

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Συμβολή των Γεωφυσικών Μεθόδων στην Επίλυση Γεωτεχνικών Προβλημάτων. Παραδείγματα από την ανατολική Κρήτη.»



ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ Α. ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ Γ. ΣΟΥΠΙΟΣ Π. (ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ - ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ) (ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ) (Αν. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΧΑΝΙΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για τους ανθρώπους που με βοήθησαν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, κατά την εξέλιξη της εργασίας αυτής αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αυτές οι γραμμές δεν είναι αρκετές. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της και ιδιαίτερα:

- Τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας, για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της εργασίας καθώς και για την επίτευξη μιας άψογης συνεργασίας.
- Τον Καθηγητή κ. Εξαδάκτυλο Γεώργιο, μέλος της Εξεταστικής Επιτροπής για τις επισημάνσεις του στην παρούσα διπλωματική εργασία.
- Τον κ. Σουπιό Παντελή, μέλος της Εξεταστικής Επιτροπής, για τη πολύτιμη βοήθειά του.
- Τον κ. Ανδρονικίδη Νίκο, κ. Οικονόμου Νίκο, κ. Χαμντάν Χαμντάν και κ.
 Κρητικάκη Γιώργο για την συνεχή υποστήριξή τους και την πολύπλευρη βοήθειά τους.
- Τους φίλους μου για την μοναδική συμπαράσταση και βοήθεια τους.
- Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ αξίζει στην οικογένεια μου που με την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου υπήρξαν η κινητήρια δύναμη από το πρώτο έτος μέχρι την αποφοίτηση μου από το Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται 3 περιοχές με τις γεωφυσικές μεθόδους ώστε να δούμε πως συμβάλλει η γεωφυσική στα γεωτεχνικά έργα.

Παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας τομογραφίας (εκτέλεση ηλεκτρικής και σεισμικής διάθλασης), η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τη δημιουργία νέων ισογείων κατοικιών με υπόγειο σε περιοχή του Δήμου Μαλεβυζίου. Με βάση τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην περιοχή μελέτης, εντοπίστηκε ένας έντονα ανομοιογενής επιφανειακός γεωλογικός σχηματισμός που αποτελείται από φυτική γη, φερτά υλικά και επιφανειακές προσχώσεις, ο οποίος εμφανίζει μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία ή και σε αργιλότητα. Επίσης, παρατηρήθηκε ένας υποκείμενος γεωλογικός σχηματισμός που αποδίδεται στις μάργες.

Ακόμη παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας τομογραφίας διάθλασης), (εκτέλεση ηλεκτρικής και σεισμικής οποία η πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης διαφορετικής περιοχής έρευνας του Δήμου Μαλεβυζίου. Σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής έρευνας στο υπό έρευνα οικόπεδο αναμένεται η εμφάνιση εντόνων φαινομένων ολίσθησης του σχηματισμού έδρασης λόγω του ότι το επιφανειακό έντονα αποσαθρωμένο τμήμα του φυλλίτη ακολουθεί ένα δεύτερο στρώμα φυλλίτη μέτρια αποσαθρωμένου. Κάτω από το δεύτερο στρώμα αναμένεται ο σχετικά υγιής φυλλιτικός σχηματισμός. Όσον αφορά την κατηγορία εδάφους (σύμφωνα με τον ΕΑΚ), ο σχηματισμός έδρασης στη συγκεκριμένη περίπτωση ανήκει στην κατηγορία εδάφους X και προσομοιάζεται με «Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες από προϊόντα γαλαρών πλευρικών κορημάτων».

Τέλος παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικής τομογραφίας, Γεωραντάρ και ηλεκτρομαγνητικής χαρτογράφησης), η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τη ανίχνευση ύπαρξης σπηλαιώσεων, σε οικόπεδο στο Δήμου Άγιου Νικολάου. Η γεωφυσική έρευνα στην περιοχή μελέτης έδειξε σε κάποια σημεία έντονη καρστικοποίηση με πιθανές σπηλαιώσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΠE	ΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑ	2
2.	ΘΕ	ΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	9
	2.1	Μέθοδος της Σεισμικής Διάθλασης	9
	2.2	Μέθοδος Ηλεκτρικής Τομογραφίας	13
	2.3	Μέθοδος Γεωραντάρ	16
	2.4	Ηλεκτρομαγνητική Χαρτογράφηση	19
3.	EΦ.	ΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ	22
	3.1	Περιοχή της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου	24
	3.1.	.1 Γεωφυσική διασκόπηση	24
	3.1.	2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης	27
	Σεια	σμική Γραμμή μελέτης 1	27
	Σεισμική Γραμμή μελέτης 2		27
	3.1.	3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	28
	Γρο	αμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 1	28
	Γρο	αμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 2	29
	3.1.	.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	30
	3.1.	5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	32
	3.2	Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου	33
	3.2.	1 Γεωφυσική διασκόπηση	34
	3.2.	2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης	36
	Σεια	σμική Γραμμή Μελέτης 1	36
	Σεια	σμική Γραμμή Μελέτης 2	36
	3.2.	3 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Τομογραφίας	
	Γρο	αμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 1	
	Гро	αμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 2	

	3.2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
	3.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	41
	3.3 Άγιος Νικόλαος	42
	3.3.1 Γεωφυσική διασκόπηση	42
	3.3.2 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Τομογραφίας	45
	Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας Τ1	45
	Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας Τ2	46
	3.3.4 Αποτελέσματα τομών Γεωραντάρ	47
	Εξοπλισμός – παράμετροι διασκόπησης	47
	Τομές γεωραντάρ	47
	3.3.5 Αποτελέσματα ηλεκτρομαγνητικής χαρτογράφησης	
	3.3.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
	3.3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	61
	4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
:	5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	64
	6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
,	7. ПАРАРТНМА А	67
	7.1 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	
:	8. ПАРАРТНМА В	
	8.1 ΨΕΥΔΟΤΟΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	84

Εισαγωγή

Η γεωφυσική ως επιστήμη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους χωρίς την απαραίτητη εκτέλεση γεωτρήσεων. Η εφαρμογή των γνωστών γεωφυσικών μεθόδων, η ανάπτυξη και η εξέλιξη νέων γεωφυσικών τεχνολογιών, οδήγησε στη δυνατότητα λήψης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών που αφορούν το υπέδαφος, χωρίς την απαραίτητη διάτρηση αυτού λόγω του αυξημένου κόστους.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις εκτελούνται στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις, σε θέσεις μεταλλείων και εντός στοών όσο και εναέρια εξαρτώμενες πάντα της κλίμακας του προβλήματος που ζητείται να λυθεί. Για την επιτυχή εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων και την επίλυση του προβλήματος, απαιτείται η πλευρική και κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες.

Εντοπισμός μιας διαφοροποίησης στις φυσικές ιδιότητες κατά την διάρκεια των μετρήσεων, έχει ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών ή τεκτονικών ασυνεχειών. Οι επιφανειακές μέθοδοι γεωφυσικών διασκοπήσεων συνήθως οδηγούν στη γενικότερη γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι κάνουν χρήση διαφόρων φυσικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με εδάφη και πετρώματα. Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις περιλαμβάνουν 3 βασικά στάδια:

α) σχεδίαση διασκόπησης, εκτέλεση αναγνωριστικών μετρήσεων και οικονομοτεχνική
 μελέτη

β) εκτέλεση των μετρήσεων και συλλογή των δεδομένων

γ) επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων

Το πρώτο βασικό στάδιο καθορίζεται για το στόχο της γεωφυσικής έρευνας με βάση το οποίο επιλέγεται συγκεκριμένη γεωφυσική μέθοδος με τις αντίστοιχες παραμέτρους.

Η ερμηνεία των δεδομένων γίνεται με την υπέρθεση των γεωφυσικών μοντέλων. Το τελικό μοντέλο πρέπει να αποδίδει σωστά τις μετρούμενες φυσικές ιδιότητες και σε συνδυασμό με άλλες πληροφορίες (γεωλογικές – γεωφυσικές).

1

1. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Στη παρούσα εργασία εξετάζονται τρεις περιοχές της ανατολικής Κρήτης.

 Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Δήμο Μαλεβυζίου, Νομού Ηρακλείου και βρίσκεται περίπου 9 km νοτιοδυτικά της πόλης του Ηρακλείου.

Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης βρίσκεται νοτιοδυτικά από το Γάζι και βορειοανατολικά από την Τύλισο (Σχήμα 1.1).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή (Σχήμα 1.1) είναι (Γεωλογικός χάρτης, ΙΓΜΕ, 1993, Φύλλο Ηρακλείου):

α) Τεταρτογενείς αποθέσεις: είναι οι νεότερες αποθέσεις της περιοχής και αποτελούνται από κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα, ποτάμιες αποθέσεις και αποθέσεις κλειστών λεκανών.

β) Νεογενείς αποθέσεις: αποτελούνται από τους σχηματισμούς: Φοινικιάς (λευκές ομοιογενείς μάργες), Αγίας Βαρβάρας (κροκαλοπαγή – λατυποπαγή), Αμπελούζου (ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμίτες κ.α.), Προφήτη Ηλία (λατυποκροκαλοπαγή) και Βιάνου (σκούρες άργιλοι).

Σε μεγαλύτερα βάθη απαντώνται τα τεκτονικά καλύματα:

- γ) των Εσωτερικών ζωνών
- δ) της Ζώνης Τριπόλεως και
- ε) της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής σειράς.



Σχήμα 1.1: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη «Φύλλο Ηρακλείου» όπου απεικονίζεται (με έλλειψη) η ευρύτερη περιοχή μελέτης(ΙΓΜΕ, 1993, ΦΥΛΛΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ).

 Η περιοχή ενδιαφέροντος διοικητικώς υπάγεται στον Δήμο Μαλεβυζίου του Νομού Ηρακλείου και βρίσκεται δυτικά της πόλης του Ηρακλείου.

Το μορφολογικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής (σχήμα 1.2, *IFME*, 1993, ΦΥΛΛΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ) ποικίλει, λόγω του ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής, έχουν υποστεί τεκτονική καταπόνηση και επίδραση των εξωτερικών παραγόντων (διάβρωση). Στη θέση ενδιαφέροντος το μορφολογικό ανάγλυφο είναι επικλινές, Το απόλυτο υψόμετρο στον υπό έρευνα χώρο είναι περίπου 50 m.

