής στρώματα: α) ασβεστολιθικό λατυποπαγείς-αργιλικό μέχρι το βάθος των 13,2 m, β) εξαλοιωμένο αργιλικό-λατυποπαγείς μικρού πάχους, γ) σχηματισμός της μάρμας μέχρι το τέλος της γεώτρησης, που έφθασε τα 30 m. Η γεώτρηση επαλήθευσε την ύπαρξη του στρώματος των μαργών σε βάθος περίπου 13 m στο οποίο η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι μικρή.

4.2 Διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας

Μετά το πρώτο στάδιο της γεωφυσικής έρευνας και την ανόρυξη των τεσσάρων (4) γεωτρήσεων (δειγματοληπτικών (O-1 & O-2) και ερευνητικών (O-3 & O-4)) σε συγκεκριμένες θέσεις που είχαν υποδειχθεί από τη γεωφυσική έρευνα, ακολούθησε διασκόπηση εντός των γεωτρήσεων (διαγραφίες).

Οι διαγραφίες πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις O-1 και O-4 βάθους 27 και 31 m αντίστοιχα. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τις διαγραφίες περιλαμβάνει:

- φωρατή μέτρησης της Φυσικής Ακτινοβολίας Γάμμα για τον υπολογισμό του δείκτη φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και της αργιλότητας των διατρηθέντων γεωλογικών σχηματισμών.
- φωρατή ακουστικής διαγραφίας πλήρους κυματομορφής, για την εκτίμηση της ταχύτητας των διαμήκων και εγκάρσιων κυμάτων στους διατρηθέντες γεωλογικούς σχηματισμούς. Με τη διαγραφή αυτή εκτιμάται ο βαθμός συνεκτικότητας των διατρηθέντων σχηματισμών καθώς και η ύπαρξη ασυνεχειών γύρω από τη γεώτρηση.
- φωρατή μέτρησης της διαμέτρου της γεώτρησης.

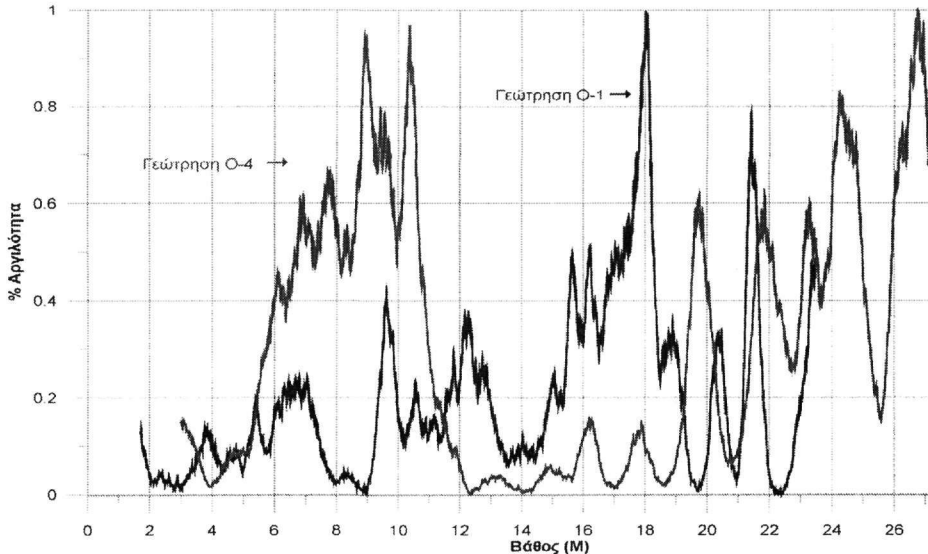
Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται οι διαγραφίες του δείκτη αργιλότητας συναρτήσει του βάθους για τις γεωτρήσεις O-1 και O-4. Ο δείκτης αργιλότητας εκφράζει το ποσοστό αργίλου (%) του διατρηθέντος σχηματισμού. Στην γεώτρηση O-1 ο δείκτης αργιλότητας παρουσιάζει μικρές τιμές μέχρι τα 14 m. Από τα 14 m μέχρι το τελικό βάθος των 31 m παρατηρούνται αυξημένες τιμές του δείκτη αργιλό-

τητας, οι οποίες αντιστοιχούν στις μάργες του νεογενούς. Στην γεώτρηση Ο-4 εμφανίζονται δύο στρώματα με μεγάλο δείκτη αργιλότητας σε βάθος 5-11 m και 19-24 m.

