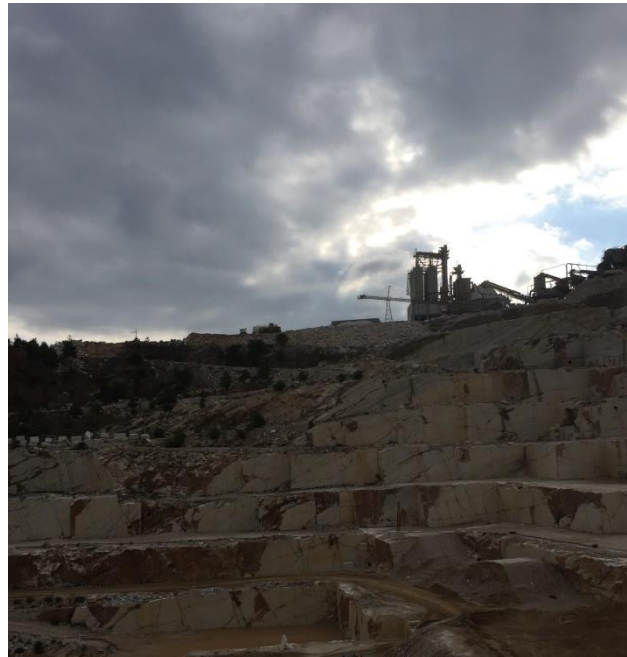




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ**

Βελτιστοποίηση εκμετάλλευσης μαρμάρου με τη βοήθεια γεωφυσικών μεθόδων



ΚΑΡΑΪΣΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΜΑΡΙΑ ΜΕΝΕΓΑΚΗ**

**ΑΘΗΝΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2017**

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	16
Περίληψη.....	18
Abstract	19
Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή	1
1.1 Ιστορική Αναδρομή	1
1.2 Ο τρόπος εκμετάλλευσης Μαρμάρου κατά την αρχαιότητα.....	2
1.3 Το Πεντελικό Μάρμαρο.....	4
Κεφάλαιο 2- Γενικά για το μάρμαρο Διονύσου	6
2.1 Ιστορικό της «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ» (ΟΜΙΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΣΟΜΑΡΒΛΕ)	6
2.2 Γεωλογικά Στοιχεία Περιοχής.....	6
2.3 Κοιτασματολογικά Στοιχεία Περιοχής.....	7
2.4 Ποιότητα και χαρακτηριστικά του πετρώματος	8
2.4.1 Μακροσκοπική Περιγραφή (με βάση πλακίδιο διαστάσεων 20 cm * 20 cm *20 cm).....	9
2.4.2 Πετρογραφικός Προσδιορισμός Μαρμάρου Διονύσου.....	9
2.5 Περιγραφή λατομικού χώρου και ευρύτερης περιοχής	10
2.5 Μηχανολογικός Εξοπλισμός.....	12
2.6.1 Παραγωγή Λατομείου	13
2.6.2 Εγκατάσταση επεξεργασίας μαρμάρων για την παραγωγή τυποποιημένων πλακών και πλακιδίων	13
2.6.3 Μονάδες σπαστηροτριβείων	14
2.7 Μέθοδος Εκμετάλλευσης.....	15
2.7.1 Έργα Προσπέλασης.....	15
2.7.2. Υπαίθρια εκμετάλλευση.....	15
2.7.2.1 Σχεδιασμός της εκμετάλλευσης	15
2.7.2.2 Περιγραφή μεθόδου εξόρυξης	16
2.8.3 Υπόγεια Εκμετάλλευση	23
2.8.3.1 1 ^η φάση υπόγειας εκμετάλλευσης.....	25
2.8.3.2 2 ^η φάση υπόγειας εκμετάλλευσης.....	30
2.8.4 Αποστράγγιση Λατομικού χώρου.....	31
2.8.5 Αερισμός.....	31
2.9 Κοινωνικά και Οικονομικά Στοιχεία	31
2.10 ΠΡΟΪΟΝΤΑ	32
Κεφάλαιο 3 - Γεωφυσική.....	33

3.1 Γενικά για τη γεωφυσική.....	33
3.2 Οι Γεωφυσικές Μέθοδοι	34
3.3 Ηλεκτρικές Γεωφυσικές Μέθοδοι.....	35
3.3.1 Εισαγωγή.....	35
3.3.2 Ηλεκτρικές μέθοδοι.....	35
3.3.2.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα και Ηλεκτρική Ειδική Αντίσταση.....	36
Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αντίσταση	38
3.3.2.2 Ηλεκτρόδιο ρεύματος σε άπειρο ομογενή χώρο.....	40
3.3.2.3 Ροή ρεύματος σε ημιάπειρο ομογενή χώρο	42
3.3.2.4 Ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού στην επιφάνεια ημιάπειρου ομογενούς χώρου	42
3.3.2.5 Φαινόμενη ειδική αντίσταση	43
3.3.2.6 Διατάξεις ηλεκτροδίων.....	44
3.3.2.6.1 Διάταξη Schlumberger:	44
3.3.2.6.2 Διάταξη Wenner:.....	44
3.3.2.6.3 Διάταξη Dipole-Dipole:.....	45
3.3.2.6.4 Διάταξη Pole-Pole:.....	45
3.3.2.6.5 Διάταξη Pole-Dipole:	46
3.3.2.7 Επιλογή κατάλληλης διάταξης	47
3.3.2.8 Εξοπλισμός Υπαίθρου	47
3.3.2.9 Μετρήσεις και Τεχνικές Υπαίθρου	49
3.3.2.10 Οριζόντιες Ηλεκτρικές Χαρτογραφήσεις Ειδικής Αντίστασης (Resistivity Profiling). 51	
3.3.2.11 Ηλεκτρικές Βυθοσκοπήσεις (Resistivity Soundings)	51
3.3.2.12 Μέθοδος Δισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας.....	52
3.3.2.13 Πηγές Θορύβου και Περιορισμοί της Ειδικής Αντίστασης	54
3.4 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος.....	56
3.4.1 Γενικά.....	56
3.4.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	57
3.4.3 Μαγνητική Επιδεκτικότητα	59
3.4.4 Τύποι Ηλεκτρομαγνητικών συστημάτων. Εφαρμογές της μεθόδου	60
3.4.5 Βάθος διείσδυσης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	61
3.4.6 Συστήματα μέτρησης Φάσης	62
3.4.7 Ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης	64
CMD-EM	64

3.4.8 Περιορισμοί της Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου	64
3.5 Γεωραντάρ-GPR (Ground Penetrating Radar)	65
3.5.1 Γενικά.....	65
3.5.2 Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος γεωραντάρ	66
3.5.3 Διαδικασία Μετρήσεων στο ύπαιθρο	67
3.5.4 Βάθος και Ανάλυση	69
3.5.5 Πλεονεκτήματα του Γεωραντάρ.....	70
3.5.6 Μειονεκτήματα του Γεωραντάρ	70
Κεφάλαιο 4	71
Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων σε Μάρμαρα στη Διεθνή Βιβλιογραφία	71
4.1 Εφαρμογή Α).....	71
Οι επιπτώσεις της πυκνής χωρικής δειγματοληψίας σε σχέση με τον προσανατολισμό της κεραίας στην απεικόνιση ρωγματώσεων με κεραία 3D σχεδιασμό μετρήσεων GPR . (Λατομείο Madonna della Mazza, Majella, Ιταλία) (Pierpaolo Marchesini and Mark Grasmueck, 2014).....	71
4.1.1 Περιοχή Έρευνας	72
4.1.2 Εξοπλισμός και Τρόπος Απόκτησης Δεδομένων	73
4.1.3 Επεξεργασία Δεδομένων.....	75
4.1.4 Ανάλυση Δεδομένων	75
4.1.5 Συμπεράσματα	79
4.2 Εφαρμογή Β).....	79
Ανάπτυξη και εφαρμογή σύγχρονων γεωφυσικών τεχνικών (περιλαμβανομένου του ραντάρ) στην εξερεύνηση και εκμετάλλευση διακοσμητικών πετρωμάτων. (Λατομείο Μαμάρου Θάσου, Ελλάδα, λατομείο μαρμάρου Βώλακα, Δράμα, Ελλάδα – Λατομείο Γρανίτη Budduso , Ιταλία) (Π. Κάρμης, κ.α., 1996)	79
4.2.1 Περιοχές Έρευνας.....	80
4.2.1.1 Θάσος	80
4.2.1.2 Βώλακας	81
4.2.1.3 Budduso, Σαρδηνία	81
4.2.2 Εξοπλισμός και Τρόπος Απόκτησης Δεδομένων	83
4.2.3 Επεξεργασία Δεδομένων.....	85
4.2.4 Ανάλυση Δεδομένων	86
4.2.5 Συμπεράσματα	88
Κεφάλαιο 5	89
Γεωφυσική έρευνα στο λατομείο Διονύσου	89

5.1 Γενικά.....	89
5.2 Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος	91
5.2.1 Εξοπλισμός	91
5.2.2 Αποτελέσματα Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου	93
5.2.3 Ερμηνεία αποτελεσμάτων ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου	93
5.3 Ηλεκτρική Μέθοδος	94
5.3.1 Εξοπλισμός	94
5.3.2 Επεξεργασία Μετρήσεων.....	95
5.3.3 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Μεθόδου	96
5.4 Μέθοδος Γεωραντάρ (GPR- Ground Penetrating Radar)	97
5.4.1 Εισαγωγή	97
5.4.2 Εξοπλισμός	98
5.4.3 Επεξεργασία Μετρήσεων.....	99
5.4.4 Αποτελέσματα μεθόδου Γεωραντάρ	102
5.4.4.1 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 250MHz στην Υπαίθρια εκμετάλλευση του Λατομείου Διονύσου	102
5.4.4.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 500MHz στην Υπαίθρια εκμετάλλευση του Λατομείου Διονύσου	104
5.4.4.3 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 250MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	107
5.4.4.3.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 250MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	109
5.4.4.3.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 500MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	110
5.4.4.4.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 500MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	112
5.4.4.4.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 250MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	113
5.4.4.5.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 250MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	115
5.4.4.5.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 500MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	116

5.4.4.6.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 500MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου	118
Κεφάλαιο 6	119
Συμπεράσματα και Σχόλια	119
6.1 Συμπεράσματα	119
6.2 Σχόλια	120
Βιβλιογραφία.....	122

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1a: Εργασίες Εξόρυξης σε λατομείο μαρμάρου κατά την αρχαιότητα (ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΝΤΕΛΗ ΣΤΟΝ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ, ΚΟΡΡΕΣ ΜΑΝΩΛΗΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΜΕΛΙΣΣΑ, ΑΘΗΝΑ 1994).....	4
Εικόνα 1.2b: Γραφική Απεικόνιση της μεταφοράς από την εξόρυξη στο λατομείο του Πεντελικού όρους και της τοποθέτησης του Λευκού μαρμάρου Πεντέλης στον Παρθενώνα.(πηγή: Κορρές Μ., "Από την Πεντέλη στον Παρθενώνα", 57,Τα αρχαία λατομεία και η ιστορία ενός ημιτελούς δωρικού κιονοκράνου του πρώτου μαρμάρινου Παρθενώνος, 1994.).....	4
Εικόνα 1.3c: Η Ακαδημία Αθηνών, κατασκευή που φιλοτεχνήθηκε με Λευκό Πεντελικό Μάρμαρο.....	5
Εικόνα 1.4d: (δεξιά) το House of Worship (Νέο Δελχί) κατά την κατασκευή του κατά τη δεκαετία του 1980. (αριστερά) Το House of Worship (Νέο Δελχί) ολοκληρωμένο, το οποίο και αποτελεί ένα από τα πιο επισκεπτόμενα μέρη στον πλανήτη.	5
Εικόνα 2.1e: Προσαατολισμός Περιοχής Έργου (Πηγή ΥΠ.ΕΣ.)	11
Εικόνα 2.2f: Η μονάδα παραγωγής προϊόντων μαρμάρου εντός του λατομικού συγκροτήματος στο Διόνυσο	14
Εικόνα 2.3g: Σπαστηροτριβείο κατά τη λειτουργία του σε λήψη από το λατομικό χώρο	15
Εικόνα 2.4h: Τομές κοπής Μαρμάρου (διαστάσεις ογκομαρμάρου προς εξόρυξη)	17
Εικόνα 2.5i: Crawler διενεργεί διάνοιξη διατρημάτων.....	17
Εικόνα 2.6j: Αδαμαντοφόρο σύρμα κοπής (κατασκευής της ίδιας της εταιρίας)	18
Εικόνα 2.7k: Συρματοκοπή κατά οριζόντια τομή στο ύψος του δαπέδου	18
Εικόνα 2.8l: Σχηματική ακολουθία των τομών που λαμβάνουν χώρα προκειμένου να γίνει η εξόρυξη του ογκομαρμάρου, δηλαδή η αποκοπή του εξορυσσόμενου πετρώματος από το μητρικό πέτρωμα	19
Εικόνα 2.9m: Αυτομεταφερόμενο διατρητικό φορείο για όρυξη οριζόντιων διατρημάτων (liner)	20
Εικόνα 2.10n: Υδρόσακκος (HydroBag).....	20
Εικόνα ο: Εκσκαφέας (νύχι) κατά τη διάρκεια του ξεσκαρώματος	20
Εικόνα 2.11p: Εκσκαφέας (νύχι) κατά τη διάρκεια του ξεσκαρώματος	21
Εικόνα 2.12q: Διάτρηση όγκου προς ορθογωνισμό με υδραυλική σφύρα προσαρμοσμένη σε αυτομεταφερόμενο φορείο (τρακτέρ Ford)	22
Εικόνα 2.13r: ορθογωνισμός όγκου με συρματοκοπή	22
Εικόνα 2.14s: Φόρτωση ογκομαρμάρου προς μεταφορά με φορτωτή της εταιρίας (CAT 980F).....	23
Εικόνα 2.15t: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης θαλάμων και στύλων, όπως εφαρμόζεται για την υπόγεια εκμετάλλευση στα λατομεία Διονύσου	23
Εικόνα 2.16u: Αλυσοπρίονο διάνοιξης σηράγγων Fantini GU-70.....	24
Εικόνα 2.17v: Αλυσοπρίονο διάνοιξης σηράγγων Korfmman HSTK 50	25
Εικόνα 2.19w: Τομές κοπής Μαρμάρου (διαστάσεις ογκομαρμάρου προς εξόρυξη)	25
Εικόνα 2.20x: Σηματική Απεικόνιση τομών κατά ακολουθία της διαδικασίας της εξόρυξης στην υπόγεια εκμετάλλευση.....	26
Εικόνα 2.21y: Κοχλιωμλενη οροφή.....	27
Εικόνα 2.22z:Σχηματική Απεικόνιση τοποθέτησης των συρματοσχοινων σε στύλο με ασυνέχειες.....	28

Εικόνα 2.23aa: Σχηματική Απεικόνιση των διαφόρων μερών του γρύλλου προέκτασης του συρματόσχοινου και οι προδιαγραφές βάση των οποίων κατασκευάζονται.....	29
Εικόνα 2.24bb: Αποψη εισόδου του υπογείου Α κατά τη διάρκεια γεωφυσικών μετρήσεων για την παρούσα διπλωματική εργασία	29
Εικόνα 2.25cc: Σχηματική Απεικόνιση πάγκου 2 ^{ου} ορόφου υπόγειας εκμετάλλευσης.....	30
Εικόνα 3.1dd: Γραφική απεικόνιση του νόμου του Ohm	36
Εικόνα 4. 2ee: Γραφική απεικόνιση του νόμου του Ohm.....	37
Εικόνα 4. ff:Εικαστική απεικόνιση του George Ohm, καθώς μετράει το ρεύμα που διαπερνάει το χάλκινο σωλήνα.....	38
Εικόνα 4.4gg: Σχηματική Απεικόνιση της ροής ρεύματος σε άπειρο ομογενή χώρο	41
Εικόνα 4.5hh: Σχηματική απεικόνιση της τοής ρεύματος σε ημιάπειρο ομογενή χώρο.....	42
Εικόνα 4.6ii: Σχηματική απεικόνιση της ροής σε ημιάπειρο ομογενή χώρο, στην περίπτωση που τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται σε πεπερασμένη απόσταση μεταξύ τους.....	43
Εικόνα 4.7jj:Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων κατά Sclumberger	44
Εικόνα 4.8kk:Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων κατά Wenner.....	45
Εικόνα 4.9ll:Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων υπό το πρωτόκολλο Dipole-Dipole	45
Εικόνα 4.10mm: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων υπό το πρωτόκολλο Pole-Pole.....	46
Εικόνα 4.11nn: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων υπό το πρωτόκολλο Pole-Dipole	46
Εικόνα 4.12oo: Όργανο μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης	48
Εικόνα 4.13pp: Απεικόνιση πλήρους εξοπλισμού ηλεκτρικών μετρήσεων, όπως αυτός περιγράφεται παραπάνω.....	49
Εικόνα 4.14qq: Γραφική απεικόνιση της διασκόπησης σε βάθος μετακινώντας τα ηλεκτρόδια σε απόσταση	50
Εικόνα 4.15rr: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιας χαρτογράφησης σε διάταξη κατά Wenner(αριστερά), Διάγραμμα φαινόμενης ειδικής αντίστασης (δεξιά πάνω), προφίλ υπεδάφους (δεξιά κάτω).....	51
Εικόνα 4.16ss: Σχηματική απεικόνιση της Ηλεκτρικής βυθοσκόπησης με σταδιακή απομάκρυνση των ηλεκτροδίων από το κέντρο της διάταξης	52
Εικόνα 4.17tt: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης της ηλεκτρικής τομογραφίας	53
Εικόνα 4.18uu: Σχηματική απεικόνιση της διαίρεσης του υπεδάφους σε κελιά, αυξανόμενου με το βάθος μεγέθους, για την καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων.....	53
Εικόνα 4.19vv: Προσαρμογή δεδομένων που ελήφθησαν με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας	54
Εικόνα 4.20ww: Σχηματική απεικόνιση της βασικής αρχής στην οποία στηρίζεται η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος.....	57
Εικόνα 4.21xx: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.	59
Εικόνα 4.22yy: Ευρέως χρησιμοποιούμενο μηχάνημα EM (CMD4- gf instruments) κατά τη διεξαγωγή γεωφυσικής έρευνας (2015, εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής, Σχολή Μηχ. Μετ. - Μετ., Ε.Μ.Π.).....	61
Εικόνα 4.23zz: Σύστημα μέτρησης φάσης δίδυμου πηνίου	63

Εικόνα 4.24aaa: Σχηματική απεικόνιση της βασικής αρχής της λειτουργίας του γεωραντάρ. ανάκλαση του σήματος λόγω: Α) εναλλαγής στρωμάτων (αριστερά) , Β) θαμμένου αντικειμένου (δεξιά).....	66
Εικόνα 4.25bbb: Σχηματική απεικόνιση ενδεικτικών στοιχείων ενός συστήματος γεωραντάρ τοποθετημένου σε φορείο (www.gprlocates.com)	67
Εικόνα 4.26ccc: Σχηματική Απεικόνιση της τυπικής διάταξης (πάνω), της διάταξης του κοινού μεσαίου σημείου (κάτω).....	68
Εικόνα 4.27ddd: Απεικόνιση ολοκληρωμένου συστήματος Γεωραντάρ , όπως αυτό χρησιμοποιήθηκε κατά τη Γεωφυσική Έρευνα στο λατομείο Διονύσου (2016, Σχολή Μηχ. Μετ. -Μετ. , Ε.Μ.Π.).....	69
Εικόνα 5.1eee: Αεροφωτογραφία από το προς μελέτη λατομείο Madonna Della Mazza με έμφαση στην περιοχή έρευνας 20μ * 20μ όπου και έλαβε χώρα η έρευνα.....	72
Εικόνα 5.2fff: Απεικόνιση των δύο τύπων ρηγμάτων που συναντώνται στο λατομείο α) οι ζώνες παραμόρφωσης είναι λεπτά φύλλα με μειωμένο πορώδες και προέρχεται από μηχανική θλίψη και σχισμό των κόκκων του πετρώματος.Το πάχος των ρηγμάτων κυμαίνεται από 1mm ως 5cm. b) Ανοιχτά ρήγματα διαφέρουν σε πλάτος σπασίματος από 0,5cm ως 10cm και είναι γεμάτα με άμμο ή και γειμίζουν φυτά στην επιφάνεια όταν είναι δυνατόν	73
Εικόνα 5.3ggg: (Α) ο εξοπλισμός GPR αποτελείται από κεραία 250 MHz τοποθετημένη σε καλάθι και μονάδα ελέγχου Proex (στο σακίδιο), σε συνδυασμό με Περιστροφικό Λείζερ εντοπισμού Θέσης (RLPS) και σύστημα καθοδήγησης με LED (Β) τη ρύθμιση της έρευνας: δύο πολύ πυκνές έρευνες διεξήχθησαν με απόσταση 5 εκατοστών το προφίλ και την απόσταση 5 εκατοστά μήκος για κάθε προφίλ, ένα με ΑΔ κατεύθυνση απόκτησης, ένα με κατεύθυνση ΒΝ για να αποκτηθούν ορθογώνιες κατευθύνσεις για την κεραία. Οι έρευνες καλύπτουν μια έκταση 20 x 20 μ και αποτελούνται η καθεμία από 401 προφίλ, με συνολικό μήκος 8 χιλιομέτρων. Τ και R δείχνουν τις θέσεις του GPR ,πομπού και του δέκτη μέσα στην κεραία.	74
Εικόνα 5.4hhh: GPR οριζόντιες φέτες σε βάθος 25 cm που καλύπτει ένα υποσύνολο του συνόλου της περιοχής έρευνας .Σύγκριση της απόστασης των 5 cm, 10 cm, και 20 cm .Το Κόκκινο βέλος και η κεραία διπόλων δείχνουν την κατεύθυνση της απόκτησηςΗ . απόσταση ίχνους είναι σταθερή και ίση με 5 cm σε κάθε προφίλ.....	76
Εικόνα 5.5iii: GPR οριζόντιες φέτες σε βάθος 75 cm που καλύπτει ένα υποσύνολο του συνόλου της περιοχής έρευνας .Σύγκριση της απόστασης των 5 cm, 10 cm, και 20 cm .Το Κόκκινο βέλος και η κεραία διπόλων δείχνουν την κατεύθυνση της απόκτησηςΗ . απόσταση ίχνους είναι σταθερή και ίση με 5 cm σε κάθε προφίλ.....	76
Εικόνα 5.6jjj: GPR οριζόντιες φέτες σε βάθος 130 cm που καλύπτει ένα υποσύνολο του συνόλου της περιοχής έρευνας .Σύγκριση της απόστασης των 5 cm, 10 cm, και 20 cm .Το Κόκκινο βέλος και η κεραία διπόλων δείχνουν την κατεύθυνση της απόκτησηςΗ . απόσταση ίχνους είναι σταθερή και ίση με 5 cm σε κάθε προφίλ.....	77
Εικόνα 5.7kkk: Η γεωλογική ερμηνεία του τμήματος του τομέα της έρευνας όπως φαίνεται στις λοιπές απεικονίσεις των προς ανάλυση τομών, τονίζοντας τις θέσεις των ζωνών παραμόρφωσης και ρωγματώσεων για τα βάθη των 25 cm (α), (β) το 75 cm, και 130 cm (γ).	77
Εικόνα 5.8lll: Τρισδιάστατες τομές μέσω των δύο υψηλής πυκνότητας όγκων 3D GPR (βάθος = 25 cm) που αποκτήθηκαν με ορθογώνιο προσανατολισμό της κεραίας, E-W (a), N-S (b) και με απόσταση του προφίλ 5 cm. Τα κόκκινα βέλη και η κεραία διπόλων δείχνουν την διεύθυνση με την οποία λήφθησαν οι μετρήσεις (c) γεωλογική ερμηνεία των δεδομένων ανά στρώμα σε στήλη.....	78

Εικόνα 5.9mm Απεικόνιση του λατομείου μαρμάρου ΙΚΤΙΝΟΣ της Θάσου. Β)Γραφική απεικόνιση με κόκκινη σήμανση ης νήσου Θάσου σε χάρτη της Ελλάδας.	80
Εικόνα 5.10nnn: Κάτοψη του λατομείου ΙΚΤΙΝΟΣ στη Θάσο.	80
Εικόνα 5.11ooo Απεικόνιση του λατομείου ΙΚΤΙΝΟΣ στο Βώλακα της Δράμας. Β)Σήμανση με κόκκινο χρώμα σε γεωλογικό χάρτη του βουνού Φαλακρό της τοποθεσίας της τοπικής κοινότητας Βώλακα.....	81
Εικόνα 5.12rrr Γραφική απεικόνιση της Σαρδηνίας χωρισμένης σε περιοχές, όπου στα βόρεια φαίνεται και το Budduso Β) Απεικόνιση τμήματος του λατομείου γρανίτη.....	82
Εικόνα 5.13qqq: Γραφική Απεικόνιση Γεωλογικού χάρτη Σαρδηνίας με έμφαση στην περιοχή του Budduso (1).....	82
Εικόνα 5.14rrr: α) Γραφική απεικόνιση της Θάσου σε αναπαράσταση χάρτη(πάνω αριστερά) και άποψη του λατομείου και της επιφάνειας, όπου έγιναν οι μετρήσεις. β) Ενδεικτικές τοποθεσίες των προφίλ των μετρήσεων (κύκλοι= 300 MHz και οι κάθετες ράβδοι = 900MHz).....	84
Εικόνα 5.15sss: Α) στο αριστερό μέρος βλέπουμε τη φωτογραφία από μια κεραία που χρησιμοποιήθηκε για τις τομογραφίες στις γεωτρήσεις. Β) Στο δεξί μέρος βλέπουμε την διάταξη του συστήματος για την απόκτηση των δεδομένων. Στη διάταξη υπάρχουν μια κεραία πομπός, μια κεραία δέκτης που τοποθετούνται εντός των γεωτρήσεων, ένας ενισχυτής χαμηλού θορύβου για την απαλοιφή θορύβων και την ενίσχυση του σήματος και μέσω ενός συστήματος ανάλυσης τα δεδομένα παίρνουν στον υπολογιστή προκειμένου να επεξεργαστούν.....	84
Εικόνα 5.16ttt: Α) Τομογραφία κάθετης πόλωσης , Αποτελέσματα με αποσβέσεις από το λατομείο ΙΚΤΙΝΟΣ της Θάσου, Γεωτρήσεις N3-N6,Μάιος 1995 Β) Τομογραφία κάθετης πόλωσης , Αποτελέσματα με αποσβέσεις από το λατομείο γρανίτη Mannu ,Budduso, Ιταλία, Γεωτρήσεις S1(T)- S4(R), Ιούνιος 1994.....	87
Εικόνα 5.18uuu:Α) Γραφική απεικόνιση του τρόπου καταγραφής δεδομένων στο σύστημα Krentz,όπου η διαγώνια διάταξη των αισθητήρων προσφέρει το καλύτερο δυνατό συνδυασμό αποτελεσμάτων διάδοσης χρόνου σε καθορισμένο χώρο(X,Y,Z). Β) Γραφική απεικόνιση του τρόπου καταγραφής δεδομένων στο σύστημα Pundit, όπου το κύμα φτάνει από τον πομπό στο δέκτη μόνο κατά μια αξονική φορά (1,X) και έτσι ο χρόνος διάδοσης μετράται.....	87
Εικόνα 5.17vnn: α) απεικόνιση 3D τομής με βάση τις μετρήσεις του γεωραντάρ,με κεραία 900 MHz β) απεικόνιση 3D τομής με βάση τις μετρήσεις του γεωραντάρ,με κεραία 300 MHz. Και οι δύο τομές αποτελούν μοντέλα από τις μετρήσεις που έγιναν στη Θάσο στην πρώτη το βάθος διασκόπησης είναι μικρότερο, αλλά η ευκρίνεια είναι σαφώς μεγαλύτερη.....	87
Εικόνα 6.1www: Α) Μακρυνή απεικόνιση του ερευνητικού πεδίου στο μέτωπο της εξόρυξης. Η κίτρινη γραμμή αποτελεί το όριο των μετρήσεων που ελήφθησαν με το γεωραντάρ και με το ηλεκτρομαγνητικό όργανο (81m) και με την κόκκινη γραμμή έχουμε το όριο των μετρήσεων που ελήφθησαν με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας (περίπου 30m). Β) Κοντινή απεικόνιση του μετώπου του μαρμάρου στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις και βαθμονομήθηκαν τα όργανα. (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016).....	90
Εικόνα 6.2xxx: Μετρήσεις με το ηλεκτρομαγνητικό όργανο στο Λατομείο Διονύσου. Οι μπλε τελείες αποτελούν τη συνεχή γραμμή μετρήσεων με βήμα 0,5m. (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016).....	91

Εικόνα 6.3γγγ: Γράφημα ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου: γραφική παράσταση της φαινόμενης αγωγιμότητας σε σχέση με την θέση μέτρησης , όπου έχουμε την HCP με μπλε χρώμα και την VCP με κόκκινο χρώμα.	93
Εικόνα 6.4zzz: Αρχικός σχεδιασμός του τρόπου απόκτησης των δεδομένων με την ηλεκτρική τομογραφία. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται κάθετα στο μάρμαρο.(Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016)	94
Εικόνα 6.5aaaa: Γεωλεκτρική τομή RES. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με διόρθωση αέρα στις 90°.	96
Εικόνα 6.6bbbb: Επιφάνεια του μελετώμενου μετώπου μαρμάρου, όπου οι ρωγματώσεις και οι φθορές λόγω της εξόρυξης είναι εμφανείς.(Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016).....	97
Εικόνα 6.7cccc: Α) Με μπλε χρώμα γραμμής απεικονίζεται η μηκογραμμή κατά την οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις με το γεωραντάρ στο δάπεδο της εισόδου του υπογείου της εξόρυξης. Β) με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι μηκογραμμές κατά τις οποίες ελήφθησαν οι μετρήσεις στο μέτωπο εξόρυξης του υπογείου.	98
Εικόνα 6.dddd: Απεικόνιση διάταξης Γεωραντάρ της MALA Geoscience με κεραία 250MHz, όπως χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα γεωφυσική έρευνα (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016).....	99
Εικόνα 6.8eeee : Αρχική μέτρηση με την κεραία 250MHz	102
Εικόνα 6.9ffff: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Subtract – mean.....	102
Εικόνα 6.10gggg: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Correct max. Phase	102
Εικόνα 6.11hhhh: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)	102
Εικόνα 6.12iiii: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Energy Decay	103
Εικόνα 6.13jjjj: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Band pass frequency.....	103
Εικόνα 6.14kkkk: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Αφαίρεση θορύβων (background removal)	103
Εικόνα 6.15llll : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening).....	103
Εικόνα 6.16mmmm : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Fk migration (Stolt)	103
Εικόνα 6.17nnnn : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope	104
Εικόνα 6.18oooo : Αρχική μέτρηση με την κεραία 500MHz	104
Εικόνα 6.19rrrr : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Subtract – mean.....	104
Εικόνα 6.20qqqq: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Correct max. Phase	104
Εικόνα 6.20rrrr: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)	105
Εικόνα 6.21ssss: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Energy Decay	105

Εικόνα 6.22tttt: : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Band pass frequency.....	105
Εικόνα 6.23uuuu: : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου	
Αφαίρεση θορύβων (background removal)	105
Εικόνα 6.24nnnn: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening)	106
Εικόνα 6.25wwww: : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Fk migration (Stolt)	106
Εικόνα 6.26xxxx: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope	106
Εικόνα 6.27yyyy: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.	107
Εικόνα 6.28zzzz: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 2m από την πρώτη μηκογραμμή.	107
Εικόνα 6.29aaaa: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 4m από την πρώτη μηκογραμμή.	108
Εικόνα 6.30bbbb: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 6m από την πρώτη μηκογραμμή.	108
Εικόνα 6.31cccc: Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 250 MHz στην είσοδο της υπόγειας εκμετάλλευσης	109
Εικόνα 6.32dddd: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.	110
Εικόνα 6.33eeee: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 2m από την πρώτη μηκογραμμή.	110
Εικόνα 6.35ffff: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 50MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας	

εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 6m από την πρώτη μηκογραμμή.	111
Εικόνα 6.34ggggg: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 4m από την πρώτη μηκογραμμή.	111
Εικόνα 6.36hhhhh: Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 500 MHz στην είσοδο της υπόγειας εκμετάλλευσης	112
Εικόνα 6.38iiiiii : Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή,απόστασης 1m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.....	113
Εικόνα 6.37jjjjj: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή,απόστασης 0,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.....	113
Εικόνα 6.40kkkkk: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά)κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή,απόστασης 2m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.	114
Εικόνα 6.41lllll: Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 250 MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης.....	115
Εικόνα 6.42mmmmm: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή,απόστασης 0,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.	116
Εικόνα 6.43nnnnn: : Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή,απόστασης 1m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.....	116
Εικόνα 6.44ooooo: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope (δεξιά) και του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή,απόστασης 1,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.....	117
Εικόνα 6.45rrrrr: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope (δεξιά) και του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή,απόστασης 2m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.....	117
Εικόνα 6.46qqqqq : Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 500 MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης	118
Εικόνα 7.1rrrrr: Αποτελέσματα των γεωφυσικών μετρήσεων στο μέτωπο εξόρυξης στην υπαίθρια εκμετάλλευση. Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω : Ηλεκτρομαγνητικό	

διάγραμμα,ραδόγραμμα γεωραντάρ (250MHz,φίλτρο Envelope), ραδόγραμμα γεωραντάρ (500MHz,φίλτρο Envelope) και γεωηλεκτρική τομή. Ο κύκλος με το μπλε χρώμα απεικονίζει την κοινή περιοχή ύπαρξης καθαρού μαρμάρου. 120

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1a Πίνακας χημικής ανάλυσης του Πεντελικού μαρμάρου.....	10
Πίνακας 2.2a: Πίνακας καταγραφής μηχανολογικού εξοπλισμού ιδιοκτησίας «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ»	12
Πίνακας 4. a:Πίνακας Γεωφυσικών Μεθόδων	34
Πίνακας 4.2a: Τιμές ηλεκτρικής αντίστασης σε πετρώματα και ρευστά	39
Πίνακας 4.3a: Επίδραση των Γεωλογικών διεργασιών στην ειδική αντίσταση.....	40
Πίνακας 4.4a:Απεικόνιση της καταλληλότητας της σωστής μεθόδου για μετρήσεις με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους	47
Πίνακας 4.5a: Ενδεικτικές εφαρμογές και στόχοι της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου	57
Πίνακας 4.6a:Ταχύτητες διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, v , τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς, K , και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σ , για διάφορους τύπους υλικών.....	65

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία περατώθηκε κατά το πέρας και στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου. Ο κύριος στόχος της είναι η προσπάθεια για να βελτιστοποιηθεί η αποληψιμότητα του μαρμάρου κατά εκμετάλλευσή του στο λατομείο Διονύσου. Ο μη καταστρεπτικός τρόπος που επιλέχθηκε είναι η εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων, με σκοπό την αξιολόγησή τους και την μεταγενέστερη αξιοποίησή τους στην παραγωγική διαδικασία.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά για κάποια ιστορικά στοιχεία για το μάρμαρο και γίνεται και μια εισαγωγή στο υπόλοιπο κείμενο.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο υπάρχει μια εκτενής αναφορά και παράθεση στοιχείων γύρω από το πεντελικό μάρμαρο και το διερευνηθέν λατομείο στο Διόνυσο.

Στο τρίτο Κεφάλαιο υπάρχει μια θεωρητική προσέγγιση των γεωφυσικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή της ηλεκτρικής, της ηλεκτρομαγνητικής και του γεωραντάρ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχουν δύο περιπτώσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία, όπου χρησιμοποιήθηκαν γεωφυσικές μέθοδοι σε μάρμαρα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο υπάρχει η εκτενής εμφάνιση της έρευνας που διεξήχθη για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας και τα αποτελέσματά της. Παρατίθενται όλες οι μέθοδοι και όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και βάση των οποίων προέκυψαν τα αποτελέσματα.

Στο έκτο κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα και κάποια σχόλια, που βοηθούν στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Η διαδικασία της συγγραφής του έργου αυτού αποτέλεσε μια πολύτιμη εμπειρία, τα ευεργετήματα της οποίας θα αποτελούν εφόδια για την μετέπειτα εξέλιξή μου. Δεδομένου, ότι ακόμα και το σύμπαν από κάπου προήλθε, υπακούοντας στο αξίωμα του αιτίου-αιτιατού, η προσπάθεια αυτή δε θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς τη συμβολή και τη βοήθεια συγκεκριμένων ανθρώπων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κάτωθι:

Την Κ. Μαρία Μενεγάκη, επίκουρη καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. .

Τον Κ. Γεώργιο Αποστολόπουλο, αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π. .

Τον Κ. Γεώργιο Αμολοχίτη, Γεωφυσικό και μέλος Ε.ΔΙΠ. του Ε.Μ.Π. .

Την Εταιρεία «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ» και τον μηχανικό του έργου Κ. Σωτήριο Τρυποσκούφη.

Και σαφώς τους Δικούς μου ανθρώπους, που ήταν εκεί σε κάθε βήμα μου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική αυτή εργασία εξετάζεται η περίπτωση του λατομείου μαρμάρου του "Διονύσου", το οποίο βρίσκεται στην οροσειρά της Πεντέλης. Η εταιρεία εκμεταλλεύεται ένα άσπρο έως ημιλευκό μάρμαρο, όπου και βρίσκεται το περίφημο μάρμαρο "Πεντελικόν". Το λατομείο «Διονύσου» είναι στην αυτόχθονη μονάδα «Αλμυροπόταμος-Αττική», μια μεγάλη μονάδα σχηματισμών που εμφανίζεται στην περιοχή των εσωτερικών ζωνών υπό μορφή τεκτονικών κομματιών που ανήκουν στην τεράστια πλατφόρμα της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης. Το μάρμαρο που εξάγεται από το λατομείο «Διονύσου» είναι λευκό ασβεστολιθικό και ανήκει στον λεγόμενο οριζοντα «χαμηλότερου μαρμάρου». Το κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό της περιοχής του λατομείου είναι η ύπαρξη ανοδικού κατακλίνου με νοτιοδυτικό προς βορειοανατολικό προσανατολισμό, καθώς και η ποικιλία φυσικών ρωγματώσεων που κόβουν κομμάτια στην μαρμάρινη περιοχή, με αποτέλεσμα το χαμηλό ποσοστό ανάκτησης υψηλής ποιότητας ογκομαρμάρων.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της δυνατότητας βελτιστοποίησης της εκμετάλλευσης στο συγκεκριμένο λατομείο μαρμάρου, μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης ασυνεχειών, με μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου, κατά τη διαδικασία κοπής. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν *in situ* εναλλακτικές γεωφυσικές μέθοδοι, τόσο στην υπαίθρια όσο και στην υπόγεια εκμετάλλευση και αξιολογήθηκαν ως προς την αποτελεσματικότητα και τη δυνατότητα εφαρμογής τους παράλληλα με την παραγωγική διαδικασία.

Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν ήταν: α) γεωραντάρ (GPR), με θωρακισμένη κεραία Mala GPR (250 MHz και 500 MHz), β) ηλεκτρική μέθοδος (ERT), με διάταξη ηλεκτροδίων Dipole-Dipole και γ) ηλεκτρομαγνητική μέθοδος (EM), με όργανο αγωγιμότητας GF (CMD-2) με δύο προσανατολισμούς πηνίων.

Από την αξιολόγηση των γεωφυσικών μεθόδων προέκυψε ότι όλες οι μέθοδοι που εξετάστηκαν μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα, σε βάθος έως 4 m. Η πλέον κατάλληλη, όμως, για μια τέτοια εργασία φαίνεται ότι είναι η μέθοδος GPR, καθώς είναι μπορεί να εφαρμοσθεί με σχετικά μεγαλύτερη ευκολία, δεν επηρεάζει την παραγωγική διαδικασία, ενώ οι απεικονίσεις που προκύπτουν κατά την επεξεργασία διευκολύνουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Abstract

The diploma thesis examines the case of the “Dionyssos” marble open cast quarry, which is located at the Penteli Mountain. The company exploits a white to semi-white marble stratigraphically overlying the famous “Pentelikon marble”. The “Dionyssos” quarry is in the “Almyropotamos-Attiki” autochthonous unit which is a big unit of formations occurring at the internal zones area in form of tectonic windows that belongs to the huge platform of Gavrovo-Tripolis zone. The marble extracted from the “Dionyssos” quarry is white calcitic and belongs to the so-called “lower marble” horizon. The main tectonic characteristic of the quarry area is the existence of an upfold with a south-western to north-eastern orientation as well as the variety of natural fractures that cut into pieces the marble area, resulting in the low recovery rate of high quality marble blocks.

The aim of the diploma thesis is to investigate the possibility of optimizing the exploitation in the marble quarry through the early detection of discontinuities, using non-destructive testing methods, during the cutting process.