Στην ευρύτερη περιοχή της θέσης εμφανίζεται τόσο ο σχηματισμός τού τεκτονικού καλύμματος των φυλλιτών – χαλαζιτών (σχιστόλιθοι, πρασινίτες, πρασινοσχιστόλιθοι, μεταβασίτες και μάρμαρα του Βασιλικού) ηλικίας Περμίου – Αν. Τριαδικού, ο οποίος βρίσκεται επωθημένος πάνω στην αυτόχθονη σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων της Ιονίου ζώνης, ηλικίας Μέσου Ιουρασικού – Ηωκαίνου, όσο και ο σχηματισμός των «Μαρμάρων Βασιλικού».

Η φυλλιτική – χαλαζιτική σειρά αποτελεί μια ενότητα πετρωμάτων πολύ χαμηλής μέχρι χαμηλής μεταμόρφωσης. Αναλυτικότερα αποτελείται από:

- Σχιστόλιθους ιζηματογενούς κλαστικής αρχικής προέλευσης (μοσχοβιτικοί, χαλαζιακοί, αστριοχαλαζιούχοι, χλωριτικοί, ανθρακικοί) με ιστό μικροκρυσταλικό και υφή παράλληλα προσανατολισμένη, σχιστώδη.
- Πρασινίτες πρασινοσχιστόλιθοι, χαμηλής μεταμόρφωσης ηφαιστειακής αρχικής προέλευσης με ακτινόλιθους, γλαυκοφάνη, επίδοτα, χλωρίτη, σερικίτη, μοσχοβίτη και βιοτίτη.
- Μεταβασίτες: ηφαιστειογενή βασικά πετρώματα πολύ χαμηλής μεταμόρφωσης που διατηρούν ανέπαφο τον πορφυρικό τους ιστό με πλαγιόκλαστα, πυρόξενους, χλωρίτη, επίδοτα, χαλαζία και αβεστίτη.

Το μέγιστο πάχος της σειράς είναι περίπου 400 m.

Μάρμαρα Βασιλικού εμφανίζονται δυτικά και νοτιοδυτικά της υπό έρευνα περιοχής σε απόσταση περίπου 2.000 m), είναι μεσοστρωματώδη και κατά θέσεις άστρωτα, τεφρά μέχρι τεφρόλευκα, μεσοαδροκρυσταλλικά, ελαφρά δολομιτιωμένα. Παρεμβάλλονται στα κατώτερα μέλη της φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς και συχνά εμφανίζουν εικόνα τεκτονικού καλύμματος, η οποία όμως οφείλεται στην διαφορετική μηχανική συμπεριφορά τους, καθώς επίσης και στην διάβρωση των υπερκείμενων τους στρωμάτων.

Το μέγιστο πάχος τους είναι 200 m περίπου.



Σχήμα 1.2: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη δήμου Μαλεβυζίου και στο ΔΔ Ροδιάς(ΙΓΜΕ, 1993, ΦΥΛΛΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ).

 Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Δήμο Άγιου Νικολάου, Νομού Άγιου Νικολάου και βρίσκεται εντός της πόλης του Αγίου Νικολάου, (Σχήμα 1.3).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή (Σχήμα 1.3, *ΙΓΜΕ, 1987, ΦΥΛΛΟ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ*) είναι:

α) Τεταρτογενείς αποθέσεις: είναι οι νεότερες αποθέσεις της περιοχής και αποτελούνται από κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα, ποτάμιες αποθέσεις και αποθέσεις κλειστών λεκανών.

β) Νεογενείς αποθέσεις: αποτελούνται από τους σχηματισμούς: Φοινικιάς (λευκές ομοιογενείς μάργες), Αγίας Βαρβάρας (κροκαλοπαγή – λατυποπαγή), Αμπελούζου (ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες κ.α.), Προφήτη Ηλία (λατυποκροκαλοπαγή) και Βιάνου (σκούρες άργιλοι).

Σε μεγαλύτερα βάθη απαντώνται τα τεκτονικά καλύμματα:

- 1. Τεκτονικό κάλυμμα εσωτερικών ζωνών
- 2. Τεκτονικό κάλυμμα ζώνης Πίνδου-Εθίας
- 3. Τεκτονικό κάλυμμα ζώνης Τρίπολης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται πάνω σε ασβεστόλιθο της ζώνης Τρίπολης.



Σχήμα 1.3: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη «Φύλλο Άγιος Νικόλαος» όπου απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης(ΙΓΜΕ, 1987, ΦΥΛΛΟ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ).

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Μέθοδος της Σεισμικής Διάθλασης

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, i₀, η γωνία διάθλασης, i₂, και οι ταχύτητες V₁ και V₂ στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell:

$$p = \frac{\sin(i_0)}{V_1} = \frac{\sin(i_2)}{V_2}$$
(2.1)

όπου p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας. Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, όταν ισχύει $V_2 > V_1$ και η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 2.1). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής:

$$\sin(i_c) = \frac{V_1}{V_2}$$
(2.2)

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 2.1). Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση δημιουργίας ορικά διαθλώμενων κυμάτων είναι οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων θα πρέπει να αυξάνουν από τους ρηχότερους στους βαθύτερους σχηματισμούς.



Σχήμα 2.1: Είδη κυμάτων και διάδοση τους (Λούης Φ. Ιωάννης, 2008).

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. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα (Σχήμα 2.2).

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

Τα σεισμικά κύματα που καταγράφονται πρώτα στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα (Σχήμα 2.2). Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεώφωνα, που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση x_c από το σημείο της έκρηξης. Η απόσταση αυτή λέγεται ορική απόσταση (Σχήμα 2.2) και δίνεται από τη σχέση (Βαφείδης, 1993):

$$\mathbf{x}_{c} = 2 \cdot \mathbf{z}_{1} \cdot \sqrt{\frac{\mathbf{V}_{2} + \mathbf{V}_{1}}{\mathbf{V}_{2} - \mathbf{V}_{1}}}$$
(2.3)

όπου z_1 είναι το πάχος του πρώτου στρώματος.

Αν x είναι η απόσταση κάποιου γεωφώνου από την πηγή, ο χρόνος διαδρομής, t₁, των απευθείας κυμάτων θα είναι:



$$t_1 = \frac{X}{V_1}$$

Σχήμα 2.2: Χρόνος διαδρομής κύματος και δρομοχρονική καμπύλη (Λούης Φ. Ιωάννης, 2008).

Στην περίπτωση δύο οριζόντιων στρωμάτων (Σχήμα 2.3) οι καταγραφές που θα προκύψουν από τη σεισμική διάθλαση θα έχουν τη μορφή του Σχήματος 2.4. Παρατηρείται ότι ο χρόνος διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης. Συνεπώς, η καμπύλη χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών θα είναι ευθείες γραμμές.

Γενικά, η διαδικασία υπολογισμού του πάχους και των ταχυτήτων των στρωμάτων από τις πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων, για μια δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων ακολουθεί τα εξής βήματα (Βαφείδης, 1993):

11

(2.4)

Σε διάγραμμα t – x τοποθετούνται οι μετρήσεις των διπλών χρόνων διαδρομής (Σχήμα 2.5) και των αποστάσεων πηγής – γεωφώνου.

Επιλέγονται τα σημεία που βρίσκονται σε ευθεία η οποία ξεκινά από την αρχή των αξόνων (Σχήμα 2.5). Από την κλίση αυτής της ευθείας (απευθείας κύματα) υπολογίζεται η ταχύτητα του επιφανειακού στρώματος (V₁ = 1 / κλίση ευθείας απευθείας κυμάτων).

Προσδιορίζεται η κλίση της ευθείας η οποία περνά από τα υπόλοιπα σημεία (μετωπικά κύματα) αλλά και την τομή της με τον άξονα των χρόνων (Σχήμα 2.5). Από την κλίση της ευθείας των μετωπικών κυμάτων, υπολογίζεται η ταχύτητα του δεύτερου στρώματος ($V_2 = 1 / \kappa \lambda$ ίση ευθείας μετωπικών κυμάτων).

Προσδιορίζεται η ορική γωνία i_c από τη σχέση (1.2) : $sin(i_c) = \frac{V_1}{V_2}$

Υπολογίζεται το πάχος του επιφανειακού στρώματος z_1 από τη σχέση :

$$z_{1} = \frac{T_{2}(0) \cdot V_{1}}{2\cos(i_{c})}$$
(2.5)

όπου $T_2(0)$ είναι ο χρόνος συνάντησης και ισούται με το άθροισμα των χρόνων καθυστέρησης του σεισμικού κύματος στους κλάδους της σεισμικής ακτίνας που διαδίδονται στο επιφανειακό στρώμα.

Ως χρόνος καθυστέρησης σε ένα κλάδο της σεισμικής ακτίνας που διαδίδεται σε ένα στρώμα ορίζεται ο πρόσθετος χρόνος που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει τον κλάδο αυτό, σε σχέση με το χρόνο που θα χρειαζόταν το κύμα για να διανύσει την οριζόντια προβολή του κλάδου με τη μέγιστη ταχύτητα που απόκτησε αυτό κατά τη διαδρομή του. Στην περίπτωση των δύο στρωμάτων, ο χρόνος καθυστέρησης στον ένα κλάδο της σεισμικής ακτίνα που διαδίδεται στο επιφανειακό στρώμα δίνεται από τη σχέση :

$$T_{12} = \frac{SA}{V_1} - \frac{OA}{V_2} \quad (= \frac{BG}{V_1} - \frac{BP}{V_2})$$
(2.6)



Σχήμα 2.3: Διάταξη συστήματος καταγραφής σεισμικών ερευνών 2 στρωμάτων.



Σχήμα 2.4: Δρομοχρονική καμπύλη και σεισμόγραμμα(Λούης Φ. Ιωάννης, 2008).



Σχήμα 2.5: Απόσταση Χ μεταξύ της πηγής και του δέκτη (Λούης Φ. Ιωάννης, 2008).

2.2 Μέθοδος Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Οι μεταβολές του ηλεκτρικού δυναμικού οφείλονται στις μεταβολές της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης των πετρωμάτων.

Η ηλεκτρική ειδική αντίσταση αποτελεί την φυσική ιδιότητα των πετρωμάτων στην οποία είναι ευαίσθητο το μετρούμενο από την μέθοδο φυσικό φαινόμενο του

ηλεκτρικού δυναμικού. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ, είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{RA}{L}$$
[2.7]

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το ohm.m, μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα 1 ohm.cm όπου 1 ohm.m = 100 ohm.cm. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το Siemens/m.

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. 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 κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα ή έγκοιλα.