Στο σχήμα 8 παρατηρείται ότι το υπολογισμένο, από τα δεδομένα της γεωφυσικής διασκόπησης (Σ.Δ-3, Η.Τ-2) βάθος της οροφής του στρώματος της μάργας (12 m) επιβεβαιώθηκε τόσο από τα γεωτρητικά στοιχεία της γεώτρησης Ο-1 που διέτρησε τον σχηματισμό της μάργας στα 13 m

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ Ο-1 / Ο-4
Λιμνοδεξαμενή Κουτουρά
Δήμος Πελεκάνου Ν.Χανίων

Αργιλότητα Γεωλογικών Σχηματισμών



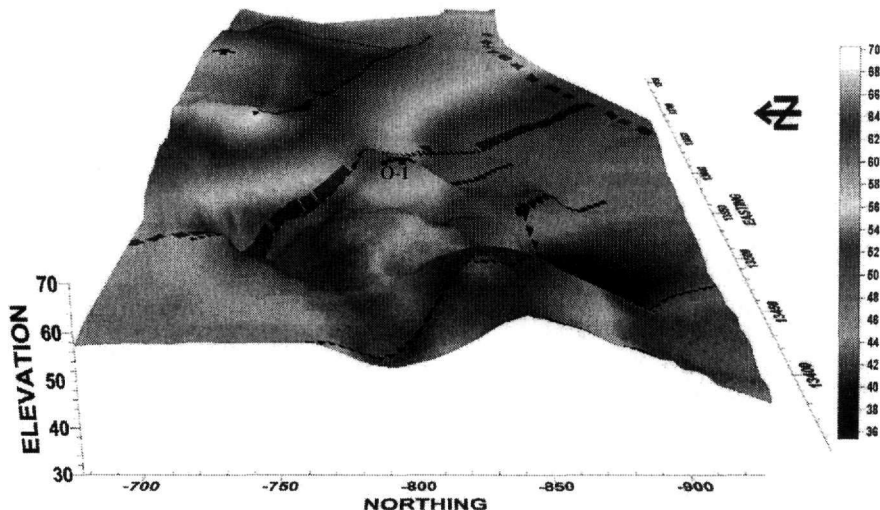
Σχήμα 8. Διαγραφή του δείκτη αργιλότητας των γεωλογικών σχηματισμών για τις γεωτρήσεις Ο-1 και Ο-4.

περίπου όσο και από τις διαγραφίες όπου μετρήθηκε αυξημένη τιμή του δείκτη αργιλότητας σε βάθος 14 m. Επίσης, στο σχήμα 6 παρατηρείται ότι η πλευρική μεταβολή στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, στα 64 m περίπου της γεωηλεκτρικής τομής ΗΤ1, επιβεβαιώθηκε από τα γεωτρητικά στοιχεία της Ο-2. Πράγματι στο βάθος των 17 m διατρήθηκε ο σχηματισμός των φυλλιτών-χαλαζιτών οι οποίοι ήταν κερματισμένοι και ισχυρά αποσασθρωμένοι.

4.3 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου

Από το σύνολο των αποτελεσμάτων της έρευνας δημιουργήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής των μαργών του Νεογενούς της περιοχής της λιμνοδεξαμενής (Σχ. 9). Συγκεκριμένα, το βάθος της οροφής της μάργας κάτω από κάθε γεώφωνο μετατράπηκε σε απόλυτο υψόμετρο. Ομοίως, από τις γεωηλεκτρικές τομές, υπολογίστηκε το βάθος της οροφής της μάργας (σημείο εναλλαγής υψηλών και χαμηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) κάτω από κάθε κέντρο της ηλεκτρικής γραμμής. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα από τις γεωτρήσεις. Με την εισαγωγή των δεδομένων αυτών στο λογισμικό πακέτο Surfer © δημιουργήθηκε το ανάγλυφο της οροφής των μαργών του Νεογενούς. Το απόλυτο υψόμετρο της οροφής της μάργας κυμαίνεται από 36 έως 68 m. Μεγαλύτερα απόλυτα υψόμετρα παρατηρούνται προς τα ΒΑ. Στο τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής (Σχ. 9) της μάργας έχουν τοποθετηθεί οι γεωτρήσεις (σταυροί), οι σεισμικές και ηλεκτρικές γραμμές (μαύρα βελάκια), καθώς και ο επαρχιακός δρόμος που οδηγεί στο χωριό Βουτάς (μαύρα τετράγωνα). Στο τρισδιάστατο μοντέλο δεν εμφανίζονται ρήγματα που επηρεάζουν τις μάργες του νεογενούς. Στα δυτικά του επαρχιακού δρόμου προς Βουτά βρίσκεται ύβωμα, κοντά στην θέση της γεώτρησης Ο-1, το οποίο συνεχίζει προς τα Δ-ΝΔ. Αυτή η γεωλογική μορφή διαιρεί την περιοχή που θα κατασκευασθεί η λιμνοδεξαμενή σε δύο τμήματα. Στο νοτιότερο τμήμα αυξάνεται η κλίση του μαργαϊκού σχηματισμού. Ενώ στο βορειότερο, οι μάργες εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη και με μικρότερη κλίση. Απο την μελέτη του τρισδιάστατου προτείνεται το νότιο άκρο της υπό κατασκευής λιμνοδεξαμενής να βρίσκεται πλησίον της γραμμής που οριοθετεί την

προαναφερθείσα έξαρση. Τέλος το τρισδιάστατο μοντέλο επιβεβαιώθηκε από στοιχεία προγενέστερης γεώτρησης (13520 easting, -890 northing, Σχ. 9). Αυτή η γεώτρηση (Σχ. 1) διέτρησε τον σχηματισμό της μάργας στα 19 m, γεγονός που συμφωνεί με το βάθος των 18 m το οποίο προέκυψε από το μοντέλο της οροφής της μάργας.