For this purpose, alternative geophysical methods were applied in situ to both outdoor and underground facilities and ore specifically, the methods applied were: a) ground penetrating radar (GPR), with Mala GPR (250 MHz and 500 MHz) shielded antenna, b) Electrode Method (EDT), Dipole dipole and c) Electromagnetic , with a Gf (CMD-2) conductivity instrument with both coil orientations..

The evaluation of the geophysical methods has revealed that all the methods examined can give reliable results, up to 4 m deep. The most appropriate, however, for such a work seems to be the GPR method, as it can be applied relatively easily, it does not affect the production process, while the images that derive from the processing facilitate the interpretation of the results.

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

Το μάρμαρο, σύμφωνα με τον επιστημονικό ορισμό είναι ένα κρυσταλλοσχιστάδες πέτρωμα, που προέρχεται από τη μεταμόρφωση ανθρακικών και δολομιτικών ιζημάτων και ασβεστολίθων, αποτελούμενο κατά το μέγιστο ποσοστό του από ασβεστίτη. Το μάρμαρο είναι πέτρωμα αποτελούμενο από ασβεστίτη (CaCO_3) ή και από το συνδυασμό των ορυκτών ασβεστίτη (CaCO_3) και δολομίτη ($(\text{Ca,Mg}) (\text{CO}_3)_2$) και έχει δημιουργηθεί από την μεταμόρφωση ασβεστόλιθων, δηλαδή ιζηματογενών ανθρακικών πετρωμάτων. Η λέξη ετυμολογείται από το αρχαιοελληνικό ρήμα "μαρμαίρω" που σημαίνει "λάμπω".

Το χρώμα των μαρμάρων είναι, ως επί το πλείστον, λευκό - ημίλευκο έως γκρι σε διάφορους τόνους, με διακύμανση αποχρώσεων κατά ζώνες, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις το χρώμα μπορεί να είναι και μαύρο, πρασινωπό, ροζ, ερυθρωπό κ.λπ. και οφείλεται συνήθως στην παρουσία οργανικών ουσιών ή σιδηροξειδίων ή μαγνησιούχων οξειδίων.

Το μάρμαρο είναι ίσως η πιο δημοφιλής διακοσμητική πέτρα στον κόσμο. Οι Αρχαίοι Έλληνες ήταν από τους πρώτους πολιτισμούς, οι οποίοι παρατήρησαν τις μοναδικές ιδιότητες αυτής της πέτρας και άρχισαν να την εκμεταλλεύονται συστηματικά. Η τεχνολογική εξέλιξη στις τεχνικές εκμετάλλευσης είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την παραγωγικότητα και την ποιότητα των εμπορικών μπλοκ μαρμάρου. Έκτοτε, υπάρχει μια συνεχής προσπάθεια περαιτέρω εξέλιξης που βασίζεται είτε σε σύγχρονες τεχνολογίες αποτελούμενες από σύγχρονα εργαλεία και εξαρτήματα (π.χ. διαμορφώσεις διαμαντιών καλωδίων) είτε σε εντελώς νέες τεχνολογίες. Παρά το γενικά σύγχρονο εξοπλισμό εξόρυξης, το ποσοστό ανάκτησης των ογκομαρμάρων είναι σχετικά χαμηλό λόγω των ατελειών που παρουσιάζονται στο πέτρωμα. Επιπλέον, η ποιότητα των εμπορικών μπλοκ μαρμάρου, επομένως, και η εμπορεύσιμη αξία τους, εξαρτάται από τις ιδιότητες του πετρώματος και του σχηματισμού του. Η ανίχνευση των προσμίξεων και των ασυνεχειών σε ένα πρώιμο στάδιο της διαδικασίας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η εξόρυξη και η χρήση του μαρμάρου στην Ελλάδα αρχίζει από τα βάθη των αιώνων. Από τη Μέση Νεολιθική Εποχή (περίπου 5000 π.Χ.) έχουμε μαρμάρινα γυναικεία ειδώλια. Αργότερα ακολουθεί η σειρά των περίφημων Κυκλαδικών ειδωλίων. Πολύ αργότερα και με σχετικά περιορισμένες εφαρμογές βρίσκουμε το μάρμαρο να χρησιμοποιείται στην αρχιτεκτονική. Κατά τον 6ο αι. π.Χ. χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με πωρόλιθο σε πολλά μνημεία, αντιπροσωπευτικά δείγματα των οποίων είναι ο Ναός του Δία στην Ολυμπία, ο Ναός του Απόλλωνα στους Δελφούς (μαρμάρινη πρόσοψη και πωρόλιθος στην υπόλοιπη κατασκευή), το Πεισιστράτειο Εκατόμπεδο και η Ακρόπολη (οι μετώπες, τα γείσα και σίμες από μάρμαρο και τα υπόλοιπα μέλη από πωρόλιθο).

Τον 5ο και 4ο αι. π.Χ. η χρήση του μαρμάρου εξαπλώνεται παράλληλα με τα κέντρα εξόρυξης μαρμάρου. Τα λατομεία των Κυκλάδων δίνουν άφθονη πρώτη ύλη, ενώ ιδιαίτερας μνείας χρήζει το λευκό ομοιογενές μάρμαρο της Πάρου, γνωστό ως λυχνίτης λόγω της εξόρυξής του σε υπόγειες στοές υπό το φως λυχναριών. Από το μάρμαρο αυτό κατασκευάστηκαν γνωστά αριστουργήματα της αρχαιότητας (Ερμής του Πραξιτέλη, Αφροδίτη της Μήλου). Στη Νάξο εξορύσσεται επίσης λευκό μάρμαρο, κατώτερης όμως ποιότητας εκείνου της Πάρου. Χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο μισό του 5ου αι. στη γλυπτική και αρχιτεκτονική όχι μόνο στη Νάξο αλλά και στην Ολυμπία, στην Αλίφειρα στο Ναό της Αθηνάς και στην Καληδονία. Άλλα νησιά του Αιγαίου όπου υπήρχαν λατομεία λευκού μαρμάρου ήταν η Ανάφη, η Τήνος, η Θάσος κ.ά. Ειδικά τα λευκά της Θάσου ήταν καλής ποιότητας αλλά δουλεύονταν δύσκολα. Εξάγονταν στα γειτονικά νησιά, στις ακτές της Θράκης και της Μ. Ασίας. Εκτός από τα λευκά, στην Αρχαία Ελλάδα εξορύσσονταν και πολλά χρωματιστά μάρμαρα. Εκείνοι που εκμεταλλεύτηκαν περισσότερο τα λατομεία χρωματιστών μαρμάρων ήταν ωστόσο οι Ρωμαίοι και αργότερα οι Χριστιανοί. Ο πρασινωπός «κροκεάτης λίθος» ή «πράσινο Λακωνικό μάρμαρο» που εξορυσσόταν στην περιοχή του αρχαίου Δήμου Κροκεών, το κοκκινωπό μάρμαρο του Ταινάρου, ο πράσινος Θεσσαλικός ή ατράγιος λίθος» (πράσινο Λαρίσης), το μάρμαρο Καρύστου- Στύρων ή «Καρύστια λίθος», το μαύρο μάρμαρο της Χίου, το πολύχρωμο Σκυριανό και ο πράσινος οφείτης της Τήνου ήταν από τα γνωστότερα μάρμαρα στην αρχαιότητα.

Λατομεία λευκού μαρμάρου υπήρχαν και σε άλλα νησιά του Αιγαίου, στην Ανάφη, στην Τήνο, στη Θάσο κ.α. Ιδιαίτερα τα λευκά θασιτικά μάρμαρα ήταν καλής ποιότητας, αλλά δε δουλεύονταν εύκολα. Εξάγονταν όμως στα γειτονικά νησιά, στις ακτές της Θράκης και της Μ. Ασίας. Ο κριοφόρος Κούρος που υπάρχει στο Μουσείο της Θάσου και έχει ύψος 3,5 μέτρα προέρχεται από αρχαϊκό λατομείο.

Η εξόρυξη και χρήση του μαρμάρου στην Ελλάδα διακόπηκε κατά τους Βυζαντινούς χρόνους και επί Τουρκοκρατίας στις περισσότερες περιοχές.

1.2 Ο τρόπος εκμετάλλευσης Μαρμάρου κατά την αρχαιότητα

Ο τρόπος που γινόταν η εξόρυξη στα αρχαία λατομεία προκύπτει από παρατηρήσεις σε αυτά που διατηρήθηκαν έως τις μέρες μας καθώς δεν υπάρχουν σχετικά γραπτά μνημεία. Τα αρχαία λατομεία ήσαν επιφανειακά κατά κύριο λόγο αλλά υπήρχαν και υπόγεια, όπως στην Πάρο, το λατομείο όπου εξορυσσόταν ο λυχνίτης. Επίσης, υπήρχαν λατομεία, που λειτουργούσαν για να φτιαχτεί ένα συγκεκριμένο έργο, αλλά και μεγάλα, ργανωμένα λατομεία όπου εξορυσσόταν μάρμαρο για διάφορα έργα και πολλές φορές μεταφερόταν σε μεγάλες αποστάσεις. Τα περισσότερα από αυτά τα μεγάλα λατομεία έχουν καταστραφεί αφού, κατά κανόνα, όπου υπήρχε λατομείο η εκμετάλλευσή του συνεχιζόταν και μεταγενέστερα.

Η εξόρυξη του μαρμάρου ήταν μια εργασία με πολλά στάδια και μεγάλες απαιτήσεις σε εμπειρία από τους λατόμους. Τα κοιτάσματα χαρακτηρίζονταν από ρωγμές, κάθετες και διαγώνιες, που διέκοπταν την συνέχεια του όγκου. Εκτός από το να καθορίζουν το μέγεθος του κάθε ογκομαρμάρου, οι ρωγμές αυτές βοηθούσαν και στην εξόρυξή του. Οι αποστάσεις μεταξύ τους ήταν ασταθείς. Εκεί που ήταν μικρές, το μάρμαρο καθίστατο άχρηστο. Όταν ήταν πολύ μεγάλες, απαιτείτο η δημιουργία βαθιών καναλιών για να χωριστεί το πέτρωμα

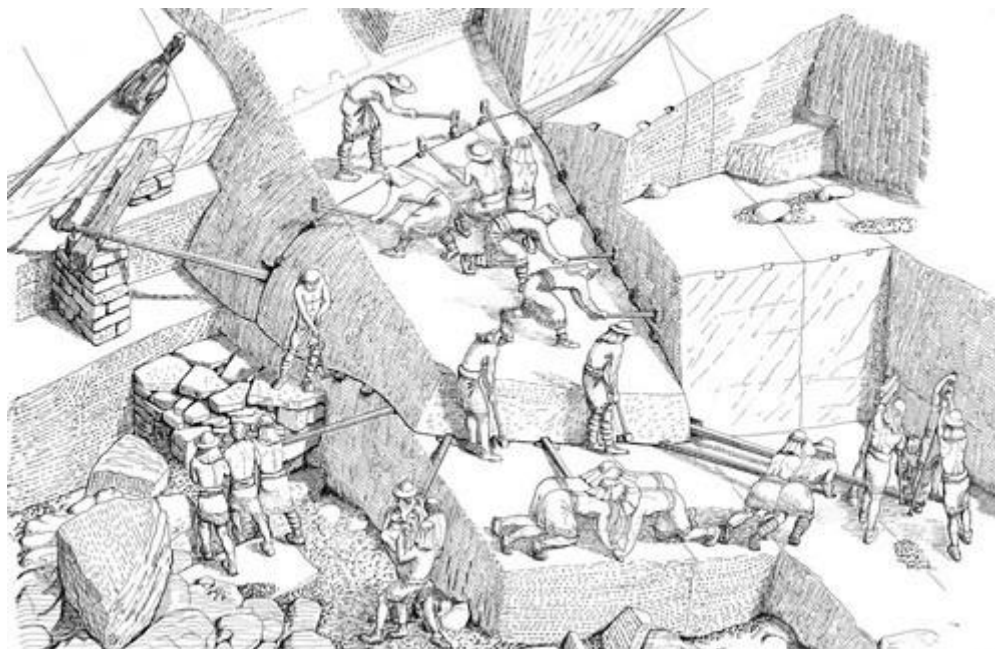
στα απαιτούμενα μεγέθη όγκων. Ένα από τα πιο καλά φυλαγμένα μυστικά των λατόμων εκείνης της εποχής ήταν η ικανότητα να διακρίνουν τον σχισμό και η γνώση των κρυμμένων εσωτερικών λιθολογικών αδυναμιών του υλικού· η επιλογή των όγκων που θα αποσπάζονταν από το μητρικό πέτρωμα προέκυπτε από τη συνισταμένη όλων των παραπάνω κριτηρίων ποιότητας.

Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή των κατάλληλων, προς εισαγωγή σφηνών και μοχλών σημείων κατά μήκος των φυσικών ασυνεχειών που ορίζουν τον όγκο σε ίσες αποστάσεις. Στα επιλεχθέντα σημεία δημιουργούνταν «υποδοχές» όπου εισάγονταν οι σιδερένιες σφήνες μεταξύ μικρών αιχμηρών μεταλλικών κομματιών. Εν συνεχεία, τοποθετούνταν μεγάλοι μοχλοί ικανοί να πολλαπλασιάσουν επί τριάντα την δύναμη μιας ομάδας εργατών. Με ρυθμικές κινήσεις οι λατόμοι σφυροκοπούσαν τις σφήνες. Η αντίσταση ήταν μικρή στην αρχή αλλά έφθανε τελικά σε τέτοιο σημείο ώστε η προχώρηση της σφήνας μεταξύ των αγκίδων να είναι ουσιαστικά αδιόρατη. Όταν ο πιο έμπειρος από τους λατόμους έκρινε πως το βάθος εισχώρησης ήταν ικανοποιητικό, άρχιζε το επόμενο στάδιο σφυροκόπησης με τη βαρεία σε συνδυασμό με την άσκηση πίεσης μέσω των μοχλών. Όταν μετά από αρκετή ώρα κοπιαστικής δουλειάς ακουγόταν ο χαρακτηριστικός ήχος του πετρώματος που ραγίζει, τότε η εργασία αποκοπής του όγκου πλησίαζε στο τέλος της. Το εκπαιδευμένο αυτί των λατόμων ήταν σε θέση να διακρίνει κάθε απόχρωση των ήχων του πετρώματος. Αυτοί οι ήχοι ήσαν ενδεικτικοί της επιτυχίας της εξόρυξης. Τελικά, οι προϋπάρχουσες ρωγμές χαλάρωναν σε τέτοιο σημείο ώστε οι σφήνες να πέφτουν από τη θέση τους. Μεγαλύτερες σφήνες τις αντικαθιστούσαν μέχρις ότου ο όγκος να αποκοπεί από το μητρικό πέτρωμα.

Η επόμενη φάση αφορά στην αποκοπή του πλεονάζοντος μαρμάρου από τον όγκο για να φύγει το περιττό βάρος και να γίνει ευκολότερη η μεταφορά. Το πλεόνασμα αυτό, που καθοριζόταν από το τελικό σχήμα που θα έπρεπε να έχει ο όγκος λόγω της χρήσης για την οποία προοριζόταν, αφαιρείτο σε στρώματα όσο το δυνατόν μεγαλύτερα για δύο λόγους: οικονομία σε εργατική απασχόληση και πιθανή χρήση των τεμαχίων αυτών για μικρότερα τμήματα μιας αρχιτεκτονικής ή άλλης κατασκευής. Επί αρκετές μέρες, έμπειροι λατόμοι ανέλαμβαναν την δημιουργία αυλακιών και εσοχών. Οι σφήνες έπρεπε να τοποθετηθούν σε κοντινές και ίσες αποστάσεις για να εξασφαλιστεί ισοκατανομή της ενασκούμενης δύναμης κατά την απόσχιση του πλεονάζοντος τμήματος. Καθώς αφαιρούνταν ένα-ένα τα στρώματα αυτά, εμφανίζονταν ρωγμές και φυσικές ατέλειες που έπρεπε να αναγνωριστούν εγκαίρως ώστε να γίνουν τέτοιες αλλαγές στην διεύθυνση του κοψίματος, που να εξασφαλίζουν ότι οι ατέλειες αυτές δεν θα εμφανίζονταν σε ευαίσθητα, εκτεθειμένα ή ιδιαίτερα καταπονούμενα μέρη της τελικής κατασκευής. Αφού απομακρύνονταν τα κομμάτια που αφαιρέθηκαν, ακολουθούσε ο τετραγωνισμός του όγκου: μετά από προσεχτικές μετρήσεις λαξεύονταν αυλάκια στην πάνω επιφάνεια, που θα λειτουργούσαν ως οδηγοί για το τελικό μέγεθος. Κάθετοι οδηγοί λαξεύονταν και στις τέσσερις γωνίες για να επιτευχθεί ομοιομορφία στις πλευρές και να τεθούν τα όρια της κάτω πλευράς. Μετά ο όγκος αναποδογυριζόταν και ακολουθούσε αντίστοιχη εργασία στην κάτω πλευρά. Ο όγκος ήταν πλέον έτοιμος για αποκομίδη. Ανασηκωνόταν με μοχλούς και τοποθετούνταν από κάτω σιδερένιοι κύλινδροι. Οι δυσκολίες στην κύλιση λόγω των ανωμαλιών της κάτω επιφάνειας του όγκου αντιμετωπιζόνταν με χρήση μοχλών και βαρούλκων. Ο όγκος συρόταν στην άκρη της βαθμίδας από όπου και έπεφτε πάνω σε ειδικά σχεδιασμένη για απορρόφηση των κραδασμών επιφάνεια.

Η διαδικασία της εξόρυξης εδώ είχε ουσιαστικά τελειώσει. Απέμενε η μεταφορά του όγκου από το λατομείο στο εργαστήριο (λιθαγωγία) για την διαμόρφωσή του στο τελικό του

σχήμα Η μεταφορά αυτή δεν ήταν πάντα εύκολη γιατί πολύ συχνά η απόσταση ήταν μεγάλη και το έδαφος ορεινό και ανώμαλο, ενώ άλλες φορές μεσολαβούσε η θάλασσα.

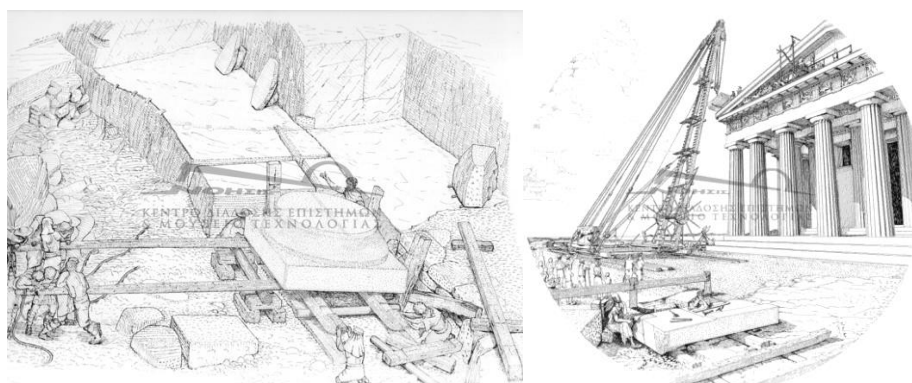


Εικόνα 1.1a: Εργασίες Εξόρυξης σε λατομείο μαρμάρου κατά την αρχαιότητα (ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΝΤΕΛΗ ΣΤΟΝ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ, ΚΟΡΡΕΣ ΜΑΝΩΛΗΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΜΕΛΙΣΣΑ, ΑΘΗΝΑ 1994)

1.3 Το Πεντελικό Μάρμαρο

Τα αρχαία λατομεία του Πεντελικού μαρμάρου βρίσκονταν κυρίως στη ΝΔ πλάγια του Πεντελικού όρους, στη σημερινή κοιλάδα της Σπηλιάς. Αναφέρεται ότι εκεί υπήρχαν 25 λατομεία από όπου εξορύχτηκαν περισσότερα από 400.000 κυβικά μέτρα όγκων. Εξόρυξη στο Πεντελικό όρος, σε μικρότερη όμως έκταση, γινόταν και στα ανώτατα τμήματα της κοιλάδας της Χούνης, πιθανόν δε και σε άλλες θέσεις.

Το πεντελικό Μάρμαρο γνωστό από την αρχαιότητα, χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των πιο αξιόλογων αρχαίων μνημείων στην Ελλάδα (Παρθενώνας, Ερέχθειο, Προπύλαια, Θησείο κλπ.) δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα χαρακτηριστικό και μοναδικό "Brand Name".



Εικόνα 1.2b: Γραφική Απεικόνιση της μεταφοράς από την εξόρυξη στο λατομείο του Πεντελικού όρους και της τοποθέτησης του Λευκού μαρμάρου Πεντέλης στον Παρθενώνα.(πηγή: Κορρές Μ., "Από την Πεντέλη στον Παρθενώνα", 57,Τα αρχαία λατομεία και η ιστορία ενός ημιτελούς δωρικού κιονοκράνου του πρώτου μαρμάρινου Παρθενώνας, 1994.)

Η εξόρυξη του λευκού μαρμάρου στην περιοχή του Διονύσου άρχισε από το 1890 περίπου και συνεχίζεται αδιάλειπτα μέχρι σήμερα. Με μάρμαρα που εξορύχθηκαν, μάλιστα, κατά τον περασμένο αιώνα πραγματοποιούνται οι ανεγέρσεις κάποιων σπουδαίων οικοδομημάτων. Πεντελικό μάρμαρο από την περιοχή του Διονύσου χρησιμοποιήθηκε για κατασκευές όπως το Στάδιο, η Βιβλιοθήκη, η Ακαδημία Αθηνών κλπ.



Εικόνα 1.3c: Η Ακαδημία Αθηνών, κατασκευή που φιλοτεχνήθηκε με Λευκό Πεντελικό Μάρμαρο

Η θέση που κατέχει το Πεντελικό Μάρμαρο σα δομικό υλικό στην ελληνική ιστορία κατατάσσουν στην πρώτη σειρά προτίμησης σε ιδιαιτέρως σημαντικά δημόσια και ιδιωτικά οικοδομήματα εγχώρια και διεθνώς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν ο Άρειος Πάγος (Αθήνα), ο Πύργος Αθηνών, το House of Worship (Νέο Δελχί), Palace of Justice



Εικόνα 1.4d: (δεξιά) το House of Worship (Νέο Δελχί) κατά την κατασκευή του κατά τη δεκαετία του 1980. (αριστερά) Το House of Worship (Νέο Δελχί) ολοκληρωμένο, το οποίο και αποτελεί ένα από τα πιο επισκεπτόμενα μέρη στον πλανήτη.

(Χάιφα) και το Pavilion of Perfect Harmony του ναού Sho-Hondo temple (όρος Fuji, Ιαπωνία).

Οι δημιουργίες αυτές αποτελούν μόνο μέρος του συνόλου των κατασκευών από Πεντελικό μάρμαρο, όμως αποτελούν σημεία τομής κάθε ένα από αυτά στην αρχιτεκτονική της εκάστοτε περιόδου και αποτελούν μνημειακά στοιχεία ανεκτίμητης αξίας.

Κεφάλαιο 2- Γενικά για το μάρμαρο Διονύσου

2.1 Ιστορικό της «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ» (ΟΜΙΛΟΣ DIONYSSOMARBLE)

Η εταιρεία ιδρύθηκε το έτος 1948 από τους αδελφούς Λεόντιο και Ιωάννη Αργυρούδη. Δραστηριοποιείται στην περιοχή του Διονύσου Αττικής εξορύσσοντας το μοναδικό στον κόσμο για την αισθητική και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του Πεντελικό μάρμαρο. Απέκτησε δε τη νομική της υπόσταση ως «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ» το έτος 1952.

Η εκμετάλλευση και η εξόρυξη στον χώρο του κοιτάσματος συνεχίστηκε με γνώμονα το σεβασμό του μαρμάρου. Έτσι, οι λατόμοι με εμπειρία και γνώση του αντικειμένου χρησιμοποιήθηκαν και βοήθησαν στην εξέλιξη της λατομικής διαδικασίας.

Κύριο σταθμό στην πορεία της επιχείρησης αποτελεί η περίοδος της δεκαετίας του '60, όπου με την επιθυμία της διοίκησης της εταιρείας να εκσυγχρονίζεται συνεχώς άλλαξε ο τρόπος αντίληψης της εξόρυξης του μαρμάρου. Μία προσπάθεια που άρχισε από τη διοίκηση των κ.κ. Γ. Κρασούλη και Χ. Αλτ από τη δεκαετία του '60 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

Από το 1971 η εταιρία εκμεταλλεύεται τέσσερα (4) λατομεία μαρμάρου στη θέση «Διονυσοβούνι» της κοινότητας Διονύσου, νομού Αττικής, σε ιδιωτική- δασική έκταση ιδιοκτησίας της εταιρίας. Η συνολική έκταση των τεσσάρων λατομικών χώρων είναι 410,135 στρέμματα.

Η εταιρεία κατόρθωσε να είναι από μακρού χρόνου ηγέτης στον κλάδο των μαρμάρων πανελλαδικά και να συναγωνίζεται ισάξια μεγάλες επιχειρήσεις της Ευρώπης.

2.2 Γεωλογικά Στοιχεία Περιοχής

Η περιοχή που βρίσκεται το λατομείο καθώς και η ευρύτερη περιοχή ανήκουν γεωτεκτονικά στην Κρυσταλλοσχιστώδη Αττικοκυκλαδική Μάζα.

Ειδικότερα στη γεωλογική κατασκευή της περιοχής συμμετέχουν οι εξής γεωλογικοί σχηματισμοί:

1. Μάρμαρα "Αγίας Μαρίνας" και σχιστόλιθοι Μαραθώνα ανωκρητιδικής ηλικίας.
2. Μάρμαρα "Γραμματικού" λεπτοστρωματώδη με πυριτόλιθους (silex).
3. Μάρμαρα "Πολιτείας- Μπάλας" (ανώτερο μάρμαρο) μεσοζωικής ηλικίας.
4. Σχιστόλιθοι Καισαριανής (Διονύσου) με φακούς και ενστρώσεις λευκού μαρμάρου μεσοζωικής ηλικίας.
5. Κατώτερο μάρμαρο (Μάρμαρο Διονύσου- Πεντέλης) μεσοζωικής ηλικίας.

Τα μάρμαρα Διονύσου είναι ως επί το πλείστον κυανοτεφρόλευκα και κατά περιοχές και πάγκους γίνονται ολόλευκα, γαλακτόχροα ή χιονόλευκα. Η ποιότητα και η λευκότητα των μαρμάρων Διονύσου ποικίλλει σχετικώς από στρώμα σε στρώμα και εξαρτάται από ορυκτολογικά συστατικά, τον βαθμό σχιστότητας και τις κατακλάσεις.

Το κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η ύπαρξη ενός αντικλίνου με άξονα ΝΔ- ΒΑ και οι άφθονες κατακλάσεις, οι οποίες κατατεμαχίζουν το σύνολο της μαρμαροφόρας έκτασης. Βασικά, μπορούν να διακριθούν σε δύο κεντρικά συστήματα παραλλήλων κατακλάσεων με διεύθυνση ΒΔ- ΝΑ και ΒΑ- ΝΔ, κάθετα μεταξύ τους και σχεδόν κατακόρυφα, χωρίς να απουσιάζουν και άλλων διευθύνσεων κατακλάσεις λιγότερο όμως έντονες. Η γενική κλίση των στρωμάτων του μαρμάρου είναι 10^0 - 15^0 με βορειοανατολική διεύθυνση και με μεταβολή αυτής κατά θέσεις, σαν αποτέλεσμα της κύριας πτύχωσης και των άφθονων ρηγμάτων, ενώ η κλίση της παράταξης μεταβάλλεται εκατέρωθεν του άξονα του αντικλίνου με τιμές 0^0 – 90^0 στα άκρα του κοιτάσματος.

Τα κοιτάσματα του “εμπορικού” μαρμάρου αναπτύσσονται εντός του μαρμαροφόρου στρώματος, εκεί όπου το μικροκρυσταλλικό ασβεστολιθικό υλικό απαλλαγμένο από μεγάλο πάχος σιπολιτικές ενστρώσεις, έχει υποστεί συγκριτικά μικρότερο κατακερματισμό από δευτερογενείς (νεότερους) σχηματισμούς.

Στην περιοχή αυτή παρουσιάζεται έντονος τεκτονισμός, αρκετά ρήγματα και οι μικροπτυχώσεις, όπως επίσης και οι σιπολιτικές ενστρώσεις περιορίζουν την ποσότητα των “υγείων” εξορύξιμων μαρμάρων.

2.3 Κοιτασματολογικά Στοιχεία Περιοχής

Το μαρμαροφόρο κίτασμα του Διονύσου υφίσταται εκμετάλλευση επί σειρά ετών και έχει διερευνηθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος του . Επίσης , εκτελούνται, πέρα από τις γεωλογικές χαρτογραφήσεις, και γεωτρήσεις δειγματοληψίας όποτε κρίνεται αναγκαίο, προκειμένου να αντληθούν περαιτέρω στοιχεία για την παρουσία, το είδος και την πυκνότητα των ασυνεχειών εις βάθος, την χρωματική απόχρωση και το ύψος των αποθεμάτων. Τα λευκά μάρμαρα τύπου Διονύσου – Πεντέλης δομούν ολόκληρο σχεδόν το λατομικό χώρο.

Το κίτασμα εμφανίζεται υπό την μορφή φακών. Είναι τα μάρμαρα- φακοί που παρεμβάλλονται στους σχιστόλιθους Καισαριανής μεσοζωικής ηλικίας, η σύμφωνος αυτή επαφή μαρμάρου- σχίστη έχει ήδη εντοπιστεί και στο σύνολο των τεσσάρων λατομικών χώρων. Είναι κάθετη στην παράταξη του σχηματισμού, με κλίση κυμαινόμενη από 0^0 - 90^0 ως προς οριζόντιο επίπεδο, όπως έχει μετρηθεί από στατιστικά στοιχεία που τηρεί η εταιρία και γεωτρήσεις που έχουν εκτελεσθεί στις παρυφές των ορίων του κοιτάσματος, και τελικά είναι αυτή που καθορίζει τα όρια της εκμετάλλευσης.

Στην περιοχή της εκμετάλλευσης η επαφή μαρμάρου- σχίστη εντοπίστηκε από παλαιότερες εργασίες εκμετάλλευσης στο δυτικό – βορειοδυτικό τμήμα του μαρμαροφόρου σχηματισμού και απομάκρυνση του μικρού σχετικά ύψους του ανώτερου καλύμματος.

Σήμερα, και με την μετατόπιση της επαφής (εργασίες αποκάλυψης) προς τα βορειότερα και δυτικότερα υψόμετρα του χώρου, το ύψος του υπερκείμενου αχρήστου πετρώματος (σχιστόλιθος) ανέρχεται σε 30m περίπου, και λόγω αφ’ ενός της αύξησης της κλίσης των πρανών του φυσικού αναγλύφου εκεί και αφ’ ετερου της βύθισης της επαφής (υπολογίζεται στις 45^0 περίπου). Η επιφανειακή εκμετάλλευση στο σημείο επαφής δεν σκοπεύεται να συνεχιστεί , λόγω της προσσέγγισης της εταιρείας να ακολουθήσει πιο ορθολογική διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος και τη λιγότερο δυνατή επιβάρυνσή του. Επιπλέον, αφ’ ενός λόγω της διακίνησης μεγάλων ποσοτήτων μη αξιοποιήσιμων στείρων και

εξέυρεσης νέων χώρων απόθεσης αυτών και αφ' ετέρου λόγω προστασίας του ευρισκόμενου εκεί δάσους χαλεπίου πεύκης.

Για το λόγο αυτό οι εργασίες εξόρυξης στο μη αποκαλυμμένο τμήμα του κοιτάσματος στο δυτικό- βορειοδυτικό τμήμα του χώρου εκμετάλλευσης έχουν προχωρήσει κατά την περασμένη δεκαετία με υπόγεια εξόρυξη μαρμάρου.

Αναλυτικότερα η κοιτασματοφορία σε κάθε ένα ξεχωριστό λατομικό χώρο, διαφοροποιείται σε σχέση με το τοπογραφικό ανάγλυφο και έχει ως εξής :

1. Στο λατομικό χώρο Α παρατηρείται ένα κεντρικό σύστημα παρακατακόρυφων κατακλάσεων με διεύθυνση αυτή της παράταξης, το οποίο στα ανατολικά όρια του χώρου κρίνεται απογορευτικό προς εκμετάλλευση, λόγω της πύκνωσης που παρουσιάζεται εκεί.
2. Στο λατομικό χώρο Β παρατηρείται ένα κεντρικό σύστημα παρακατακόρυφων κατακλάσεων με διεύθυνση αυτή της παράταξης και ένα δευτερεύον σύστημα επίσης παρακατακόρυφων κατακλάσεων , κάθετο στο κεντρικό πρωτεύον, έτσι ώστε η ύπαρξη υγιών όγκων μαρμάρου να περιορίζεται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα του χώρου Β , καταλαμβάνοντας και μικρή έκταση στο νότιο τμήμα του χώρου Γ, κατά μήκος του κύριου άξονα μαρμαροφορίας,. Στο τμήμα αυτό συναντώνται ογκομάρα μεγάλων διαστάσεων (μέχρι και 10m). Στο τμήμα του υπό εκμετάλλευση κοιτάσματος του λατομικού χώρου Β έχει ήδη εξορυχθεί το στρώμα του σκουρόχρωμου μαρμάρου, που χαρακτηρίζει το σύνολο της ενιαίας μαρμαροφόρου διάπλασης.
3. Στο λατομικό χώρο Γ παρατηρείται ένα κεντρικό σύστημα παρακατακόρυφων κατακλάσεων με διεύθυνση σύμφωνη με αυτή της παράταξης. Το σύστημα κατακλάσεων αυτό συναντάται στα νοτιοδυτικά, αλλά και στα βόρεια όρια του χώρου. Για το λόγο αυτό καθίσταται απαγορευτική η εκεί εκμετάλλευση.
4. Στο λατομικό χώρο Δ παρατηρείται ένα κεντρικό σύστημα κατακλάσεων με διεύθυνση σύμφωνη με αυτή της παράταξης. Το σύστημα αυτό λόγω της πύκνωσης που παρουσιάζει στα ανατολικά όρια του χώρου καθιστά την εκεί εκμετάλλευση αδύνατη.

Η αποληψιμότητα στους άνωθι λατομικούς χώρους με βάση την μέχρι τώρα εκμετάλλευση, που έχει συντελεστεί από την εταιρία κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 8 % έως 12% . Τα υγιή και εμπορικά αξιοποιήσιμα ογκομάρα είναι παχυστρωματώδη, από πλευράς ιστού χαρακτηρίζονται ως μικροκρυσταλλικά και δεν παρουσιάζουν γενικά στην μάζα τους χαλαζίακές (Pb) προσμίξεις υπό μορφή κονδύλων ή ενστρώσεων.

2.4 Ποιότητα και χαρακτηριστικά του πετρώματος

Το μάρμαρο Διονύσου ανήκει στα μεταμορφωμένα πετρώματα και παρουσιάζει ολοκρυσταλλική δομή. Είναι ανδροκρυσταλλικό και αποτελείται από 98% ασβεστίτη, 0,5% χαλαζία, 0,5 % σερίκίτη και 1% αργίλικα ορυκτά (Τσιραμπίδης και Φιλιππίδης,2013)

Πρόκειται για ένα πολύ καθαρό μάρμαρο χωρίς μεγάλα ποσοστά προσμίξεων, έχοντας υπιδιόμορφους έως αλλοτριόμορφους κρυστάλλους ασβεστίτη.

Τα μάρμαρα Διονύσου είναι ως επί το πλείστον κυανότεφρα και κατά θέσεις, κυρίως στα υψηλότερα σημεία και υψόμετρα, γίνονται ολόλευκα, γαλανόχροα ή χιονόλευκα. Σπανιότερα, εμφανίζονται με μια ελαφρά κιτρινωπή χροιά. Κατά θέσεις εμφανίζονται φυλλάρια σμαραγδοπράσινου χλωρίτη και αργυρόχροου μοσχοβίτη. Τα ορυκτά αυτά σχηματίζουν στρωματώσεις, φλεβίδια, φακοειδείς φωλιές ή συγκεντρώσεις υπό μορφή δικτύου, όπου το μάρμαρο παίρνει χρώμα από πράσινο έως τεφροπράσινο.

2.4.1 Μακροσκοπική Περιγραφή (με βάση πλακίδιο διαστάσεων 20 cm * 20 cm *20 cm)

Με βάση δοκιμές που διεξήχθησαν για την εταιρία από το εργαστήριο «ΛΙΘΟΣ» του ινστιτούτου γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα, όσον αφορά την μακροσκοπική περιγραφή του μαρμάρου Διονύσου.

1. χρώμα: λευκό με χαρακτηριστική ταινία ανοικτού πρασίνου χρώματος να διασχίζει τη μάζα, ενώ παρατηρούνται διάσπαρτα στη μάζα ημίλευκα συσσωματώματα.
2. Ιστός: γρανοβλαστικός - ισοκοκκώδης.
3. Μέγεθος κόκκων: λεπτόκοκκο.
4. Δεν παρατηρούνται στοιχεία αποσάθρωσης ή εξαλλαίωσης, ή χρώσης από εξαλλοίωση θειούχων, ή διάχυσης υδραξειδίων του σιδήρου.
5. Διακλάσεις: δεν παρατηρούνται διακλάσεις.
6. Πόροι: παρατηρούνται μικροσκοπικοί πόροι στη μάζα του πετρώματος .

2.4.2 Πετρογραφικός Προσδιορισμός Μαρμάρου Διονύσου

Με βάση μελέτη που διεξήχθησε για την εταιρία από το εργαστήριο «ΛΙΘΟΣ» του ινστιτούτου γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα, όσον αφορά τον πετρογραφικό προσδιορισμό του μαρμάρου Διονύσου.

1. Ταξινόμηση χρώματος: πρόκειται για λευκά - λεπτόκοκκο ασβεστίτικο μάρμαρο.
2. Ιστός: γρανοβλαστικός, ελαφρώς ανισοκοκκώδης.

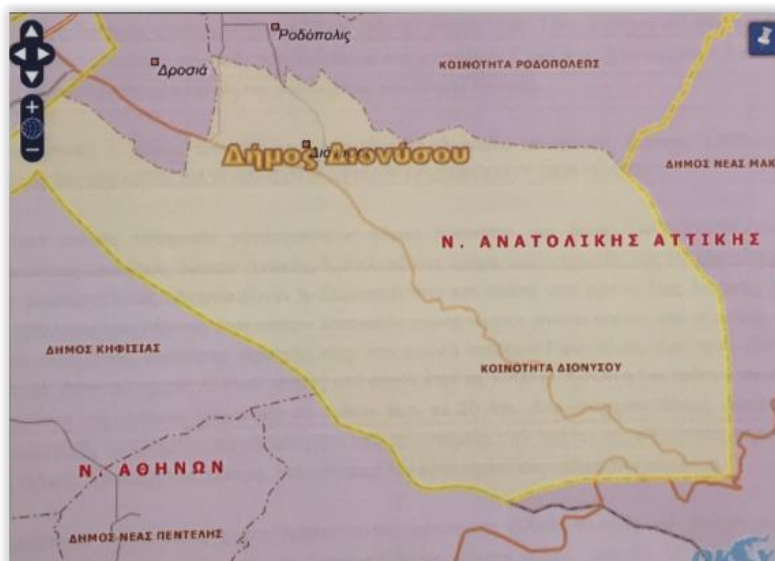
3. Υφή: είναι συμπαγής-ακανόνιστη.
4. Ορυκτολογική σύσταση: από τη μικροσκοπική εξέταση αλλά και την ανάλυση του ακτινογραφήματος (XRD) του δείγματος, η αξιολόγηση του οποίου έγινε με την βοήθεια του λογισμικού EVA της εταιρείας SOCABIM, έδειξαν ότι το πέτρωμα συνίσταται κύρια από ασβεστίτη (97% περίπου), ενώ συμμετέχουν με μικρότερο ποσοστά ο δολομίτης (2% περίπου), ο χαλαζίας, τα αδιαφανή μεταλλικά ορυκτά, και ο μοσχοβίτης (σε μικροφυλλάρια).
5. Μορφή-διαστάσεις κρυστάλλων:
- 5α) Οι κρύσταλλοι (βλάστες) του ασβεστίτη εμφανίζονται υπιδιόμορφοι και εμφανίζουν στοιχεία τεκτονικής καταπόνησης. Κυματοειδής κατάσβεση, τεκτονικές διδυμίες και κεκομμένες διδυμίες είναι κάποια χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στο δείγμα. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 0.1 mm έως 1.0 mm, με επικρατέστερες εκείνες από 0.3 mm και 0.5 mm, γεγονός που κατατάσσει ιστολογικά το πέτρωμα στα "λεπτόκοκκα μάρμαρα".
- 5β) Ο δολομίτης είναι υπερλεπτόκοκκος και παρατηρείται σε λεπτοταινιώσεις και μικρά συσσωματώματα.
- 5γ) Ο χαλαζίας εμφανίζεται υπερλεπτόκοκκος και αποστρωγγλωμένος.
- 5δ) Τα αδιαφανή μεταλλικά ορυκτά είναι υπερλεπτόκοκκα και είναι διάσπαρτα στη μάζα του πετρώματος.
- 5ε) Ο μοσχοβίτης τέλος παρατηρείται σε μικροφυλλάρια.
6. Πόροι: παρατηρούνται διάσπαρτοι μικροσκοπικοί πόροι στην μάζα του πετρώματος.
7. Διακλάσεις δεν παρατηρούνται διακλάσεις.
8. Χημική ανάλυση: Χημική ανάλυση του πετρώματος επιβεβαιώνει ότι, το πέτρωμα είναι κύρια ασβεστιτικής σύστασης, ενώ συμμετέχει με μικρό ποσοστό και ο δολομίτης.