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται επεξεργασία των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό πακέτο για τον υπολογισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση περιοχών περίπλοκης γεωλογικής δομής όπου η συμβατική μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι ανεπαρκής. Τέτοιες διασκοπήσεις πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας 28 ηλεκτρόδια ή περισσότερα τα οποία τοποθετούνται πάνω στην γραμμή μελέτης με αύξουσα σειρά (το πρώτο ηλεκτρόδιο ακολουθείται από το δεύτερο και το κάθε εξής).

Μια κεντρική μονάδα υπολογιστή επιλέγει αυτόματα τα ενεργά ηλεκτρόδια που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε μέτρηση, αναλόγως της διάταξης που έχει επιλεχθεί από την χρήστη πριν από την έναρξη των μετρήσεων. Τα δεδομένα της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης από αυτές τις διασκοπήσεις τακτοποιούνται σε μια ψευδοτομή που δίνει μια πρώτη εκτίμηση για την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε πραγματικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε πραγματικές προσδιορισμό επιθυμητών βαθών.

Οι κυριότεροι παράγοντες κατά την επιλογή της διάταξης στην ηλεκτρική διασκόπηση είναι το μέγιστο βάθος διασκόπησης και η διακριτική ικανότητα τους. Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (διπόλου–διπόλου, πόλου–διπόλου) έχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι διατάξεις Wenner, Schlumberger και διπόλου – διπόλου έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στο ίδιο βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες Διατάξεις (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Διατάζεις Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).

Οι χαρακτηριστικές τιμές των ειδικών αντιστάσεων, οι οποίες προέκυψαν από γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις αναφοράς, από μετρήσεις της ειδικής αντίστασης σε θέσεις όπου τα πετρώματα εμφανίζονται στην επιφάνεια και από προηγούμενες μελέτες (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992), συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Άργιλοι	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

Πίνακας 2.1: Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).

2.3 Μέθοδος Γεωραντάρ

Πρόκειται για μία ηλεκτρομαγνητική γεωφυσική τεχνική που βρίσκει εφαρμογή στην χαρτογράφηση των στρωμάτων σε εδάφη και πετρώματα και στον εντοπισμό υπόγειων δομών, στηριζόμενη στις διαφορές των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υλικών. Η εφαρμογή της μεθόδου ξεκίνησε αρχικά το 1956, αλλά η μεγάλη ώθηση της μεθόδου δόθηκε μετά το 1970 κυρίως λόγω της αλματώδους εξέλιξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1960.

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία σειρά από εφαρμογές όπως είναι η χαρτογράφηση του βάθους του υποβάθρου, ο καθορισμός του πάχους των στρωμάτων και το βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ο εντοπισμός φυσικών και τεχνητών εγκοίλων στο υπέδαφος, η ανίχνευση των αλλαγών της σύστασης των πετρωμάτων, ο εντοπισμός ρωγμών του υποβάθρου. Ιδιαίτερη εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται στην Αρχαιομετρία για τον εντοπισμό θαμμένων αρχαιοτήτων και αρχαιολογικών λειψάνων. Η βασική αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, υψηλής συχνότητας, στο υπέδαφος και στην καταγραφή των επιστρεφομένων κυμάτων. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που διαδίδεται στο υπέδαφος εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητές του, δηλαδή την διηλεκτρική σταθερά και την αγωγιμότητα. Η μέθοδος στηρίζεται κυρίως στην καταγραφή των ανακλωμένων κυμάτων σε επιφάνειες που παρουσιάζουν διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες.

Ένας ηλεκτρομαγνητικός παλμός υψηλής συχνότητας και μικρής διάρκειας παράγεται και διοχετεύεται στο έδαφος. Ο παλμός (το σήμα) διαδίδεται και διαχέεται στα υλικά που συνιστούν το υπέδαφος και η πορεία του εξαρτάται από τις ιδιότητες των περιβαλλόντων υλικών. Ένα μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται στην διαχωριστική επιφάνεια υλικών με διαφορετικές ιδιότητες και καταγράφεται σε έναν δέκτη, ο οποίος βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια του παλμού διοχετεύεται σε βαθύτερα επίπεδα.

Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου παλμού εξαρτάται από την ταχύτητα διάδοσης κατά μήκος της διαδρομής που αυτός ακολούθησε. Ο χρόνος αυτός μπορεί να μετρηθεί και αν η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι γνωστή μπορεί να υπολογιστεί το βάθος του ανακλαστήρα. Στα περισσότερα γεωλογικά υλικά η αγωγιμότητα και η διηλεκτρική σταθερά (σχετική διαπερατότητα) είναι οι παράμετροι που κυρίως επηρεάζουν τον παλμό. Επιπλέον η απορρόφηση του σήματος εξαρτάται από την συχνότητα της κεραίας, την αγωγιμότητα και την διηλεκτρική σταθερά.

Το μέγιστο βάθος για το οποίο μπορεί να δώσει πληροφορίες η μέθοδος του Γεωραντάρ εξαρτάται κυρίως από την απορρόφηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η απορρόφηση αυξάνει με την συχνότητα και κατά συνέπεια όσο χαμηλότερη συχνότητα χρησιμοποιείται τόσο βαθύτερα "βλέπει" η μέθοδος. Πρέπει όμως να λαμβάνεται υπόψη ότι η διακριτική ικανότητα μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας. Για παράδειγμα συστήματα G.P.R. που λειτουργούν σε εύρος 25-50 Mhz μπορεί να διερευνήσουν βάθη που υπερβαίνουν τα 50 m σε εδάφη με χαμηλή αγωγιμότητα (μικρότερη από 1ns/m) όπως άμμος, χαλίκια.

Οι καταγραφές Radar (ραδιογράμματα) τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη κατ΄ αναλογία με τις σεισμικές αναγραφές. Δημιουργείται έτσι μία τομή η οποία προσομοιάζει την αληθινή ηλεκτρική τομή του υπεδάφους, δηλαδή της αποτύπωσης των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του με το βάθος (Σχήμα 2.12 – 2.13).



Σχήμα 2.12: Απεικόνιση καταγραφών Radar (ραδιόγραμμα).



Σχήμα 2.13: Απεικόνιση καταγραφών Radar (ραδιόγραμμα).

Η μέθοδος αυτή έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία αναλύονται παρακάτω:

Το GPR είναι μια μέθοδος έρευνας πεδίου που δημιουργεί μια υπόγεια διατομική εικόνα του υπεδάφους. Το GPR είναι μια γρήγορη, ανέξοδη τεχνική που μπορεί να εντοπίσει θαμμένα αντικείμενα, δίκτυα κοινής ασφάλειας, υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης και άλλα θαμμένα αντικείμενα. Ο εξοπλισμός GPR είναι συμπαγής, εύκολα μεταφερόμενος και μπορεί να μεταφερθεί από ένα αεροπλάνο στον χώρο των αποσκευών. Ταυτόχρονα η εκπαίδευση στον χειρισμό του είναι πολύ εύκολη και το προσωπικό μπορεί να κινητοποιηθεί άμεσα για έρευνες με GPR.

Η κύρια αδυναμία του GPR είναι ότι δεν μπορεί να διαπεράσει έναν ορίζοντα αργίλου (αν και θα ανιχνεύσει τις ρηγματώσεις). Ο εξοπλισμός είναι επίσης πολύ ακριβός και η ερμηνεία των στοιχείων μπορεί να είναι σύνθετη και δύσκολη. Η χρήση μιας λάθος κεραίας σημαίνει ότι τα σημαντικά χαρακτηριστικά κρύβονται ή λείπουν εξ' ολοκλήρου. Αυτό συμβαίνει λόγω της μικρής ανάλυσης ή της υπερβολικής έντασης του σήματος. Οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην εφαρμογή διορθώσεων και επεξεργασίας σήματος των σημάτων του γεωραντάρ. Αυτές οι μέθοδοι, έχουν χρησιμοποιηθεί συνήθως με τα σεισμικά δεδομένα στην αναζήτηση των υδρογονανθράκων για περισσότερο από δύο δεκαετίες.

2.4 Ηλεκτρομαγνητική Χαρτογράφηση

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος του κινούμενου πομπού-δέκτη χρησιμοποιήθηκε, προκειμένου να χαρτογραφηθούν τα επιφανειακά στρώματα του υπεδάφους και να επισημανθούν οποιεσδήποτε αξιοσημείωτες μεταβολές που παρατηρούνται στην τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά γρήγορη και προσφέρει άμεσα συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα φυσικά συσχετίζονται με τις υπόλοιπες γεωφυσικές τεχνικές ώστε να προκύψουν τελικά οι περιοχές ενδιαφέροντος.

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μέθοδοι Συνεχών Κυμάτων.
- Μέθοδοι Ασυνεχών Κυμάτων.
- Μαγνητοτελλουρικές Μέθοδοι.

Οι μέθοδοι των συνεχών κυμάτων διακρίνονται με τη σειρά τους στις μεθόδους μέτρησης της γωνίας κλίσης (μέθοδος τοπικού πομπού, VLF, AFMAG) και στις μεθόδους μέτρησης της φάσης (μέθοδος αντιστάθμισης, Turam, κινούμενου πομπού – δέκτη).

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων παράγεται στην επιφάνεια της γης (φυσικά ή τεχνητά) πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο φθάνει απευθείας σε δέκτη στην επιφάνεια της γης. Παράλληλα, το κύμα συνεχίζει την πορεία του μέσα στο υπέδαφος και σε περίπτωση που συναντήσει ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα, επάγει σε αυτό ηλεκτρικό ρεύμα με αποτέλεσμα τη γένεση δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό κύμα φθάνει επίσης στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον (Σχήμα 2.14).

Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ τα δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα, εντούτοις η αντίστοιχη ένταση του μαγνητικού πεδίου παρουσιάζει διαφορετική διεύθυνση, πλάτος και φάση. Αυτά τα μεγέθη επηρεάζονται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα επιφανειακά κυρίως στρώματα του φλοιού της γης.



Σχήμα 2.14: Δημιουργία δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος από αγώγιμο σώμα.

Η διαφορά φάσης Φ μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου (της έντασής των) εξαρτάται από τη γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους. Για αυτό το λόγο, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι που στοχεύουν στη μέτρηση της διαφοράς φάσης Φ.

Στο διάγραμμα φάσεων (Σχήμα 2.15) το διάνυσμα Hp αντιστοιχεί στο πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το Hs, στο δευτερεύον και το H στη συνισταμένη τους. Η προβολή του Hs στη διεύθυνση του Hp έχει μέτρο H₁, διαφορά φάσης π με την Hp και καλείται πραγματική συνιστώσα (in phase) του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου. Η προβολή του Hs πάνω στην κάθετη στο Hp ευθεία έχει μέτρο H₂, παρουσιάζει διαφορά φάσης π/2 με την Hp και ονομάζεται φανταστική συνιστώσα (quadrature) του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 2.15: Διάγραμμα φάσεων.