Σχήμα 9. Τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής της μάργας. Όπου απεικονίζονται με σταυρούς οι γεωτρήσεις, με μαύρα βελάκια οι σεισμικές και ηλεκτρικές γραμμές καθώς και ο επαρχιακός δρόμος που οδηγεί στο χωριό Βουτάς (μαύρα τετράγωνα).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1) Η στρωματογραφική διαδοχή που παρατηρείται στο χώρο του έργου χαρακτηρίζεται από την επιφανειακή εμφάνιση λατυποπαγούς στρώματος το οποίο επικάθεται με ορατό διαφορετικό πάχος πάνω στο αργιλικό μαργαϊκό υπόβαθρο. Το βάθος που απαντάται το υπόβαθρο αυτό παρουσιάζει διακυμάνσεις οι οποίες όμως δεν φαίνεται να οφείλονται στην ύπαρξη ρήγματος αλλά πιθανότερα σχετίζονται με το υποκείμενο παλαιοανάγλυφο της αποσαθρωμένης ζώνης φυλλιτών – χαλαζιτών και των υποκείμενων αυτής ασβεστολίθων. Το παλαιοανάγλυφο αυτό συνέχισε να υφίσταται και κατά την διάρκεια του Πλειστοκαίνου διαμορφώνοντας τον χώρο απόθεσης των ποταμο-χερσαίων κροκαλοπαγών διαφόρου πάχους. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από τις ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις VLF.

2) Η σύνθεση των δεδομένων των αρχικών γεωφυσικών μετρήσεων (ηλεκτρικές τομογραφίες, γραμμές σεισμικής διάθλασης) με τα δεδομένα των γεωτρήσεων, των μετρήσεων των διαγραφιών και των μετρήσεων με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο VLF, οδήγησαν στην κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου όπου απεικονίζεται το ανάγλυφο (οροφή) του μαργαϊκού στρώματος στο χώρο έρευνας. Σε αυτό το μοντέλο παρατηρούμε ότι το απόλυτο υψόμετρο της οροφής της μάργας κυμαίνεται από 36 έως 68 m. Στα δυτικά του επαρχιακού δρόμου προς Βουτάς βρίσκεται ύψωμα, κοντά στην θέση της γεώτρησης O-1, το οποίο συνεχίζει προς τα Δ-ΝΔ. Από το τρισδιάστατο μοντέλο προκύπτει ότι το νότιο άκρο της υπό κατασκευή λιμνοδεξαμενής προτείνεται να βρίσκεται βόρεια από την σειρά των εξάρσεων της μάργας.

3) Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών μεθόδων προέκυψε ότι τόσο τα αποτελέσματα της Σεισμικής Διάθλασης όσο και αυτά της Ηλεκτρικής Τομογραφίας συμφωνούν μεταξύ τους και επιβεβαιώνονται από τα γεωτρητικά στοιχεία.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Haeni F.P., Grantham D.G. & Ellefsen K. 1987. *Microcomputer-based version of Sipt-. A program for the interpretation of seismic-refraction data*. Open file report, 87-103-A. Harford, Connecticut.
- Lankston R. 1992. High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation. *Geotechnical and environmental geophysics*, 45-73.
- Loke M.H. & Barker R.D. 1996. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

ABSTRACT

CONTRIBUTION OF ELECTRICAL TOMOGRAPHY AND SEISMIC REFRACTION IN SITE SELECTION FOR A DAM AT KOUNTOURA, CHANIA

Vafidis A.¹, Hamdan H.¹, Andronikidis N.¹, Dasiras A.³, Kritikakis G.¹, Koukadaki M.¹, Koumakis N.², Lampathakis S.³, Manoutsoglou E.¹, Oikonomou N.¹, Papakonstantinou K.², Spanoudakis N.¹

¹*Applied Geophysics Lab, Department of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, 73100, Polytechniopolis, Chania, nandron@mred.tuc.gr*

²*GEOTECH, Perigiali str 83, Kavala*

³*O.A.D.I.K., Square 1866 & Kriari str, Chania*

This paper presents the results from a geophysical survey conducted at Kountoura vergion, Chania. The aim of this survey was to estimate the thickness of the geological formations in the area where a dam is going to be constructed. Electrical tomography and seismic refraction were utilized in order to indicate the location of four drill holes. VLF, well logging and drill hole sampling were carried out. A 3D model was constructed indicating the relief of the underlying neogene marls covered by recent deposits and neogene conglomerates whose thickness ranges from 2-30m. This model does not show any major faults, which may affect the construction of the dam. The relief of the neogene marls is mainly affected by the paleorelief of the phyllite-quartzites and the underlying carbonates. One of the wells shows the weathered layer of phyllite-quartzites at depth less than 20 m. This survey shows that the geophysical method give useful information regarding the site selection for the dam at Kountoura.