Πίνακας 2.1α Πίνακας χημικής ανάλυσης του Πεντελικού μαρμάρου

% σε ξηρό υλικό								
CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂ (Ανθρακικός ανυδρίτης)
54.62	0.1	0.05	0.5	1.2	<0.01	0.01	0.01	43.2

2.5 Περιγραφή λατομικού χώρου και ευρύτερης περιοχής

Ο λατομικός χώρος στον οποίο γίνεται η εκμετάλλευση, βρίσκεται στην θέση «Διονυσοβούνι», στην περιοχή της κοινότητας Διονύσου και καταλαμβάνει τμήμα της νοτιοανατολικής πλευράς του Ικάριου όρους (Διονυσοβούνι ή Σταματοβούνι). Ο χώρος περιβάλλεται από λόφους και δεν είναι αυτός ορατός από την Αθήνα. Είναι ορατός μερικώς, όμως, από τον οικισμό της Ραπεντώσας.



Εικόνα 2.1ε: Προσατολισμός Περιοχής Έργου (Πηγή ΥΠ.ΕΣ.)

Ο χώρος αποτελεί λατομείο μαρμάρου εν ενεργεία, ενώ η περιοχή άμεσου επιρροής του χώρου επέμβασης είναι δάσος χαλέπιας πεύκης. Στο δάσος αυτό η άσκηση οικονομικής δασοπονίας είναι εφικτή πλην όμως δεν λαμβάνει χώρα, ενώ σημαντικά τμήματα του έχουν καεί σε πυρκαγιές της τελευταίας 20ετίας.

Σύμφωνα με τον Ν.998/79, η περιοχή επέμβασης χαρακτηρίζεται ως έκταση βραχώδης και ακάλυπτος που βρίσκεται εντός δάσους και δεν υπάγεται σε καμία από τις κατηγορίες της παρ. 1 του άρθρου 4. Η περιοχή άμεσου επιρροής του χώρου επέμβασης υπάγεται στην κατηγορία γ' της παρ. 1 του άρθρου 4, αφού σε αυτήν είναι εφικτή η άσκηση οικονομικής δασοπονίας, δηλαδή η παραγωγή δασικών προϊόντων (καυσόξυλα, ξυλεία, ρητίνη κλπ.). Τόσο ο χώρος επέμβασης, όσο και η περιοχή άμεσου επιρροής του υπάγονται στην κατηγορία ζ' της παρ. 2 του άρθρου 4 του Ν. 998/79 "Περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της Χώρας", γιατί βρίσκονται εντός της περιφέρειας του Νομού Αττικής.

Χωροθετικά, ο λατομικός χώρος βρίσκεται στον μέσο της νιοτοανατολικής πλαγιάς του βουνού και η προσπέλαση προς αυτόν γίνεται με λατομικό δρόμο μήκους περίπου 2 χιλιομέτρων. Ο δρόμος αυτός συνδέει το λατομείο με την παρακαμπτήριο της οδού Αθηνών – Διονύσου – Νέας Μάκρης, ανήκει στην εταιρεία, χαράχθηκε ασφαλτοστρώθηκε και συντηρείται από αυτήν και οδηγεί στα γραφεία, στα εργοστάσια και στις λοιπές εγκαταστάσεις του έργου.

Το εμβαδόν του συνολικού λατομικού χώρου είναι 410.135 m^2 , ενώ ο χώρος εκάστου λατομείου για τον οποίο έχει χορηγηθεί άδεια εκμετάλλευσης ορίζεται από τέσσερις επιμέρους λατομικούς χώρους. Ο λατομικός χώρος Α έχει εμβαδόν 108.248 m^2 . Ο λατομικός χώρος Β έχει εμβαδόν 103.106 m^2 . Ο λατομικός χώρος Γ έχει εμβαδόν 97.627 m^2 . Ο λατομικός χώρος Δ έχει εμβαδόν 101.154 m^2 .

Η περιοχή στην οποία ευρίσκεται το έργο της εταιρίας αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης λατομικής ζώνης γνωστής και ως Ε1, στην οποία έχει καθοριστεί σαν χρήση γης η λατόμευση του γνωστού παγκοσμίως λευκού μαρμάρου Διονύσου- Πεντέλης, με το

υπ' αριθμόν 26.8.88 Προεδρικό Διάταγμα . Στην ζώνη αυτή τοποθετείται το έργο λατόμευσης της εταιρίας.

Ιδιοκτησιακά ο χώρος, αποτελεί τμήμα ευρύτερης περιοχής, η οποία αποτελεί τμήμα ευρύτερης ιδιωτικής αυτοτελούς έκτασης, 1.926 στρεμμάτων, που ανήκει στην “Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ- ΠΕΝΤΕΛΗΣ” .

2.5 Μηχανολογικός Εξοπλισμός

Ανεξάρτητα από το χρόνο απασχόλησης και την αιτιολόγηση της επάρκειάς του, ο κύριος μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σήμερα από την εταιρεία «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ» στο λατομικό έργο της θέσης «Διονυσοβούνι» και που προβλέπεται να απασχοληθεί στο εγγύς παραγωγικό μέλλον καταγράφεται στον Πίνακα 3.5-1 .

Πίνακας 2.2b: Πίνακας καταγραφής μηχανολογικού εξοπλισμού ιδιοκτησίας «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ»

Κύριος Μηχανολογικός Εξοπλισμός	
Εκσκαφείς με νύχι	4
Φορτωτές ερπυστριοφόροι	2
Φορτωτές λαστιχοφόροι	7
Προωθητής Γαιών	1
Υδραυλικά Σφυριά	3
Χωματοουργικά Φορτηγά (Dumpers)	8
Ανατρεπόμενα φορτηγά	5
Πλατφόρμες Μεταφοράς Όγκων	2
Υδροφόρες	5
Γερανός	1
Γερανοφόρα Οχήματα	2
Διατρητικά Ορθογωνισμού Όγκων	11
Διατρητικά Οριζόντιας Διάτρησης (Liner)	2
Συρματοκοπές (εξόρυξης)	13
Συρματοκοπές (ορθογωνισμού όγκων)	10
Crawler Drills	3
Αλυσοπρίονα Διάνοιξης Σηράγγων	3
Διατρητικό τοποθέτησης Αγκυρίων(Commando)	1
Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη	3

Ο παραπάνω εξοπλισμός είναι ιδιόκτητος, ήδη σε χρήση και σε καλή κατάσταση και απασχολείται στο σύνολο των εργοταξίων των τεσσάρων (4) λατομικών χώρων της Εταιρείας συνεχώς, χωρίς κάποια από τα παραπάνω μηχανήματα να είναι αποκλειστικής χρήσης ενός συγκεκριμένου λατομικού χώρου.

2.6.1 Παραγωγή Λατομείου

Η συνολική ετήσια παραγωγή του λατομείου ανέρχεται στα: 9.300 m³. Περιλαμβάνει 12 Κύριες εγκαταστάσεις - εγκαταστάσεις επεξεργασίας

Η «Α.Ε.Β.Ε. Λατομείων Μαρμάρου Διονύσου- Πεντέλης» στην προσπάθεια αφ' ενός της καθετοποίησης της παραγωγικής της διαδικασίας και αφ' ετέρου της αξιοποίησης της μεγάλης ποσότητας των παραγομένων στείρων υλικών από την εκμετάλλευση των λατομείων της στον Διόνυσο, έχει εγκαταστήσει εντός του παρόντος λατομικού χώρου:

1. εργοστάσιο επεξεργασίας μαρμάρων για την παραγωγή τυποποιημένων πλακών,
2. σπαστηροτριβείο επεξεργασίας της παραγομένης πέτρας για την παραγωγή μαρμαρόσκονης
3. σπαστηροτριβείο επεξεργασίας με παραγομένη πέτρας για την περαιτέρω επεξεργασία της με σκοπό την παραγωγή μαρμαρόσκονης και λεπτόκοκκου υλικού (ρυζάκι) τροφοδοσίας εργοστασίου πούδρας,
4. εργοστάσιο λειοτρίβησης για παραγωγή πούδρας “filler” διαφόρων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων

2.6.2 Εγκατάσταση επεξεργασίας μαρμάρων για την παραγωγή τυποποιημένων πλακών και πλακιδίων

Μετά την εξόρυξή του και τον ορθογωνισμό του ο όγκος μαρμάρου είτε “καθαρίζεται” στα μονόλαμα είτε πηγαίνει κατ' ευθείαν στους κόπτες όπου τεμαχίζεται σε πλάκες πάχους 7cm, πλάτους 30, 90 ή 60 cm και ελευθέρου μήκους. Καθ' ένα απ' αυτά τα τεμάχια, σχίζεται στο ανάλογο μηχάνημα σε τρεις πλάκες πάχους 18 — 20 mm εκάστη. Εν συνεχεία κόβονται οι πλάκες στο κοπτικό μηχάνημα στο επιθυμητό μήκος, λειαίνονται, συσκευάζονται, αποθηκεύονται και είναι έτοιμες προς διάθεση.

Ο εξοπλισμός της μονάδας διαρκώς εκσυγχρονίζεται ενώ το προσωπικό της έχει μεγάλη εμπειρία και μοναδική γνώση του αντικειμένου. Η μονάδα διακρίνεται για την ακρίβειά της και για το χρωματικό ταίριασμα των πλακών, κάτι που την καθιστά εξαιρετικά αποτελεσματική στην εκτέλεση έργων με ιδιαίτερες ποιοτικές απαιτήσεις.



Εικόνα 2.2f: Η μονάδα παραγωγής προϊόντων μαρμάρου εντός του λατομικού συγκροτήματος στο Διόνυσο

2.6.3 Μονάδες σπαστηροτριβείων

Οι μονάδες σπαστηροτριβείων της εταιρείας στο Διόνυσο, αξιοποιούν τις λατύπες των ογκομαρμάρων από την εξόρυξη στο λατομείο μαρμάρου. Το βασικό προϊόν είναι η μαρμαρόσκονη που χρησιμοποιείται στην παρασκευή παραδοσιακού σοβά ή βιομηχανικών δομικών κονιαμάτων.

Με τη βοήθεια του τροφοδότη διέρχεται το υλικό από τον προδιαλογέα, ο οποίος απαλλάσσει την πέτρα από χώματα ή λάσπες και εν συνεχεία οδεύει προς τον σπαστήρα. Από το σπαστήρα λαμβάνεται υλικό κοκκομετρίας από 0 – 100 mm που στη συνέχεια περνώντας από τα τριβεία εξέρχεται με κοκκομετρία 0- 8 mm. Στα κόσκινα γίνεται ο διαχωρισμός των προϊόντων που είναι η μαρμαρόσκονη (0- 1,6 mm) και το ρυζάκι (1,6-4 mm).

Το +4 mm επιστρέφει στ τριβεία και τα παραγόμενα προϊόντα αποθηκεύονται σε silos, από όπου και είναι έτοιμα προς διάθεση.



Εικόνα 2.3g: Σπαστηροτριβείο κατά τη λειτουργία του σε λήψη από το λατομικό χώρο

2.7 Μέθοδος Εκμετάλλευσης

Οι εργασίες στον παρόντα λατομικό χώρο χρονολογούνται από το 1897, όταν και ξεκίνησε την εκμετάλλευση του λευκού μαρμάρου Διονύσου η γνωστή τότε βρετανική εταιρία GRECIAN MARBLES ‘Μάρμωρ’ LTD. Όμως, από το 1949 η παρούσα εταιρία εκμεταλλεύεται πλήρως τα λατομεία μαρμάρου που βρίσκονται στη θέση «Διονυσοβούνι».

2.7.1 Έργα Προσπέλασης

Το οδικό δίκτυο που εξυπηρετεί την εκμετάλλευση είναι ανεπτυγμένο και διαμορφωμένο από τις μέχρι σήμερα εργασίες. Χρειάζεται μόνο να γίνει κατά θέσεις διεύρυνση και διάστρωση των προσπελάσεων των βαθμίδων, μετά το τέλος της εκμετάλλευσης.

Οι εσωτερικές προσπελάσεις των βαθμίδων εξόρυξης, οι οποίες οδηγούν και στα μέτωπα εξόρυξης, θα αναπτυχθούν σταδιακά και παράλληλα με αυτές.

Ο δρόμος εξωτερικής προσπέλασης είναι ασφαλτοστρωμένος με ήπιες κλίσεις (3 – 4%) , με ακτίνες καμπυλότητας >40 m και πλάτος καταστρώματος 7 m, ενώ οι δρόμοι του εσωτερικού οδικού δικτύου έχουν μέγιστη κλίση 10%, με ακτίνες καμπυλότητας >30 m και πλάτος καταστρώματος 6 m τουλάχιστον.

2.7.2. Υπαίθρια εκμετάλλευση

2.7.2.1 Σχεδιασμός της εκμετάλλευσης

Το πρώτο στάδιο του σχεδιασμού είναι η οριοθέτηση του προς εκμετάλλευση τμήματος του κοιτάσματος και η επιλογή της θέσεως, από όπου θα γίνει η προσπέλασή του

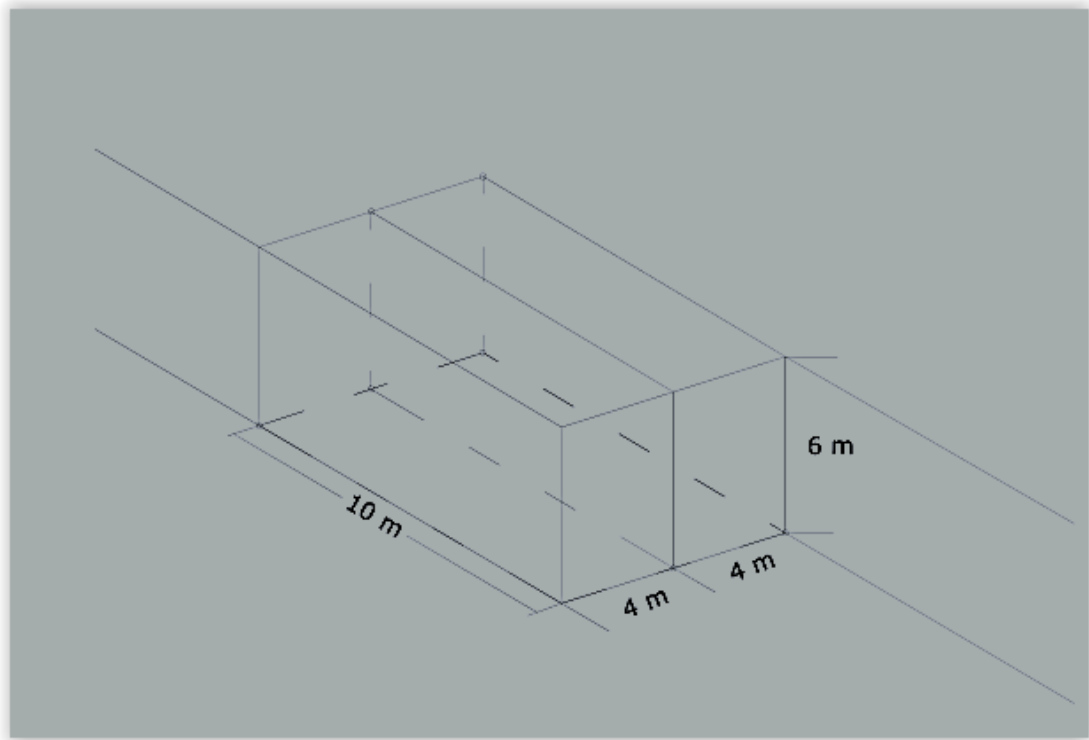
και η εκκίνηση της εξόρυξης. Το σύνηθες λάθος που επαναλαμβάνεται σε πολλές εκμεταλλεύσεις είναι η απόθεση στείρων υλικών σε σημεία του κοιτάσματος, τα οποία θα υποστούν μελλοντική εκμετάλλευση. Ακολουθεί η χάραξη των προσπελαστικών οδών προς τις βαθμίδες εκμετάλλευσης με κλίσεις 10% και κατά προτίμηση όπου αυτό είναι εφικτό 6-8%. Το πλάτος τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 μέτρα όταν δεν προβλέπεται να διασταυρώνονται τα αυτοκίνητα, και τρεις φορές το πλάτος ενός αυτοκινήτου, όταν πρόκειται για δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Επίσης για να λειτουργεί απρόσκοπτα η εξορυκτική διαδικασία θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε όλα τα μέτωπα να καλύπτονται από τα απαραίτητα δίκτυα διανομής και χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος, πεπιεσμένου αέρα και νερού.

2.7.2.2 Περιγραφή μεθόδου εξόρυξης

Η μέθοδος εκμεταλλεύσεως που χρησιμοποιείται στην υπαίθρια εκμετάλλευση είναι αυτή των ορθών βαθμίδων με ύψος 6 μέτρα. Οι όγκοι που αποσπώνται από το μητρικό πέτρωμα έχουν μέσες διαστάσεις 10x4x6 μέτρα. Καταβάλλεται προσπάθεια οι διαστάσεις αυτές να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερες, αλλά εντός των πλαισίων που μπορεί να διαχειριστεί ο μηχανικός εξοπλισμός. Ο υψηλός βαθμός τεκτονισμού του πετρώματος επιβάλλει αυτή την προσέγγιση, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αποληψιμότητα, αφού τα προς ορθογωνισμό τεμάχια μαρμάρου ορίζονται από τις φυσικές ασυνέχειες, αλλά και από τις τεχνητές τομές που δημιουργούνται κατά την κοπή του πάγκου. Με την ελαχιστοποίηση των τεχνητών τομών αποφεύγεται στο μέτρο του δυνατού ο τεμαχισμός υγιών όγκων. Η ανάγκη για αύξηση της παραγωγικότητας και της αποληψιμότητας καθιστούν αναγκαίο το σωστό σχεδιασμό της εξόρυξης.

Η απόσπαση του πάγκου από το μητρικό πέτρωμα γίνεται ως εξής:

1. Διατρητικά φορεία (crawler) με ενδοδιατρηματικές σφύρες (Down The Hole) διαμέτρου Ø90mm, ορύσσουν οριζόντια και κατακόρυφα διατρήματα τα οποία τέμνονται και μέσω αυτών διέρχεται το αδαμαντοφόρο σύρμα, το οποίο θα διενεργήσει την κοπή. Ανά δύο τα διατρήματα ορίζουν το επίπεδο της τομής. Οι τομές που διενεργούνται φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



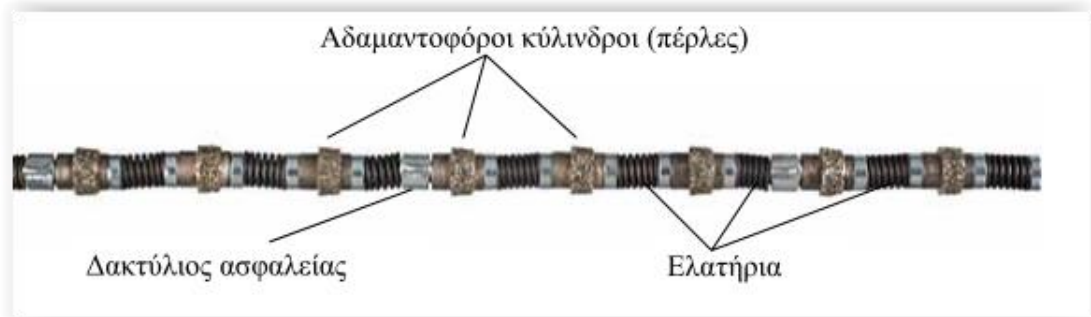
Εικόνα 2.4h: Τομές κοπής Μαρμάρου (διαστάσεις ογκομαρμάρου προς εξόρυξη)



Εικόνα 2.5i: Crawler διενεργεί διάνοιξη διατρήμάτων

2. Ο όγκος προς εξόρυξη περιβάλλεται από αδαμαντοφόρο σύρμα, το οποίο διέρχεται μέσα από τα προαναφερθέντα διατρήματα. Το αδαμαντοφόρο σύρμα αποτελείται από τμήματα σύρματος μήκους 7m, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους σε ατέρμονα βρόγχο με σπειρώματα. Το αδαμαντοφόρο σύρμα αποτελείται από τον πυρήνα το οποίο είναι

συρματόσχοινο διαμέτρου $\varnothing 5\text{mm}$. Στο συρματόσχοινο προσαρμόζονται αδαμαντοφόροι κύλινδροι (πέρλες), ελατήρια τα οποία λειτουργούν ως οδηγοί για να τηρείται η απόσταση μεταξύ των περλών και ως μέσα απομάκρυνσης του υλικού κοπής και του νερού, το οποίο χρησιμεύει για την ψύξη του κοπτικού, καθώς και δακτύλιοι ασφαλείας, οι οποίοι συγκρατούν τους αδαμαντοφόρους κύλινδρους στην περίπτωση που αστοχήσει το συρματόσχοινο. Το αδαμαντοφόρο σύρμα προσαρμόζεται σε συρματοκοπή η οποία κινείται επί ραγών και κατά τη διάρκεια της κοπής κινείται προς τα πίσω τεντώνοντας το αδαμαντοφόρο σύρμα. Όταν η συρματοκοπή φθάσει στο τέλος των ραγών αφαιρείται ένα τμήμα σύρματος μήκους 7m, η μηχανή οδηγείται στην αρχή των ραγών και το κόψιμο συνεχίζεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί η κοπή. Το αδαμαντοφόρο σύρμα λαμβάνει κίνηση από τροχαλία διαμέτρου $\varnothing 800\text{mm}$, η οποία το περιστρέφει με ταχύτητα 35 m/sec, επιτυγχάνοντας ταχύτητες κοπής 10-12m²/h. Η τροχαλία είναι τοποθετημένη στην κεφαλή της συρματοκοπής, η οποία δύναται να περιστρέφεται 360⁰, διενεργώντας κατακόρυφες, παρακατακόρυφες και οριζόντιες τομές.

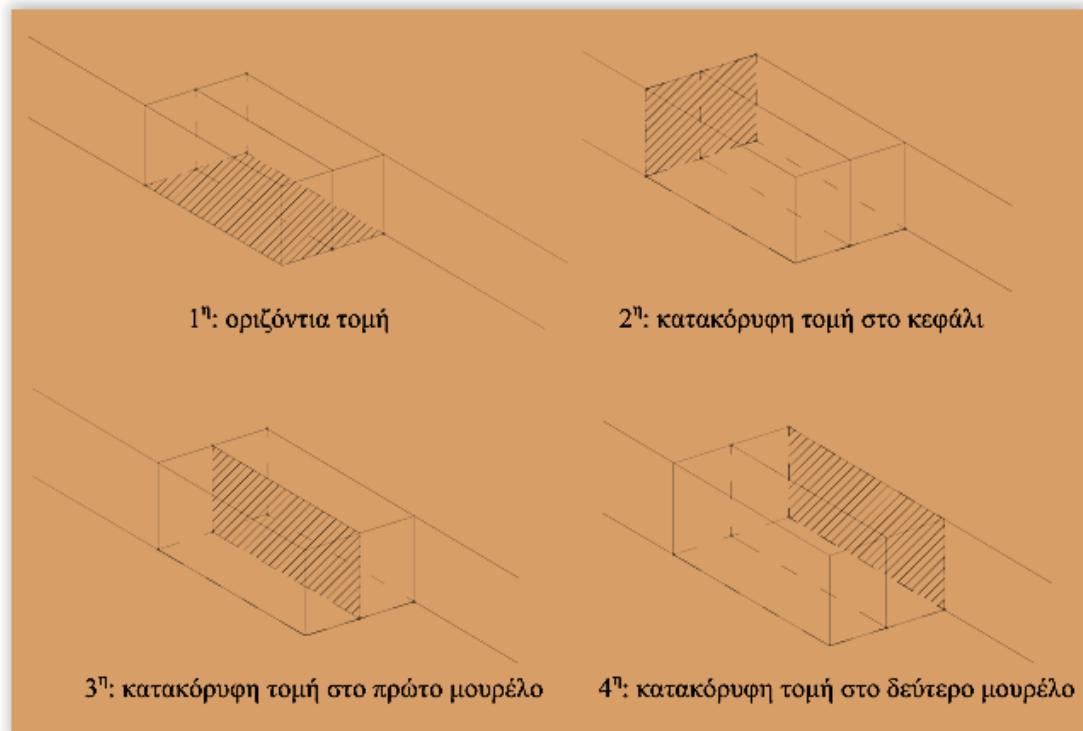


Εικόνα 2.6j: Αδαμαντοφόρο σύρμα κοπής (κατασκευής της ίδιας της εταιρίας)



Εικόνα 2.7k: Συρματοκοπή κατά οριζόντια τομή στο ύψος του δαπέδου

Η ακολουθία των τομών που διενεργούνται προκειμένου να αποκοπούν οι προς εξόρυξη πάγκοι από το μητρικό πέτρωμα φαίνονται στα παρακάτω σκαριφήματα:



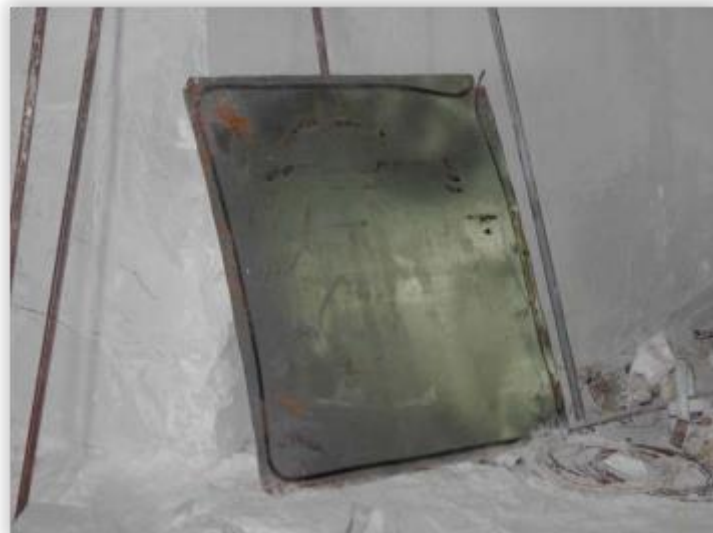
Εικόνα 2.81: Σχηματική ακολουθία των τομών που λαμβάνουν χώρα προκειμένου να γίνει η εξόρυξη του ογκομαρμάρου, δηλαδή η αποκοπή του εξορυσσόμενου πετρώματος από το μητρικό πέτρωμα

Η οριζόντια τομή συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με το επίπεδο σχιστότητας του μαρμάρου. Λόγω της έντονης σχιστότητας, η οριζόντια τομή μπορεί να γίνει εναλλακτικά με τη χρήση εκρηκτικών, χωρίς να προξενηθεί ζημιά στο πέτρωμα. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται αυτοφερόμενο διατρητικό φορείο με υδραυλική σφύρα. Το διατρητικό ορύσσει παράλληλα οριζόντια διατρήματα ανά 25 cm σε όλο το μήκος του προς εξόρυξη πάγκου, τα οποία γομώνονται με 2 κλώνους ακαριαίας θρυαλλίδας με πυκνότητα γόμωσης 12gr/m. Η έναυση γίνεται με κοινό καψύλλιο και βραδύκαυση θρυαλλίδα.

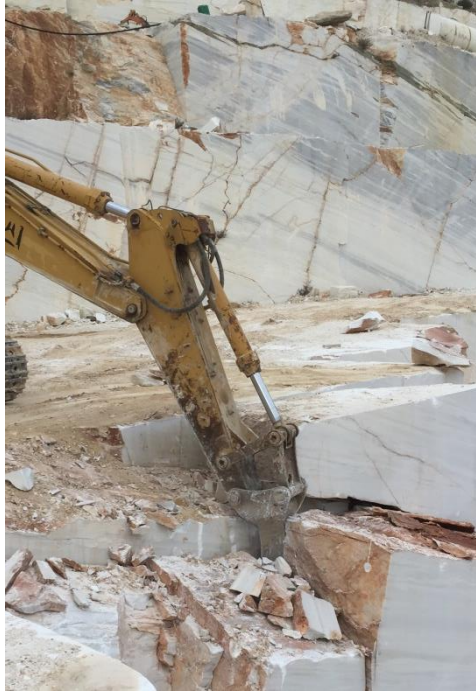


Εικόνα 2.9m: Αυτομεταφερόμενο διατρητικό φορείο για όρυξη οριζόντιων διατρημάτων (liner)

3. Αφού αποκοπεί ο προς εξόρυξη πάγκος από το μητρικό πέτρωμα, ακολουθεί η φάση της εξόρυξης. Η απομάκρυνση διενεργείται με την χρήση εκσκαφέα με προσαρμοσμένο νύχι (ripper). Για να διευκολυνθεί η απόσπαση τοποθετείται εντός της τομής του αδαμαντοφόρου σύρματος υδρόσακκος (hydro bag), ο οποίος δεν είναι τίποτε άλλο από δύο μεταλλικά ελάσματα, ενωμένα περιμετρικά, εντός των οποίων εισπιέζεται νερό με υψηλή πίεση με αποτέλεσμα την παραμόρφωση των ελασμάτων, τα οποία παίρνουν το σχήμα μαξιλαριού και για αυτό το λόγω ονομάζονται και μαξιλάρια νερού (water pillow). Η παραμόρφωση αυτή επιτρέπει στο νύχι να εργαστεί απρόσκοπτα χωρίς να καταπονηθεί ιδιαίτερα.



Εικόνα 2.10n: Υδρόσακκος (HydroBag)



Εικόνα 2.11p: Εκσκαφέας (νύχι) κατά τη διάρκεια του ξεσκάρωματος

4. Οι όγκοι πετρώματος που εξορύσσονται ελέγχονται από τους κατά τομέα εκμετάλλευσης επιστάτες. Οι ακανόνιστοι όγκοι, που μπορούν να δώσουν εμπορεύσιμα ογκομάρμαρα, ξεχωρίζονται προκειμένου να ορθογωνιστούν, ενώ τα στείρα υλικά υπόκεινται σε θραύση από ένα ερπυστριοφόρο και δύο ελαστιχοφόρα υδραυλικά σφυριά, προκειμένου να αποτελέσουν το υλικό τροφοδοσίας των δύο σπαστηροτριβείων. Οι υγιείς όγκοι ορθογωνίζονται είτε με τη χρήση πυκνών διατρημάτων, είτε με τη χρήση συρματοκοπών. Ο ορθογωνισμός με διάτρηση γίνεται με την όρυξη παράλληλων διατρημάτων $\text{Ø}32\text{mm}$, τα οποία ορίζουν το επίπεδο της τομής, από υδραυλικό σφυρί προσαρμοσμένο σε αυτοφερόμενο πλαίσιο. Αφού ορυχθούν όλα τα διατρήματα είναι εύκολο να αποκοπεί το τμήμα του όγκου που δεν είναι ωφέλιμο με τη βοήθεια σφηνών. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτοκινούμενες συρματοκοπές ορθογωνισμού όγκων, οι οποίες είναι μικρότερου μεγέθους από τις συρματοκοπές εξόρυξης, αλλά πολύ πιο ευέλικτες.



Εικόνα 2.12α: Διάτρηση όγκου προς ορθογωνισμό με υδραυλική σφύρα προσαρμοσμένη σε αυτομεταφερόμενο φορείο (τρακτέρ Ford)



Εικόνα 2.13α: ορθογωνισμός όγκου με συρματοκοπή

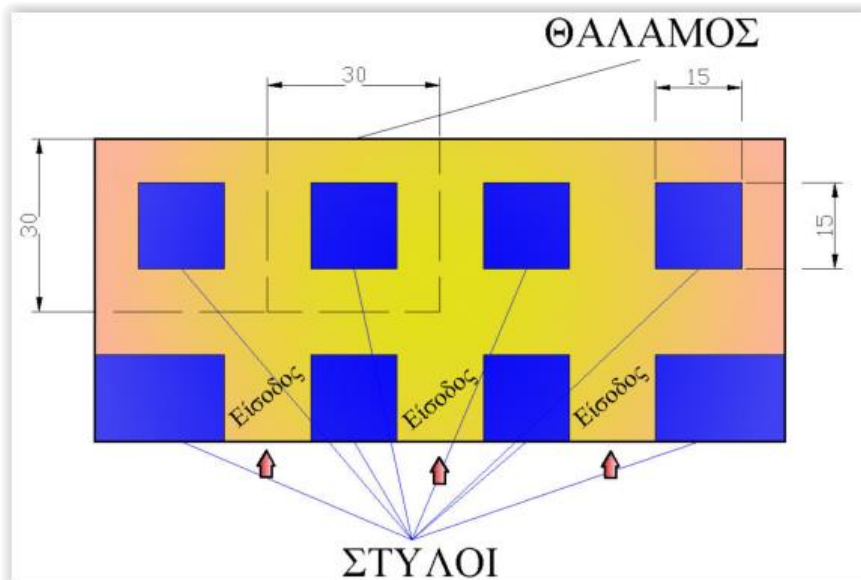
5. Τα στείρα υλικά υπόκεινται σε θραύση από υδραυλικά σφυριά και στη συνέχεια φορτώνονται με φορτωτή (CAT 980G και 988B) σε χωματουργικά φορτηγά, τα οποία τροφοδοτούν τα δύο τριβεία της εταιρείας στην περιοχή Διονύσου.
6. Τα διαμορφωμένα ογκομάμαρα φορτώνονται με περνοφόρο φορτωτή CAT 980F σε φορτηγά πλατφόρμες προκειμένου να οδηγηθούν στα εργοστάσια επεξεργασίας της εταιρείας και στα σημεία πώλησης.



Εικόνα 2.14s: Φόρτωση ογκομαρμάρου προς μεταφορά με φορτωτή της εταιρίας (CAT 980F)

2.8.3 Υπόγεια Εκμετάλλευση

Η εταιρεία από το 1994 διενεργεί μια από τις ελάχιστες υπόγειες εκμεταλλεύσεις μαρμάρου στην Ελλάδα. Οι λόγοι που οδήγησαν την εταιρεία να λάβει αυτή την απόφαση είναι κυρίως η περιβαλλοντική ευαισθησία που την χαρακτηρίζει. Αν η εταιρεία προέβαινε σε αποκαλύψεις του στείρου υπερκείμενου σχιστόλιθου θα διαταράσσονταν το φυσικό ανάγλυφο και θα προέκυπταν τεράστιες ποσότητες προς απόθεση. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι αυτή των θαλάμων και στύλων. Η μέση διάσταση των στύλων είναι (15x15)m και των θαλάμων (30x30)m.



Εικόνα 2.15t: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης θαλάμων και στύλων, όπως εφαρμόζεται για την υπόγεια εκμετάλλευση στα λατομεία Διονύσου

Η διαμόρφωση των υπογείων εκμεταλλεύσεων αρχίζει από το ανώτερο υψόμετρο, όπου διαμορφώνεται το δίκτυο των θαλάμων και στύλων με τη χρήση αλυσοπρίονου διάνοιξης στοών. Η εταιρεία διαθέτει δύο τέτοια αλυσοπρίονα, ένα Korfmann HSTK 50 και ένα σύγχρονο αυτοκινούμενο Fantini GU-70. Τα αλυσοπρίονα αυτά διαθέτουν λάμα καθαρού μήκους κοπής 2 m, η οποία είναι προσαρμοσμένη σε κεφαλή, η οποία κινείται επί οδηγών και δύναται να περιστρέφεται 360° . Έτσι είναι σε θέση να διενεργούν οριζόντιες τομές εφαπτόμενες στο δάπεδο και στο ύψος της οροφής, καθώς και κατακόρυφες τομές. Η απόδοση κοπής είναι χαμηλότερη της αδαμαντοφόρας συρματοκοπής. Λόγω των χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής της αλυσίδας και των ειδικών κοπτικών διενεργείται ξηρή κοπή, εξοικονομώντας μεγάλες ποσότητες νερού. Η αλυσίδα του αλυσοπρίονου αποτελείται από ακολουθίες ομάδων κοπτικών που επαναλαμβάνονται έως ότου να καλύψουν όλο το μήκος της. Το πρώτο κοπτικό βρίσκεται ακριβώς επί του άξονα της αλυσίδας, το δεύτερο είναι ελαφρώς μετατοπισμένο προς τα δεξιά, το τρίτο είναι μετατοπισμένο προς τα αριστερά κ.ο.κ. έως ότου να καλυφθεί όλο το πάχος της λάμας που ανέρχεται στο 38mm.

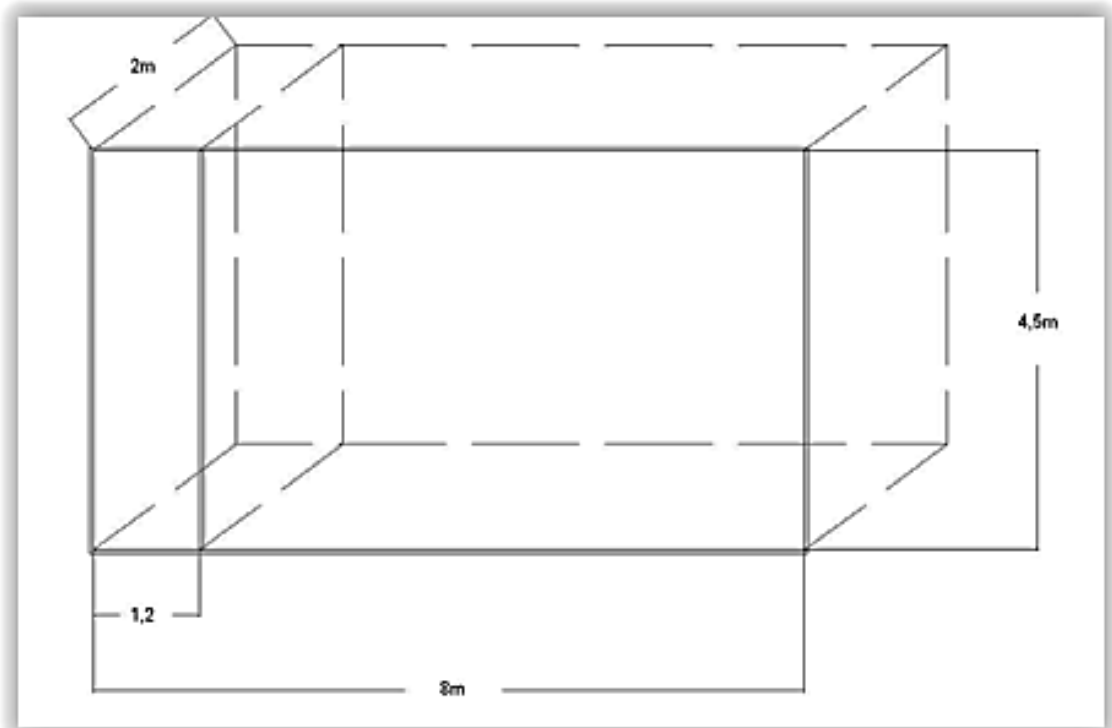


Εικόνα 2.16υ: Αλυσοπρίονο διάνοιξης σηράγγων Fantini GU-70

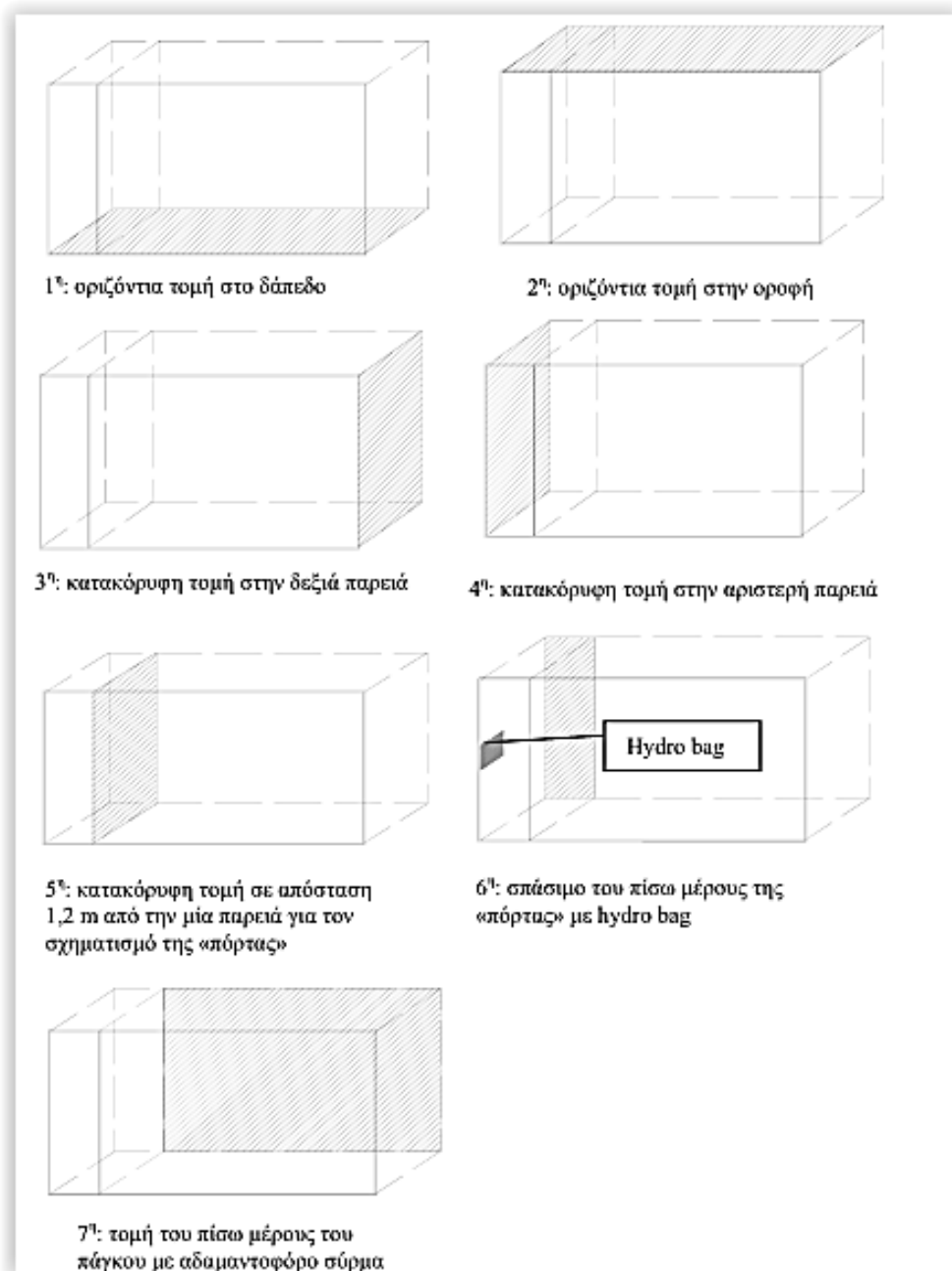


2.8.3.1 1^η φάση υπόγειας εκμετάλλευσης

Προκειμένου να εξορυχθεί ένας πάγκος μαρμάρου, όταν υπάρχει μόνο μία ελεύθερη επιφάνεια, ακολουθείται η εξής διαδικασία. Ο πάγκος προς εξόρυξη περιχαρασσεται σε βάθος 2 m, πλάτος 8 m και ύψος 4,5 m. Η αλληλουχία των τομών φαίνεται στην κάτωθι σχηματική απεικόνιση.