Στη μέθοδο του κινούμενου πομπού-δέκτη μελετάται η χρονική μεταβολή του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Το όργανο μετράει την πραγματική και φανταστική συνιστώσα του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κατά μήκος γραμμών μελέτης ή σε κάνναβο.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου μετακινείται όλη η μονάδα, η οποία περιλαμβάνει το πομπό και το δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι μετρήσεις λαμβάνονται με το όργανο CM – 031. Η συχνότητα του οργάνου είναι 9,766 kHz, ενώ η απόσταση πομπού – δέκτη είναι 3.74 m. Το βάθος διασκόπησης φτάνει με το συγκεκριμένο όργανο τα 6 m.

Η φανταστική συνιστώσα που μετράται με το όργανο δίνει πληροφορίες για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους και χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση αυτού, ενώ η πραγματική συνιστώσα παρέχει περισσότερα στοιχεία για την ύπαρξη μεταλλικών αντικειμένων (καλώδια, σωλήνες, βαρέλια) στο υπέδαφος.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ

Τα τεχνικά έργα που κατασκευάζονται σήμερα είναι έργα με μεγάλες απαιτήσεις ασφάλειας και κόστους. Οι προδιαγραφές ασφαλούς κατασκευής και ο περιορισμός του κόστους της κατασκευής εντοπίζονται στην ακριβέστερη μελέτη των συνθηκών θεμελίωσης του έργου πάνω ή μέσα στο γεωλογικό τους υπόβαθρο. Το στοιχείο αυτό προϋποθέτει προχωρημένη γνώση της γεωλογικής δομής της βραχόμαζας ή εδαφόμαζας και των τεχνικογεωλογικών - γεωτεχνικών τους παραμέτρων.

Έτσι η ακριβής και λεπτομερειακή μελέτη κατά τις φάσεις του σχεδιασμού και της κατασκευής οποιουδήποτε επιφανειακού ή υπόγειου τεχνικού έργου είναι απαραίτητη και επιβεβλημένη. Μέσα από τον εντοπισμό ασθενών περιοχών θεμελίωσης και μελλοντικής παρουσίας αστοχιών στην κατασκευή, όπως και αποφυγή ανεπιθύμητων ενεργειών και ασθενών περιοχών οδηγούμαστε στην αυτόματη αύξηση της ασφάλειας των κατασκευών και στον περιορισμό του κόστους της κατασκευής τους.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι έρχονται να συμπληρώσουν όλα τα ερωτήματα που έχουν να κάνουν με το υπέδαφος, δίνοντας στους πολιτικούς μηχανικούς και στους αρχιτέκτονες μια γρήγορη εικόνα με ταυτόχρονα χαμηλό κόστος. Γι΄ αυτούς τους λόγους γίνεται απαραίτητη και επιβεβλημένη η σύνταξη γεωλογικής μελέτης στο σχεδιασμό και την κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου.

Επιφανειακοί γεωφυσικοί στόχοι μέχρι 5 m:

- σωλήνες, κοιλότητες στο έδαφος, έγκοιλα μικρού μεγέθους, γήινες κατασκευές μέσα στο έδαφος
- γεωλογικά στοιχεία όπως μικρορήγματα, στρωματογραφική επαλληλία, ποσοστό υγρασίας εδάφους, κατάσταση πρανών
- 3. αρχαιολογικοί στόχοι (τάφοι, τείχη, τοιχία κ.α.)

Επιφανειακοί γεωφυσικοί στόχοι μεσαίου βάθους από 5 μέχρι 25 m μπορεί να είναι:

1. Έγκοιλα, σπηλαιώσεις, καρστικά, υπόγεια ρήγματα

 Γεωλογικοί ορίζοντες (επιφάνειες στρωμάτων), θαμμένες στρώσεις απορριμμάτων σε σκουπιδότοπους, ζώνες μεταλλευμάτων, τούνελ

Βαθείς γεωφυσικοί στόχοι από 25 m και άνω. Γεωφυσικοί στόχοι σε αυτό το βάθος δεν μπορεί να είναι παρά μόνο γεωλογικές οντότητες δεδομένου ότι οι ανθρώπινες κατασκευές είναι πλέον ελάχιστες τόσο βαθιά. Έτσι, βαθείς γεωφυσικοί στόχοι μπορεί να είναι:

- 1. Γεωλογικά στρώματα διαφόρων ειδών
- 2. Υδροφόρα ρήγματα

Ένα πρόγραμμα γεωφυσικών διασκοπήσεων αποτελείται από το στάδιο εργασιών υπαίθρου και το στάδιο της επεξεργασίας - ερμηνείας. Στις εργασίες υπαίθρου γίνονται μετρήσεις σε συγκεκριμένες περιοχές που υποδεικνύονται με την συνεργασία του επιβλέποντος φορέα. Ο προσδιορισμός του βάθους υποβάθρου είναι ένας αρκετά κοινός γεωφυσικός στόχος.

Καλό είναι πριν την επιλογή της μεθόδου να γίνεται μια εκτίμηση για το πιθανό βάθος έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί η σωστή μέθοδος.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

3.1 Περιοχή της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικών τομογραφιών και σεισμικής διάθλασης), η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τη δημιουργία νέων ισογείων κατοικιών με υπόγειο στην περιοχή της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου.

Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο την χαρτογράφηση των σχηματισμών του υπεδάφους στην περιοχή μελέτης και ειδικότερα την χαρτογράφηση των επιφανειακών σχηματισμών πάνω στους οποίους θα εδραστεί η κατασκευή.

Η χαρτογράφηση των σχηματισμών έχει ως στόχο την αναγνώριση και τον εντοπισμό ζωνών υγρασίας, τυχόν ανομοιογενειών του υπεδάφους ή και τον προσδιορισμό θέσεων που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής για την κατασκευή των κατοικιών (κτήριο A και B, Σχήμα 3.2).

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει 2 σεισμικές γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 44 m καθώς και 2 ηλεκτρικές τομογραφίες συνολικού μήκους 108 m.

3.1.1 Γεωφυσική διασκόπηση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην εν λόγω περιοχή. Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο την απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους, την αναγνώριση και τον εντοπισμό ζωνών υγρασίας, τυχόν ανομοιογενειών του υπεδάφους ή και τον προσδιορισμό θέσεων που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής για την κατασκευή των κατοικιών.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής η γεωφυσική έρευνα, περιλαμβάνει:

 2 γραμμές σεισμικής διάθλασης μήκους 22 m η κάθε μια. Οι γεωμετρία των πειραμάτων (θέσεις σεισμικών πηγών και γεωφώνων) των σεισμικών γραμμών μελέτης απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1. Η διάρκεια κάθε σεισμικής καταγραφής ήταν 400 msec, ενώ το διάστημα δειγματοληψίας ορίστηκε στα 0.125 msec.

 2 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας μήκους 54 m η κάθε μια, όπου χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου διπόλου με ισαπόσταση των ηλεκτροδίων 2 m.

Οι θέσεις των γραμμών μελέτης σε σχέση με τις θέσεις των κτηρίων υπό κατασκευή απεικονίζονται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.1: Γεωμετρία των σεισμικών γραμμών μελέτης.



Σχήμα 3.2: Τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης και των κτηρίων υπό κατασκευή (έκθεση γεωφυσικής έρευνας υπό Αντώνη Βαφείδη καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης).

3.1.2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης

Σεισμική Γραμμή μελέτης 1

Η σεισμική γραμμή μελέτης Line 1 έχει διεύθυνση από ΒΔ προς ΝΑ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2. Αποτελείται από ένα αναπτύγματα 12 γεωφώνων μήκους 22 m. To 1° και το 12° γεώφωνο τοποθετήθηκαν στα 16 m και στα 38 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.3 παρατίθεται το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των στρωμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της γραμμής αυτής.



Σχήμα 3.3: Μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης Line 1.

Προσδιορίστηκαν τρία εδαφικά στρώματα των οποίων οι ταχύτητες των P – κυμάτων βρέθηκαν 530 m/s, 630 m/sec και 1000 m/s για το πρώτο, δεύτερο και τρίτο στρώμα, αντίστοιχα.

Σεισμική Γραμμή μελέτης 2

Η σεισμική γραμμή μελέτης Line 2 έχει διεύθυνση από BA προς NΔ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2. Αποτελείται από ένα ανάπτυγμα 12 γεωφώνων μήκους 22 m. To 1° και το 12° γεώφωνο τοποθετήθηκαν στα 10 m και στα 32 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.4 παρατίθεται το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των στρωμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της γραμμής αυτής.



Σχήμα 3.4: Μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης Line 2.

Προσδιορίστηκαν τρία εδαφικά στρώματα των οποίων οι ταχύτητες των P – κυμάτων βρέθηκαν 450 m/s, 650 m/s και 960 m/s για το πρώτο, δεύτερο και τρίτο στρώμα, αντίστοιχα.

Με βάση τη γεωλογία της περιοχής μελέτης τα τρία στρώματα που προσδιορίστηκαν από τη σεισμική διάθλαση μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής: Το πρώτο και δεύτερο στρώμα αποτελούνται από φυτική γη, φερτά υλικά και πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις, ενώ η ταχύτητα που παρατηρήθηκε στο τρίτο στρώμα αποδίδεται πιθανότατα σε αργιλικό σχηματισμό.

3.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 1

Στη γραμμή μελέτης Line 1, μήκους 54 m, το οποίο έχει διεύθυνση BΔ-NA, το μέγιστο βάθος διασκόπησης που επιτεύχθηκε ήταν 10 m (Σχήμα 3.5).

Παρατηρείται ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 – 150 ohm.m, και βάθη που ξεκινούν από 2 m στα βορειοδυτικά, έως σχεδόν τα 5 m στο νοτιοανατολικό τμήμα της γραμμής μελέτης. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται σε φυτική γη και φερτά υλικά μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία. Στην συνέχεια, παρατηρείται ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να κυμαίνονται από 7 - 20 ohm.m. Το πάχος του είναι γενικά 4 – 5 m ωστόσο, φαίνεται να μειώνεται αισθητά σε απόσταση 26 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη 2 περιοχών πολύ χαμηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 6 ohm.m) σε απόσταση 18 – 23 m και 29 – 32m από την αρχή της γραμμής μελέτης, αντίστοιχα (Σχήμα 3.5). Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται σε αργιλικό σχηματισμό αυξημένης περιεκτικότητας σε υγρασία.