Εικόνα 2.19ω: Τομές κοπής Μαρμάρου (διαστάσεις ογκομαρμάρου προς εξόρυξη)



Εικόνα 2.20κ: Σηματική Απεικόνιση τομών κατά ακολουθία της διαδικασίας της εξόρυξης στην υπόγεια εκμετάλλευση

Αφού αποσπαστεί ο πάγκος από το μητρικό πέτρωμα ακολουθεί η επόμενη φάση της διαδικασίας, αυτή του ορθογωνισμού των εμπορεύσιμων όγκων και η αποκομιδή των στείρων. Αμέσως έπεται η φάση της αγκύρωσης της οροφής, προκειμένου να ενισχυθεί η φυσική αντοχή του πετρώματος. Για το σκοπό αυτό ορύσσονται διατρήματα διαμέτρου Ø32mm και μήκους από 3 έως 6 μέτρα. Στον πυθμένα του διατρήματος τοποθετούνται 2-3 φυσίγγια ρητίνης ταχείας πήξεως και χαλύβδινο αγκύριο διαμέτρου Ø21mm και ονομαστικής αντοχής σε εφελκυσμό 16 tn. Το αγκύριο προεντίνεται με τη σύσφιξη περικοχλίου, το οποίο ασκεί πίεση σε ημισφαιρική έδρα προκειμένου να μεταφερθούν οι τάσεις στο θολωτό πλακίδιο, το οποίο με τη σειρά του ασκεί τις τάσεις στο πέτρωμα.

Η αγκύρωση της οροφής και των παρειών αποσκοπεί σε τρεις στόχους:

- Ανάρτηση στρωμάτων εντός της ζώνης χαλάρωσης από το υγιές πέτρωμα
- Δημιουργία δοκού
- Κλειδώματος των μεμονωμένων τεμαχίων πετρώματος, όταν το τελευταίο είναι κατακερματισμένο.

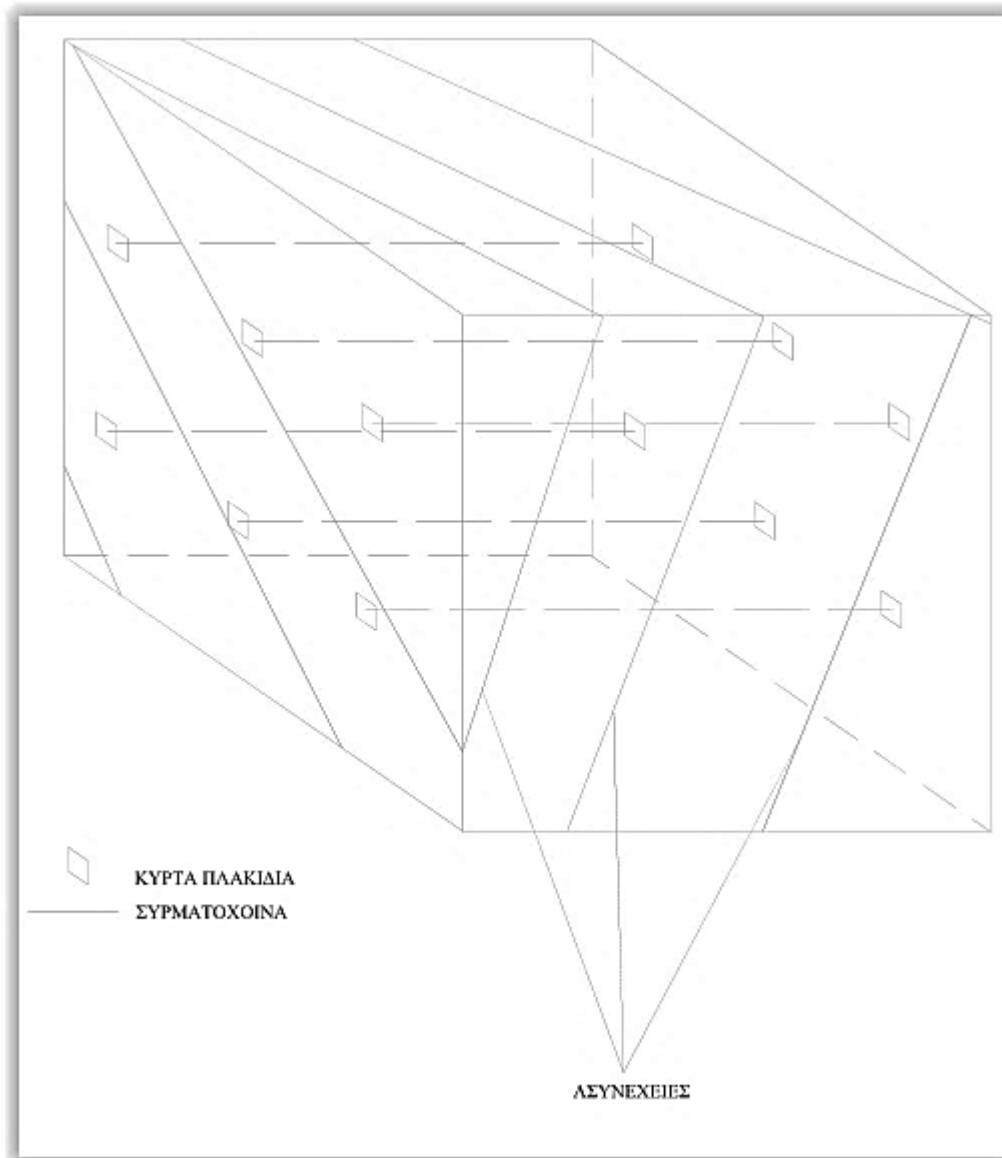


Εικόνα 2.21γ: Κοχλιωμενη οροφή

Σε γενικές γραμμές το μάρμαρο επιδεικνύει πολύ καλή συμπεριφορά τόσο στην οροφή, όσο και στις παρείες. Τα προβλήματα που εντοπίζονται είναι:

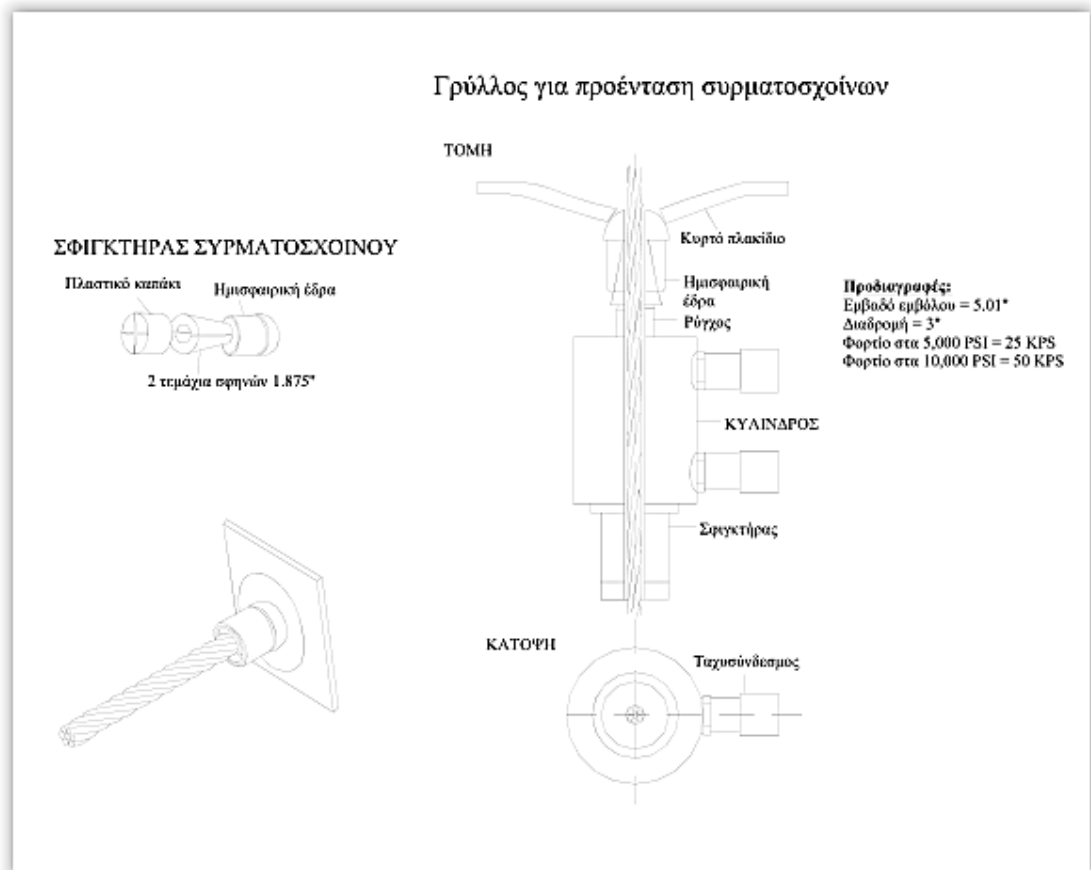
1. η συγκράτηση σφηνών που προκύπτουν από το δίκτυο των ασυνεχειών και τις τεχνητές τομές
2. λόγω του μεγάλου ύψους των κενών ορισμένες ασυνέχειες των στύλων είναι δυνατό να λειτουργήσουν ως επίπεδα ολίσθησης, όταν αποκαλυφθούν.

Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόζεται αγκύρωση, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι κοχλίες να τοποθετούνται κάθετα στο επίπεδο των ασυνεχειών. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιούνται προεντεταμένα συρματόσχοινα, τα οποία τοποθετούνται σε διαμπερή διατρήματα. Η προένταση των συρματόσχοινων αυξάνει τις κάθετες δυνάμεις στην επιφάνεια των ασυνεχειών εμποδίζοντας την σχετική κίνηση μεταξύ των διαφόρων όγκων πετρώματος που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αστοχία.



Εικόνα 2.22z:Σχηματική Απεικόνιση τοποθέτησης των συρματόσχοινων σε στύλο με ασυνέχειες

Το χρησιμοποιούμενο συρματόσχοινο είναι υψηλής αντοχής διαμέτρου $\varnothing 16\text{mm}$, με όριο θραύσης 20tn . Είναι δυνατόν αφού γίνει η τοποθέτηση του συρματόσχοινου στο διάτρημα να πληρωθεί με τσιμέντο (το κυρτό πλακίδιο έχει αναμονή γι' αυτό ακριβώς το σκοπό). Αυτό κρίνεται σκόπιμο μόνο σε περιπτώσεις πολύ σαθρού πετρώματος με πολλές κατακλάσεις.



Εικόνα 2.23αα: Σχηματική Απεικόνιση των διαφόρων μερών του γρύλλου προέκτασης του συρματοσχοίνου και οι προδιαγραφές βάση των οποίων κατασκευάζονται

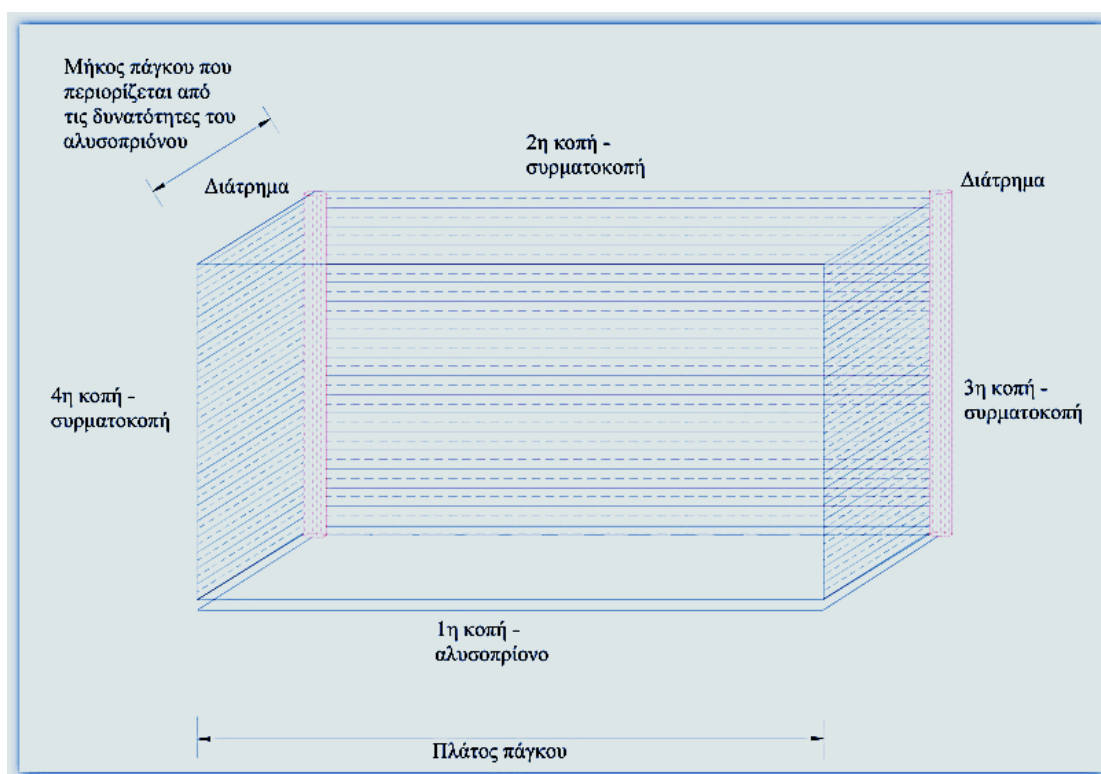


Εικόνα 2.24bb: Άποψη εισόδου του υπογείου Α κατά τη διάρκεια γεωφυσικών μετρήσεων για την παρούσα διπλωματική εργασία

2.8.3.2 2^η φάση υπόγειας εκμετάλλευσης

Οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις μαρμάρου έχουν πορεία από τα ανώτερα υψόμετρα προς τα κατώτερα, δηλαδή αφού σχηματιστεί ο πρώτος όροφος με τη μέθοδο που προαναφέρθηκε και ορισθούν οι στύλοι και οι θάλαμοι, ακολουθεί εξόρυξη στο επίπεδο του αμέσως κατώτερου ορόφου. Στην πρώτη φάση υπήρχε μόνο μία ελεύθερη επιφάνεια και για αυτό το λόγο ήταν επιβεβλημένη η χρήση αλυσοπριόνου διάνοιξης στοών. Στη δεύτερη φάση υπάρχουν 2 ελεύθερες επιφάνειες (το μέτωπο και το δάπεδο του πρώτου ορόφου) καθιστώντας την εξόρυξη συμβατικότερη. Στην περίπτωση αυτή κόβεται πρώτα η βάση του πάγκου με αλυσοπρίονο.

Το μήκος όπως αναφέρθηκε είναι καθορισμένο από τη δυνατότητα του αλυσοπριόνου, αλλά το πλάτος μπορεί να φτάνει και το συνολικό πλάτος του μετώπου. Στη συνέχεια ανοίγονται δύο κατακόρυφα διατρήματα από το πάνω μέρος του πάγκου προς τη βάση του. Η απόστασή τους από το μέτωπο είναι ίση με το μήκος κοπής του αλυσοπριόνου, έτσι ώστε να ενωθεί το πάνω πάτωμα με το τέλος της κοπής που έχει προηγηθεί στη βάση. Μέσα από τα διατρήματα αυτά θα περάσει το σύρμα της συρματοκοπής για να κόψει πρώτα την παράλληλη προς το μέτωπο κοψιά και μετά τις δύο πλαϊνές. Το ύψος των πάγκων αυτών ποικίλει και συνήθως είναι 4 έως 6 μέτρα.



Εικόνα 2.25cc: Σχηματική Απεικόνιση πάγκου 2^{ου} ορόφου υπόγειας εκμετάλλευσης

2.8.4 Αποστράγγιση Λατομικού χώρου

Το ανάγλυφο του λατομικού χώρου, τα καλά αναπτυγμένο δίκτυο επιφανειακής απορροής και η δομή του γεωλογικού σχηματισμού (μεγαλοπερατά μάρμαρα), εξασφαλίζουν τη γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών νερών (βροχοπτώσεις), προς τα κατώτερα υψόμετρα.

Ως προς την αποστράγγιση του λατομικού χώρου καμία μέριμνα δεν απαιτείται εξαιτίας του αναγλύφου, παρά μόνο η διατήρηση μικρής κλίσης των δαπέδων των βαθμίδων προς τα νατιοανατολικά και τα επιφανειακά νερά γρήγορα αποστραγγίζονται προς την παρακείμενη ρεματιά.

2.8.5 Αερισμός

Οι απαιτήσεις για τον αερισμό των υπογείων είναι πολύ μικρές και τούτο διότι ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός στην εξόρυξη είναι ηλεκτροκίνητος. Πετρελαιοκίνητος εξοπλισμός χρησιμοποιείται στην αποκομιδή του εξορυσσομένου πετρώματος (π.χ. φορτωτής) για μικρό χρονικό διάστημα και μόνο τότε υπάρχει ανάγκη αερισμού, όπως επίσης και κατά το στάδιο όρυξης της τυφλής κεντρικής στοάς και της διεύρυνσης- δημιουργίας των θαλάμων. Μετά και τη διάνοιξη της πρώτης παράπλευρης στοάς, οι ανάγκες σε αερισμό των υπογείων μηδενίζονται δεδομένου ότι οι υπόγειες στοές και οι θάλαμοι είναι αβαθείς (μέχρι 25 m) και με μεγάλα ανοίγματα. Έτσι, λοιπόν για την εξασφάλιση του απαιτούμενου αέρα κατά το αρχικό στάδιο διάνοιξης του υπογείου, χρησιμοποιείται ανεμιστήρας φυσητικός παροχής 25.000 m³/h, ενώ μετά και την διάνοιξη των δύο παραλλήλων στοών ο αερισμός εξυπηρετείται χωρίς πρόβλημα με φυσικό εξοπλισμό.

2.9 Κοινωνικά και Οικονομικά Στοιχεία

Οι πλησιέστερες προς τον λατομικό χώρο Δημοτικές Ενότητες είναι αυτές του Διονύσου, της Ροδόπολης, της Σταμάτας και ο συνοικισμός Ραπεντώσας Διονύσου.

Άλλες κοντινές σχετικά Δημοτικές Ενότητες είναι της Δροσιάς (Δημου Σταμάτας), της Εκάλης και της Ν. Ερυθραίας (Δήμου Κηφισιάς) κ.ά. οι κάτοικοι όλων των Δημοτικών Ενοτήτων, εκτός από τις άλλες δραστηριότητες τους, ασχολούνται και με τη θεραπεία του μαρμάρου και απ' αυτές τις γύρω κοινότητες προέρχεται σημαντικό τμήμα του εργατοτεχνικού προσωπικού των λατομείων και των βιομηχανικών συγκροτημάτων της εταιρείας. Στην περιοχή μελέτης, όπως και στην ευρύτερη, καμία γεωργοκτηνοτροφική ή δασοπονική παραγωγική δραστηριότητα δεν αναπτύσσεται. Αντικείμενο της επιχειρηματικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης είναι η παραγωγή – εξόρυξη του γνωστού λευκού μαρμάρου Διονύσου. Σημειώνεται ότι αυτός ο τύπος μαρμάρου είναι μοναδικός όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα.

Εκτός όμως από τη συμμετοχή του παρόντος λατομείου, στην προσφορά καλής ποιότητας ογκομαρμάρων, η συμβολή του (αλλά και ολόκληρης της εταιρείας) είναι σημαντική και στην ενίσχυση της τοπικής αγοράς και οικονομίας.

Επίσης:

- Δεν υπάρχει οπτική επαφή των αρχαιοτήτων με το Έργο.
- Από τη λειτουργία του Έργου δεν προκαλείται καμία όχληση σε κανέναν αρχαιολογικό χώρο λόγω σκόνης, εκπομπής αερίων ρύπων ή θορύβου, καθώς έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα προληπτικά μέτρα (κατάλληλη ηχομόνωση και συντήρηση εξοπλισμού).

2.10 ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Τα προϊόντα που παράγονται στο λατομικό χώρο του Διονύσου είναι τα εξής ακόλουθα:

1. Επεξεργασμένες και τυποποιημένες πλάκες μαρμάρου
2. Τυποποιημένες πλάκες πάχους 2 cm από μάρμαρο Διονύσου (75%) και μάρμαρα άλλων Ελληνικών περιοχών (25%) :15.000 m² /έτος.
3. Μαρμαρόσκονη
4. Η παραγόμενη μαρμαρόσκονη ανέρχεται σε 115.000 tn/έτος.
5. Πούδρα φυσικού κρυσταλλικού ανθρακικού ασβεστίου
6. Η παραγόμενη πούδρα από κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο ανέρχεται σε : 15.000 tn/έτος
7. Άμμος
8. Η παραγόμενη ποσότητα άμμου ανέρχεται σε : 45.000tn/έτος.

Κεφάλαιο 3 - Γεωφυσική

3.1 Γενικά για τη γεωφυσική

Η Γεωφυσική αποτελεί την επιστήμη, η οποία εφαρμόζοντας τους νόμους της φυσικής δύναται να μελετήσει την ίδια τη γη. Η γεωφυσική, μπορούμε να πούμε, πως είναι η εφαρμοσμένη επιστήμη με βάση την οποία μετρώνται χαρακτηριστικά μεγέθη φαινομένων, που υπάρχουν ή δημιουργούνται στη Γη, με άλλοτερο στόχο της να αποτελεί η αποτύπωση της μορφής του υπεδάφους ή του αντικειμένου (κατασκευές), που χαρακτηρίζεται κάθε φορά από συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες.

Τα φυσικά φαινόμενα που βοηθούν τη γεωφυσική να εξαγάγει συμπεράσματα είναι η βαρύτητα, ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός, ο ηλεκτρομαγνητισμός, η διάδοση κυμάτων (σεισμικών, ηλεκτρομαγνητικών), κλπ. Τα φυσικά αυτά φαινόμενα υπάρχουν ή δημιουργούνται εντός της γης. Ενώ, κάποιες χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες που μελετώνται και είναι κυρίως σημασίας στη γεωφυσική είναι η πυκνότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το αντίστροφο της η ειδική αντίσταση, η μαγνητική επιδεκτικότητα, η διηλεκτρική σταθερά, η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων (σεισμικών, ηλεκτρομαγνητικών).

Η γεωφυσική διασκόπηση προλαμβάνει τη λήψη μετρήσεων στην επιφάνεια του εδάφους, οι οποίες επηρεάζονται από την εσωτερική κατανομή των φυσικών ιδιοτήτων της γης. Έτσι, για να εντοπιστεί κάποια τοπική δομή στο υπέδαφος πρέπει να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες ως παράγοντες, οι οποίοι διαφοροποιούνται με βάση το χώρο που μελετάται. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί, πως οι γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης εμφανίζουν έναν περιορισμό. Ο περιορισμός αυτός, είναι η ικανότητά τους να ανιχνεύουν, μόνο, «ανωμαλίες», δηλαδή περιοχές ή στόχους, όπου κάποια φυσική ιδιότητα παρουσιάζει κάποια διαφοροποίηση συγκριτικά με το «περιβάλλον» της.

Με λίγα λόγια, σκοπός της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής είναι ο εντοπισμός και η απεικόνιση των δομών στο στερεό φλοιό της γης, τόσο επιφανειακών (βάθος από μερικά εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα, όπως στην εύρεση αρχαιοτήτων) όσο και βαθύτερων (χαρακτηριστική περίπτωση η εύρεση υδρογονανθράκων, όπου χρειάζεται η διασκόπηση σε τεράστια βάθη υπό της επιφάνειας της γης). Πρακτικά, η απεικόνιση όλων αυτών των δομών βοηθάει στον εντοπισμό εμφανίσεων υδρογονανθράκων, κοιτασμάτων πετρελαίου ή φυσικού αερίου, κοιτασμάτων μεταλλευμάτων, αξιολόγησης σχηματισμών, γεωθερμικών πηγών, υδροφόρου ορίζοντα, αρχαιοτήτων κλπ. Ακόμη με τη βοήθεια των γεωφυσικών διασκοπήσεων προσδιορίζονται και οι μηχανικές ιδιότητες επιφανειακών στρωμάτων της γης, όπως επίσης και οπλισμών κατασκευών, δυνατότητα που είναι ζωτικής σημασίας στις κατασκευές, όχι μόνο κατά της δημιουργία τους, αλλά και κατά τη συντήρησή τους.

Πολλές φορές, μάλιστα, η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων σε συνδυασμό με την ορθή γεωλογική γνώση συνιστά τον πιο αξιόπιστο τρόπο εύρεσης λύσης σε κάποια από τα παραπάνω προβλήματα. Βέβαια, με την ύπαρξη μεγάλου εύρους γεωφυσικών μεθόδων είναι αναγκαία και η ορθή επιλογή, αναλόγως με τις φυσικές ιδιότητες βάση των οποίων χρειάζεται να γίνουν οι μετρήσεις.

3.2 Οι Γεωφυσικές Μέθοδοι

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες

1. Σε αυτές που χρησιμοποιούν τα φυσικά πεδία της γης. Οι οποίες αξιοποιούν τα βαρυτικά , μαγνητικά , ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία της γης, ερευνώντας για τοπικές αλλοιώσεις στα φυσικά σχηματιζόμενα αυτά πεδία, οι οποίες προκαλούνται από τους διαφόρους γεωλογικούς σχηματισμούς.
2. Σε αυτές που απαιτείται η διοχέτευση τεχνητά παραγόμενης ενέργειας στο έδαφος, προκειμένου να γίνει δυνατή η γεωφυσική διασκόπηση. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνεται η δημιουργία τοπικών τεχνητών ηλεκτρικών ή ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ή κυμάτων , τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με τα φυσικά πεδία, αλλά και την ιδιαίτερα σημαντική σεισμική μέθοδο, κατά την οποία λαμβάνεται υπόψιν η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων που έχουν δημιουργηθεί τεχνητά.

Πίνακας 4. c: Πίνακας Γεωφυσικών Μεθόδων

Μέθοδος	Μετρούμενο Μέγεθος	Φυσική Ιδιότητα που μετράται
Σεισμική	Χρόνος διάδοσης των ανακλούμενων ή των διαθλούμενων κυμάτων	Πυκνότητα και ελαστικότητα
Βαρυτική	Χωρικές μεταβολές της έντασης του βαρυτικού πεδίου της Γης	Πυκνότητα
Μαγνητική	Χωρικές μεταβολές της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου	Μαγνητική επιδεκτικότητα και παραμένων μαγνητισμός
Ηλεκτρική <ul style="list-style-type: none"> • Ειδική Αντίσταση • Επαγόμενη Πολικότητα • Φυσικό Δυναμικό • Ηλεκτρομαγνητική • Γεωραντάρ 	<p>Ηλεκτρική αντίσταση της Γης</p> <p>Ένταση πολικότητας / συχνοτικά εξαρτώμενη αντίσταση του εδάφους</p> <p>Ηλεκτρικά δυναμικά</p> <p>Απόκριση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία</p> <p>Χρόνος διάδοσης των ανακλώμενων παλμών του Γεωραντάρ</p>	<p>Ηλεκτρική αγωγιμότητα</p> <p>Ηλεκτρική χωρητικότητα</p> <p>Ηλεκτρική αγωγιμότητα</p> <p>Ηλεκτρική αγωγιμότητα και επαγωγή</p> <p>Διηλεκτρική σταθερά</p>

3.3 Ηλεκτρικές Γεωφυσικές Μέθοδοι

3.3.1 Εισαγωγή

Η κατηγορία αυτή των γεωφυσικών μεθόδων αποτελεί ένα από τα παλαιότερα μέσα εξερεύνησης του εσωτερικού της Γης. Μάλιστα, η μέθοδος αυτή χρονολογείται πίσω στον 19^ο αιώνα, όπου το 1830 χρησιμοποιήθηκε από τον Robert Fox στην πόλη Cornwall στην Μεγάλη Βρετανία προκειμένου να γίνει χαρακτηρισμός ήδη γνωστού κοιτάσματος χαλκού. Το 1847 ο Peter Barlow, ανακάλυψε την παρουσία ηλεκτρικών ρευμάτων στο υπέδαφος, τα οποία αναφέρονται ως τελλουρικά ρεύματα. Αντίστοιχα, την δεκαετία 1920-1930 έχουμε την ανάπτυξη της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου με σκοπό τον εντοπισμό μεταλλοφόρων κοιτασμάτων προκειμένου να επέλθει εκμετάλλευση.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διασκόπησης του υπεδάφους βασίζονται στην ανίχνευση φυσικών φαινομένων μέσω της υπεδαφικής ροής ηλεκτρικού ρεύματος. Χρησιμοποιώντας τις ηλεκτρικές μεθόδους μετρώνται διαφορές δυναμικού, ρεύματα και ηλεκτρομαγνητικά πεδία που υπάρχουν στη Γη, είτε αυτά είναι φυσικά είτε τεχνητώς παραγμένα.

Στις ηλεκτρικές μεθόδους οι ιδιότητες των ορυκτών και των πετρωμάτων που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ηλεκτρική αντίσταση, το φυσικό δυναμικό, η διηλεκτρική σταθερά και η μαγνητική επιδεκτικότητα.

3.3.2 Ηλεκτρικές μέθοδοι

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διακρίνονται σε παθητικές ή ενεργητικές μεθόδους ανάλογα με την χρησιμοποίηση φυσικών ή τεχνητών πεδίων.

- **Παθητικές μέθοδοι:**

1. Μέθοδος Φυσικού Δυναμικού (Self Potential Method): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις μετρήσεις φυσικών ηλεκτρικών δυναμικών, τα οποία, είτε σχετίζονται με την αποσάθρωση κοιτασμάτων σουλφιδίων, είτε είναι ηλεκτροκινητικής ή γεωθερμικής προέλευσης.
2. Μαγνητοτελλουρική Μέθοδος (Magnetotelluric Method): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις μετρήσεις φυσικών τελλουρικών ρευμάτων, τα οποία παράγονται από μαγνητική επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στην ιονόσφαιρα. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών, τα οποία βρίσκονται σε σχετικά μεγάλα βάθη, μέχρι τον μανδύα της Γης, μέσα στην Γη.

- **Ενεργητικές μέθοδοι:**

1. Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (Resistivity Method): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δυναμικό που σχετίζεται με την υπόγεια ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Χρησιμοποιείται ευρέως σε υδρογεωλογικές, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές μελέτες, μέσα στα βάθη διασκόπησης.

2. Μέθοδος της Επαγόμενης Πολικότητας(Induced Polarization Method): Κατά τη μέθοδο αυτή πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. Χρησιμοποιεί μετρήσεις των παροδικών (βραχύβιων) χρονικών μεταβολών του δυναμικού όταν, το ρεύμα που αρχικά διαβιβάζεται , παύει να διαβιβάζεται, στο έδαφος. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό συγκεντρώσεων αργίλων και ηλεκτρικά αγώγιμων κόκκων μεταλλικών ορυκτών.
3. Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος (Electromagnetic Method): Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στην επιφάνεια της γης , το οποίο παράγει ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στη γη μέσω επαγωγής. Ένας δέκτης, συγκρίνει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τη ροή του ρεύματος μέσα στη γη, με αυτό που δημιουργείται στην πηγή. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αγώγιμων μεταλλοφόρων κοιτασμάτων, θαμμένων σωληνών και καλωδίων, πυρομαχικών και στρατιωτικού εξοπλισμού που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί, καθώς και για γεωφυσικές χαρτογραφήσεις μικρού βάθους.

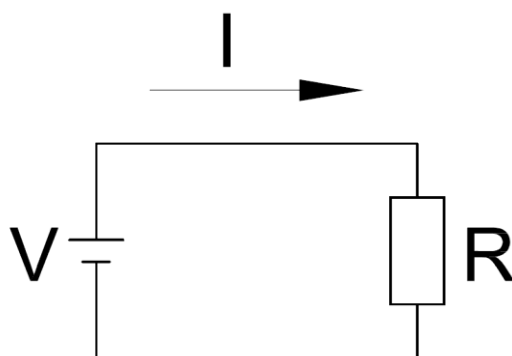
3.3.2.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα και Ηλεκτρική Ειδική Αντίσταση

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαδίδεται μέσα στα πετρώματα και ορυκτά με τους ακόλουθους τρεις τρόπους:

- 1) Ηλεκτρονικά(ωμικά), όπου η ροή του ρεύματος περιέχει ελεύθερα ηλεκτρόνια (μέταλλα)
- 2) Ηλεκτρολυτικά, όπου το ρεύμα μεταφέρεται μέσω ιόντων με σχετικά χαμηλό ρυθμό
- 3) Διηλεκτρικά , όπου η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα σε φτωχούς αγωγούς ή μονωτές όπου τα ατομικά ηλεκτρόνια κάτω από την επίδραση εξωτερικού πεδίου μετακινούνται σχετικά με τον πυρήνα.

Σύμφωνα με τον George Ohm , σε έναν κυλινδρικό αγωγό μήκους L και διατομής A που διαρρέεται από ρεύμα I και στα άκρα του μετράται διαφορά δυναμικού ΔV , η ηλεκτρική αντίσταση R , με βάση τον αντιστοιχο νόμο, δίνεται από τον τύπο :

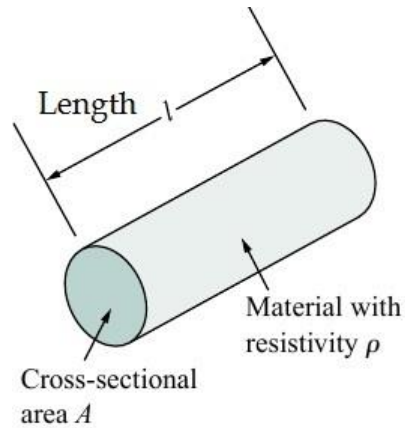
$$R = \Delta V / I$$



Εικόνα 3.1dd: Γραφική απεικόνιση του νόμου του Ohm

Ενώ για τις διαστάσεις του αγωγού :

$$R = \rho * L / A$$



Εικόνα 4. 2εε: Γραφική απεικόνιση του νόμου του Ohm

Όπου ρ η ηλεκτρική ειδική αντίσταση του αγωγού, ανεξάρτητη των διαστάσεων του.

Τα περισσότερα πετρώματα είναι κακοί αγωγοί και οι ειδικές αντιστάσεις τους θα ήταν πολύ υψηλές αν δεν είχαν πόρους με ρευστά, κυρίως νερό. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα πετρώματα είναι ηλεκτρολυτικοί αγωγοί και η αγωγιμότητα είναι περισσότερο ηλεκτρολυτική παρά ωμική. Το ρεύμα διαδίδεται μέσω ιόντων (μορίων με περίσσεια ή έλλειψη ηλεκτρονίων).



Εικόνα 4. ff: Εικαστική απεικόνιση του George Ohm, καθώς μετράει το ρεύμα που διαπερνάει το χάλκινο σωλήνα

Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αντίσταση

Οι σημαντικότεροι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τις τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων και των ορυκτών, είναι:

Το είδος του πετρώματος:

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα εύρη τιμών ειδικής αντίστασης ανάλογα με το είδος του ορυκτού, εδάφους ή πετρώματος. Τα πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ τα ιζηματογενή, τις χαμηλότερες. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι συνήθως έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ρευστά. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές, με έντονες όμως, τάσεις αλληλοεπικάλυψης.

Πίνακας 4.2d: Τιμές ηλεκτρικής αντίστασης σε πετρώματα και ρευστά

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ(Ohmm)
Αέρας	∞
Μαρμαρυγίας	$9 \times 10^{12} - 1 \times 10^{14}$
Χαλαζίας	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Ορυκτό άλας	$30 - 1 \times 10^{13}$
Σιδηροπυρίτης	$3 - 10^{-1}$
Γαληνίτης	$2 - 10^{-3}$
Γάββρος	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
Συμπαγής γρανίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^6$
Αποσαθρωμένος Γρανίτης	$1 - 1 \times 10^2$
Ασβεστόλιθος	$50 - 1 \times 10^7$
Βασάλτης	$10 - 1 \times 10^7$
Ψαμμίτης	$1 - 1 \times 10^8$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 \times 10^3$
Δολομίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^{14}$
Άμμος	$1 - 1 \times 10^3$
Άργιλος	$1 - 1 \times 10^2$
Εδαφικό Νερό	0,5-1x300
Θαλασσινό Νερό	0,2

Δομή και πορώδες:

Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες ενός πετρώματος τόσο μικρότερη είναι και η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση. Επιπλέον, η απόθεση ορυκτών σε οποιοδήποτε πέτρωμα μειώνει το πορώδες του, αυξάνοντας την ειδική του αντίσταση.

Περιεκτικότητα σε άλατα:

Για δεδομένο πορώδες, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του ρευστού πλήρωσης των πόρων σε άλατα, τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Επιδράσεις γεωλογικών διεργασιών:

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι επιδράσεις των διαφόρων γεωλογικών διεργασιών στις ειδικές αντιστάσεις των πετρωμάτων. Κατά κανόνα, οι γεωλογικές διεργασίες μειώνουν την ειδική αντίσταση αλλά υπάρχουν εξαιρέσεις.

Πίνακας 4.3ε: Επίδραση των Γεωλογικών διεργασιών στην ειδική αντίσταση

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
Αργιλική εξαλλοίωση	Ελάττωση
Διάλυση	Ελάττωση
Ρηγμάτωση	Ελάττωση
Εισροή θαλασσινού νερού	Ελάττωση
Διάτμηση	Ελάττωση
Αποσάθρωση	Ελάττωση
Σκλήρυνση	Αύξηση
Ιζηματοποίηση	Αύξηση
Απολίθωση	Αύξηση
Μεταμόρφωση	Ελάττωση ή Αύξηση

Ηλικία πετρώματος:

Τα παλαιότερα πετρώματα τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Επιδράσεις αργιλικών ορυκτών:

Λόγω της αυξημένης αγωγιμότητας των αργιλικών ορυκτών, η ύπαρξη τους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χαμηλών τιμών επιφανειακής ειδικής αντίστασης.

Βαθμός κορεσμού:

Όσο ο βαθμός κορεσμού ενός πετρώματος αυξάνεται, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται.

Θερμοκρασία:

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος. Αυτός ο παράγοντας, ωστόσο, έχει μικρή επίδραση και διαδραματίζει αξιοσημείωτο ρόλο μόνο σε γεωθερμικά συστήματα.

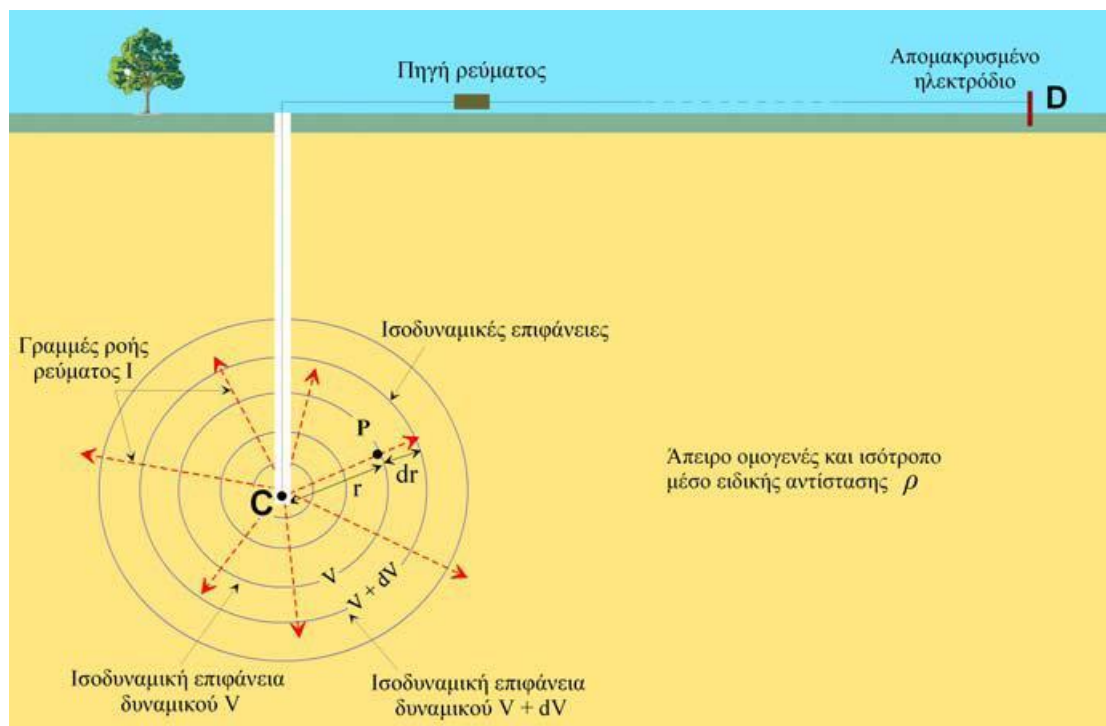
3.3.2.2 Ηλεκτρόδιο ρεύματος σε άπειρο ομογενή χώρο

Στην γεωφυσική μέθοδο της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης έχουμε διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στην γη και όχι μόνο σε συρμάτινο καλώδιο. Η ροή ρεύματος μέσα σε ένα τρισδιάστατο σώμα παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με τη ροή μέσω ενός γραμμικού αγωγού. Για αυτό τον λόγο θα εξεταστεί η ροή του ρεύματος στον χώρο.

Ως χώρο μελέτης θεωρούμε το έδαφος της γης, το οποίο όμως για λόγους ευκολίας και απλοποίησης, θεωρούμε ότι είναι ένα άπειρο, ομογενές και ισότροπο μέσο. Επίσης

θεωρούμε ότι η ειδική του αντίσταση είναι ίδια και σταθερή σε ολόκληρη την μάζα του (ηλεκτρικά ομογενής γη).

Συνθήκες άπειρου ομογενή χώρου δημιουργούνται όταν τοποθετηθεί ένα ηλεκτρόδιο C_1 μικρών διαστάσεων (σημειακή πηγή ρεύματος) βαθιά σε ομογενές και ισότροπο μέσο. Το ηλεκτρόδιο στη συνέχεια συνδέεται με πηγή ρεύματος και το κύκλωμα κλείνει μέσω δεύτερου ηλεκτροδίου C_2 , που τοποθετείται στην επιφάνεια της γης και σε απόσταση ώστε η διαμόρφωση του δυναμικού να είναι αμελητέα.



Εικόνα 4.4gg: Σχηματική Απεικόνιση της ροής ρεύματος σε άπειρο ομογενή χώρο

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 2.3.3.2.2-1, οι γραμμές ροής του ρεύματος είναι ακτινικές και ξεκινούν από την σημειακή πηγή, κατευθυνόμενες προς τα έξω. Επίσης η πτώση τάσης (διαφορά δυναμικού) που προκαλείται από την ηλεκτρική αντίσταση του μέσου, οι διάφορες αποστάσεις από το ηλεκτρόδιο ρεύματος, παραμένει σταθερή κατά μήκος των κυκλικών γραμμών, οι οποίες έχουν ως κέντρο το ηλεκτρόδιο. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται ισοδυναμικές γραμμές και στις τρεις διαστάσεις σχηματίζουν ισοδυναμικές σφαιρικές επιφάνειες, με κέντρο το ηλεκτρόδιο.

Το δυναμικό V , που δημιουργείται σε σημείο του χώρου λόγω της σημειακής πηγής ρεύματος δίνεται από τη σχέση :

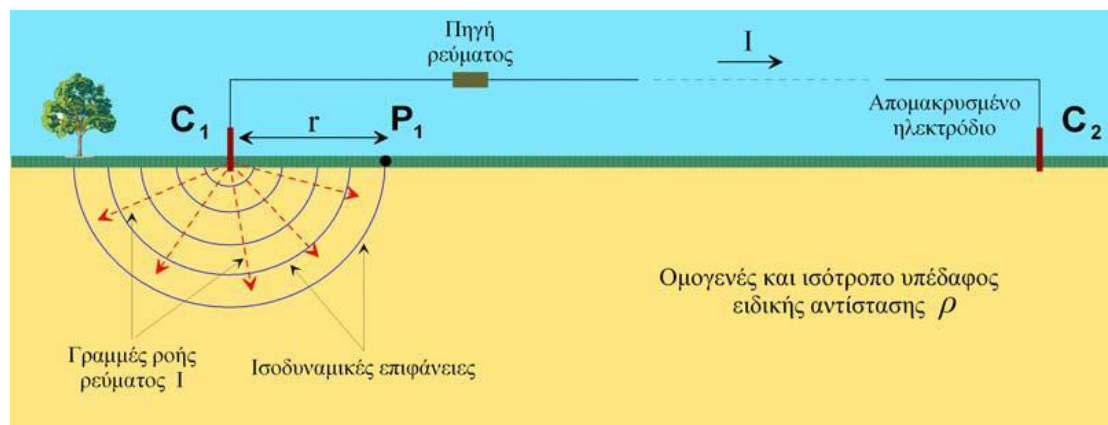
$$V = \rho \cdot I / 4\pi r$$

Όπου r η απόσταση του σημείου από τη σημειακή πηγή.

Οι διαφορές δυναμικού μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σημείων του μέσου μπορούν να υπολογιστούν, αφαιρώντας τα δυναμικά των δύο ισοδυναμικών γραμμών, οι οποίες διέρχονται από τα σημεία αυτά.

3.3.2.3 Ροή ρεύματος σε ημιάπειρο ομογενή χώρο

Τοποθετώντας ηλεκτρόδιο C_1 στην επιφάνεια ηλεκτρικά ομογενούς μέσου. Το ηλεκτρόδιο συνδέεται με πηγή ρεύματος και το κύκλωμα κλείνει μέσω δεύτερου ηλεκτροδίου C_2 , το οποίο τοποθετείται επίσης στην επιφάνεια της γης, αλλά σε μακρινή απόσταση έτσι ώστε η επίδραση του στην διαμόρφωση δυναμικού να είναι αμελητέα. Οι γραμμές ροής του ρεύματος I είναι, όπως και στην περίπτωση του άπειρου ομογενούς μέσου ακτινικές, ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι ομόκεντρα ημισφαίρια.



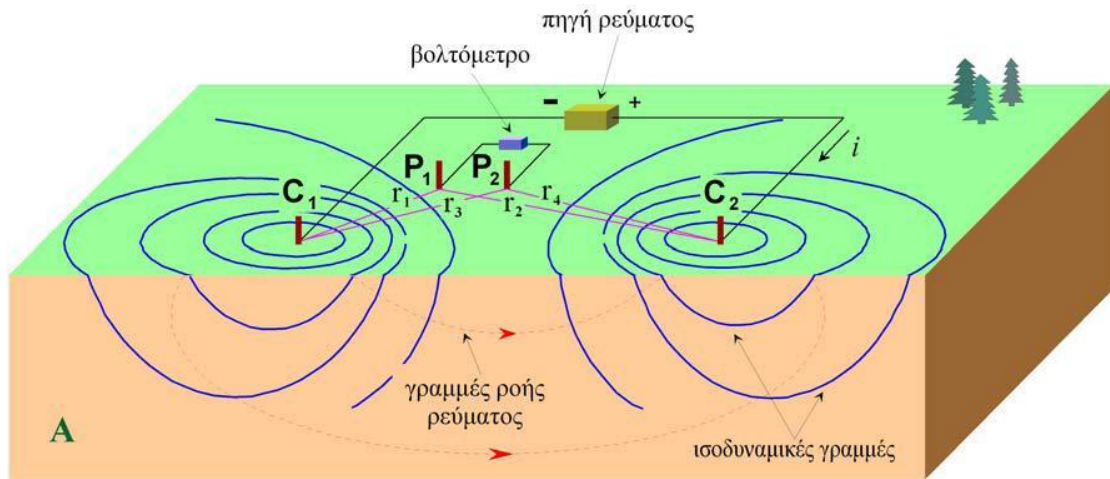
Εικόνα 4.5hh: Σχηματική απεικόνιση της τούς ρεύματος σε ημιάπειρο ομογενή χώρο

Το δυναμικό V , που δημιουργείται σε σημείο λόγω της σημειακής πηγής ρεύματος, δίνεται από τη σχέση:

$$V = \rho * I / 2\pi r$$

3.3.2.4 Ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού στην επιφάνεια ημιάπειρου ομογενούς χώρου

Στην περίπτωση αυτή τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε σχετικά μικρή απόσταση μεταξύ τους στην επιφάνεια της γης. Το καθένα από αυτά λειτουργεί σαν μία σημειακή πηγή και επηρεάζει την διαμόρφωση του δυναμικού. Επομένως το δυναμικό σε ένα τυχαίο σημείο P_1 θα ισούται με το αποτέλεσμα της συνεισφοράς του δυναμικού V_1 , λόγω της σημειακής πηγής A και του δυναμικού V_2 , λόγω της πηγής B . Τέλος, οι γραμμές ροής του ρεύματος δεν είναι πλέον ακτινικές, αλλά καμπύλες γραμμές που ενώνουν τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.6ii: Σχηματική απεικόνιση της ροής σε ημίαιπρο ομογενή χώρο, στην περίπτωση που τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται σε πεπερασμένη απόσταση μεταξύ τους

Το δυναμικό στο σημείο P_1 λόγω των C_1 και C_2 δίνεται από τη σχέση:

$$V_{P1} = V_1 + V_2 = \rho^* (+I) / 2\pi r_1 + \rho^* (-I) / 2\pi r_2$$

Ομοίως, το δυναμικό στο σημείο P_2 λόγω των C_1 και C_2 δίνεται από τη σχέση:

$$V_{P2} = \rho^* I / 2\pi * (1/r_3 - 1/r_4)$$

Κατά αυτόν τον τρόπο έχουμε :

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2}, \text{Όπου, } \Delta V \text{ είναι η διαφορά δυναμικού.}$$

3.3.2.5 Φαινόμενη ειδική αντίσταση

Σε ισότροπο και ομογενές μέσο η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση θα είναι σταθερή και ανεξάρτητη των σχετικών θέσεων των τεσσάρων ηλεκτροδίων και θα ισούται με την ειδική αντίσταση του μέσου.

Σε ανομοιογενές μέσο ,η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση ποικίλει ανάλογα με τις σχετικές θέσεις των ηλεκτροδίων και λέγεται φαινόμενη ειδική αντίσταση. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση που μετράμε για κάθε θέση ή/και διεύθυνση της διάταξης των ηλεκτροδίων, δεν είναι αντιπροσωπευτική ούτε των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων των μερών του υπεδάφους. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση μεταβάλλεται ανάλογα με την κατανομή των ειδικών αντιστάσεων των στρωμάτων που διαρρέουν οι ρευματικές γραμμές και είναι αντιπροσωπευτική και των στρωμάτων του υπεδάφους και των αγώγιμων ή μη ανομοιογενών.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση :

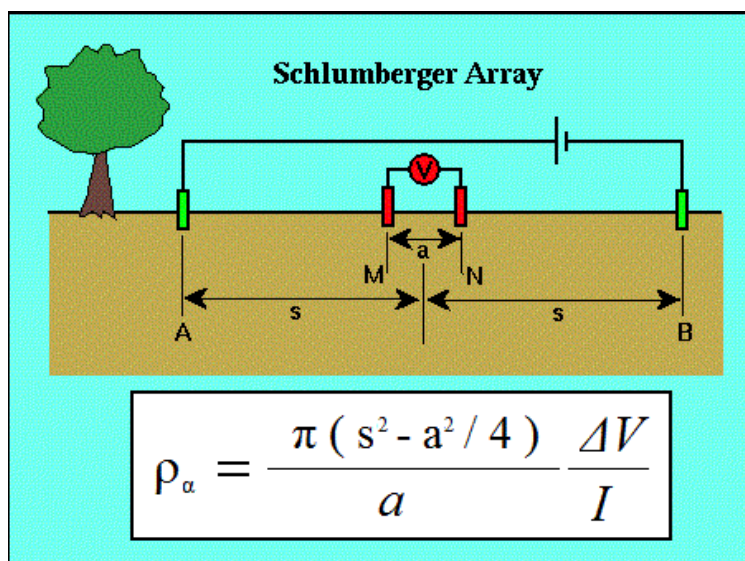
$$\rho_a = K * \Delta V / I$$

3.3.2.6 Διατάξεις ηλεκτροδίων

Σε κάθε γεωφυσική μέτρηση τα ηλεκτρόδια ρεύματος, δυναμικού και οι μεταξύ τους αποστάσεις διατάσσονται στο έδαφος με συγκεκριμένο τρόπο ανάλογα με την εκάστοτε στόχο της έρευνας. Παρακάτω ,παρουσιάζονται οι σημαντικότερες διατάξεις ηλεκτροδίων και αναλύονται οι αντίστοιχες φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις:

3.3.2.6.1 Διάταξη Schlumberger:

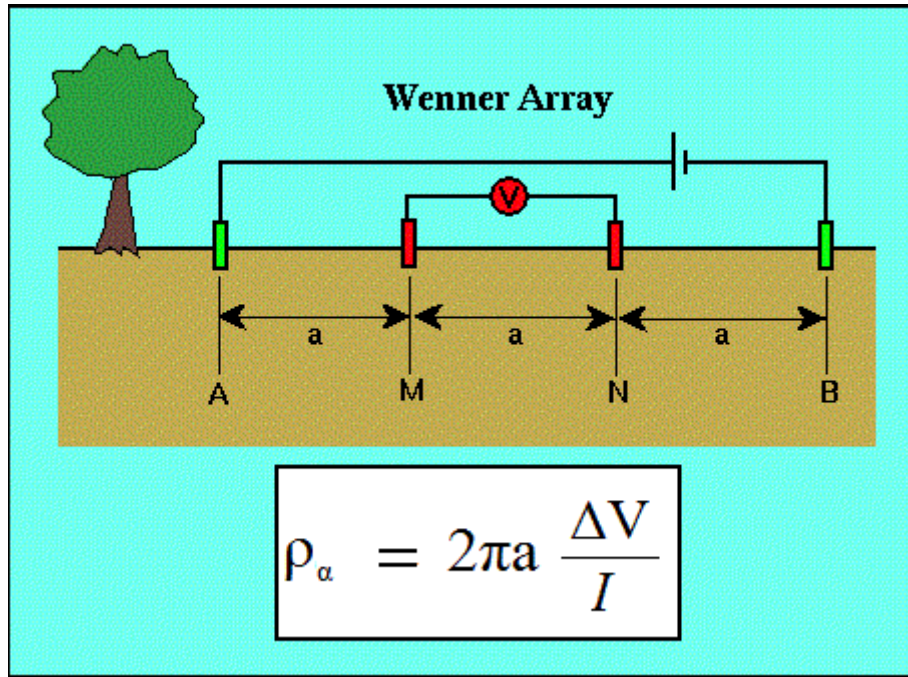
Τα ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται συμμετρικά από το κέντρο της διάταξης απέχοντας αποστάσεις L και s αντίστοιχα.



Εικόνα 4.7j:Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων κατά Schlumberger

3.3.2.6.2 Διάταξη Wenner:

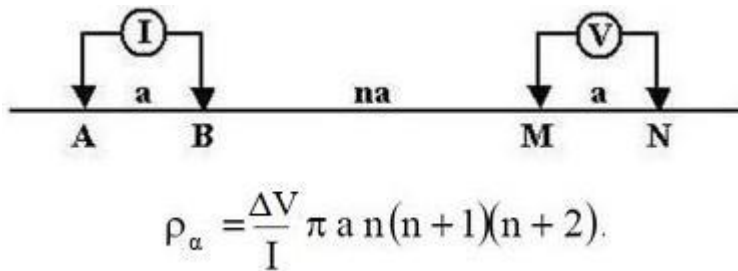
Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού ισαπέχουν μεταξύ τους απόσταση α.



Εικόνα 4.8kk:Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων κατά Wenner

3.3.2.6.3 Διάταξη Dipole-Dipole:

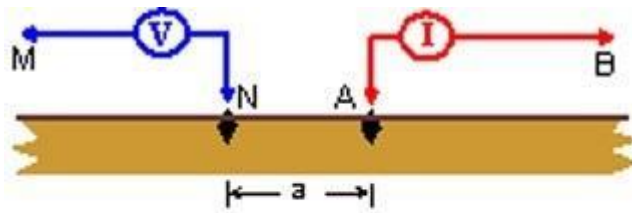
Τα ηλεκτρόδια ρεύματος απέχουν απόσταση a , όσο απέχουν και τα ηλεκτρόδια δυναμικού, ενώ τα δίπολα μεταξύ τους απέχουν απόσταση πολλαπλάσια της απόστασης a (na)



Εικόνα 4.9II:Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων υπό το πρωτόκολλο Dipole- Dipole

3.3.2.6.4 Διάταξη Pole-Pole:

Ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος και ένα ηλεκτρόδιο δυναμικού απέχουν απόσταση a ενώ τα άλλα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού απέχουν πολύ μεγάλη απόσταση από τα δύο κοντινά ηλεκτρόδια.

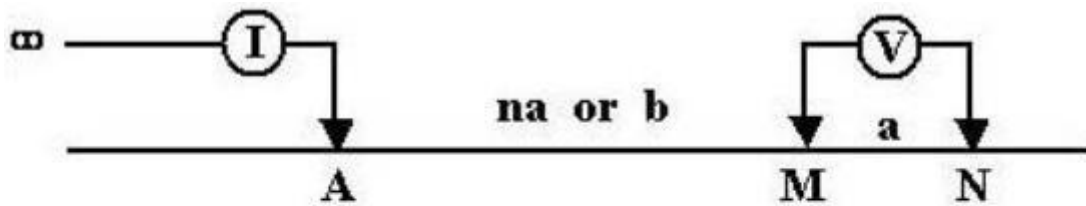


$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} 2\pi a$$

Εικόνα 4.10mm: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων υπό το πρωτόκολλο Pole- Pole

3.3.2.6.5 Διάταξη Pole-Dipole:

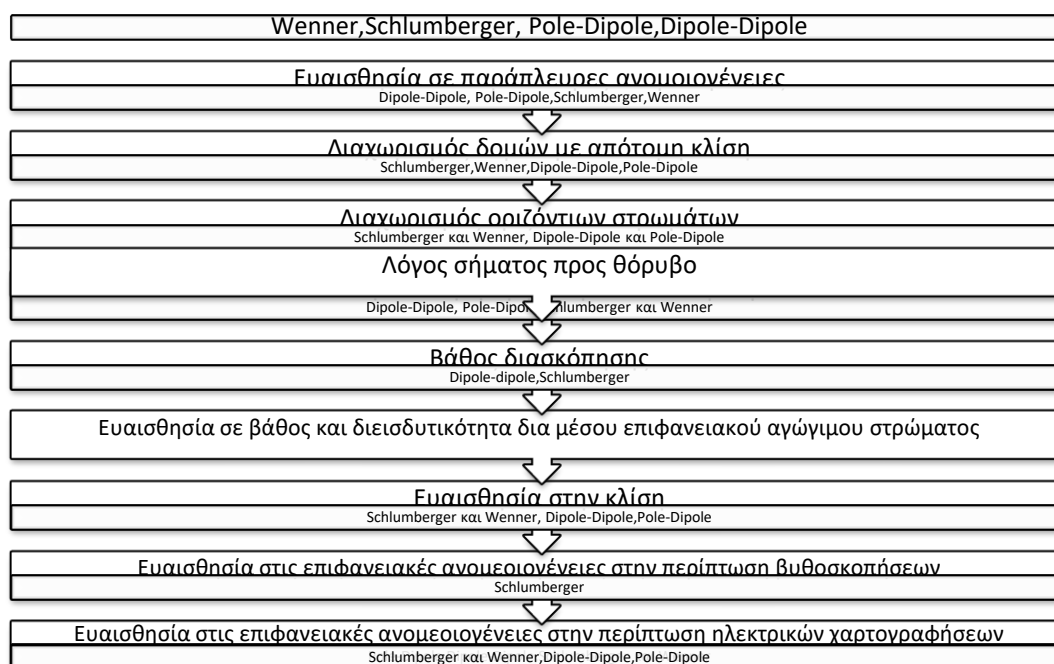
Το ένα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι a , ενώ η απόσταση του ηλεκτροδίου ρεύματος από το ηλεκτρόδιο δυναμικού είναι na .



$$\rho_a = 2\pi \frac{b(a+b)}{a} \frac{\Delta V}{I}$$

Εικόνα 4.11nn: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης ηλεκτροδίων υπό το πρωτόκολλο Pole- Dipole

3.3.2.7 Επιλογή κατάλληλης διάταξης



Πίνακας 4.4f: Απεικόνιση της καταλληλότητας της σωστής μεθόδου για μετρήσεις με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους

Στον Πίνακα 2.3.3.2.6 παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν την επιλογή της κατάλληλης κάθε φοράς διάταξης ηλεκτροδίων με φθίνουσα σειρά απόδοσης. Συμπερασματικά σε περιπτώσεις βυθοσκοπήσεων τα περισσότερα πλεονεκτήματα έχει η διάταξη Schlumberger. Οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνουν συνεχώς, με σταθερή απόσταση ηλεκτροδίων δυναμικού, η οποία αλλάζει μόνο όταν το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού γίνεται τόσο μικρό ώστε να μην είναι δυνατό να μετρηθεί με την απαιτούμενη ακρίβεια. Όταν πρόκειται να μεταβληθεί η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού, λαμβάνονται διπλομετρήσεις και με τις δύο αποστάσεις των ηλεκτροδίων δυναμικού. Γίνονται έξι μετρήσεις ανά λογαριθμικό κύκλο του μισού της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος. Η διάταξη Dipole-Dipole, παρόλο που έχει μεγαλύτερο βάθος ανίχνευσης λόγω της μετακίνησης των ηλεκτροδίων δυναμικού υφίσταται το θόρυβο που δημιουργούν οι παράπλευρες επιφανειακές ανομοιογένειες.

3.3.2.8 Εξοπλισμός Υπαίθρου

Για να μετρήσουμε τη φαινόμενη ειδική αντίσταση, δηλαδή τα ΔV και I , χρειαζόμαστε:

1. **Πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και Αμπερόμετρο.** Μέχρι 1 Ampere χρησιμοποιούμε συσσωρευτές, ενώ για ρεύμα μεγαλύτερης έντασης γεννήτριες.
2. **Βολτόμετρο υψηλής αντίστασης** εισόδου ($>10M\Omega$) για ακριβείς μετρήσεις από μV έως V . Τα παραπάνω βρίσκονται συνήθως σε ένα όργανο μέτρησης, το οποίο

επιπρόσθετα περιέχει ένα σύστημα αντιστάθμισης ώστε το βολτόμετρο να συνδέεται μαζί του να αφαιρεί φυσικά δυναμικά.



Εικόνα 4.12οο: Όργανο μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης

3. **Όργανο επιλογής της χρησιμοποιούμενης διάταξης.** Πρόκειται για ένα όργανο, το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ του γεωφυσικού οργάνου και των καλωδίων ρεύματος και δυναμικού, έχοντας ως αποστολή τη διανομή του σήματος εξόδου στα κατάλληλα, κάθε φορά, ηλεκτρόδια ρεύματος και τον καθορισμό των ηλεκτροδίων δυναμικού από τα οποία λαμβάνεται η κάθε μέτρηση. Με τον τρόπο αυτό, το όργανο ελέγχει, κάθε φορά την πραγματοποιούμενη μέθοδο.(Schlumberger, Dipole-Dipole, Pole-Dipole)
4. **Όργανο ρύθμισης της απόστασης των ηλεκτροδίων δυναμικού.** Μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού και του οργάνου επιλογής της κατάλληλης διάταξης παρεμβάλλεται ένας ακόμα διακόπτης, ο οποίος ρυθμίζει την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικών για την οποία πραγματοποιείται η μέτρηση
5. **Καλώδια σε καρούλια**
6. **Ηλεκτρόδια**



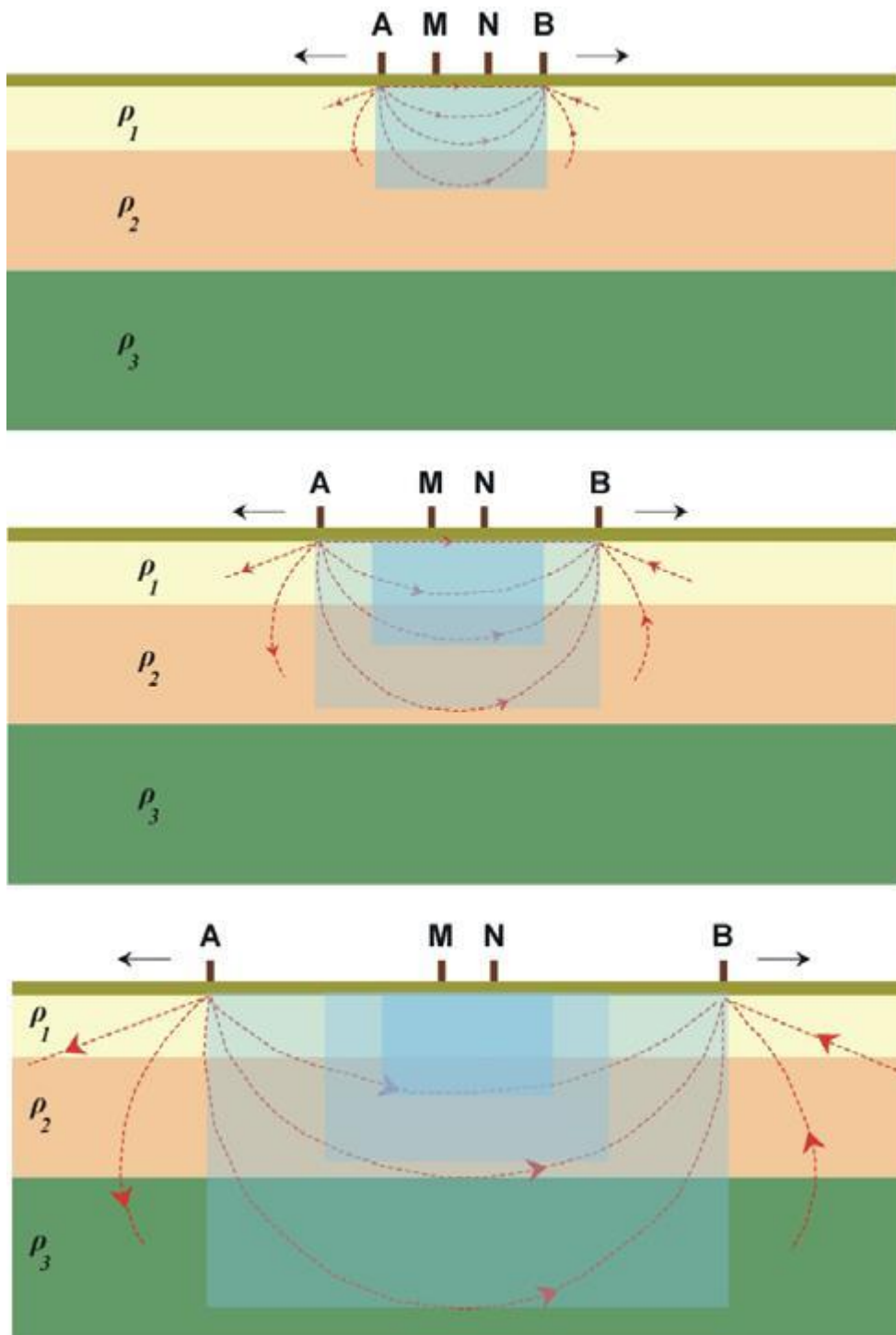
Εικόνα 4.13pp: Απεικόνιση πλήρους εξοπλισμού ηλεκτρικών μετρήσεων, όπως αυτός περιγράφεται παραπάνω

3.3.2.9 Μετρήσεις και Τεχνικές Υπαίθρου

Το βάθος ανίχνευσης, εξαρτάται κυρίως από την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος A και B. Όσο αυξάνει η απόσταση AB, τόσο βαθύτεροι σχηματισμοί διαρρέονται από ρεύμα, ενώ η διαφορά δυναμικού στα MN αφορά βαθύτερες ισοδυναμικές επιφάνειες. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, επηρεάζεται και από τα δύο στοιχεία.

Υπάρχουν δύο τεχνικές με βάση τις οποίες εφαρμόζεται η μέθοδος της ειδικής αντίστασης αναλόγως με το σκοπό της έρευνας:

- Οι ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (Vertical Electrical Soundings ή VES), όπου είναι δυνατόν να ανιχνευτεί η εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος κάτω από ένα σημείο που είναι το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων. Αυτό γίνεται μετακινώντας τα ηλεκτρόδια ρεύματος συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης, σε μεγαλύτερες διαδοχικά αποστάσεις.
- Οι οριζόντιες ηλεκτρικές χαρτογραφήσεις (Resistivity Profiling), όπου είναι δυνατόν να σαρωθεί πλευρικά μία ζώνη συγκεκριμένου πάχους και να μελετηθεί η πλευρική διαφοροποίηση του υλικού της σώνης, από τη μελέτη της οριζόντιας (πλευρικής) μεταβολής της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Στην περίπτωση αυτή, τα ηλεκτρόδια της διάταξης παραμένουν σταθερά και μετακινείται όλη η διάταξη.



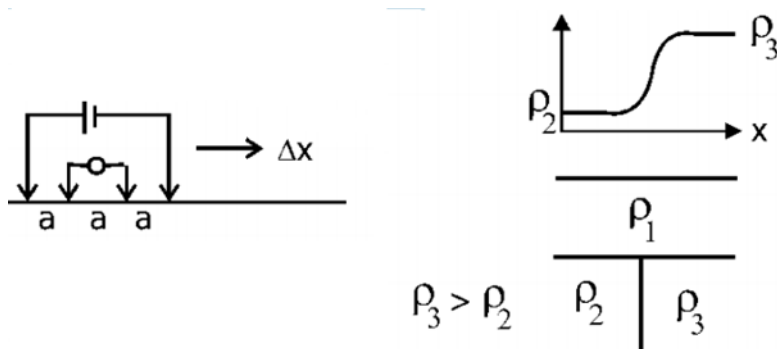
Εικόνα 4.14αα: Γραφική απεικόνιση της διασκόπησης σε βάθος μετακινώντας τα ηλεκτρόδια σε απόσταση

3.3.2.10 Οριζόντιες Ηλεκτρικές Χαρτογραφήσεις Ειδικής Αντίστασης (Resistivity Profiling)

Στη γεωηλεκτρική χαρτογράφηση, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στην μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια διεύθυνση. Με την μέθοδο αυτή εντοπίζονται ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών (π.χ. μεταπτώσεις). Χάρη σε αυτήν την ιδιότητα η γεωηλεκτρική χαρτογράφηση είναι κατάλληλη για περιπτώσεις αναζήτησης μεταλλευμάτων ή αρχαιοτήτων.

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές αυτές, κατά μήκος αρκετών παράλληλων γραμμών τοποθετούνται σε χάρτη φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων. Στη συνέχεια, μπορεί να γίνει επεξεργασία των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης χρησιμοποιώντας κάποια υπολογιστικά προγράμματα για τον υπολογισμό προσεγγιστικών τιμών πραγματικής ειδικής αντίστασης. Η κατανομή αυτή δίνει τη χωρική κατανομή στο συγκεκριμένο βάθος των γεωηλεκτρικών σχηματισμών.

Ειδικότερα, με τη μέθοδο αυτή αναζητούνται δομές με πεπερασμένες πλευρικές διαστάσεις, μέσα σε υπεδαφικές ζώνες σταθερού πάχους. Τέτοιες δομές μπορεί να είναι τα φυσικά ή τεχνητά έγκοιλα (σπήλαια, υπόγεια τούνελ ή γαλαρίες ορυχείων) στην τεχνική γεωλογία, υδροφόροι ή μη σχηματισμοί άμμων και χαλικίων (φακοί) στην υδρογεωλογία, υπεδαφικά υπολείμματα οικισμών ή ταφικών μνημείων στην αρχαιολογική έρευνα, οι ρηγματογόνες ζώνες, οι φλέβες μεταλλοφορίας και άλλα.

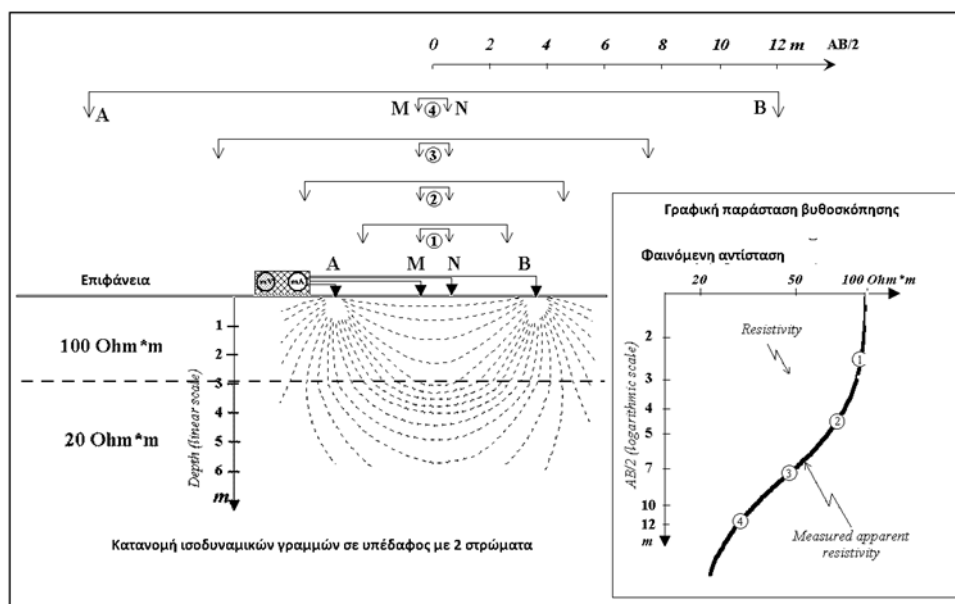


Εικόνα 4.15rr: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιας χαρτογράφησης σε διάταξη κατά Wenner(αριστερά), Διάγραμμα φαινόμενης ειδικής αντίστασης (δεξιά πάνω), προφίλ υπεδάφους (δεξιά κάτω)

3.3.2.11 Ηλεκτρικές Βυθοσκοπήσεις (Resistivity Soundings)

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερό ενώ η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την διασκόπηση του υπεδάφους εις βάθος κάτω από το κέντρο της διάταξης. Η μεταβολή των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης δίνει μια πρώτη εικόνα των μεταβολών των ειδικών αντιστάσεων των διαφόρων στρωμάτων σε βάθος. Στόχος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι η δημιουργία του γεωηλεκτρικού μοντέλου του

υπεδάφους από τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης στις διαφορές αποστάσεις των ηλεκτροδίων. Σκοπός ,δηλαδή, της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι η δημιουργία του γεωηλεκτρικού μοντέλου του υπεδάφους από τις μετρούμενες τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης στις διάφορες αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου της μεθόδου αυτής είναι ο προσδιορισμός του υδροφόρου ορίζοντα.

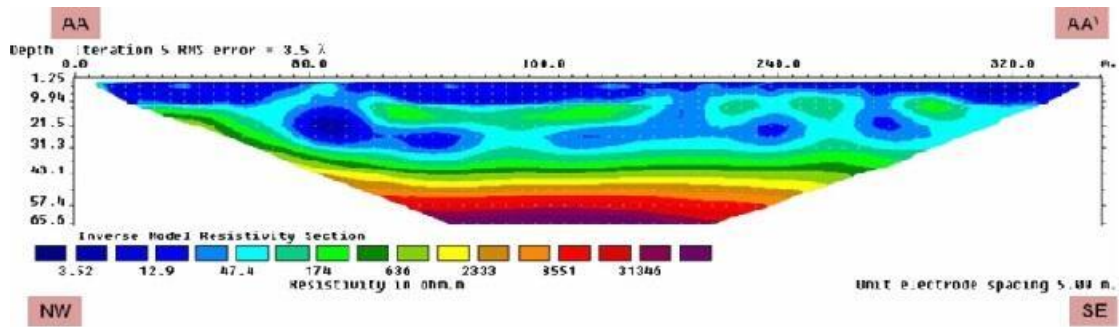


Εικόνα 4.16ss: Σχηματική απεικόνιση της Ηλεκτρικής βυθοσκόπησης με σταδιακή απομάκρυνση των ηλεκτροδίων από το κέντρο της διάταξης

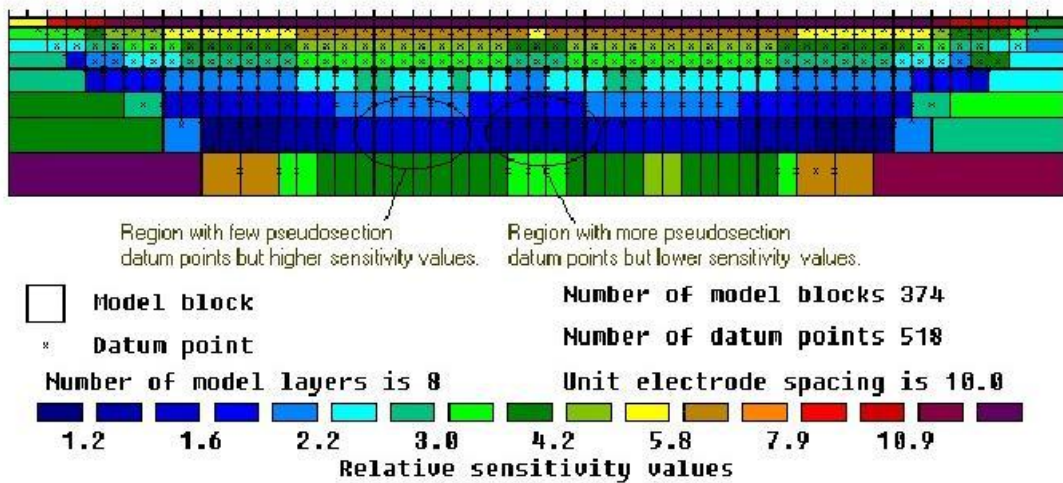
3.3.2.12 Μέθοδος Δισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να έχουμε σε συγκεκριμένες θέσεις, μεγάλης ακρίβειας διασκοπήσεις , τόσο παράπλευρα ,όσο και σε βάθος. Η ηλεκτρική τομογραφία αποτελείται από πολλές βυθοσκοπήσεις πολύ κοντά μεταξύ τους. Ο τρόπος μέτρησης, οι αποστάσεις και οι θέσεις των ηλεκτροδίων καθορίζονται από την επιλογή των διατάξεων που θέλουμε. Όλες οι τιμές χρησιμοποιούνται σε μια διαδικασία ερμηνείας, που τελικά δίνει μια δισδιάστατη γεωηλεκτρική τομή μεγάλης ακριβείας, δηλαδή μια γεωηλεκτρική τομογραφία.

Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι αντιμετωπίζει σύνθετες γεωλογικές τομές, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την θεώρηση της οριζόντιας στρωματομένης γης, προλαμβάνοντας με αυτό τον τρόπο με ασφάλεια στην ποσοτική ερμηνεία των γεωηλεκτρικών μετρήσεων. Τα γεωηλεκτρικά τομογράμματα απεικονίζουν τομές βάθους , όπου αποτυπώνονται τόσο οι κατακόρυφες όσο και οι πλευρικές κατανομές της ειδικής αντίστασης των υπεδάφικών σχηματισμών. Η πρόοδος που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην κατεύθυνση αυτοματοποίησης της λήψης γεωφυσικών δεδομένων και της αντιστροφής αύξησε δραστικά



ARRANGEMENT OF MODEL BLOCKS AND APPARENT RESISTIVITY DATUM POINTS



Εικόνα 4.19vv: Προσαρμογή δεδομένων που ελήφθησαν με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας

Οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις προσαρμόζονται ,μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας, έως ότου επιτευχθεί μια αποδεκτή συμφωνία ανάμεσα στα δεδομένα εισόδου και στην απόκριση του μοντέλου. Όσον αφορά στην τοπογραφία είτε αντιμετωπίζεται με διορθώσεις είτε με απευθείας εισαγωγή στο πλέγμα.