Τέλος, παρατηρείται ένα τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα σε βάθος 6 – 8 m από την επιφάνεια της γης με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 30 – 80 ohm.m, Το στρώμα αυτό παρεμβάλλεται στο υπερκείμενο γεωηλεκτρικό στρώμα σε απόσταση 22 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, όπου φτάνει σχεδόν στα 3 m από την επιφάνεια. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται πιθανότατα, σύμφωνα και με τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής ηλεκτρικής ηλεκτρικής αντίστασης, σε συνεκτική μάργα.



Σχήμα 3.5: Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για την πρώτη γραμμή μελέτης (Line 1), με κατεύθυνση από ΒΔ προς ΝΑ.

Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 2

Στη γραμμή μελέτης Line 2, μήκους 54 m το οποίο έχει διεύθυνση BA-NΔ, το μέγιστο βάθος διασκόπησης που επιτεύχθηκε ήταν 10 m (Σχήμα 3.6).

Παρατηρείται ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 – 150 ohm.m, και βάθη που ξεκινούν από 1.5 m στα βορειοανατολικά, έως σχεδόν τα 6.5 m στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται σε φυτική γη και φερτά υλικά μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία.

Στην συνέχεια, παρατηρείται ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να κυμαίνονται από 7 - 35 ohm.m. Το στρώμα αυτό παρεμβάλλεται στο γεωηλεκτρικό στρώμα σε απόσταση 30 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Το πάχος του είναι γενικά μεγαλύτερο των 5 m. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται σε αργιλικό σχηματισμό αυξημένης περιεκτικότητας σε υγρασία.

Τέλος, το τρίτο γεωηλεκτρικό στρώμα που παρατηρήθηκε εμφανίζεται ανάμεσα στα δύο παραπάνω στρώματα, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να κυμαίνονται από 40 - 50 ohm.m. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται πιθανότατα, σύμφωνα και με τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, σε συνεκτική μάργα.



Σχήμα 3.6: Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για την δεύτερη γραμμή μελέτης (Line 2), με κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ.

3.1.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα Σχήματα 3.7 και 3.8 απεικονίζονται ως τομές υπέρθεσης και αντιπαραβολής συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας και των σεισμικών μεθόδων για τις γραμμές Line 1 και Line 2 αντίστοιχα.

Στην γραμμή Line 1, παρατηρείται έντονη ανομοιογένεια στην περιεκτικότητα της υγρασίας και της αργιλότητας του σχηματισμού των φερτών υλικών και των πρόσφατων επιφανειακών προσχώσεων. Ειδικότερα, ο σχηματισμός αυτός επιφανειακά παρουσιάζει μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία (ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις 50 – 150 ohm.m), ενώ σε μεγαλύτερα βάθη η περιεκτικότητα σε υγρασία ή/και η αργιλότητα

παρουσιάζει σημαντική αύξηση. Η γεωηλεκτρική ανωμαλία στα 26 – 28 m (Σχήμα 3.7) αποδίδεται σε έξαρση του μαργαϊκού υποβάθρου, γεγονός που αναγκάζει την υγρασία να συγκεντρωθεί σε μεγάλες ποσότητες στις γειτονικές θέσεις (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας σεισμικής διάθλασης και πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων της γραμμής μελέτης Line 1.

Στην γραμμή Line 2, παρατηρείται, τόσο στα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας, όσο και της σεισμικής διάθλασης, σχετικά ομοιόμορφη κατανομή των ακόρεστων επιφανειακών προσχώσεων (50 – 150 ohm.m, 630 m/sec) σε βάθη που κυμαίνονται από 2 - 5 m. Ο υποκείμενος σχηματισμός αποδίδεται επίσης σε προσχώσεις με αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία ή/και αργιλότητα. Η
γεωηλεκτρική ανωμαλία στα 8 m (Σχήμα 3.8) πιθανόν σχετίζεται με την αντίστοιχη ανωμαλία της γραμμής Line 1, δηλαδή έξαρση του μαργαϊκού υποβάθρου, το οποίο θεωρείται ότι απαντάται και σε βάθη μεγαλύτερα από 8 m στο νοτιοδυτικό άκρο της γραμμής Line 2.



Σχήμα 3.8: Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας σεισμικής διάθλασης και πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων της γραμμής μελέτης Line 2.

3.1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην περιοχή μελέτης, εντοπίστηκε ένας επιφανειακός γεωλογικός σχηματισμός που αποτελείται από φυτική γη, φερτά υλικά και επιφανειακές προσχώσεις. Ο σχηματισμός αυτός παρουσιάζει έντονη ανομοιογένεια. Ειδικότερα, σε βάθη που κυμαίνονται από 2 – 5 m, εμφανίζει μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία ή/και σε αργιλότητα, η οποία αυξάνεται σε μεγαλύτερα βάθη.

Επίσης, παρατηρήθηκε ένας υποκείμενος γεωλογικός σχηματισμός που αποδίδεται στο μαργαϊκό υπόβαθρο της περιοχής και γενικά απαντάται σε βάθη μεγαλύτερα των 8 m. Ωστόσο, στη θέση όπου πρόκειται να ανεγερθεί το «ΚΤΗΡΙΟ Β» ο σχηματισμός αυτός παρουσιάζει έξαρση και απαντάται σε βάθη 4 – 5 m.

Με βάση τα προαναφερθέντα συμπεράσματα της γεωφυσικής διασκόπησης προτείνονται τα παρακάτω:

- Επιλογή του κατάλληλου τύπου θεμελίωσης για εδάφη με αυξημένη περιεκτικότητα σε αργίλους και υγρασία.
- Λήψη κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων που θα προκληθούν από την θεμελίωση της κατασκευής «ΚΤΗΡΙΟ Β» σε υπέδαφος με διαφοροποίηση από θέση σε θέση της στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς.

3.2 Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικών τομογραφιών και σεισμικής διάθλασης), η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης περιοχής έρευνας στη θέση του Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη συλλογή όλων των διαθέσιμων και απαραίτητων στοιχείων σχετικά με τη στρωματογραφία, την τεκτονική, την υδρογεωλογία, την σεισμολογία κ.λ.π. που ενδιαφέρουν από τεχνικογεωλογική άποψη, ώστε να προκύψει μια όσον το δυνατόν, πιο ολοκληρωμένη και σαφής εικόνα των γεωλογικών συνθηκών, των γεωτεχνικών χαρακτήρων και των γεωλογικών σχηματισμών που την δομούν.

Για τον σκοπό αυτό, αφού επισκεφθήκαμε τον χώρο προέβημεν πρώτα σε μια αναγνώριση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τεκτονικών δεδομένων της περιοχής. Κατόπιν δε προχωρήσαμε στην εκτέλεση εμπεριστατωμένης γεωφυσικής έρευνας με την εκτέλεση 2 γεωηλεκτρικών και 2 σεισμικών τομογραφιών.

3.2.1 Γεωφυσική διασκόπηση

Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο την απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους, τον προσδιορισμό του πάχους του επιφανειακού αποσαθρωμένου γεωλογικού σχηματισμού της περιοχής μελέτης, τον προσδιορισμό του βάθους του υγιούς υποβάθρου, την ύπαρξη τυχόν ανομοιογενειών του υπεδάφους ή/και τον εντοπισμό θέσεων που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής για την κατασκευή του κτίσματος. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής η γεωφυσική έρευνα, περιλαμβάνει:

- 2 γραμμές σεισμικής διάθλασης μήκους 22 m η κάθε μια. Οι γεωμετρία των πειραμάτων (θέσεις σεισμικών πηγών και γεωφώνων) των σεισμικών γραμμών μελέτης απεικονίζεται στο Σχήμα 3.9. Η διάρκεια κάθε σεισμικής καταγραφής ήταν 400 msec, ενώ το διάστημα δειγματοληψίας ορίστηκε στα 0.125 msec.
- 2 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, η πρώτη μήκους 81 m, ενώ η δεύτερη μήκους 54 m, όπου χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου διπόλου με ισαπόσταση των ηλεκτροδίων 3 m για την πρώτη γραμμή, και 2 m για την δεύτερη.

Οι θέσεις των γραμμών μελέτης σε σχέση με τις θέσεις των κτηρίων υπό κατασκευή απεικονίζονται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.9: Γεωμετρία των σεισμικών γραμμών μελέτης.



Σχήμα 3.10: Τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης και των κτηρίων υπό κατασκευή (Γεωτεχνική έρευνα με την χρήση συγχρόνων γεωφυσικών μεθόδων, Ιούνιος 2005, υπό Αντώνιο Βαφείδη καθηγητή πολυτεχνείου Κρήτης).

3.2.2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης

Σεισμική Γραμμή Μελέτης 1

Η σεισμική γραμμή μελέτης Line 1 έχει διεύθυνση από B-BA προς N-NΔ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.10. Αποτελείται από ένα αναπτύγματα 12 γεωφώνων μήκους 22 m. Το 1° και το 12° γεώφωνο τοποθετήθηκαν στα 20 m και στα 42 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.11 παρατίθεται το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των στρωμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της γραμμής αυτής.



Σχήμα 3.11: Μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης Line 1.

Προσδιορίστηκαν δύο εδαφικά στρώματα των οποίων οι ταχύτητες των P – κυμάτων βρέθηκαν 1050 m/s και 1700 m/s για το πρώτο και δεύτερο στρώμα, αντίστοιχα.

Σεισμική Γραμμή Μελέτης 2

Η σεισμική γραμμή μελέτης Line 2 έχει διεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.10. Αποτελείται από ένα αναπτύγματα 12 γεωφώνων μήκους 22 m. To 1° και το 12° γεώφωνο τοποθετήθηκαν στα 20 m και στα 42 m από την αρχή της γραμμής μελέτης, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.12 παρατίθεται το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των στρωμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της γραμμής αυτής.



Σχήμα 3.12: Μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης Line 2.

Προσδιορίστηκαν δύο εδαφικά στρώματα των οποίων οι ταχύτητες των P – κυμάτων βρέθηκαν 560 m/s και 1000 m/s για το πρώτο και δεύτερο στρώμα, αντίστοιχα.