Πρωτοπόρα μέθοδος αποτελεί και η εφαρμογή της γεωηλεκτρικής τομογραφίας στη θάλασσα. Όπου με τον κατάλληλο εξοπλισμό διενεργούνται μετρήσεις και ως αποτέλεσμα έχουμε την αποτύπωση κάτω από το βυθό και για αρκετά μέτρα, της στρωματογραφίας. Η εφαρμογή της μεθόδου με αυτόν τον τρόπο είναι χρήσιμη τόσο σε περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές μελέτες, όσο και σε αρχαιολογικές.

3.3.2.13 Πηγές Θορύβου και Περιορισμοί της Ειδικής Αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, όπως και όλες οι γεωφυσικές μέθοδοι, χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος πηγών θορύβου, οι οποίες την επηρεάζουν σε διαφορετική κλίμακα η κάθε μία. Στη συγκεκριμένη ηλεκτρική μέθοδο, οι πηγές αυτές επηρεάζουν τις μετρήσεις της τάσης και του ρεύματος, παραμέτρους χάρη στις οποίες γίνεται δυνατός ο υπολογισμός της φαινόμενης ειδικής αντίστασης.

Ο θόρυβος που προκύπτει στις μετρήσεις με τη μέθοδο της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης μπορεί να προέρχεται από:

- Πόλωση των ηλεκτροδίων: Ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο, όπως μια χάλκινη ή ατσάλινη ράβδος όταν έρχεται σε επαφή με κάποιον ηλεκτρολύτη(εκτός από διάλυμα κορεσμένο με τα δικά της άλατα) όπως τα εδαφικά ύδατα, θα δημιουργήσει ένα μετρήσιμο δυναμικό επαφής, το οποίο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό κλάσμα του δυναμικού που θα μετρηθεί.
- Τελλουρικά ρεύματα: Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μέσα στη γη ρέουν φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία ονομάζονται τελλουρικά ρεύματα. Η παρουσία αυτών των ρευμάτων μπορεί να παράγει μια μετρήσιμη τάση στα ηλεκτρόδια δυναμικού, ακόμα και όταν αυτά δε διαρρέονται από ρεύμα.
- Παρουσία γειτονικών αγωγών: Οι ηλεκτρικές γεωφυσικές διασκοπήσεις δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν κοντά σε αγωγούς που έρχονται σε επαφή με το έδαφος, όπως στην περίπτωση των θαμμένων σωλήνων ή των μεταλλικών φραχτών, καθώς αυτοί λειτουργούν σαν απορροφητές του προσδιδόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (καταβόθρες). Λόγω της μικρής ειδικής τους αντίστασης, το ρεύμα θα ρεύσει κατά προτίμηση κατά μήκος αυτών των δομών, παρά μέσα στη γη κάνοντας την μέτρηση ανακριβή.
- Χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης κοντά στην επιφάνεια: Όπως οι γειτονικοί αγωγοί λειτουργούν ως καταβόθρες που βραχυκυκλώνουν το πείραμα της ειδικής αντίστασης, έτσι και η επιφανειακή ειδική αντίσταση αν είναι χαμηλή, δυσκολεύει το ρεύμα να κινηθεί προς τα βαθύτερα στρώματα της γης. Για παράδειγμα, αν υπάρχει ένα στρώμα νερού κοντά στην επιφάνεια της γης, τότε το ρεύμα παρεμποδίζεται ως προς τη βαθύτερη διεύθυνσή του.
- Γεωλογία και τοπογραφία κοντά στα τοποθετημένα ηλεκτρόδια: Κάθε διαφοροποίηση στη γεωλογία ή στο περιεχόμενο νερό, γύρω από ένα ηλεκτρόδιο, προκαλεί μεταβολές στην επιφανειακή ειδική αντίσταση και επηρεάζει σημαντικά τις μετρήσεις. Επιπλέον, η ανώμαλη τοπογραφία ωθεί το ρεύμα να συγκεντρώνεται στις κοιλάδες και να διασκορπίζεται στους λόφους, επηρεάζοντας και αυτή με τη σειρά της την ηλεκτρική διασκόπιση.
- Επαγόμενο ρεύμα: Τα καλώδια που συνδέουν την πηγή του ρεύματος με τα ηλεκτρόδια ρεύματος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων διαρρέονται από ρεύμα, το οποίο μπορεί να παράγει ένα επαγόμενο ρεύμα στα καλώδια που συνδέουν το βολτόμετρο με τα ηλεκτρόδια τάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή ψευδούς τάσης.

Με βάση του παραπάνω θορύβους και σε συνδυασμό με την ίδια τη φύση της μεθόδου, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως στην εφαρμογή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μπορούν να υπάρξουν κάποιοι περιορισμοί.

3.4 Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος

3.4.1 Γενικά

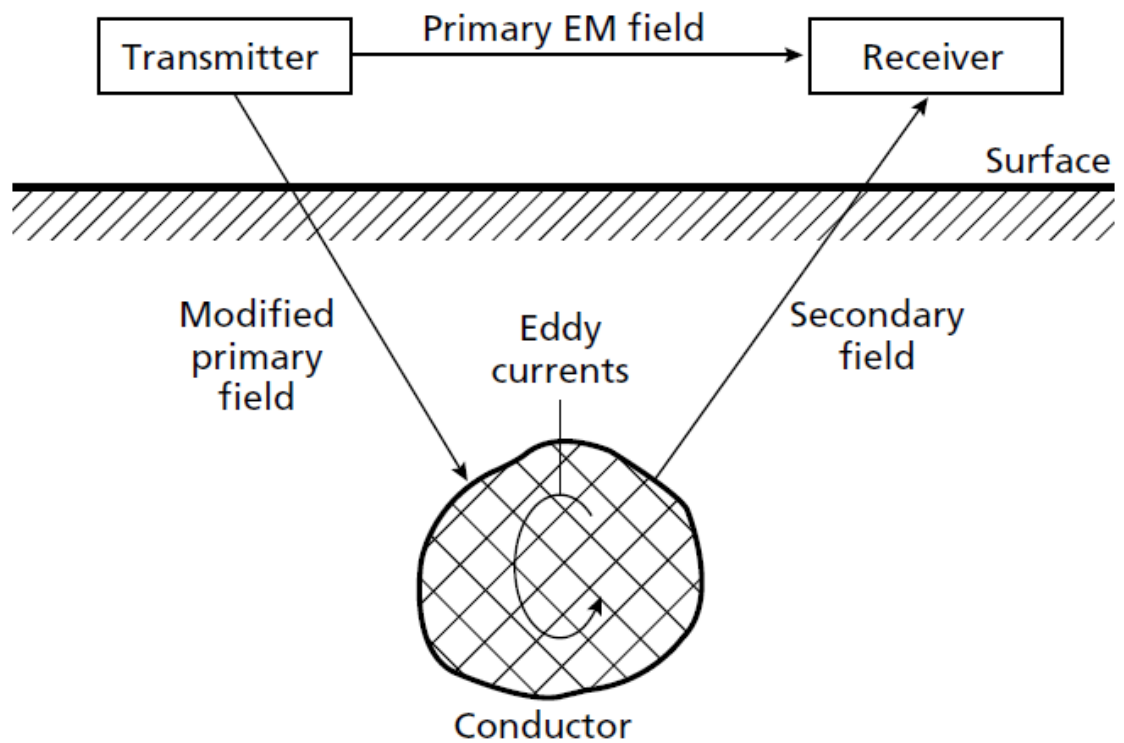
Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1920 στη Σκανδιναβία, τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και τον Καναδά, περιοχές όπου ο εντοπισμός αγώγιμων μεταλλικών κοιτασμάτων διευκολυνόταν από την μεγάλη αντίθεση μεταξύ της αγωγιμότητας αυτών και της υψηλής αντίστασης του μητρικού πετρώματος, καθώς και από το μικρό πάχος των υπερκειμένων.

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος διασκόπησης του υπεδάφους, βασίζεται στην απόκριση αυτού στη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία αποτελούνται από εναλλασσόμενη ηλεκτρική και μαγνητική δύναμη. Κατ'αρχάς, εισάγεται στο έδαφος ένα κύριο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται όταν ένα εναλλασσόμενο ρεύμα διαρρέυσει ένα μικρό ή ένα μεγάλο ηλεκτρικό κύκλωμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απόκριση του εδάφους και τη δημιουργία ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο με τη σειρά του ωθεί το εναλλασσόμενο ρεύμα να διαδοθεί προς το πηνίο – δέκτη. Κατά αυτή τη διαδικασία, της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, δύναται ο εντοπισμός των παραγόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Το κύριο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ταξιδεύει από το πηνίο – πομπό προς το πανίο-δέκτη ακολουθώντας διαδρομές τόσο πάνω όσο και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στα σημεία όπου το έδαφος είναι ομογενές, δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ του πεδίου που διαδίδεται πάνω από την επιφάνεια και μέσα σε αυτό, παρά μόνο μια μικρή μείωση στο πλάτος του δεύτερου σε σχέση με το πρώτο. Ωστόσο, κατά την παρουσία ενός αγώγιμου σώματος, το μαγνητικό πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που διαδίδεται μέσα στη γη παράγει δινορεύματα (eddy currents). Τα εναλλασσόμενα ρεύματα δημιουργούν το δικό τους δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο ταξιδεύει προς τον δέκτη. Έτσι, ο δέκτης διεγερεται από τη σύνθεση του αφιχθέντος κύριου και δευτερογενούς πεδίου και η διέγερση αυτή διαφέρει τόσο σε φάση όσο και σε πλάτος, από αυτή που θα υπήρχε, εάν στο δέκτη έφθανε μόνο το κύριο πεδίο και οι διαφορές μεταξύ των εκπεμπόμενων και των λαμβανόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, παρέχουν τις πληροφορίες για το αγώγιμο σώμα που χρειαζόμαστε κατά μια ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση.

Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να πούμε, ότι κατά την Ηλεκτρομαγνητική μέθοδο (EM) χρησιμοποιούμε την απόκριση του εδάφους στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, τα οποία αποτελούνται από εναλλασσόμενη ηλεκτρική ένταση και μαγνητική δύναμη. (Kaerey P., Brooks M., Hill I.2002)

Το προφίλ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υπεδάφους, οι μετρήσεις του ηλεκτρομαγνητικού οργάνου έχουν πολλές ερμηνείες. Όλοι οι υπεδάφικοί σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται από υψηλή αγωγιμότητα παράγουν ισχυρά δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ενώ ακόμη και σε μεταλλεύματα τα οποία περιέχουν ορυκτά-μονωτές, μπορούν να παραχθούν τα πεδία αυτά αν υπάρχει επαρκής ποσότητα από ένα παρελκόμενο ορυκτό στην μάζα τους, το οποίο έχει υψηλή αγωγιμότητα. Ουσιαστικά, οι μετρήσεις των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων έχουν μεγάλη ευαισθησία στον τύπο του υγρού, το ποσοστό του αργίλου, και το πορώδες.



Εικόνα 4.20ww: Σχηματική απεικόνιση της βασικής αρχής στην οποία στηρίζεται η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος

Πίνακας 4.5g: Ενδεικτικές εφαρμογές και στόχοι της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου

1 Στόχοι μικρής αγωγιμότητας	2 Στόχοι μέσης αγωγιμότητας	3 Στόχοι μεγάλης αγωγιμότητας
4 Παγετώδεις εκτάσεις	5 Ρηγματομένες ζώνες	6 Ζώνες υφαλμίρινσης
7 Κρυσταλλωμένοι βράχοι	8 Αρχαιολογικές κατασκευές	9 Χαλύβδινοι αγωγοί
10 Αδρανείς αποθέσεις	11 Υδροφόροι γλυκού νερού	12 Αργιλικό φακοί
13 Έγκοιλα	14	15

3.4.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο για το πόσο εύκολα ένα ηλεκτρικό ρεύμα ρέει δια μέσου ενός υλικού (Witten,2006) και μετριέται σε Siemens/m ή milli Siemens/m. Ένα Siemens/m είναι το αντίστροφο ενός Ohm ή ίσο με $1/\text{Ohm}$. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι το θεωρητικό αντίστροφο της ειδικής αντίστασης, παρόλα αυτά τα δεδομένα της αγωγιμότητας δεν είναι συνήθως συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα της ειδικής αντίστασης, τα οποία λαμβάνονται με τις διάφορες διατάξεις των ηλεκτροδίων. Οι χάρτες που προκύπτουν από τις μετρήσεις αγωγιμότητας έχουν την τάση να μοιάζουν με τους αντίστοιχους χάρτες της

ειδικής αντίστασης και μπορούν να ερμηνευθούν χρησιμοποιώντας τις ίδιες αρχές, αν και η ανάλυση των χαρτών αγωγιμότητας είναι συνήθως μικρότερη εξαιτίας της μικρότερης ευαισθησίας σε σχέση με το βάθος.

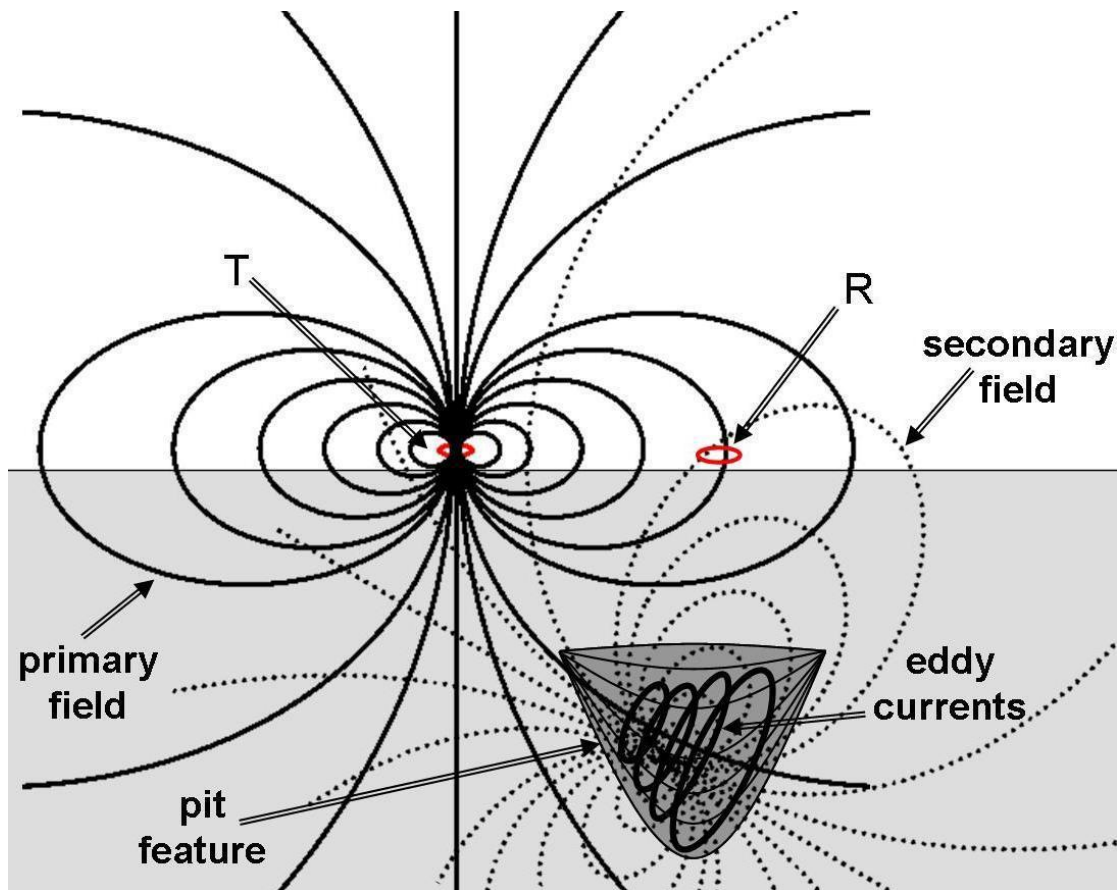
Η μέθοδος μέτρησης της αγωγιμότητας EMI, είναι αρκετά πιο σύνθετη από την μέθοδο της ειδικής αντίστασης και για το λόγο αυτό θα αναφερθούν μόνο οι θεμελιώδεις αρχές με βάση τις οποίες γίνεται. Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ένα πηνίο ή ένα ηλεκτρικό κύλωμα, τότε δημιουργείται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (Witten, 2006). Αν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αυτό βρίσκεται αρκετά κοντά σε αντικείμενα που είναι κάπως αγωγιμα, τότε θα προκαλέσει κάποια ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος να ρεύσει διαμέσου αυτών, έτσι θα δημιουργηθούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επαγωγή.

Τα αρχικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να παραχθούν με τη ροή του εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω ενός μικρού πηνίου φτιαγμένο με πολλές περιελίξεις καλωδίου ή μέσω ενός μεγάλου βρόχου του καλωδίου. Η απόκριση του εδάφους είναι η παραγωγή των δευτερογενών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και τα τελικά πεδία μπορούν να ανιχνευθούν από τα εναλλασσόμενα ρεύματα που ρέουν σε ένα πηνίο δέκτη με τη διαδικασία της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Οι σχηματισμοί με υψηλή αγωγιμότητα παράγουν ισχυρά δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Δηλαδή, αν υπάρχει αγωγιμο υλικό στο υπέδαφος η μαγνητική συνιστώσα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος επάγει εναλλασσόμενα ρεύματα (Eddy Currents) μέσα στον αγωγό. Τα ρεύματα αυτά παράγουν δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό που ανιχνεύεται από το πηνίο-δέκτη. Ο δέκτης επίσης ανιχνεύει και το πρωτογενές πεδίο. Το τελικό πεδίο είναι συνδυασμός πρωτογενούς και δευτερογενούς που διαφέρουν ως προς την φάση και το πλάτος. Μετά την αντιστάθμιση για το πρωτογενές πεδίο (που μπορεί να υπολογιστεί από τις σχετικές θέσεις και προσανατολισμούς των πηνίων) και το μέγεθος και η σχετική φάση του δευτερογενούς πεδίου μπορούν να υπολογιστούν. Η διαφορά στο τελικό πεδίο από το πρωτογενές δίνει πληροφορία για την γεωμετρία, το μέγεθος και τις ηλεκτρικές ιδιότητες του αγωγού στο υπέδαφος.

Το δευτερογενές πεδίο μπορεί να μετατραπεί σε συνιστώσες σε φάση και σε εκτός φάσης 90° ως προς το πρωτογενές πεδίο. Η εκτός φάσης συνιστώσα χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες υποθέσεις μπορεί να μετατραπεί σε υπολογιζόμενη φαινομενική αγωγιμότητα. Η σε φάση συνιστώσα, η οποία γενικά δεν είναι υπεύθυνη για τις αλλαγές της χωρικής αγωγιμότητας σωμάτων όπως τα μεταλλικά. Η μετρούμενη φαινόμενη αγωγιμότητα είναι η μέση αγωγιμότητα ενός ή περισσότερων στρωμάτων του υπεδάφους στην περιοχή μέτρησης του οργάνου σε βάθος έρευνας που σχετίζεται με την απόσταση των πηνίων, την διεύθυνση, την συχνότητα λειτουργίας του οργάνου και την αγωγιμότητα του κάθε στρώματος του υπεδάφους.

Χαρακτηριστική είναι η παρακάτω σχηματική απεικόνιση του μοντέλου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, όπου γίνεται εμφανής ο τρόπος λειτουργίας της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου. Ο πομπός T δημιουργεί ένα κύριο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο αναγκάζει τα ηλεκτρικά ρεύματα (eddy currents) να ρέυσουν μέσα σε αγωγίμα υλικά, όπως στην κοιλότητα του μοντέλου και αυτά να δημιουργήσουν ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το κύριο και το δευτερογενές πεδίο μετρούνται από το πηνίο του δείκτη R.



Εικόνα 4.21xx: Σχηματική απεικόνιση μοντέλου ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

3.4.3 Μαγνητική Επιδεκτικότητα

Η μαγνητική επιδεκτικότητα (MS, Magnetic Susceptibility) είναι ένα μέτρο της δυνατότητας ενός υλικού να, μαγνητιστεί παρουσία μαγνητικού πεδίου. Μπορεί να μετρηθεί ανά μονάδα όγκου (κ) ή ως ομαλοποιημένη μάζα επιδεκτικότητας (χ), αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις δίνεται σαν αναλογία του αρχικού προς το δευτερεύον πεδίο. Όλα τα άτομα περιέχουν μαγνητικά πεδία, λόγω των ηλεκτρονίων της εξωτερικής του στιβάδας, έτσι όλες οι ουσίες αντιδρούν σε κάποιο βαθμό, όταν βρεθούν κοντά σε μαγνητικά πεδία (Clark, 1996). Ο φυσικός σχηματισμός των εδαφών περιλαμβάνει τη μετατροπή των αδύναμων μαγνητικών οξειδίων και υδροξειδίων στις εντονότερες μαγνητικές μορφές, έτσι το χώμα είναι πολύ πιο μαγνητικό από τα στρώματα του υπεδάφους.

Επιπλέον, οι ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύουν περαιτέρω το χώμα, έτσι ώστε τα χώματα επί των αρχαιολογικών τόπων να είναι πολύ πιο μαγνητικά από εκείνα στις περιβάλλουσες. Οι άνθρωποι ενισχύουν τις νεογενείς διαδικασίες και επομένως αντιθέσεις επιδεκτικότητας, με την αύξηση της οργανικής ουσίας και την αλλαγή του πορώδους των χωμάτων και επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η ανθρώπινη μαγνητική ενίσχυση του χώματος αυξάνει συχνά την αντίθεση επιδεκτικότητας

στους αρχαιολογικούς χώρους και με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η δυνατότητα ανίχνευσης τεχνητών αντικειμένων (Clark,1996. Dalan,2006).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της μαγνητικής επιδεκτικότητας, όλοι όμως βασίζονται στις θεμελιώδεις αρχές της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως· ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να προκληθεί δημιουργώντας ένα κύριο πεδίο σε κοντινή απόσταση. Το δευτερογενές πεδίο όχι μόνο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους, αλλά και ανταποκρίνεται στις μαγνητικές ιδιότητες.

Μερικά όργανα της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (EMI), μπορούν να λάβουν ταυτόχρονα μετρήσεις πραγματικής αγωγιμότητας και μαγνητικής επιδεκτικότητας, ενώ άλλα είναι σχεδιασμένα να μετράνε μόνο την μαγνητική επιδεκτικότητα, εξακολουθώντας να κάνουν χρήση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

3.4.4 Τύποι Ηλεκτρομαγνητικών συστημάτων. Εφαρμογές της μεθόδου

Δύο ειδών συστήματα:

- **TEM (Time-domain Electromagnetic Measurements):** Μετρήσεις σε συνάρτηση του χρόνου.
- **FEM (Frequency-domain Electromagnetic Measurements):** Μετρήσεις σε συνάρτηση συχνότητας.

Συστήματα σε σχέση με την πηγή:

- **Παθητικά:** χρησιμοποιούνται φυσικά υπεδαφικά ηλεκτρομαγνητικά σήματα (πχ Μαγνητοτελλουρικά)
- **Ενεργητικά:** χρησιμοποιείται πομπός ηλεκτρομαγνητικού σήματος που επάγει ρεύμα στο έδαφος
- **Τοπικού πεδίου:** όργανα μέτρησης αγωγιμότητας
- **Απομακρυσμένου πεδίου:** χρησιμοποιούνται σήματα πολύ χαμηλής συχνότητας που εκπέμπει πομπός για επικοινωνία υποβρυχίων

Επαγωγικά ηλεκτρομαγνητικά συστήματα :

- **Μικρού βρόγχου:** είναι τα περισσότερα συστήματα που δουλεύουν στον χώρο των συχνοτήτων (EM31,EM34 ,κλπ.) και κάποια στον χώρο του χρόνου. Κυρίως χρησιμοποιούνται για περιβαλλοντικές εφαρμογές.
- **Μεγάλου βρόγχου:** (5m με 100mβρόγχοι) κυρίως συστήματα στον χώρο του χρόνου που χρησιμοποιούνται στην μεταλλευτική έρευνα.

Επιπέδου κύματος (VLF, Μαγνητοτελλουρικά) : χρησιμοποιούνται στην μεταλλευτική έρευνα και στον εντοπισμό βαθέων γεωλογικών δομών



Εικόνα 4.22γγ: Ευρέως χρησιμοποιούμενο μηχάνημα EM (CMD4- gf instruments) κατά τη διεξαγωγή γεωφυσικής έρευνας (2015, εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής, Σχολή Μηχ. Μετ. - Μετ., Ε.Μ.Π.)

3.4.5 Βάθος διείσδυσης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Το βάθος διείσδυσης ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου εξαρτάται από τη συχνότητα του και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του μέσου μέσω του οποίου διαδίδεται. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μειώνονται κατά την διέλευσή τους μέσω του εδάφους ,το πλάτος τους μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Το βάθος της διείσδυσης d μπορεί να οριστεί ως το βάθος στο οποίο το πλάτος A_d μειώνεται κατά ένα παράγοντα e^{-1} (37%) συγκρινόμενο με το πλάτος στην επιφάνεια A_0 .

$$A_d = A_0 e^{-1}$$

Στην περίπτωση αυτή

$$d = \frac{503,8}{\sqrt{\sigma f}}$$

Όπου το d είναι σε μέτρα , η αγωγιμότητα σ σε Sm^{-1} και η συχνότητα f του πεδίου είναι σε Hz .

Το βάθος διείσδυσης είναι αντίστροφος ανάλογο της συχνότητας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και της αγωγιμότητας του εδάφους. Συνεπώς, η συχνότητα που χρησιμοποιείται σε μια έρευνα EM μπορεί να καθορίσει το επιθυμητό βάθος σε οποιοδήποτε μέσο.

Εμπειρικά, ένα αποτελεσματικό βάθος διείσδυσης z_e μπορεί να καθοριστεί ως το μέγιστο βάθος στο οποίο ο αγωγός μπορεί να βρεθεί και να παράγει μια αναγνωρίσιμη ηλεκτρομαγνητική ανωμαλία

$$z_e = \frac{100}{\sqrt{\sigma f}}$$

Η εξάρτηση του βάθους διείσδυσης από την συχνότητα, τοποθετεί τους περιορισμούς στην μέθοδο EM, με μέγιστη επιτεύξιμη διείσδυση της τάξης των 500m.

3.4.6 Συστήματα μέτρησης Φάσης

Ένα ηλεκτρομαγνητικό σύστημα έρευνας μπορεί να μετρά τις σχέσεις φάσης και πλάτους μεταξύ των πρωτογενών, δευτερογενών και τελικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Ένα εναλλασσόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να παρασταθεί από ένα ημιτονοειδές κύμα μήκους $2\pi(360^\circ)$. Όταν κατά την διάδοση δύο κυμάτων αρχίζουν να διαδίδονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές τότε θεωρούνται ότι είναι εκτός φάσης. Η διαφορά φάσης μπορεί να αντιπροσωπευτεί με γωνία φάσης θ στον γωνιακό διαχωρισμό των κυματομορφών. Οι σχέσεις φάσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μπορούν να αναπαρασταθούν σε ειδικά διανυσματικά διαγράμματα, τα οποία το διανυσματικό μήκος είναι ανάλογο προς το πλάτος του πεδίου και η γωνία που μετρείται αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού από το πρωτογενές διάνυσμα στο δευτερογενές διάνυσμα, αντιπροσωπεύει την γωνιακή καθυστέρηση φάσης του δευτερογενούς πεδίου που προηγείται του πρωτογενούς.

Το πρωτογενές πεδίο P ταξιδεύει άμεσα από τον πομπό στο δέκτη επάνω από το έδαφος και δεν υφίσταται καμία τροποποίηση, εκτός από μια μικρή μείωση του πλάτους που προκαλείται με τη γεωμετρική διάδοση. Επίσης, το πρωτογενές πεδίο εισχωρεί στο έδαφος, μειώνεται πολύ το πλάτος του, αλλά παραμένει σε φάση με το επιφανειακό πρωτογενές. Το πρωτογενές πεδίο προκαλεί μια εναλλασσόμενη τάση σε ένα υπεδαφικό αγωγό με την ίδια συχνότητα με πρωτογενές αλλά με καθυστέρηση φάσης $\pi/2$ σύμφωνα με τους νόμους της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

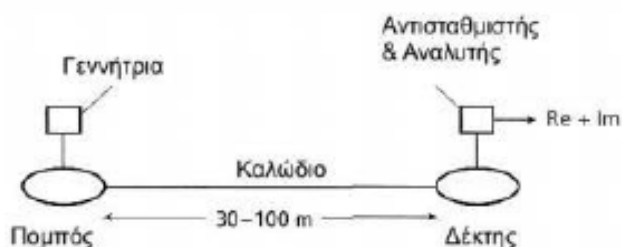
Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του αγωγού προκαλούν μια περεταίρω καθυστέρηση φάσης φ .

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{2\pi fL}{r}\right)$$

Όπου f η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, L η αυτεπαγωγή του αγωγού, r η αντίσταση του αγωγού. Ένας καλός αγωγός θα πλησιάζει το φ τα $\pi/2$ ενώ ένας για έναν κακό αγωγό το μηδέν.

Η προβολή του S στον οριζόντιο (πρωτογενές πεδίο) άξονα είναι $SX\sin\varphi$ και είναι σε γωνία π , εκτός φάσης ως προς το P . Είναι γνωστή ως σε φάση συνιστώσα ή in-phase ή πραγματική συνιστώσα του S . Η κάθετη προβολή είναι $SX\cos\varphi$, $\pi/2$ εκτός φάσης ως προς το P , και είναι γνωστή ως εκτός φάσης, ή φανταστική συνιστώσα.

Τα σύγχρονα όργανα είναι σε θέση να διαχωρίσουν το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε πραγματική (RC) και φανταστική (Im) συνιστώσα. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία RC/Im τόσο καλύτερος είναι ο αγωγός. Μερικά συστήματα, κυρίως αερομεταφερόμενα, μετρούν απλά τη γωνία φάσης φ.



Εικόνα 4.23zz: Σύστημα μέτρησης φάσης δίδυμου πηνίου

Τα κλασικά συστήματα μέτρησης φάσης χρησιμοποιούν κινούμενους πομπούς και δέκτες και αναφέρονται ως δίδυμο πηνίου (twin-coil) ή slingram συστήματα. Τα πηνία πομπού και δέκτη είναι διαμέτρου 1m και μεταφέρονται συνήθως οριζόντια ,αν και διαφορετικοί προσανατολισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα πηνία συνδέονται από ένα καλώδιο που φέρνει ένα σήμα αναφοράς και επιτρέπει επίσης την απόσταση των πηνίων να διατηρηθεί σταθερή, συνήθως 30-100m. Ο πομπός τροφοδοτείται από μία φορητή γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το σήμα εξόδου από το πηνίο δέκτης περνάει από έναν αντισταθμιστή και έναν αναλυτή. Το όργανο μετράει αρχικά στο έδαφος χωρίς αγωγίμο σώμα και ο αντισταθμιστής ρυθμίζεται στο να παράγει μηδενική έξοδο. Με τον τρόπο αυτό, το πρωταρχικό πεδίο αντισταθμίζεται έτσι ώστε το σύστημα να αποκρίνεται στη συνέχεια μόνο στα δευτερογενή πεδία. Συνεπώς τέτοιες ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι αποκαλύπτουν την παρουσία σωμάτων ανώμαλης αγωγιμότητας ,χωρίς παροχή πληροφορίας για τις απόλυτες τιμές αγωγιμότητας. Στην περιοχή έρευνας, ο αναλυτής χωρίζει το δευτερογενές πεδίο στις πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες που συνήθως παρουσιάζονται ως ποσοστό του πρωτογενούς πεδίου ,του οποίου το μέγεθος αναμεταδίδεται μέσω του διασυνδεδεμένου καλωδίου. Τομές μέτρησης γίνονται γενικά κάθετα στις γεωλογικές ασυνεχείς και οι μετρήσεις αντιστοιχούν στην θέση του μεσαίου σημείου του συστήματος .Το μέγιστο βάθος αντίχενυσης είναι περίπου το μισό της απόστασης πομπού δέκτη.

Οι μετρήσεις υπαίθρου είναι απλή διαδικασία και απαιτεί μια ομάδα μόνο δύο ή τριών χειρίστων. Η απόσταση και ο προσανατολισμός των πηνίων είναι κρίσιμα ,δεδομένου ότι ένα μικρό λάθος στην απόσταση μπορεί να δημιουργήσει αξιόλογο λάθος στη μέτρηση φάσης.

Τα πηνία πρέπει επίσης να κρατηθούν ακριβώς οριζόντια και συνεπίπεδα δεδομένου ότι οι μικρές σχετικές κλίσεις μπορούν να παράγουν επίσης ουσιαστικά λάθη. Η απαιτητή ακρίβεια της απόστασης και του προσανατολισμού είναι δύσκολο να διατηρηθεί σε μεγάλες αποστάσεις με ανώμαλη τοπογραφία.

3.4.7 Ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης

CMD-EM

Το όργανο CMD μετράει την φαινόμενη αγωγιμότητα και την in-phase μέτρηση, ανάλογη της μαγνητικής επιδεκτικότητας, σε ένα συγκεκριμένο βάθος ανάλογα με τη διαμόρφωση του. Το όργανο CMD μπορεί να διαθέτει κατάλληλη σύνδεση με GPS όργανο ώστε για κάθε θέση μέτρησης να καταγράφονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες. \

Χαρακτηριστικές εφαρμογές του ηλεκτρομαγνητικού οργάνου μέτρησης είναι για τις ακόλουθες κατηγορίες :

- Γεωτεχνική έρευνα: αξιολόγηση βραχώδους, αποτίμηση μηχανικών ιδιοτήτων κλπ.
- Γεωλογική χαρτογράφηση περιοχών: αναζήτηση κοιτασμάτων, γεωλογική έρευνα, εντοπισμός σπηλαιωμάτων, κλπ.
- Αρχαιολογία: εντοπισμός τοιχίων, ιστορική έρευνα σπηλαιωμάτων, εντοπισμός υπογείων στοών, κλπ.
- Γεωργία: υδροφόρος ορίζοντας, ποιότητα εδάφους, διαχείριση νερού, διαχείριση λιπασμάτων, κλπ.
- Περιβαλλοντικές έρευνες: υδρογεωλογικές εφαρμογές, ρυπασμένα εδάφη, κλπ.

3.4.8 Περιορισμοί της Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος είναι μια ευέλικτη και αποτελεσματική τεχνική υπεδαφικών μετρήσεων, η οποία όμως δεν παύει να ‘υποφέρει’ και αυτή από ορισμένα μειονεκτήματα. Επιφανειακά στρώματα του εδάφους με υψηλές τιμές αγωγιμότητας, όπως οι άργιλοι με κάποια περιεκτικότητα σε νερό ή πετρώματα που φέρουν γραφίτη, καθώς και υπεδαφικά νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε άλας, εμποδίζουν την επίδραση βαθύτερων αγώγιμων σχηματισμών. Η διείσδυση σε βάθος υστερεί σε σχέση με άλλες γεωφυσικές μεθόδους και περιορίζεται από το συχνοτικό εύρος που παράγεται και εντοπίζεται. Χαρακτηριστικά , εάν δε χρησιμοποιούνται φυσικά πεδία, τότε η μέγιστη διείσδυση σε εδαφικές έρευνες φτάνει τα 500 m, ενώ στην από αέρος εφαρμογή της μεθόδου μόλις τα 50 m. Επιπλέον, η ποσοτική ερμηνεία των ηλεκτρομαγνητικών ανωμαλιών είναι πολύπλοκη και αυξάνει εκθετικά όσο μεγαλώνει το βάθος διασκόπησης.

3.5 Γεωραντάρ-GPR (Ground Penetrating Radar)

3.5.1 Γενικά

Η μέθοδος του γεωραντάε είναι μια σχετικά νέα τεχνική, η οποία αναπτύχθηκε εμπορικά κατά τη δεκαετία του 1970. Ανήκει στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους και βασίζεται στην ανάκλαση υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από 8MHz έως 4GHz, σε ασυνέχειες μέσω των οποίων η διηλεκτρική σταθερά και η αγωγιμότητα μεταβάλλονται. Ενώ η σεισμικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συχνά για την χαρτογράφηση επιφανειακών στρωμάτων άλλα δεν διαθέτουν την ακρίβεια (εντοπισμός υπόγειων κατασκευών με μήκος μικρότερο του 1m) που χρειάζεται σε πολλές εφαρμογές. Το γεωραντάρ είναι η κατάλληλη γεωφυσική μέθοδος σε αυτές τις περιπτώσεις. Η μέθοδος του γεωραντάρ ανήκει στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους.

Το γεωραντάρ αποτελείται από μια κεραία που λειτουργεί σαν πομπός, ο οποίος εκπέμπει έναν μικρής διάρκειας ηλεκτρομαγνητικό παλμό. Ο παλμός αυτός ανακλάται από αντικείμενα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, και κατόπιν λαμβάνεται από κεραία δέκτη.

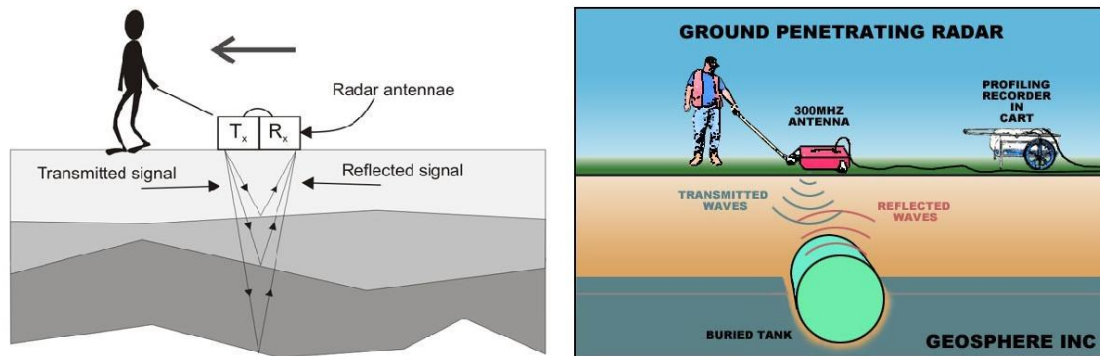
Πίνακας 4.6h: Ταχύτητες διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, v , τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς, K , και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σ , για διάφορους τύπους υλικών

Υλικό	K	σ (mS/m)	v (m/ns)
Αέρας	1	0	0,3
Αποσταγμένο νερό	80	0,01	0,033
Γλυκό νερό	80	0,5	0,033
Θαλασσινό νερό	80	3×10^3	0,01
Ξηρά άμμος	3-5	0,01	0,15
Διαποτισμένη άμμος	20-30	0,1-1	0,06
Ασβεστόλιθος	4-8	0,5-2	0,12
Σχιστόλιθος	5-15	1-100	0,09
Πλύς	5-30	1-100	0,07
Αργίλος	5-40	2-1000	0,06
Γρανίτης	4-6	0,01-1	0,13
Ξηρό άλας	5-6	0,01-1	0,13
Πάγος	3-4	0,01	0,16

Η μέθοδος του γεωραντάρ αποτελεί μια μη καταστρεπτική τεχνική και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε αστικά και σε λοιπά ευαίσθητα περιβάλλοντα. Έχει πολλές γεωλογικές εφαρμογές, όπως η απεικόνιση σε υψηλή ανάλυση ρηχών εδαφικών δομών και πετρωμάτων, αποτύπωση στρωματογραφίας, εντοπισμό θαμμένων καναλιών και χαρτογράφηση ταμειυτήρων νερού, καθώς και εκτίμηση του βάθους των υδροφόρων οριζώντων. Εκτός όμως από γεωλογικές εφαρμογές βρίσκει χρήση και σε άλλους τομείς, όπως στον τομέα της αρχαιολογίας, όπου χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό θαμμένων τοιχιών ή λοιπών κοιλοτήτων. Επίσης, χρησιμοποιείται και σε εγκληματολογικές έρευνες, όπου εντοπίζονται πρόσφατα διαταραγμένα εδάφη σε περιπτώσεις που κρίνεται αναγκαίο.

Όσον αφορά τη βασική αρχή της μεθόδου, ένας πομπός εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα μέσα στο έδαφος. Όταν το κύμα αυτό συναντήσει μία μεταβολή στις

ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του εδάφους, είτε λόγω κάποιου βυθισμένου αντικειμένου είτε λόγω της εναλλαγής δύο μέσων με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, μέρος αυτού ανακλάται πίσω προς το δέκτη. Ακολουθώντας διάφορες παραμέτρους διαδικασίας μέτρησης και επεξεργασίας εξασφαλίζουμε την δυνατότητα να έχουμε ανακλώμενο σήμα επιστροφής λόγω παρουσίας κάποιου αντικειμένου. Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά αυτό του σήματος, εξαρτώνται από τη γεωμετρία και την αντίθεση στις ιδιότητες του αντικειμένου με τον περιβάλλοντα χώρο.