Με βάση τις σεισμικές ταχύτητες που προσδιορίστηκαν από την επεξεργασία των σεισμικών μεθόδων και τη γεωλογία της περιοχής μελέτης προκύπτει ότι το υπέδαφος αποτελείται από τρεις εδαφικούς σχηματισμούς, οι οποίοι μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής:

- Ένα επιφανειακό στρώμα με μέση ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων Vp = 560 m/s. Το στρώμα αυτό εμφανίζεται μόνο στην γραμμή μελέτης Line 2 σε βάθη μικρότερα των 7 m από την επιφάνεια του εδάφους και αποδίδεται σε φερτά υλικά και πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις φυλλιτικής – χαλαζιτικής σύστασης.
- 2. Το δεύτερο στρώμα έχει μέση ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων Vp = 1050 m/s. Το στρώμα αυτό έχει μικρό πάχος (1 4 m) στο πρώτο μισό της γραμμής Line 1 (B-BA), ενώ το πάχος του δείχνει να αυξάνεται απότομα προς το τέλος της γραμμής (N-NΔ). Στην γραμμή Line 2 το στρώμα αυτό εντοπίζεται στα 8 10 m από την επιφάνεια του. Το στρώμα αυτό αποδίδεται στο εξαλλοιωμένο τμήμα του καλύμματος των Φυλλιτών Χαλαζιτών.

 Το τρίτο στρώμα έχει μέση ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων Vp = 1700 m/s. Εντοπίζεται επιφανειακά (1 – 4 m) στο πρώτο μισό της γραμμής Line 1 (B-BA), ενώ έχει την τάση να βαθαίνει απότομα προς το τέλος της γραμμής (N-NΔ). Αποδίδεται σε συνεκτικούς Φυλλίτες - Χαλαζίτες.

3.2.3 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 1

Στη γραμμή μελέτης Line 1, μήκους 81 m, το οποίο έχει διεύθυνση B-BA - N-NΔ, το μέγιστο βάθος διασκόπησης που επιτεύχθηκε ήταν 16 m (Σχήμα 3.13).

Στα N-NΔ της γραμμής μελέτης παρατηρείται ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 20 – 130 ohm.m και βάθη που ξεκινούν από την επιφάνεια, έως σχεδόν τα 10 m στο κεντρικό τμήμα της γραμμής μελέτης. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα δείχνει να αποσφηνώνεται στο B-BA τμήμα της γραμμής μελέτης. Αποδίδεται στο εξαλλοιωμένο τμήμα του καλύμματος των Φυλλιτών – Χαλαζιτών.

Επίσης, παρατηρείται ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να κυμαίνονται από 150 έως 600 ohm.m. Εντοπίζεται επιφανειακά στα πρώτα 33 m της γραμμής Line 1, ενώ από τα 33 m και μετά φαίνεται να εμφανίζεται σε βάθη από 0.5 - 4 m στο τέλος της γραμμής. Ακολουθεί μια εμφάνιση του παραπάνω στρώματος στα 60 m από την αρχή της γραμμής επιφανειακά και σε βάθος των 7.5 m. Αποδίδεται σε συνεκτικούς Φυλλίτες - Χαλαζίτες.



Σχήμα 3.13: Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για την πρώτη γραμμή μελέτης (Line 1), με διεύθυνση από B-BA προς N-NA.

Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας 2

Στη γραμμή μελέτης Line 2, μήκους 54 m το οποίο έχει διεύθυνση BA-NΔ, το μέγιστο βάθος διασκόπησης που επιτεύχθηκε ήταν 10 m (Σχήμα 3.14).

Παρατηρείται ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 50 – 300 ohm.m, και πάχη που ξεκινούν από 1 m στα ΝΔ, έως σχεδόν τα 5 m στο BA τμήμα της γραμμής μελέτης. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται σε φερτά υλικά και πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις φυλλιτικής – χαλαζιτικής σύστασης.

Στην συνέχεια, παρατηρείται ένα δεύτερο γεωηλεκτρικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να κυμαίνονται από 20 έως 50 ohm.m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται στο εξαλλοιωμένο τμήμα του καλύμματος των Φυλλιτών – Χαλαζιτών, ενώ οι πολύ χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι ενδεικτικές του μεγάλου βαθμού εξαλοίωσης του σχηματισμού.



Σχήμα 3.14: Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για την δεύτερη γραμμή μελέτης (Line 2), με διεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ.

3.2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα Σχήματα 3.15 και 3.16 απεικονίζονται ως τομές υπέρθεσης συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας και των σεισμικών μεθόδων για τις γραμμές Line 1 και Line 2 αντίστοιχα.

Στην γραμμή Line 1, παρατηρείται, τόσο στα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας, όσο και της σεισμικής διάθλασης, ότι το επιφανειακό στρώμα του εξαλλοιωμένου φυλλίτη – χαλαζίτη αποσφηνώνεται στο B-BA τμήμα της γραμμής. Το

μέγιστό του πάχος φτάνει τα 9 m στο κέντρο περίπου της γραμμής μελέτης (36 m). Ο συνεκτικός σχηματισμός του φυλλίτη – χαλαζίτη εμφανίζεται επιφανειακά στο B-BA τμήμα της γραμμής μελέτης, ενώ μετά τα 33 m φαίνεται να ακολουθεί το ανάγλυφο της περιοχής σε βάθος που κυμαίνεται από 8 – 10 m.

Στην γραμμή Line 2, εμφανίζεται ένα στρώμα επιφανειακών προσχώσεων φυλλιτικής – χαλαζιτικής σύστασης με πάχος που κυμαίνεται από 0.5 - 7m. Το στρώμα αυτό υπέρκειται ενός δεύτερου σχηματισμού της φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς, έντονα εξαλλοιωμένου. Ο συνεκτικός σχηματισμός των φυλλιτών – χαλαζιτών εκτιμάται ότι βρίσκεται στο βάθος περίπου των 14 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 3.15: Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας σεισμικής διάθλασης της γραμμής μελέτης Line 1.



Σχήμα 3.16: Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας και σεισμικής διάθλασης γραμμής μελέτης Line 2.

3.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής έρευνας στο υπό έρευνα οικόπεδο αναμένεται η εμφάνιση εντόνων φαινομένων καθιζήσεων και ολίσθησης τού σχηματισμού έδρασης λόγω του ότι το επιφανειακό έντονα αποσαθρωμένο τμήμα του φυλλίτη έχει πάχος 5 – 7 m ανάλογα με τη θέση και ακολουθεί ένα δεύτερο στρώμα φυλλίτη μέτρια αποσαθρωμένου, πάχους περίπου 8 – 11 m.

Μετά το δεύτερο στρώμα αναμένεται ο σχετικά υγιής φυλλιτικός σχηματισμός (σε βάθος το οποίο ποικίλει στις διάφορες θέσεις από 13 –16 m περίπου).

Με βάση τα ανωτέρω είναι απαραίτητη η εκτέλεση εργασιών αντιστήριξης, δεν είναι όμως δυνατόν αυτές να γίνουν με κλασσικές και λιγότερο δαπανηρές μεθόδους (τοίχους αντιστήριξης, στραγγιστικά), λόγω του μεγάλου πάχους του σαθρού τμήματος του σχηματισμού έδρασης, για το λόγο αυτό θεωρείται αναγκαία η εκπόνηση εξειδικευμένης μελέτης αντιστήριξης, η οποία θα καθορίσει το είδος και την ποσότητα των απαραίτητων εργασιών.

Όσον αφορά την κατηγορία εδάφους (σύμφωνα με τον ΕΑΚ), ο σχηματισμός έδρασης στην συγκεκριμένη περίπτωση ανήκει στην κατηγορία εδάφους X και προσομοιάζεται με «Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες από προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων».

3.3 Άγιος Νικόλαος

Στην έκθεση αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικών τομογραφιών, Γεωραντάρ, ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση), η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τη ανίχνευση ύπαρξης σπηλαιώσεων, στο οικόπεδο των Χατζηδάκη Ευάγγελου και Χατζηδάκη Χαραλάμπου, στο Δήμου Άγιου Νικολάου.

Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο την χαρτογράφηση των σχηματισμών του υπεδάφους στην περιοχή μελέτης και ειδικότερα τον χαρακτηρισμό των επιφανειακών σχηματισμών πάνω στους οποίους θα εδραστεί η κατασκευή.

Από την χαρτογράφηση εντοπίζονται ζώνες υγρασίας ή άλλες ανομοιογένειες του υπεδάφους. Επιπρόσθετα, υποδεικνύονται θέσεις που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής για την κατασκευή των κατοικιών.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει 2 ηλεκτρικές τομογραφίες, 22 γραμμές γεωραντάρ και έναν κάνναβο ηλεκτρομαγνητικής χαρτογράφησης.

3.3.1 Γεωφυσική διασκόπηση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην εν λόγω περιοχή. Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο

την απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους, τον προσδιορισμό του πάχους του επιφανειακού γεωλογικού σχηματισμού της περιοχής μελέτης, τον προσδιορισμό του βάθους του υποβάθρου και την ύπαρξη τυχόν ανομοιογενειών του υπεδάφους ή/και τον εντοπισμό θέσεων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής για την κατασκευή του κτίσματος.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής, η γεωφυσική έρευνα περιλαμβάνει:

- 2 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας μήκους 17 και 20 m. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το όργανο Sting R1 σε συνδυασμό με το Swift, και 28 έξυπνα ηλεκτρόδια της εταιρίας Advanced Geosciences Inc. (AGI).
- 22 Τομές γεωραντάρ μήκους 17 m. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το όργανο SIR 3000 του οίκου GSSI.
- Ένας κάναβος ηλεκτρομαγμνητικής χαρτογράφησης διαστάσεων 13 x 14 m.
- Οι θέσεις των γραμμών μελέτης στην περιοχή του εν λόγω οικοπέδου απεικονίζονται στο Σχήμα 3.17.



Σχήμα 3.17: Τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης (Γεωτεχνική έρευνα με την χρήση συγχρόνων γεωφυσικών μεθόδων στο δήμο Αγίου Νικολάου, Οκώβριος 2005, υπό Αντώνιο Βαφείδη καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης).

3.3.2 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας Τ1

Η πρώτη γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας (Τ1 στο Σχήμα 3.17) έχει μήκος 17.1 m και μέγιστο βάθος 3.5 m περίπου. Πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη διάταξη διπόλου-διπόλου με ισαπόσταση α=90 cm, και διευθύνεται από ΝΔ προς BA.



Σχήμα 3.18: Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για την γραμμή μελέτης Τ1 της ηλεκτρικής τομογραφίας με την διάταζη διπόλου-διπόλου.