Εικόνα 4.24aaa: Σχηματική απεικόνιση της βασικής αρχής της λειτουργίας του γεωραντάρ. ανάκλαση του σήματος λόγω: Α) εναλλαγής στρωμάτων (αριστερά) , Β) θαμμένου αντικειμένου (δεξιά)

Ο χρόνος που χρειάζεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα για να διαδοθεί από τον πομπό στο δέκτη ανεξαρτήτως της διαδρομής του, ονομάζεται χρόνος διαδρομής. Βασική μονάδα μέτρησης του χρόνου διαδρομής είναι το νάνο-δευτερόλεπτο (ns).

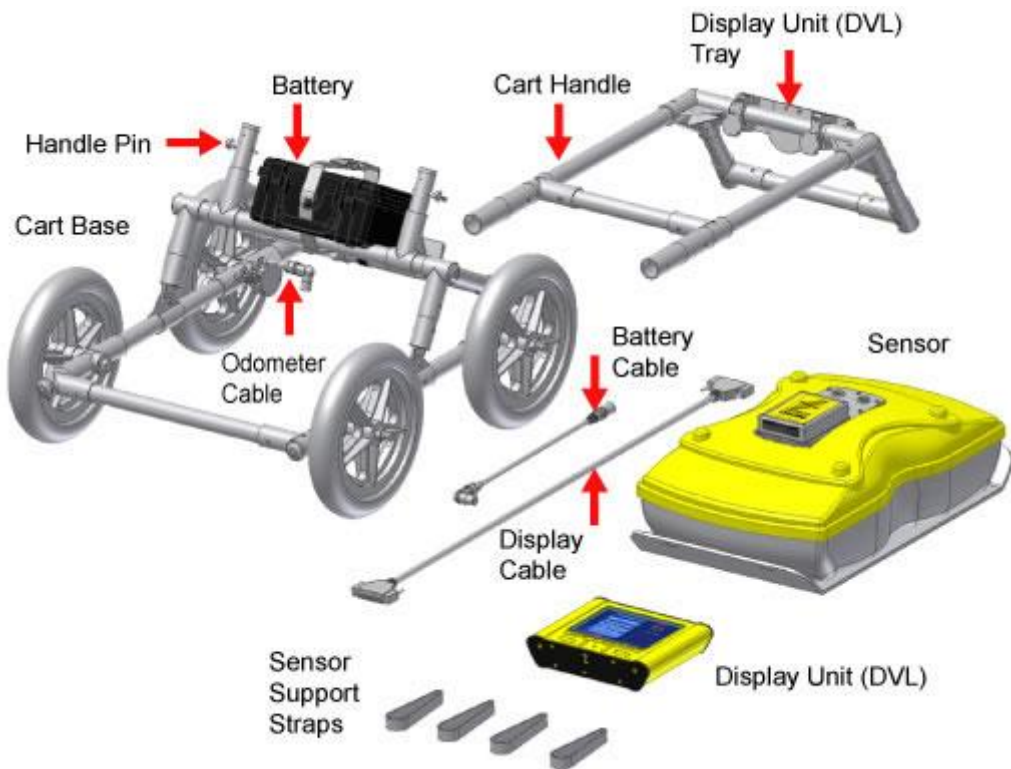
Ο δέκτης καταγράφει τα κύματα που ταξιδεύουν απευθείας από τον πομπό στον δέκτη μέσω του αέρα. Αυτά τα κύματα, αφενός μεν φτάνουν πρώτα , επειδή η ταχύτητα διάδοσης στον αέρα είναι μεγαλύτερη απ'ότι σε οποιοδήποτε υλικό, αφετέρου δεν έχουν μεγάλο πλάτος, αφού δεν υφίσταται εξασθένιση. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα κύματα που διαδίδονται στο υπέδαφος. Η καταγραφή του πλάτους των κυμάτων σε σχέση με το χρόνο διαδρομής ονομάζεται ίχνος. Όταν το κύμα συναντήσει υλικό με διαφορετική ηλεκτρική διαπερατότητα, αλλάζει κατεύθυνση δηλαδή διαθλάται ή ανακλάται. Περίθλαση συμβαίνει όταν το κύμα συναντήσει εμπόδια μικρού μεγέθους , τα οποία αναγκάζουν να διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις .Αντήχηση συμβαίνει ,όταν το κύμα «παγιδευτεί» σε κάποιο γεωλογικό στρώμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις το κύμα ανακλάται πολλές φορές με συνέπεια τη δημιουργία πολλαπλών ανακλάσεων.

3.5.2 Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος γεωραντάρ

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα γεωραντάρ είναι τα ακόλουθα:

- Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα (πηγή) που μπορεί να παραγάγει χρονικά κυμαινόμενες τάσεις στο εκάστοτε απαιτούμενο φάσμα συχνοτήτων με ενεχόμενο και καταγράψιμο τρόπο.

- Μια κεραία πομπός που μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε ένα ακτινοβολούμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα (ραδιοκύματα), το οποίο μπορεί να διεισδύσει δια του υπεδάφους στο στόχο. Η κεραία πομπός, μετασχηματίζει τα ηλεκτρικής τάσης σήματα σε εξωτερικά διαδιδόμενη ενέργεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- Ένα σύστημα ανίχνευσης (δέκτης) ,που αποτελείται συνήθως από μία κεραία και ηλεκτρονικά στοιχεία κυκλώματος, που μπορούν να ανιχνεύσουν τα ανακλώμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και να μετασχηματίσουν σε μια ηλεκτρική τάση που μπορεί να καταγραφεί και να επεξεργαστεί.



Εικόνα 4.25bbb: Σχηματική απεικόνιση ενδεικτικών στοιχείων ενός συστήματος γεωραντάρ τοποθετημένου σε φορείο (www.gprlocates.com)

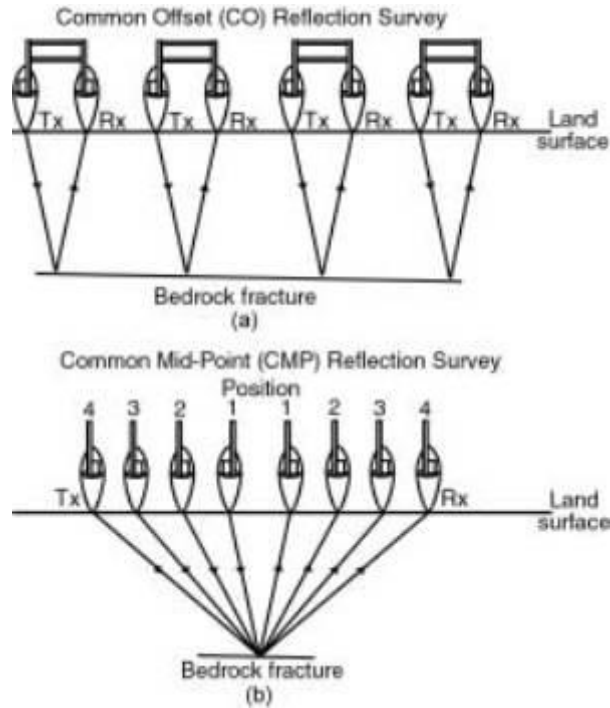
3.5.3 Διαδικασία Μετρήσεων στο ύπαιθρο

Υπάρχουν δύο διατάξεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθούν οι γεωφυσικές έρευνες με γεωραντάρ:

I. Η τυπική διάταξη (Common Offset)

II. Η μέθοδος του κοινού μεσαίου σημείου (Common-Midpoint, CMP)

Στην τυπική διάταξη λειτουργίας ενός συστήματος γεωραντάρ (common offset) ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση και μετακινούνται κατά την γραμμή διασκόπηση συλλέγοντας συνεχώς δεδομένα. Συνήθως ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται μέσα σε κουτί θωρακισμένο για μέγιστη κατευθυντικότητα προς τα κάτω και για αποφυγή διάδοσης επιφανειακών κυμάτων.



Εικόνα 4.26ccc: Σχηματική Απεικόνιση της τυπικής διάταξης (πάνω), της διάταξης του κοινού μεσαίου σημείου (κάτω)

Κατά την έναρξη των μετρήσεων καθορίζουμε την συχνότητα λειτουργίας (operating frequency), το χρονικό παράθυρο (time-window), την χρονική διάφορα μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων (temporal sampling interval), την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων (spatial sampling interval ή station spacing) και τέλος την θέση των γραμμών διασκόπησης και την πυκνότητά τους (line location and spacing).

Όσο μικρότερη είναι η συχνότητα λειτουργίας των κεραιών του συστήματος γεωραντάρ που χρησιμοποιείται, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση σε βάθος με σαφή όμως μείωση στην ανάλυση που επιτυγχάνεται δηλαδή στην διακριτική ικανότητα ανίχνευσης μεταξύ δύο σημείων του υπεδάφους.

Η μέθοδος του κοινού μεσαίου σημείου (Common-Midpoint), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης του σήματος του γεωραντάρ ως προς το βάθος μεταβάλλοντας την απόσταση των κεραιών κατά μια καθορισμένη απόσταση κάθε φορά, κρατώντας σταθερό το κέντρο της διάταξης και μετρώντας τις αντίστοιχες μεταβολές του χρόνου από και προς το σημείο ανάκλασης .



Εικόνα 4.27ddd: Απεικόνιση ολοκληρωμένου συστήματος Γεωραντάρ , όπως αυτό χρησιμοποιήθηκε κατά τη Γεωφυσική Έρευνα στο λατομείο Διονύσου (2016, Σχολή Μηχ. Μετ. -Μετ. , Ε.Μ.Π.)

3.5.4 Βάθος και Ανάλυση

Το βάθος και η ανάλυση του γεωραντάρ εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Η ταχύτητα και η πυκνότητα δειγματοληψίας εξαρτώνται από τις ρυθμίσεις του οργάνου και την μέθοδο έρευνας, ενώ τόσο η ευαισθησία σε βάθος όσο και η χωρική ανάλυση εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους(υγρασία, τύπος ιζημάτων) και τη συχνότητα της κεραίας.

Η ευαισθησία σε βάθος είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αγωγιμότητα του εδάφους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδάφους είναι έστω και λίγο αγωγίμο και έτσι μέρος της ενέργειας που διοχετεύεται, μετριάζεται ή μετατρέπεται σε ηλεκτρικά ρεύματα και διασκορπίζεται προτού φθάσει στο δέκτη (Conyers, 2004). Καθώς τα ραδιοκύματα κινούνται βαθύτερα μέσα στο έδαφος, όλο και λιγότερη ενέργεια μπορεί να υποστεί ανάκλαση με αποτέλεσμα να υπάρχει μία απώλεια σήματος αναλογικά με το βάθος. Για να αντιμετωπιστεί η απώλεια αυτή, το σήμα που λαμβάνεται, ενισχύεται, ώστε να είναι δυνατή η ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Conyers, 2004).

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απώλειας είναι η υγρασία. Η διάδοση του σήματος επιδεινώνεται από την παρουσία ηλεκτρολυτών και αργιλικών ορυκτών, τα οποία συχνά κατακρατούν υγρασία ακόμα και σε πολύ ξηρά περιβάλλοντα. Επιπροσθέτως, η θεώρηση ότι η διεξαγωγή μετρήσεων σε ξηρά περιβάλλοντα με την μέθοδο του γεωραντάρ είναι ιδανική, δεν αποτελεί πάντα σωστό κανόνα καθώς με την παρουσία άλατος και σε συνδυασμό με μικρή μόνο περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να δημιουργήσει υψηλή αγωγιμότητα και επομένως σημαντική απώλεια σήματος.

Ο άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει το βάθος και τη χωρική ανάλυση είναι η πυκνότητα. Μια κεραία πολύ χαμηλής συχνότητας, όπως των 50 MHz, μπορεί να στείλει σήμα μέχρι και τα 50 m, ή και περισσότερο, μέσα στο έδαφος, αυτό όμως θα είχε σαν αποτέλεσμα μια πολύ φτωχή χωρική ανάλυση (Conyers, 2004). Αντίθετα με μια κεραία υψηλότερης συχνότητας όπως μιας των 1000 MHz , παρόλο που η χωρική ανάλυση θα ήταν

σαφώς καλύτερη και λεπτομερέστερη, το βάθος διασκόπησης θα περιοριζόταν σε μερικά εκατοστά.

3.5.5 Πλεονεκτήματα του Γεωραντάρ

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η ταχύτητα διεξαγωγής των μετρήσεων και η υψηλή ανάλυση των αποτελεσμάτων και ειδικότερα σε μικρά βάθη. Όταν τα προφίλ των μετρήσεων βρίσκονται κοντά σε γεωτρήσεις ή άλλες πηγές που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την στρωματογραφία, τα πρωτογενή δεδομένα μπορούν, αν αναλυθούν σε σωστή κλίμακα, να ερμηνευθούν σε πραγματικό χρόνο παράλληλα με τις μετρήσεις.

Σε εδάφη που χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές αγωγιμότητας, η διασκόπηση μπορεί να φθάσει μέχρι τα 15-20 m σε βάθος με τη χρήση κεραιών χαμηλής συχνότητας. Ωστόσο το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η διασκόπηση σε μικρά βάθη, μέχρι τα 5-6 m, όπου μπορεί να παρέχει ανάλυση και απεικόνιση των υπεδαφικών σχηματισμών της τάξης κάποιων εκατοστών, βέβαια με τη χρήση σκεραιών υψηλότερων συχνοτήτων.

3.5.6 Μειονεκτήματα του Γεωραντάρ

Η επιτυχία στην εφαρμογή της μεθόδου αυτής εξαρτάται από την εκάστοτε τοποθεσία. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας ως προς το βάθος διείσδυσης. Χαρακτηριστικά, το βάθος αυτό μπορεί να είναι εξαιρετικά περιορισμένο αν η αγωγιμότητα του εδάφους είναι υψηλή ($> 30 \text{ mS/m}$). Μάλιστα, αν η περιοχή έρευνας καλύπτεται από ένα αργιλικό στρώμα, τότε αυτό πρέπει να αφαιρεθεί προκειμένου να μπορεί να εφαρμοσθεί αποτελεσματικά η συγκεκριμένη μέθοδος. Αυτό συμβαίνει γιατί η ικανότητα διασκόπησης του γεωραντάρ κάτω από τα αγωγίμα αυτά στρώματα μπορεί να είναι ακόμη και μηδενική.

Ένας άλλος παράγοντας που δρα περιοριστικά ως προς το βάθος έρευνας είναι ο διασκορπισμός των ραδιοκυμάτων εξαιτίας μεγάλων χάλικων ή τεμαχίων πετρώματος. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση κεραιάς χαμηλότερης συχνότητας.

Η αδυναμία εφαρμογής του γεωραντάρ σε ανώμαλα εδάφη αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μεθόδου. Για να υπάρχει κατευθυντικότητα των κυμάτων προς το εσωτερικό του εδάφους, πρέπει η κεραία να βρίσκεται σε στενή επαφή με την επιφάνειά του και για αυτόν το λόγο, το έδαφος δε θα πρέπει να είναι ιδιαίτερος τραχύ ή να περιλαμβάνει αντικείμενα όπως δέντρα, φράκτες ή και όγκους πετρωμάτων.

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων σε Μάρμαρα στη Διεθνή Βιβλιογραφία

4.1 Εφαρμογή Α)

Οι επιπτώσεις της πυκνής χωρικής δειγματοληψίας σε σχέση με τον προσανατολισμό της κεραίας στην απεικόνιση ρωγματώσεων με κεραία 3D σχεδιασμό μετρήσεων GPR . (Λατομείο Madonna della Mazza, Majella, Ιταλία) (Pierpaolo Marchesini and Mark Grasmueck, 2014)

Σε αυτή τη γεωφυσική έρευνα έγινε χρήση της μεθόδου με γεωραντάρ για την απεικόνιση του υπεδάφους. Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από την απόσβεση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, το οποίο μεγαλώνει όσο η αγωγιμότητα των υπεδαφικών υλικών αυξάνεται, όσο αναφορά συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν: όσο μικρότερη είναι η συχνότητα ,τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος διασκόπησης , το οποίο κυμαίνεται συνήθως από 1m έως μερικά δεκάδες μέτρα. Παρά το μικρό βάθος διασκόπησης (ειδικά με την αντένα μεγάλης συχνότητας σε μέτρια αγώγιμα περιβάλλοντα), η ικανότητα ανάλυσης του GPR (που και αυτή εξαρτάται από της ιδιότητες του υπεδάφους), είναι μακράν μεγαλύτερη από άλλων γεωφυσικών μεθόδων, και συνεπώς κάνει την μέθοδο αυτή κατάλληλη για έρευνες που θέλουμε αποτελέσματα υψηλής ευκρίνειας σε μικρό βάθος.

Η πλειονότητα των ερευνών που καταγράφονται στη βιβλιογραφία βασίζεται στην απόκτηση δισδιάστατων (2D) δειγμάτων (Orlando 2007, Denis et al. 2009) ή σε διασκορπισμένα τρισδιάστατα (3D) πλέγματα. Από πρακτικής άποψης η δισδιάστατη μέθοδος επιτρέπει εύκολα την πρόσβαση στις περισσότερες προς έρευνα περιοχές και σχετικά γρήγορη και απλή διεξαγωγή μετρήσεων με τη χρήση συμβατικού εξοπλισμού Γεωραντάρ. Παρόλα αυτά επειδή η δισδιάστατη απεικόνιση μπορεί να περιέχει εκτός- γραμμής ανακλάσεις στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, γίνεται πολλές φορές αδύνατος ο προσδιορισμός της γεωμετρίας των ρηγματώσεων, όπως και ο υπολογισμός των λοιπών στοιχείων των ρωγματώσεων. Επιπλέον, στην έρευνα αυτή σκοπός ήταν να προσδιοριστεί το αποτέλεσμα της 3D- GPR δειγματοληψίας και επεξεργασίας, αφού με την τρισδιάστατη δειγματοληψία και επεξεργασία επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα, ανάλυση και προσδιορισμός ρωγματώσεων, ειδικά σε στόχους και περιβάλλοντα όπου υπάρχει υψηλής πυκνότητας υλικό (π.χ. Μάρμαρο) . Προκειμένου να επιτευχθεί η ακριβής απεικόνιση πολλαπλών ρωγματώσεων και ο προσανατολισμός τους στην ίδια έρευνα υπάρχουν δύο τρόποι διεξαγωγής των μετρήσεων , 1) τη διεξαγωγή δύο ορθογωνικών σειρών μετρήσεων ή 2) τη διεξαγωγή μιας σειράς μετρήσεων με αυξημένη την πυκνότητα του ίχνους κρατώντας σταθερό τον προσανατολισμό της κεραίας.

Η μελέτη αυτή, που πραγματοποιήθηκε στο λατομείο Madonna della Mazza (Ιταλία), έχει ως στόχο τη σύγκριση των δύο προσεγγίσεων διαδικασίας μετρήσεων 3D- GPR ως προς τη βελτιστοποίηση της απεικόνισης του μοτίβου των ρωγματώσεων και των σχετικών τρισδιάστατων δικτύων των ρωγματώσεων.

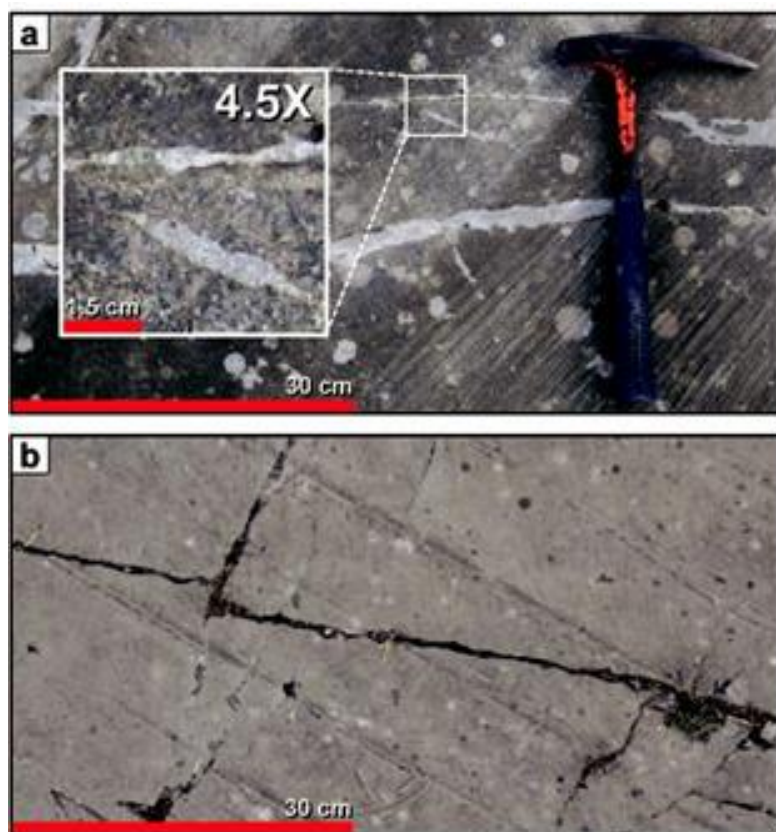


Εικόνα 5.1εεε: Αεροφωτογραφία από το προς μελέτη λατομείο Madonna Della Mazza με έμφαση στην περιοχή έρευνας 20μ * 20μ όπου και έλαβε χώρα η έρευνα

4.1.1 Περιοχή Έρευνας

Το βουνό Majella ή Maiella βρίσκεται στην κεντρική Ιταλία, στο Abruzzo στον ευρύτερο ορεινό σχηματισμό των Απέννινων. Το πεδίο έρευνας για την παρούσα μελέτη είναι το λατομείο Madonna della Mazza (μήκους 80 μέτρα προς Α-Δ, και 50 μέτρα πλάτους στην κατεύθυνση Β-Ν), κομμένο σε δομικά παραμορφωμένα λεπτόκοκκα στρώματα και βρίσκεται στο εσωτερικό μέρος του βουνού Majella, νότια Ιταλία (Εικ. 1). Η στρωματογραφία του λατομείου χαρακτηρίζεται από βαθμίδες μαζικής συγκέντρωσης πετρώματος, που χωρίζονται από λεπτότερο, στρώματα με ελαφριά εμβάπτιση σε άργιλο ως προς την ΒΑ κατεύθυνση. Η περιοχή αποδείχτηκε ιδιαίτερα κατάλληλη για αυτή τη μελέτη και χρησίμευσε ως ένα μοναδικό φυσικό εργαστήριο για να συγκρίνουν τις δύο μεθόδους μέτρησης 3D GPR λόγω της παρουσίας ρηγματώσεων με διαφορετικές εμφανίσεις, βάθη και υψηλό βαθμό τρισδιάστατης πολυπλοκότητας του προκύπτοντος δικτύου ρωγματώσεων.

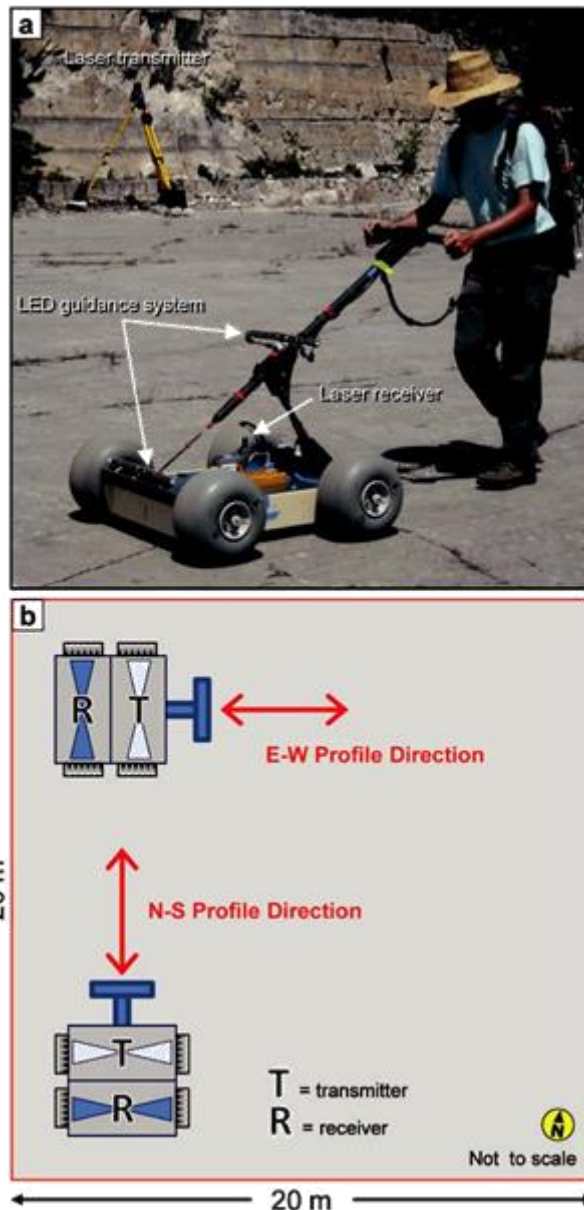
Το λατομείο χαρακτηρίζεται από δύο κύρια είδη ρωγματώσεων στην κατά τα άλλα ανενόχλητη μήτρα του πετρώματος : ζώνες παραμόρφωσης και ανοικτά ρήγματα. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιγράφονται από προηγουμένως διεξαχθείσες διαρθρωτικές εκτιμήσεις ολόκληρου του λατομείου.



Εικόνα 5.2ff: Απεικόνιση των δύο τύπων ρηγμάτων που συναντώνται στο λατομείο a) οι ζώνες παραμόρφωσης είναι λεπτά φύλλα με μειωμένο πορώδες και προέρχεται από μηχανική θλίψη και σχισμό των κόκκων του πετρώματος. Το πάχος των ρηγμάτων κυμαίνεται από 1mm ως 5cm. b) Ανοιχτά ρήγματα διαφέρουν σε πλάτος σπασίματος από 0,5cm ως 10cm και είναι γεμάτα με άμμο ή και γεμίζουν φυτά στην επιφάνεια όταν είναι δυνατόν

4.1.2 Εξοπλισμός και Τρόπος Απόκτησης Δεδομένων

Για τη μελέτη αυτή επιλέχθηκε μια περιοχή έρευνας 20 x 20 m που βρίσκεται στο δάπεδο του κεντρικού τμήματος του λατομείου, όπου δύο συμπλέγματα ζωνών παραμόρφωσης και ανοιχτά ρήγματα τέμνονται (Εικόνα 1). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας μια μονάδα ελέγχου ProEx GPR (Mala Geoscience, Σουηδία) και μία θωρακισμένη κεραία GPR με κεντρική συχνότητα 250 MHz. Ο εξοπλισμός GPR συζεύχθηκε με ένα 3D Περιστροφικό Λείζερ Εντοπισμού Θέσης (RLPS) για την επίτευξη εντοπισμού θέσης με την ακρίβεια εκατοστού. Ένα σύστημα καθοδήγησης με LED τοποθετήθηκε στην κεραία προκειμένου να δείχνει στο χειριστή της κεραίας πώς να ακολουθεί με ροή τα σημάδια των μετρήσεων, χωρίς να χρειάζεται να παρακολουθεί τις ταινίες της έρευνας (Grasmueck και Viggiano 2007).



Εικόνα 5.3ggg: (Α) ο εξοπλισμός GPR αποτελείται από κεραία 250 MHz τοποθετημένη σε καλάθι και μονάδα ελέγχου Proex (στο σακίδιο), σε συνδυασμό με Περιστροφικό Λείζερ εντοπισμού Θέσης (RLPS) και σύστημα καθοδήγησης με LED (Β) τη ρύθμιση της έρευνας: δύο πολύ πυκνές έρευνες διεξήχθησαν με απόσταση 5 εκατοστών το προφίλ και την απόσταση 5 εκατοστά μήκος για κάθε προφίλ, ένα με ΑΔ κατεύθυνση απόκτησης, ένα με κατεύθυνση ΒΝ για να αποκτηθούν ορθογώνιες κατευθύνσεις για την κεραία. Οι έρευνες καλύπτουν μια έκταση 20 x 20 μ και αποτελούνται η καθεμία από 401 προφίλ, με συνολικό μήκος 8 χιλιομέτρων. T και R δείχνουν τις θέσεις του GPR ,πομπού και του δέκτη μέσα στην κεραία.

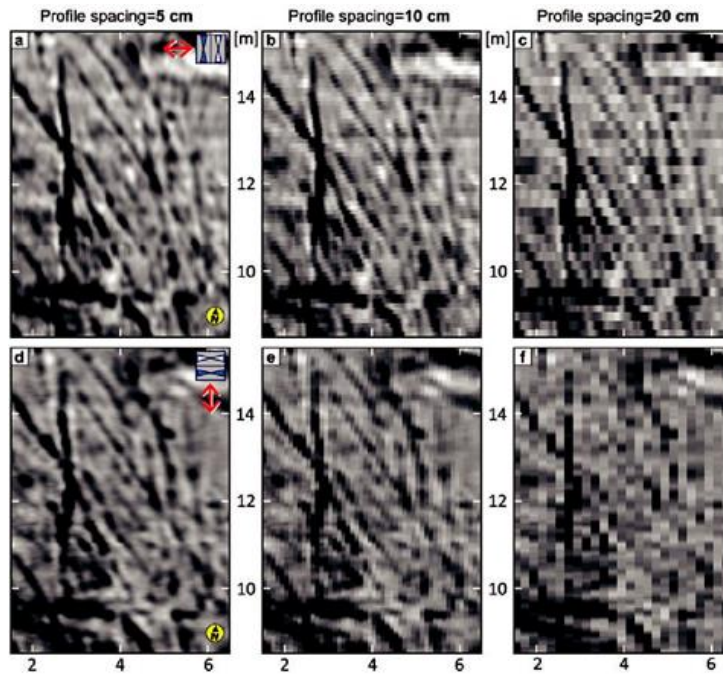
Η διαδικασία για την πρώτη υψηλής πυκνότητας έρευνα με ανατολικό-δυτικό προσανατολισμό και με ταχύτητα 1 m/s, με βηματισμό εμπρόσθιο και οπίσθιο χωρίς περιστροφή της αντένας κατά το πέρασμα του εκάστοτε προφίλ, διήρκεσε 3 ώρες. Η έρευνα κάλυψε μια έκταση 20* 20 μ και ελήφθησαν προφίλ συνολικού μήκους αντίστοιχου με 8 χμ . Ο προσανατολισμός της κεραίας ήταν 90⁰ κατά τη διεξαγωγή της δεύτερης έρευνας με προσανατολισμό βόρειο- νότιο και η ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν ο ίδιος με την πρώτη . Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατός ο συσχετισμός των δύο ερευνών βάση του κανάβου που προκύπτει από τις μετρήσεις.

4.1.3 Επεξεργασία Δεδομένων

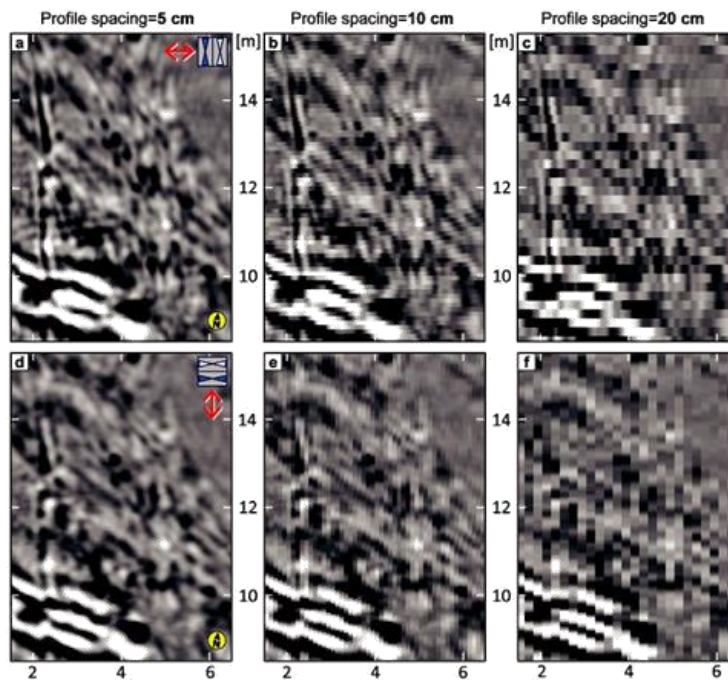
Οι δύο Έρευνες υψηλής πυκνότητας (5 εκατοστά απόσταση προφίλ) αποδομούνται προκειμένου να γίνει δυνατή η προσομοίωση των ερευνών 3D GPR με 10 cm και 20 cm απόσταση προφίλ, με αποτέλεσμα ένα σύνολο έξι όγκων 3D GPR. Η διαδικασία αυτή γίνεται μειώνοντας σταδιακά και κατά το ήμισυ τον αρχικό αριθμό των προφίλ, διατηρώντας το αρχικό πλάτος της έρευνας και το συνολικό αριθμό των ιχνών κατά μήκος κάθε προφίλ. Ως εκ τούτου, το διάστημα ίχνους κατά μήκος του κάθε προφίλ είναι 5cm για τα έξι συνολικά σετ δεδομένων που έχουν ληφθεί κατά την αρχική φάση μετρήσεων. Όλες (και οι έξι προαναφερθείσες) οι τομές επεξεργάστηκαν με τη χρήση πανομοιότυπων παραμέτρων και ροής- διαδικασίας εργασίας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το 3DGPR Software (Grasmueck and Viggiano 2007).

4.1.4 Ανάλυση Δεδομένων

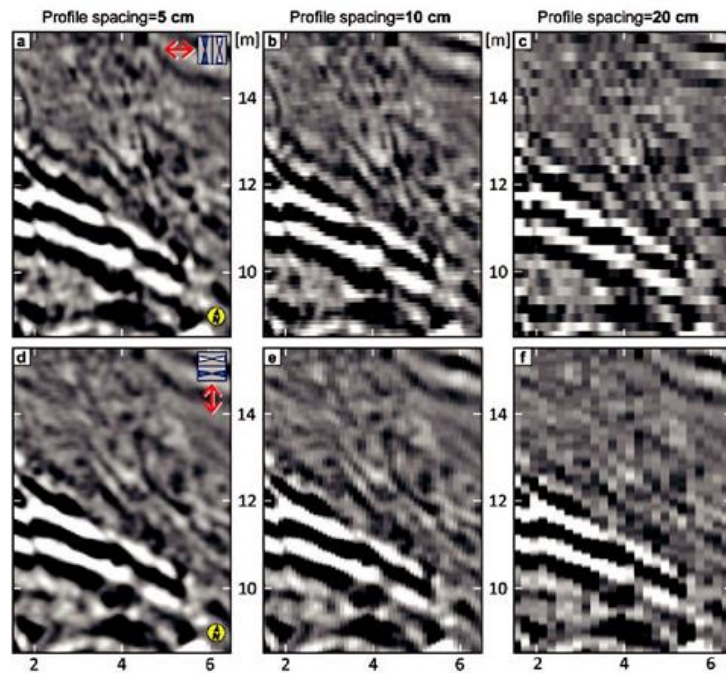
Η ερμηνεία έγινε με μέγιστο βάθος τα 10 m, ενώ δόθηκε έμφαση στα πιο επιφανειακά κομμάτια των τομών (< 130 cm). Σε αυτά τα πιο ρηχά κομμάτια η σχέση εμφάνισης ζωνών πρoαμόρφωσης και ρωγματώσεων είναι ιδιαίτερος υψηλή. Στις παρακάτω απεικονίσεις φαίνονται και τα αποτελέσματα ανά βάθος 25 cm, 75 cm, 130 cm, με βάση την απόσταση προφίλ 5 cm, 10 cm, 20 cm, όπως και οι απαραίτητοι χάρτες και γεωλογικές ερμηνείες που βοήθησαν προκειμένου να βγουν τα συμπεράσματα της έρευνας.



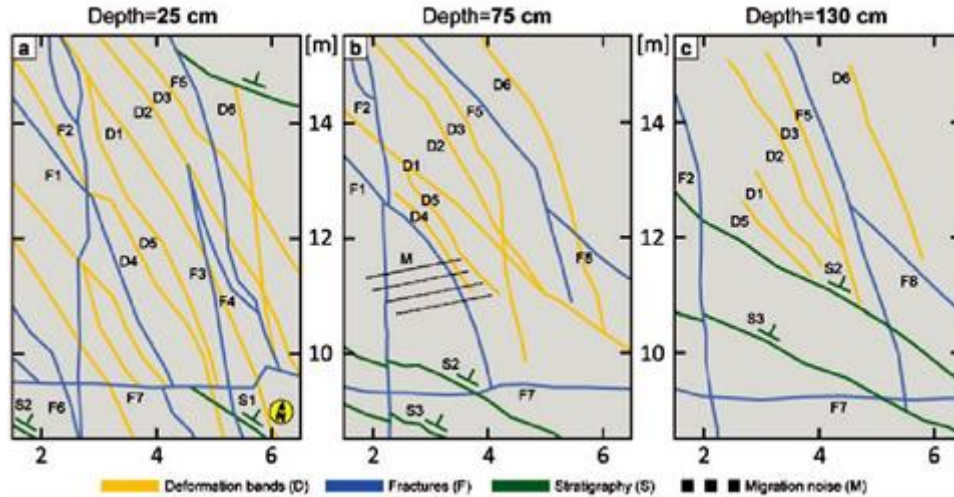
Εικόνα 5.4hhh: GPR οριζόντιες φέτες σε βάθος 25 cm που καλύπτει ένα υποσύνολο του συνόλου της περιοχής έρευνας. Σύγκριση της απόστασης των 5 cm, 10 cm, και 20 cm. Το Κόκκινο βέλος και η κεραία διπόλων δείχνουν την κατεύθυνση της απόκτησης. Η απόσταση ίχνους είναι σταθερή και ίση με 5 cm σε κάθε προφίλ.



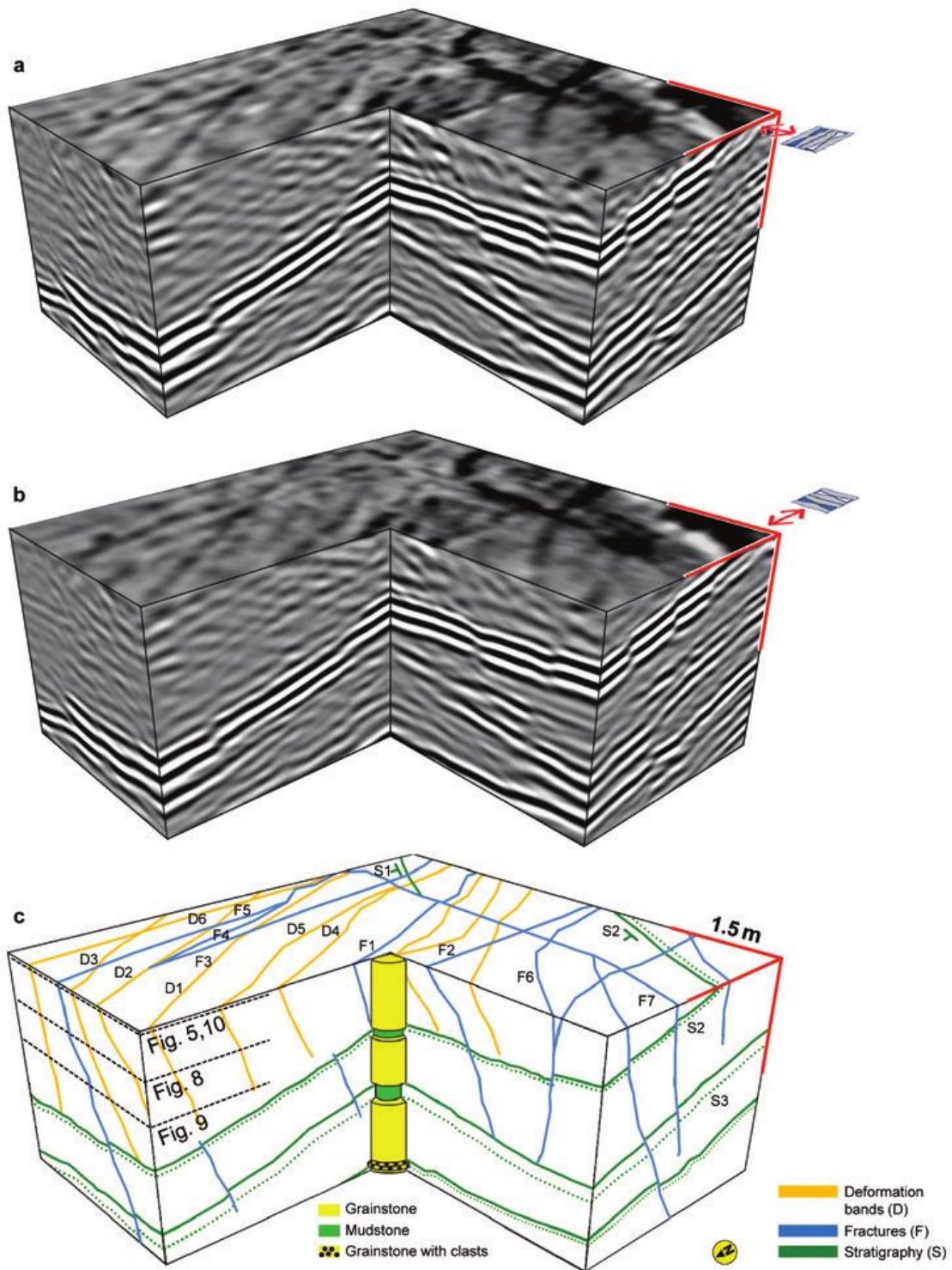
Εικόνα 5.5iii: GPR οριζόντιες φέτες σε βάθος 75 cm που καλύπτει ένα υποσύνολο του συνόλου της περιοχής έρευνας. Σύγκριση της απόστασης των 5 cm, 10 cm, και 20 cm. Το Κόκκινο βέλος και η κεραία διπόλων δείχνουν την κατεύθυνση της απόκτησης. Η απόσταση ίχνους είναι σταθερή και ίση με 5 cm σε κάθε προφίλ.