Τα αποτελέσματα της πρώτης γραμμής της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 3.18) δείχνουν δύο διαφορετικές ζώνες των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η πρώτη ζώνη, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 500 - 3000 ohm.m, εμφανίζεται επιφανειακά, έχοντας πάχος 2.5 m στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης, ενώ το πάχος της δεν ξεπερνά το 1 m στο βορειοανατολικό τμήμα της. Τέτοιες τιμές εδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων δικαιολογούνται από την ύπαρξη ασβεστόλιθου.

Η δεύτερη ζώνη, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κάτω από 200 ohm.m, βρίσκεται σε βάθος 2.5 - 3 m από την επιφάνεια στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης, ενώ στο βορειοανατολικό τμήμα της τομής εντοπίζεται στο 1.5 m περίπου, Οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οφείλονται πιθανότητα στην μεγάλη περιεκτικότητα του ασβεστολιθικού σχηματισμού σε υγρασία (νερό). Αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη μιας περιοχής με πολύ υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μεγαλύτερες των 10000 ohm.m). Αυτές οι πολύ υψηλές τιμές δικαιολογούνται από την ύπαρξη κενού ή μπάζων.

Γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας Τ2

Η δεύτερη γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας (Τ2 στο Σχήμα 3.17) έχει μήκος 19 m και μέγιστο βάθος 3.5 m περίπου. Πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη διάταξη διπόλου-διπόλου, με ισαπόσταση α=1 m και έχει διεύθυνση από ΝΔ προς BA.



Σχήμα 3.19: Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για την γραμμή μελέτης Τ2 της ηλεκτρικής τομογραφίας με την διάταζη διπόλου-διπόλου.

Η επεξεργασία των δεδομένων της δεύτερης γραμμής της ηλεκτρικής τομογραφίας ήταν αρκετά δύσκολη λόγω της ύπαρξης θορύβου στις μετρήσεις, που πιθανόν οφείλονται σε ένα μεγάλο μεταλλικό αντικείμενο που βρισκόταν στην αρχή της γραμμής. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σχήμα 3.19) δείχνουν δύο διαφορετικές ζώνες των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η πρώτη ζώνη, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 500 -3000 ohm.m, εμφανίζεται επιφανειακά, έχει πάχος 2.5 m στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης ενώ το πάχος της δεν ξεπερνά το 1 m στο βορειοανατολικό τμήμα της. Τέτοιες τιμές εδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων δικαιολογούνται από την ύπαρξη ασβεστόλιθου. Η δεύτερη ζώνη, με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κάτω από 200 ohm.m, βρίσκεται σε βάθος 2.5-3 m από την επιφάνεια στο νοτιοδυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης, ενώ στο βορειοανατολικό τμήμα της τομής εντοπίζεται πιο ρηχά στο 1 m περίπου. Οι χαμηλές αυτές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οφείλονται πιθανότητα στην μεγάλη περιεκτικότητα του ασβεστολιθικού σχηματισμού σε υγρασία (νερό). Οι πολύ υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην αρχή της γραμμής μελέτης πιστεύεται ότι οφείλονται σε θόρυβο.

3.3.4 Αποτελέσματα τομών Γεωραντάρ

Εξοπλισμός – παράμετροι διασκόπησης

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Terra SIRc της εταιρίας GSSI Inc. Η κεντρική συχνότητα εκπομπής ήταν 400 MHz, το διάστημα δειγματοληψίας 390 picosecond, ενώ το βήμα διασκόπησης ίσο με 10 cm. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ισούται με περίπου 10 cm/nsec. Η διακριτική ικανότητα του γεωραντάρ υπό τις προαναφερόμενες συνθήκες είναι περίπου 4 cm.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις (22) γραμμές μελέτης με διεύθυνση ΝΔ προς BA (Σχήμα 3.17). Η πρώτη γραμμή μελέτης ήταν ΝΑ του οικοπέδου, ενώ η τελευταία BΔ.

Τομές γεωραντάρ

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων που προήλθαν από τη μέθοδο του γεωραντάρ εφαρμόστηκε το φίλτρο Dewow για την απομάκρυνση της επαγωγικής συνιστώσας. Στη συνέχεια, τα δεδομένα ενισχύθηκαν για την αντιμετώπιση της γεωμετρικής και εκθετικής διασποράς (SEC) και εξομαλύνθηκαν για τον υψίσυχνο θόρυβο.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν στην περιοχή.

Στην πρώτη γραμμή μελέτης (Σχήμα 3.17) παρατηρούνται δυο περιοχές με πολύ έντονη διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.20), Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 0-2 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η δεύτερη βρίσκεται από τα 6 - 14 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.20: Line1 θέση 00.

Στην δεύτερη γραμμή μελέτης παρατηρούνται δυο περιοχές με πολύ έντονη διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.21). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 0-2 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η δεύτερη βρίσκεται από τα 7 – 16 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.21: Line2 θέση 01.

Στην τρίτη γραμμή μελέτης παρατηρούνται δυο περιοχές με πολύ έντονη διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.22). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 0 - 2 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η δεύτερη βρίσκεται από τα 8 – 12 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.22: Line 3 θέση 02.

Στην τέταρτη γραμμή μελέτης παρατηρούνται δυο περιοχές με πολύ έντονη διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.23). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 0 - 2 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η δεύτερη βρίσκεται από τα 12 – 14 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.23: Line 4 θέση 03.

Στην πέμπτη γραμμή μελέτης παρατηρούνται δυο περιοχές με πολύ έντονη διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.24). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 0 - 2 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η δεύτερη βρίσκεται από τα 11 – 15 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.24: Line 5 θέση 04.

Στην έκτη γραμμή μελέτης παρατηρούνται πολύ κακές καταγραφές και δεν περιλαμβάνεται στην εργασία.

Στην έβδομη γραμμή μελέτης παρατηρούνται τρεις περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.25). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 3 - 5 m από την αρχή της γραμμής, η δεύτερη βρίσκεται στα 7.5 – 8.5 m, ενώ η τελευταία στα 10 – 13 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.25: Line 7 θέση 07.

Στην όγδοη γραμμή μελέτης παρατηρούνται τέσσερις περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.26). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 0 - 6 m από την αρχή της γραμμής, η δεύτερη βρίσκεται στα 7.5 – 8.5 m, τρίτη στα 9.5-10.5 m, ενώ η τελευταία στα 12.5 – 13.5 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.26: Line 8 θέση 08.

Στην ένατη γραμμή μελέτης παρατηρούνται τρεις περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.27). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 4 - 8 m από την αρχή της γραμμής, η δεύτερη βρίσκεται στα 7 – 10 m, ενώ η τελευταία στα 11 - 15m και σε βάθος μεγαλύτερο των 2 m.



Σχήμα 3.27: Line 9 θέση 09.

Στην δέκατη γραμμή μελέτης παρατηρούνται τέσσερις περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.28). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 5 - 10 m από την αρχή της γραμμής, η δεύτερη βρίσκεται στα 7.5 –11.5 m, η τρίτη στα 15 – 17 m ενώ η τελευταία στα 10 - 15 m και σε βάθος μεγαλύτερο των 2 m.



Σχήμα 3.28: Line 10 θέση 10.

Στην ενδέκατη γραμμή μελέτης παρατηρούνται τέσσερις περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.29). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 4 - 8 m από την αρχή της γραμμής, η δεύτερη βρίσκεται στα 11 – 13 m, η τρίτη στα 15 – 17 m ενώ η τελευταία στα 10 – 15 m και σε βάθος μεγαλύτερο των 2 m.



Σχήμα 3.29: Line 11 θέση 11.

Στην δωδέκατη γραμμή μελέτης παρατηρούνται δύο περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.30). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 10 - 13 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η τελευταία στα 10 - 15 m και σε βάθος μεγαλύτερο των 2 m.



Σχήμα 3.30: Line 12 θέση 12.

Στην δέκατη τρίτη γραμμή μελέτης παρατηρούνται δύο περιοχές με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.31). Η πρώτη περιοχή βρίσκεται στα 9.5 – 10.5 m από την αρχή της γραμμής, ενώ η δεύτερη στα 15.5 – 16.5 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.31: Line 13 θέση 13.

Στην δέκατη τέταρτη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.32) και αυτή βρίσκεται στα 6 - 8 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.32: Line 14 θέση 14.

Στην δέκατη πέμπτη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.33) και αυτή βρίσκεται στα 4 -9 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.33: Line 15 θέση 15.

Στην δέκατη έκτη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.34) και αυτή βρίσκεται στα 3.5 - 8.5 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.34: Line 16 θέση 16.

Στην δέκατη έβδομη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.35) και αυτή βρίσκεται στα 6.5 - 7.5 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.35: Line 17 θέση 17.

Στην δέκατη όγδοη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.36) και αυτή βρίσκεται στα 7.5 - 8.5 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.36: Line 18 θέση 18.

Στην δέκατη ένατη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.37) και αυτή βρίσκεται στα 6 - 11 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.37: Line 19 θέση 19.

Στην εικοστή γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.38) και αυτή βρίσκεται στα 8 - 10 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.38: Line 20 θέση 20.

Στην εικοστή πρώτη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.39) και αυτή βρίσκεται στα 5 - 9 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.39: Line 21 θέση 21.

Στην εικοστή δεύτερη γραμμή μελέτης παρατηρείται μια περιοχή με μικρή σχετικά διαταραχή στα δεδομένα (Σχήμα 3.40) και αυτή βρίσκεται στα 5.5 – 6.5 m από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 3.40: Line 22 θέση 22.

3.3.5 Αποτελέσματα ηλεκτρομαγνητικής χαρτογράφησης

Στο Σχήμα 3.41 φαίνεται η πλευρική μεταβολή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους μέχρι βάθος 6 m. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι υψηλές τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης, ενώ με μπλε χρώμα οι χαμηλές. Διακρίνεται μία βαθμιαία μεταβολή από υψηλές τιμές φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε χαμηλότερες στην διεύθυνση από Δ προς Α.



Σχήμα 3.41 : Χάρτης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

3.3.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από την υπέρθεση της τομής ηλεκτρικής τομογραφίας T1 με την τομή γεωραντάρ L01 (Σχήμα 3.42) προκύπτει ότι η έντονη διαταραχή που εμφανίζεται στα δεδομένα της τομής του γεωραντάρ, συμπίπτει με τις πολύ υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην ηλεκτρική τομογραφία σε απόσταση 7 – 14 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Αυτές οι υψηλές τιμές πολύ πιθανόν να οφείλονται σε ύπαρξη κενού ή μπάζων.

Από την υπέρθεση της τομής ηλεκτρικής τομογραφίας T2 με την τομή γεωραντάρ L01 (Σχήμα 3.43) προκύπτει ότι στην ηλεκτρική τομογραφία δεν υπάρχουν πολύ υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που να δικαιολογούν την ύπαρξη κενού. Επίσης, στην τομή του γεωραντάρ δεν παρατηρούνται έντονες διαταραχές που να δικαιολογούν την ύπαρξη κενού.



Σχήμα 3.42: Υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για τη γραμμή μελέτης Τ 1.



Σχήμα 3.43: Υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ για τη γραμμή μελέτης Τ 2.

3.3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής έρευνας στο υπό έρευνα περιοχή μελέτης προκύπτει ότι:

- Το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει έντονη καρστικοποίηση με πιθανές σπηλαιώσεις.
- Στο υπόλοιπο τμήμα του οικοπέδου υπάρχουν θέσεις που παρουσιάζουν λιγότερο ενδιαφέρον, λόγω της λιγότερο έντονης καρστικοποίησης.
- Στο κεντρικό τμήμα του οικοπέδου παρουσιάζεται μια ανωμαλία σε βάθος 2 m, που πιθανόν να οφείλεται σε κάποια ανομοιογένεια του υπεδάφους.

Σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής διασκόπισης προτείνεται στο ΝΑ τμήμα της περιοχής περαιτέρω έρευνα με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και αποσαφήνιση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμοσμένη γεωφυσική έρχεται σήμερα να συμπληρώσει όλα τα ερωτήματα που έχουν να κάνουν με το υπέδαφος, έχοντας ως στόχο τη χαρτογράφηση και το προσδιορισμό της γεωμετρίας εγκοίλων, κατολισθήσεων, χαρακτηρισμό περιοχών σε σχέση με τις τιμές των δυναμικών ελαστικών παραμέτρων, εντοπισμό περιοχών καρστικοποίησης σε επιφανειακά αλλά και υπόγεια τεχνικά έργα, χαρακτηρισμό θέσεων θεμελίωσης, μικροζωνικές μελέτες κλπ., δίνοντας στους μηχανικούς, μια γρήγορη και ακριβή εικόνα του υπεδάφους με ταυτόχρονα χαμηλό κόστος.

Το μεγάλο πλεονέκτημά της είναι ότι δίνει πληροφορίες χωρίς καμία μηχανική παρέμβαση επί του εδάφους (εκσκαφή, διάτρηση κ.α.) καθώς επίσης και συνεχή δεδομένα σε αντίθεση με εκείνα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που αναφέρονται μόνο σε ένα σημείο.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αποτελούν το υπόβαθρο μιας μελέτης, χάρη στις οποίες ο μηχανικός που θα υλοποιήσει τις κατασκευές θα έχει μια πλήρη εικόνα του υπεδάφους, πράγμα σημαντικό για την θεμελίωση των έργων αλλά και άλλες γεωτεχνικές παραμέτρους που τυχόν χρειάζεται.

Πιο συγκεκριμένα για την παρούσα εργασία τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

 Με βάση τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην περιοχή μελέτης της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου, εντοπίστηκε ένας επιφανειακός γεωλογικός σχηματισμός που αποτελείται από φυτική γη, φερτά υλικά και επιφανειακές προσχώσεις. Ο σχηματισμός αυτός παρουσιάζει έντονη ανομοιογένεια. Ειδικότερα, σε βάθη που κυμαίνονται από 2 – 5 m, εμφανίζει μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία ή/και σε αργιλότητα, η οποία αυξάνεται σε μεγαλύτερα βάθη.

Επίσης, παρατηρήθηκε ένας υποκείμενος γεωλογικός σχηματισμός που αποδίδεται στις μάργες. Στη θέση όπου πρόκειται να ανεγερθεί το «ΚΤΗΡΙΟ Β» ο σχηματισμός αυτός απαντάται σε βάθη 4 – 5 m.

2. Στην περιοχή έρευνας Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής έρευνας αναμένεται η εμφάνιση εντόνων φαινομένων ολίσθησης του σχηματισμού έδρασης λόγω του ότι το επιφανειακό έντονα αποσαθρωμένο τμήμα του φυλλίτη έχει πάχος 5 – 7 m και ακολουθεί δεύτερο στρώμα φυλλίτη μέτρια αποσαθρωμένου, πάχους περίπου 8 – 11 m.

Κάτω από το δεύτερο στρώμα αναμένεται ο σχετικά υγιής φυλλιτικός σχηματισμός (σε βάθος από 13 –16 m περίπου).

Όσον αφορά την κατηγορία εδάφους (σύμφωνα με τον ΕΑΚ),ο σχηματισμός έδρασης στην συγκεκριμένη περίπτωση ανήκει στην κατηγορία εδάφους X και προσομοιάζεται με «Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες από προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων».

 Στο οικόπεδο των Χατζηδάκη Ευάγγελου και Χατζηδάκη Χαραλάμπου, στο Δήμου Άγιου Νικολάου σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής έρευνας προκύπτει ότι:

Το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει έντονη καρστικοποίηση με πιθανές σπηλαιώσεις.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα προαναφερθέντα συμπεράσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην περιοχή μελέτης της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου, προτείνονται τα παρακάτω:

 Επιλογή του κατάλληλου τύπου θεμελίωσης για εδάφη με αυξημένη περιεκτικότητα σε αργίλους και υγρασία.

 Λήψη κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων που θα προκληθούν από την θεμελίωση της κατασκευής «KTHPIO B» σε υπέδαφος με διαφοροποίηση από θέση σε θέση της στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς.

Στην περιοχή έρευνας Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής έρευνας είναι απαραίτητη η εκτέλεση εργασιών αντιστήριξης, δεν είναι όμως δυνατόν αυτές να γίνουν με κλασσικές και λιγότερο δαπανηρές μεθόδους (τοίχους αντιστήριξης, στραγγιστικά), λόγω του μεγάλου πάχους του σαθρού τμήματος του σχηματισμού έδρασης, για το λόγο αυτό θεωρείται αναγκαία η εκπόνηση εξειδικευμένης μελέτης αντιστήριξης, η οποία θα καθορίσει το είδος και την ποσότητα των απαραίτητων εργασιών.

Στο οικόπεδο των Χατζηδάκη Ευάγγελου και Χατζηδάκη Χαραλάμπου, στο Δήμου Άγιου Νικολάου σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωφυσικής διασκόπισης προτείνεται στο ΝΑ τμήμα της περιοχής περαιτέρω έρευνα με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και αποσαφήνιση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Βαφείδης, Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική − 1: Σεισμικές Μέθοδοι,
 Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πώρων, Χανιά.
- ✓ Βαφείδης, Α. και Αμολοχίτης, Γ., 1992, Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές και σεισμικές διασκοπήσεις στον οικισμό Άνω Μέρους, Ν. Ρεθύμνης, Έκθεση, Νομαρχιακό Ταμείο Ρεθύμνης, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 9.
- ✓ Βαφείδης, Α., Μονόπωλης, Δ., Αμολοχίτης, Γ. και Στειακάκης, Μ., 1991, Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην κοιλάδα του Κερίτη ποταμού, Εκθεση, ΓΓΕΤ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 11.
- ✓ Γεωτεχνική έρευνα με την χρήση συγχρόνων γεωφυσικών μεθόδων στο δήμο Μαλεβυζίου του ΔΔ Ροδιάς, Ιούνιος 2005, υπό Αντώνιο Βαφείδη καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης.
- ✓ Γεωτεχνική έρευνα με την χρήση συγχρόνων γεωφυσικών μεθόδων στο δήμο Αγίου Νικολάου, Οκώβριος 2005, υπό Αντώνιο Βαφείδη καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης.
- ✓ Έκθεση γεωφυσικής έρευνας στην περιοχή Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμος Μαλεβυζίου, Ιούνιος 2005, υπό Αντώνη Βαφείδη καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης.
- ✓ Haskell N., A., 1953, The dispersion of surface waves in multi-layered media. Bulletin of Seismological Society of America, 43, 17-34.
- ✓ Ινστιτούτο μεσογειακών σπουδών (www.ims.forth.gr).
- ✓ Miller R., D., & Xia J., 1999, Using MASW to Map Bedrock in Oathle, Kansas, Open file report No. 99-9. Harding Lawson Associates, Lee's Summit, Missouri.
- ✓ Miller R., D., Xia J., Park C., B., & Ivanov J., M., 1999, Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. The Leading Edge, 18(12),1392-1396.

- ✓ Misiek R., 1996, Surface waves: Application to lithostructural interpretation of near-surface layers in the meter and decameter range, Ph. D. Thesis (unpubl.), University of Ruhr, Bochum. p.109.
- Υ Ραπτάκης Δ., 1995, Συμβολή στον προσδιορισμό της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και στη σεισμική απόκριση τους. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνική σχολή Α.Π.Θ.
- ✓ Reynolds, M. J., 1997, An introduction to applied and environmental Geophysics, John Wiley & Sons Ltd, Chichester
- ✓ Schwab F., & Knopoff L., 1972, Fast surface wave and free mode computations. in Bolt B.A. Edition, Methods in computational physics, Academic Press, 87-180.
- ✓ Stokoe II K., H., Wright G., W., Bay J., A., & Roesset J., M., 1994, Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Woods R.D. Edition, Geophysical characterization of sites, Oxford Publishers.
- ✓ Λούης Φ. Ιωάννης, 2008, Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Σημειώσεις Γεωφυσικής, Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- ✓ <u>http://www.geoservice.gr</u>.

7. ПАРАРТНМА А

7.1 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Περιοχή της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ



Line 1, Record 1

LINE 1

Line 1, Record 2






Line 1, Record 4



Line 1, Record 5



Line 1, Record 6









Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής Line 1

LINE 2

Line 2, Record 1



Line 2, Record 2



Line 2, Record 3



Line 2, Record 4







Line 2, Record 6







Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής Line 2

Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ



Line 1, Record 1

LINE 1

Line 1, Record 2



Line 1, Record 3



Line 1, Record 4



Line 1, Record 5



Line 1, Record 6



Line 1, Record 7





Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής Line 1

LINE 2

Line 2, Record 1



Line 2, Record 2



Line 2, Record 3



Line 2, Record 4



Line 2, Record 5







Line 2, Record 7





Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής Line 2

8. ПАРАРТНМА В

8.1 ΨΕΥΔΟΤΟΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Περιοχή της Χαλέπας Καβροχωρίου, Δήμου Μαλεβυζίου

Line1



Line2



Δ. Δ. Ροδιάς του Δήμου Μαλεβυζίου



Line2



Άγιος Νικόλαος