Εικόνα 5.6jjj: GPR οριζόντιες φέτες σε βάθος 130 cm που καλύπτει ένα υποσύνολο του συνόλου της περιοχής έρευνας. Σύγκριση της απόστασης των 5 cm, 10 cm, και 20 cm. Το Κόκκινο βέλος και η κεραία διπόλων δείχνουν την κατεύθυνση της απόκτησης Η. απόσταση ίχνους είναι σταθερή και ίση με 5 cm σε κάθε προφίλ.



Εικόνα 5.7kkk: Η γεωλογική ερμηνεία του τμήματος του τομέα της έρευνας όπως φαίνεται στις λοιπές απεικονίσεις των προς ανάλυση τομών, τονίζοντας τις θέσεις των ζωνών παραμόρφωσης και ρωγματώσεων για τα βάθη των 25 cm (α), (β) το 75 cm, και 130 cm (γ).



Εικόνα 5.8III: Τρισδιάστατες τομές μέσω των δύο υψηλής πυκνότητας όγκων 3D GPR (βάθος = 25 cm) που αποκτήθηκαν με ορθογώνιο προσανατολισμό της κεραίας, E-W (a), N-S (b) και με απόσταση του προφίλ 5 cm. Τα κόκκινα βέλη και η κεραία διπόλων δείχνουν την διεύθυνση με την οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις (c) γεωλογική ερμηνεία των δεδομένων ανά στρώμα σε στήλη.

4.1.5 Συμπεράσματα

Η μελέτη αυτή παρέχει μια κατευθυντήρια μεθοδολογία για το σχεδιασμό απόκτησης δεδομένων πεδίου με στόχο τη βέλτιστη ποιότητα απεικόνισης των ρωγματώσεων. Όταν γίνεται δειγματοληψία αρκετά πυκνά, οι ρωγματώσεις όλων των κατευθύνσεων γίνονται καθαρότερα εμφανίσιμες από όποια κατεύθυνση και αν έχουν γίνει οι μετρήσεις με το γεωραντάρ. Μια απόσταση προφίλ ίση με το ένα όγδοο του μήκους κύματος από το κέντρο της κεραίας είναι αναγκαία συχνότητα για να επιτευχθεί η μέγιστη και βέλτιστη ποιότητα απεικόνισης των ζωνών παραμόρφωσης και ειδικότερα των ρωγμών.

4.2 Εφαρμογή Β)

Ανάπτυξη και εφαρμογή σύγχρονων γεωφυσικών τεχνικών (περιλαμβανομένου του ραντάρ) στην εξερεύνηση και εκμετάλλευση διακοσμητικών πετρωμάτων. (Λατομείο Μαμάρου Θάσου, Ελλάδα, λατομείο μαρμάρου Βώλακα, Δράμα, Ελλάδα – Λατομείο Γρανίτη Budduso , Ιταλία) (Π. Κάρμης, κ.α., 1996)

Αυτή η γεωφυσική έρευνα διεξήχθη στα πλαίσια του ερευνητικού σχεδίου έρευνας και ανάπτυξης Bride Euram 2 με στόχο την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων στην εξερεύνηση και στην εκμετάλλευση των διακοσμητικών πετρωμάτων .Αυτή η προσέγγιση περιελάμβανε μη καταστροφικές γεωφυσικές μεθόδους συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων του Γεωραντάρ (GPR) και της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής σε γεωτρήσεις. Η έρευνα έλαβε χώρα στα λατομεία μαρμάρου ΙΚΤΙΝΟΣ της Θάσου και του Βώλακα, Δράμα και στα λατομεία γρανίτη στο Budduso, Σαρδηνία.

Οι βιομηχανικοί στόχοι του προγράμματος υπήρξαν οι εξής:

1. Η εκτίμηση των περιοχών εκμετάλλευσης, πριν τη διαδικασία της αποκοπής του πετρώματος από το μητρικό πέτρωμα, επιτρέποντας την αξιολόγηση και την επιλογή των οικονομικά συμφερούσων περιοχών προς εκμετάλλευση.
2. Ο προκαταρκτικός έλεγχος των χαρακτηριστικών του πετρώματος στα ενεργά μέτωπα, για τον εντοπισμό τυχόν ρωγματώσεων , καρστικών κοιλοτήτων και λοιπών χαρακτηριστικών, όπως επίσης και μια εκτενή χαρτογράφηση και παρουσίασή τους με κατανοητό τρόπο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η χρήση των στοιχείων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εξόρυξης.

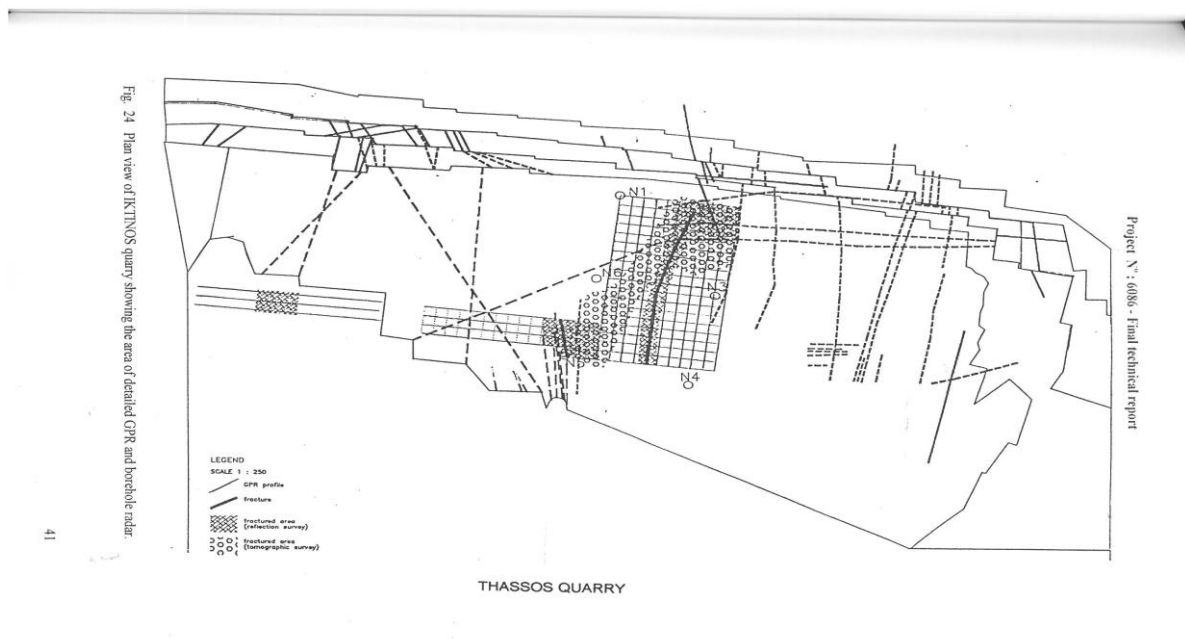
4.2.1 Περιοχές Έρευνας

4.2.1.1 Θάσος

Το λατομείο μαρμάρου ΙΚΤΙΝΟΣ της Θάσου Βρίσκεται στο Νησί της Θάσου βόρεια Ελλάδα. Η Θάσος αποτελεί ιστορικό νησί για τη λατομική δραστηριότητα της, αφού υπάρχουν ενδείξεις εκμετάλλευσης μαρμάρου (Αλυκές Θάσου) ήδη από τον 6^ο αιώνα π.Χ. . Το λατομείο λειτουργεί υπό την παρούσα κατάσταση από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα (2000). Το Λατομείο βρίσκεται στην βορειοανατολική πλευρά του νησιού και καλύπτει μια έκταση 9,3 στρεμμάτων. Η τοποθεία του είναι κοντά στο χωριό Παναγίτσα, όπου και υπήρξε λατομική δραστηριότητα κατά την αρχαιότητα. Η ετήσια παραγωγή του λατομείου φτάνει τα 6.000 m³, ενώ τα επιβεβαιωμένα αποθέματά του αγγίζουν τα 150.000 m³.



Εικόνα 5.9mm Απεικόνιση του λατομείου μαρμάρου ΙΚΤΙΝΟΣ της Θάσου. Β)Γραφική απεικόνιση με κόκκινη σήμανση ης νήσου Θάσου σε χάρτη της Ελλάδας.



Εικόνα 5.10mm: Κάτοψη του λατομείου ΙΚΤΙΝΟΣ στη Θάσο.

4.2.1.2 Βώλακας

Το λατομείο ΙΚΤΙΝΟΣ στο Βώλακα είναι στις πλαγιές του βουνού Φαλακρό στην ευρύτερη περιοχή της Δράμας, στη βόρεια Ελλάδα. Η Δράμα αποτελεί νομό στη βόρεια Ελλάδα και έχει ως πρωτεύουσά του την ομόνυμη πόλη. Ο Βώλακας απέχει 33 χιλιόμετρα από τη Δράμα και ανήκει στο δήμο κάτω Νευροκοπίου, νομός Δράμας. Η ονοματοδοσία των λατομείων της περιοχής, όπως και ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του μαρμάρου έγινε χάρη στην τοπική κοινότητα που βρίσκεται κοντά στην περιοχή των λατομείων. Το λατομείο ΙΚΤΙΝΟΣ λειτουργεί σε μια έκταση 21,3 στρεμμάτων και έχει ετήσια παραγωγή που φτάνει τα 2.000 m³, ενώ τα επιβεβαιωμένα αποθέματά του αγγίζουν τα 300.000 m³.



Εικόνα 5.11000 Απεικόνιση του λατομείου ΙΚΤΙΝΟΣ στο Βώλακα της Δράμας. Β)Σήμανση με κόκκινο χρώμα σε γεωλογικό χάρτη του βουνού Φαλακρό της τοποθεσίας της τοπικής κοινότητας Βώλακα.

4.2.1.3 Budduso, Σαρδηνία

Η Σαρδηνία βρίσκεται στα δυτικά της Ιταλίας και περιβάλλεται από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Στα ανατολικά βρέχεται από την Τυρρηνική θάλασσα και στα δυτικά από τη Θάλασσα της Σαρδηνίας και χωρίζεται από την Κορσική με τον πορθμό Μπονιφάτσιο. Στη Σαρδηνία λειτουργούν περισσότερα από 200 λατομεία, που καλύπτουν τις ανάγκες της αγοράς. Τα περισσότερα λατομεία της Σαρδηνίας βρίσκονται σε τρεις διακριτές περιοχές της, οι οποίες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένα γεωλογικά στοιχεία, όπως η συσταση των πετρωμάτων και η τεκτονική των περιοχών. Η μια από αυτές είναι και η περιοχή του Budduso. Το Budduso αποτελεί μια κοινότητα στην επαρχία του Sassari στην ιταλική περιφέρεια της Σαρδηνίας, που βρίσκεται περίπου 150 χιλιόμετρα βόρεια του Κάλιαρι. Το λατομείο Mannu's Grigorio Sardo βρίσκεται στην περιοχή αυτή. Η περιοχή εκμετάλλευσης και εμφάνισης των γρανιτών εκτείνεται στα 70 km² και αποτελεί ένα σύμπλεγμα τεκτονικών συνεχειών, που κόβουν εγκάρσια το δυτικό κομμάτι των μετα-τεκτονικών γρανιτών.

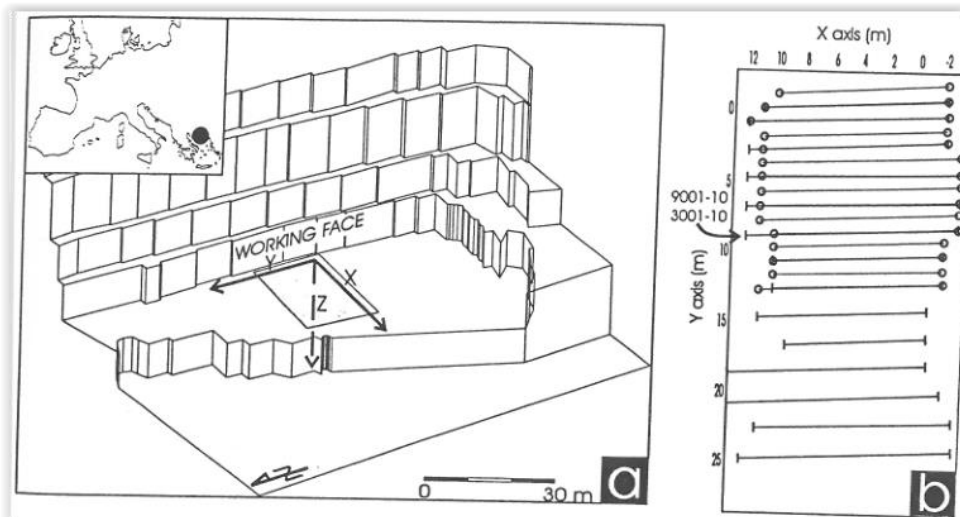
4.2.2 Εξοπλισμός και Τρόπος Απόκτησης Δεδομένων

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της έρευνας εγγειται μόνο στον τύπο του τεχνολογικού εξοπλισμού και όχι στον ακριβή προσδιορισμό του. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής :

1. **3D Radar Software (GPR)- 3D λογισμικό για γεωραντάρ :** Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η απόκτηση των δεδομένων έγινε με τη χρήση δύο τύπων γεωραντάρ. Τα δύο σύνολα αποτελούν αμφότερα γεωραντάρ της GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc.) , όπως και το λογισμικό βάση του οποίου λειτουργούν τα συστήματα αυτά. Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 300 MHz και 900 MHz. Για την επεξεργασία, την ανάλυση, την ερμηνεία και την παρουσίαση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δύο λογισμικά, το Seismic Unix (SU),Stanford University και το Matlab, Mathworks Inc. .
2. **High frequency Borehole Antennas – Κεραία υψηλής συχνότητας σε γεώτρηση (EM):** Η κεραία αυτή χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να γίνει δυνατός ο προσδιορισμός της πυκνότητας των κενών στο πέτρωμα. Η κεραία βάση σχεδιασμού εξέπεμπε σήμα της τάξεως των 500 MHz ως 1000 MHz και ήταν συνδεδεμένη σε ένα αυθημερό-παλμικό σύστημα σε μονοστατικό κανάλι λήψης και για βάθος διεύθυνσης το λιγότερο 10 m σε στεγνές γεωτρήσεις.
3. **Acoustic System- Ακουστικό σύστημα:** Παρόλο που ο αρχικός σκοπός της χρήσης αυτής της μεθόδου ήταν η ανάπτυξη ενός προτότυπου τρόπου και μοντέλου για τον εντοπισμό των ρωγματώσεων στο μάρμαρο, εν τέλει έγινε μια έρευνα στα ήδη υπάρχοντα συστήματα με στόχο τη βελτιστοποίηση του αποτελέσματος και η αξιολόγησή τους στις διάφορες μετρήσεις που διεξήχθησαν. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετάδοση των ηχητικών κυμάτων και στην ασυνέχεια των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, όπως για παράδειγμα μια ρωγμή προκαλεί απόσβεση του κύματος μεταξύ του πομπού και του δέκτη.

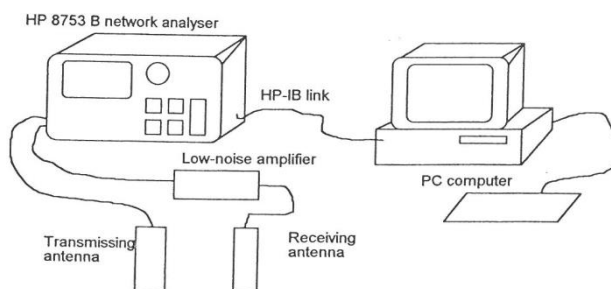
Ο στόχος των μετρήσεων στο πεδίο ήταν η αξιολόγηση του εξοπλισμού υπό τις εκάστοτε συνθήκες και η εκτίμηση των δυνατοτήτων της χρήσης του γεωραντάρ, της τομογραφίας σε γεωτρήσεις, η σεισμική και η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος (VLF- very low frequency) στον προσδιορισμό των συστημάτων των ρωγματώσεων και των ασυνεχειών και η εφαρμογή τους σε ένα ενεργό λατομείο.

Για το γεωραντάρ υπήρξε σχεδιασμός με απόσταση γραμμών τα 2 m για την κεραία των 300 MHz και το 1 m για την κεραία των 900 MHz. Η ακρίβεια του εντοπισμού των ρωγματώσεων στο πέτρωμα οφείλεται στην ακρίβεια της τοποθέτησης της κεραίας, στη δυνατότητα ανάλυσης του βράχου από το γεωραντάρ και από την επιλεγμένη ταχύτητα διάδοσης μέσα στο πέτρωμα.



Εικόνα 5.14rrr: a) Γραφική απεικόνιση της Θάσου σε αναπαράσταση χάρτη(πάνω αριστερά) και άποψη του λατομείου και της επιφάνειας, όπου έγιναν οι μετρήσεις. b) Ενδεικτικές τοποθεσίες των προφίλ των μετρήσεων (κύκλοι= 300 MHz και οι κάθετες ράβδοι = 900MHz)

Η κεραία για γεωτρήσεις είναι μία δικωνική κεραία, με το ύψος του κάθε κώνου να ανέρχεται στα 15 cm και την κλίση τους να είναι 45^0 . Η απόσταση μεταξύ των δύο κωνικών κομματιών της κεραίας είναι 2.5 cm και με διάμετρο τα 8.8 cm. Η κεραία προκειμένου να είναι αποδοτικότερη στο περιβάλλον που ήταν να λειτουργήσει τοποθετήθηκε σε ένα σωλήνα (PVC) διαμέτρου 9 cm και με τη συνολική διάμετρο του συστήματος να φτάνει τα 9.5 cm. Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μονής γεώτρησης τοποθετώντας το δέκτη στη μία γεώτρηση και τον πομπό σε μια άλλη, με αυτό τον τρόπο δεν απαιτείται τόσο μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε συνθετικού-παλμού κεραία, ώστε να είναι ευκολότερη η παραγωγή σήματος υψηλής συχνότητας. Ο σχεδιασμός των μετρήσεων έγινε με βάση μη παράλληλες γεωτρήσεις απόστασης από 1 m έως 5 m . Η συχνότητα που η κεραία λειτουργούσε ήταν από 500 MHz έως 1000 MHz.



Εικόνα 5.15sss: A) στο αριστερό μέρος βλέπουμε τη φωτογραφία από μια κεραία που χρησιμοποιήθηκε για τις τομογραφίες στις γεωτρήσεις. Β) Στο δεξί μέρος βλέπουμε την διάταξη του συστήματος για την απόκτηση των δεδομένων. Στη διάταξη υπάρχουν μια κεραία πομπός, μια κεραία δέκτης που τοποθετούνται εντός των γεωτρήσεων, ένας ενισχυτής χαμηλού θορύβου για την απαλοιφή θορύβων και την ενίσχυση του σήματος και μέσω ενός συστήματος ανάλυσης τα δεδομένα παίρνουν στον υπολογιστή προκειμένου να επεξεργαστούν.

Ο σχεδιασμός των μετρήσεων με τα ακουστικά συστήματα έγινε με βάση τον τρόπο εξόρυξης των μαρμάρινων και των γρανιτικών μπλοκ, τα οποία συνήθως είναι ,μεγέθους 1.5* 1.5* 2 m όταν αυτά έχουν επιλεγεί για να αποσπαστούν από το μητρικό πέτρωμα και να προωθηθούν προς περαιτέρω αξιοποίηση. Τα συστήματα που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις αυτές είναι 1) το Krentz, ένα χρονοβόρο , αλλά επαρκές σύστημα μετρήσεων για τον εντοπισμό ελλατωμάτων στο πέτρωμα και 2) το Pundit, που αν και γρηγορότερο στη διαδικασία και στον τρόπο της απόκτησης των δεδομένων μπορεί να παράξει ικανοποιητικά στοιχεία για την ποιότητα του πετρώματος. Το σύστημα Krentz λειτουργεί με βάση τις σεισμικές ιδιότητες και πηγής (σφυρί) και με τη λήψη πληροφοριών μέσα από 10 κανάλια συνδεδεμένα με επιταχυνσιόμετρα, από όπου και λαμβάνονται οι επιθυμητές πληροφορίες. Το σύστημα Pundit χρησιμοποιεί μια πηγή και με βάση τις ιδιότητες μετάδοσης της ταχύτητας ενός σεισμικού κύματος λαμβάνει τις επιθυμητές πληροφορίες με ένα δέκτη, βέβαια η διαδικασία χρειάζεται να επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά και αποστασιακά διαστήματα ώστε να επαληθεύονται οι μετρήσεις.

4.2.3 Επεξεργασία Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ξεχωριστό τρόπο για την κάθε μία από τις γεωφυσικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν από τις μετρήσεις με το γεωραντάρ επεξεργάστηκαν αρχικά με το Seismic Unix και η διαδικασία αυτή έγινε προσαρμόζοντας σταδιακά τον αρχικό αριθμό των προφίλ , διατηρώντας το αρχικό πλάτος της έρευνας και το συνολικό αριθμό των ιχνών κατά μήκος κάθε προφίλ μέχρις ότου να γίνει δυνατό μέσω του Matlab να γίνουν οι παρεμβολές που απεικονίζουν τις ρωγματώσεις για κάθε σύστημα μετρήσεων.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν από τις μετρήσεις με την κεραία υψηλών συχνοτήτων στις γεωτρήσεις επεξεργάστηκαν με βάση τον τρόπο που αντιμετωπίζονται και οι γεωφυσικές τομογραφίες. Η κατανομή των διαστημάτων μιας παραμέτρου υπολογίζεται με βάση την αναστροφή της μέτρησης, ενώ η σχετική απόσβεση υπολογίζεται με το μέγιστο των μετρήσεων. Η αναστροφή έγινε με λογισμικό που δημιουργήθηκε από την ανάγκη που προέκυψε για αυτόματη επιλογή των μεγίστων και των χρόνων διάδοσης. Ο αλγόριθμος στον οποίο βασίστηκε το λογισμικό αυτό είναι μονής- τιμής αποσύνθεσης (SVD- single value decomposition) της συχνότητας του σήματος και ταυτοποίησης του πρώτου στοιχείου που λαμβάνεται.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν από τις μετρήσεις με τα ακουστικά συστήματα έγιναν για το κάθε σύστημα με διαφορετικό τρόπο και ελήφθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν με το σύστημα Krentz, επεξεργάστηκαν αναστρέφοντας τους χρόνους διάδοσης των κυμάτων στο πέτρωμα(μέσο) και δημιουργώντας έτσι ένα 3D μοντέλο ταχυτητών διάδοσης. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν 3DTOM(U.S. Bureau of Mines, 1995) και η επιλογή του έγινε λόγω της δυνατότητάς του να φέρει εις πέρας τέτοιου είδους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχοντα σε αυτό ομογενή μοντέλα, που του επιτρέπουν να προσομοιώσει το ζητούμενο μοντέλο. Οι μετρήσεις που ελήφθησαν με το σύστημα Pundit, επεξεργάστηκαν με βάση το μέσο χρόνο διάδοσης που μετρήθηκε μεταξύ δύο σημείων και με βάση τον τύπο $V = x/\Delta t$, όπου V είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηχητικού κύματος , x είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και Δt είναι ο χρόνος διάδοσης του

ηχητικού κύματος. Οι διαφοροποιήσεις των μέσων τιμών των ταχυτήτων που εμφανίζονται σε κάθε μπλοκ μπορούν και αποτυπώνονται γραφικά.

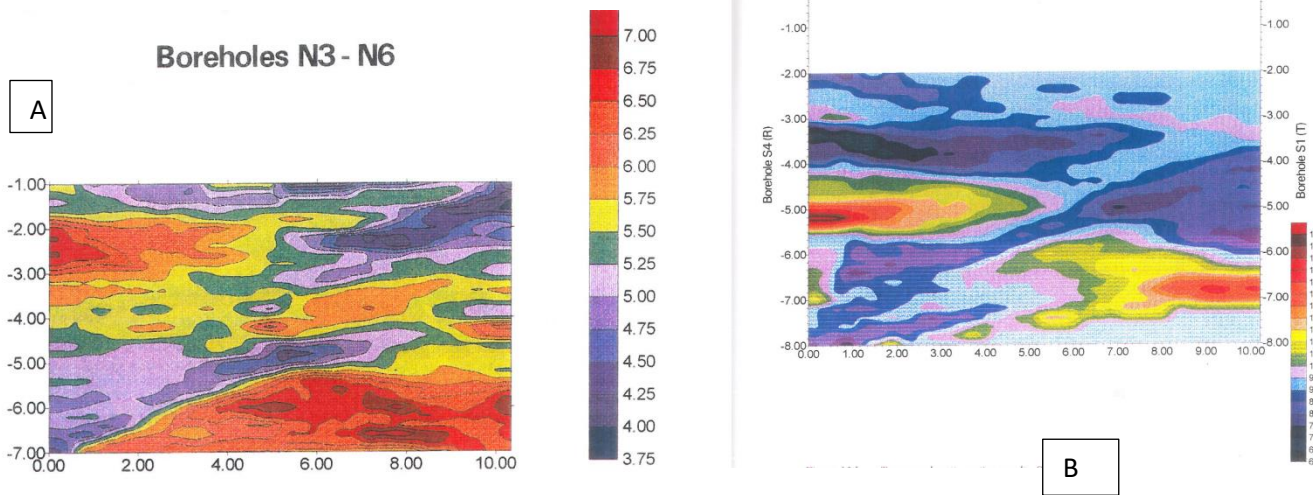
4.2.4 Ανάλυση Δεδομένων

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων και μετά την επεξεργασία η ερμηνεία ήρθε ξεχωριστά για το κάθε προς μελέτη υλικό ξεχωριστά, το μάρμαρο και το γρανίτη.

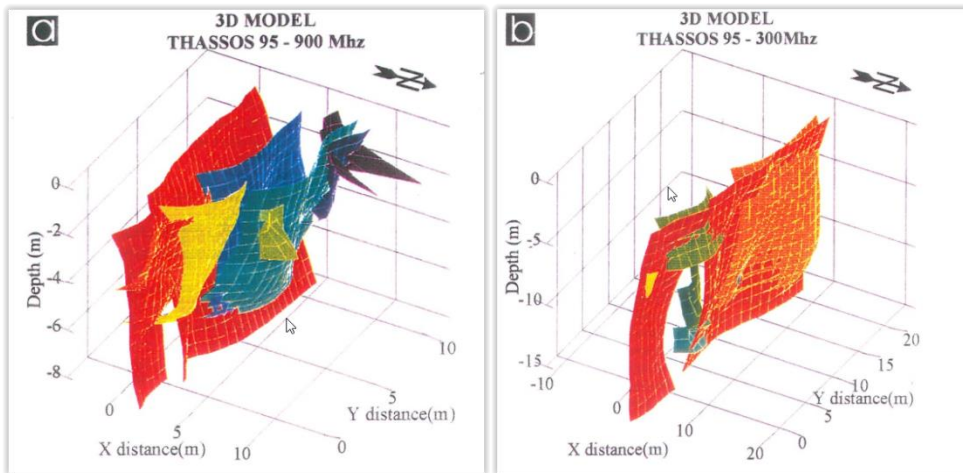
Όσον αφορά το γρανίτη οι ρωγματώσεις που εμφανίζονται σε αυτόν είναι λιγότερες και λιγότερο πολύπλοκες από ότι αυτές που εμφανίζονται στο μάρμαρο. Με την εφαρμογή ηλεκτρικών και ηλεκτρομαγνητικών (EM) γεωφυσικών μεθόδων είναι δυνατή η διασκόπηση εντός του πετρώματος με υψηλή ευκρίνεια μέχρι και σε βάθος 15 m. Με το γεωραντάρ τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και η επεξεργασία των δεδομένων ήταν πιο εύκολη συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά για να υπάρχει πλήρης απεικόνιση και χαρτογράφηση του πετρώματος χρειάζεται η συνδυαστική εφαρμογή του γεωραντάρ με την τομογραφία .

Όσον αφορά το μάρμαρο οι ρωγματώσεις είναι πιο σύνθετες και το πέτρωμα πιο δύσκολο μπορεί να χαρακτηριστεί, ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Το γεωραντάρ έδωσε 1) με κεραία 300 MHz "εικόνα" βάθους μέχρι και 12 m με ανάλυση ρωγματώσεων της τάξης των 10 cm, ενώ 2) με κεραία 900 MHz "εικόνα" βάθους μέχρι και 5 m με ανάλυση ρωγματώσεων της τάξης του 1 cm. Οι λοιπές μετρήσεις με την κεραία υψηλής συχνότητας σε γεωτρήσεις με τη μορφή τομογραφία έδωσαν αποτελέσματα με βάθος διασκόπησης μέχρι τα 20 m και ενόπισαν ρωγματώσεις μέχρι μερικά εκατοστά, βέβαια ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες στην υπόδειξη της κλίσης των ρωγματώσεων.

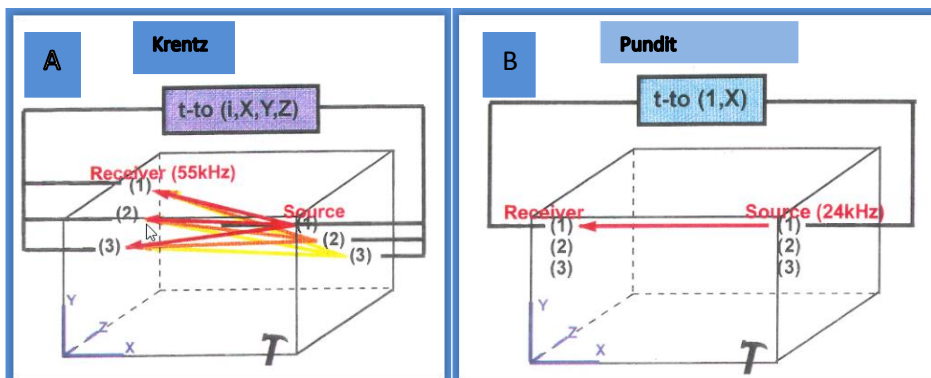
Οι ακουστικές γεωφυσικές μέθοδοι είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, χωρίς να δύναται η χρήση τους σε ευρεία κλίμακα. Συνδυαστικά θα μπορούσαν να συμπληρώσουν κάποια έρευνα. Στο σύστημα Krentz η ανάλυση είναι υψηλότερη, αλλά λόγω του χρονοβόρου της διαδικασίας είναι αδύνατη η χρήση του σε παραγωγικό επίπεδο. Με το σύστημα Pundit μπορούν να εντοπιστούν ανωμαλίες, αλλά όχι η θέση τους εντός του πετρώματος. Επιφανειακές, ανωμαλίες κάτω των 2 mm δεν εντοπίζονται από κανένα σύστημα από τα δύο.



Εικόνα 5.16ttt: Α) Τομογραφία κάθετης πόλωσης , Αποτελέσματα με αποσβέσεις από το λατομείο ΙΚΤΙΝΟΣ της Θάσου, Γεωτρήσεις N3-N6,Μάιος 1995 Β) Τομογραφία κάθετης πόλωσης , Αποτελέσματα με αποσβέσεις από το λατομείο γρανίτη Mannu ,Budduso, Ιταλία, Γεωτρήσεις S1(T)- S4(R), Ιούνιος 1994



Εικόνα 5.17nnn: α) απεικόνιση 3D τομής με βάση τις μετρήσεις του γεωραντάρ,με κεραία 900 MHz β) απεικόνιση 3D τομής με βάση τις μετρήσεις του γεωραντάρ,με κεραία 300 MHz. Και οι δύο τομές αποτελούν μοντέλα από τις μετρήσεις που έγιναν στη Θάσο στην πρώτη το βάθος διασκόπησης είναι μικρότερο, αλλά η ευκρίνεια είναι σαφώς μεγαλύτερη.



Εικόνα 5.18uuu:A) Γραφική απεικόνιση του τρόπου καταγραφής δεδομένων στο σύστημα Krentz,όπου η διαγώνια διάταξη των αισθητήρων προσφέρει το καλύτερο δυνατό συνδυασμό αποτελεσμάτων διάδοσης χρόνου σε καθορισμένο χώρο(X,Y,Z). Β) Γραφική απεικόνιση του τρόπου καταγραφής δεδομένων στο σύστημα Pundit, όπου το κύμα φτάνει από τον πομπό στο δέκτη μόνο κατά μια αξονική φορά (1,X) και έτσι ο χρόνος διάδοσης μετράται.

4.2.5 Συμπεράσματα

Η έρευνα αυτή αποτέλεσε την πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια σύνδεσης της γεωφυσικής με την εξόρυξη διακοσμητικών πετρωμάτων. Με βάση τα αποτελέσματά της είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι η χρήση γεωφυσικών μεθόδων μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στον εντοπισμό ασυνεχειών και ρωγματώσεων στο εκάστοτε πέτρωμα, μεταβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο και τη διαδικασία εξόρυξης, ώστε να βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα.

Οι ηλεκτρικές γεωφυσικές μέθοδοι, όπως και ηλεκτρομαγνητικές γεωφυσικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγική διαδικασία με σχετικά μικρό κόστος, αφού τα όργανα που χρειάζονται για να διεξαχθούν δεν είναι απαγορευτικά ακριβά και η απόκτηση των δεδομένων γίνεται με ευκολία. Η χρήση τους συνιστάται για την αναγνώριση νέων προς εκμετάλλευση περιοχών.

Για τη διαδιάστατη(2D) και την τρισδιάστατη(3D) απεικόνιση των ρωγματώσεων, η χρήση επιφανειακών ραντάρ (γεωραντάρ) και ραντάρ σε γεωτρήσεις. Με αυτές τις Μεθόδους γίνεται δυνατή η αξιολόγηση των προς εκμετάλλευση μετώπων, ακόμα και σε ενεργά μέτωπα στο λατομείο. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων έδειξε τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Οι ακουστικές μέθοδοι παρότι ικανοποιητικά αποδοτικές, για να δώσουν τα αναγκαία αποτελέσματα επιβάλλουν πολύπλοκους υπολογισμούς και πολύπλοκες μετρήσεις, πράγμα που τις καθιστά μη οικονομικά συμφέρουσες.

Κεφάλαιο 5

Γεωφυσική έρευνα στο λατομείο Διονύσου

5.1 Γενικά

Η εταιρία έχει ως πυλώνα της παραγωγικής της διαδικασίας την εξόρυξη του φημισμένου πεντελικού μαρμάρου. Τα κύρια τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής είναι η ύπαρξη ενός αντικλίνου με προσανατολισμό από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά, όπως και το μάρμαρο χαρακτηρίζεται από ρωγματώσεις και ασυνέχειες, που δυσκολεύουν την απόληψή του και μειώνουν την συνολική αποληψιμότητα που εμφανίζει το έργο.

Σκοπός της διεξαχθείσας γεωφυσικής έρευνας είναι η αύξηση και η βελτιστοποίηση της απόληψης και της παραγωγής μαρμάρου, μέσω της ανίχνευσης και του καθορισμού των ρωγματώσεων και των ασυνεχειών, που εμφανίζει το μάρμαρο προτού αυτό αποσπαστεί από το μητρικό πέτρωμα.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι γεωφυσικών διασκοπήσεων:

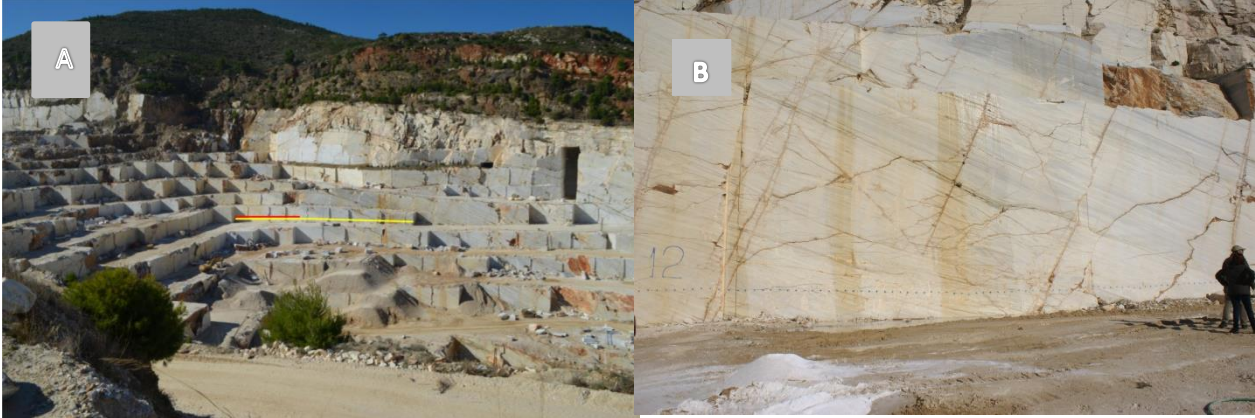
- Κλασσική ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος (EM)
- Γεωραντάρ (GPR)
- Ηλεκτρική μέθοδος με την τεχνική της τομογραφίας (ERT)

Η πρώτη γεωφυσική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ηλεκτρομαγνητική. Στόχος ήταν τόσο η αποτύπωση των ρωγματώσεων και των ασυνεχειών, αλλά και η εύρεση του "καθαρού" μαρμάρου, οι οποίες θα μπορούσαν να ξεχωρίζουν εξαιτίας των διαφορετικών τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Σε συνδυασμό με τις τιμές της inphase συνιστώσας, η οποία μας δίνει τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Η αποτύπωση αυτή έγινε σε βάθη 1,5 και 3m. Στην ουσία αναζητούμε σχετικά «γραμμικές μορφές» ισοκαμπυλών χαμηλής σταθερές χαμηλές αγωγιμότητας αγωγιμότητες οι οποίες σχετίζονται με ελλατώματα στοκαθαρό πέτρωμα ενώ οι υψηλές αγωγιμότητες ή οι εντονα μεταβαλλόμενες σχετίζονται με περιοχές ρωγματώσεων και ασυνεχειών.

Η δεύτερη γεωφυσική μέθοδος που πραγματοποιήθηκε ήταν η γεωηλεκτρική τομογραφία. Μέσω αυτής της μεθόδου προκύπτει διδιάστατη γεωηλεκτρική τομή η οποία αποτυπώνει με μεγάλη λεπτομέρεια το εσωτερικό του πετρώματος και μέσω αυτής μπορούν να εντοπιστούν οι ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά του μελετώμενου μετώπου.

Τέλος έγιναν μετρήσεις με γεωραντάρ. Οι οποίες αποτελούν και την κύρια πηγή πληροφοριών για τα χαρακτηριστικά του μαρμάρου στην παρούσα γεωφυσική έρευνα. Οι μετρήσεις με το γεωραντάρ μας έδωσαν, μέσω ανακλάσεων του ηλεκτρομαγνητικού παραγόμενου κύματος από την κεραία, μια πιο ακριβή απεικόνιση στο πεδίο που έγιναν οι μετρήσεις. Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι 250MHz και 500MHz.

Αρχικά, όλες οι μέθοδοι εφαρμόστηκαν σε ενεργό πατάρι της εταιρείας «Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ – ΠΕΝΤΕΛΗΣ» (ΟΜΙΛΟΣ DIONYSSOMARBLE) στο χώρο της υπαίθριας εξόρυξης στο λατομείο του Διονύσου, με αρχικό στόχο τη βαθμονόμηση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων και έπειτα τη χρήση της πιο αποδοτικής σε χώρο υπόγειας εκμετάλλευσης του μαρμάρου.



Εικόνα 6.1www: Α) Μακρινή απεικόνιση του ερευνητικού πεδίου στο μέτωπο της εξόρυξης. Η κίτρινη γραμμή αποτελεί το όριο των μετρήσεων που ελήφθησαν με το γεωραντάρ και με το ηλεκτρομαγνητικό όργανο (81m) και με την κόκκινη γραμμή έχουμε το όριο των μετρήσεων που ελήφθησαν με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας (περίπου 30m). Β) Κοντινή απεικόνιση του μετώπου του μαρμάρου στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις και βαθμονομήθηκαν τα όργανα. (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016)

5.2 Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο χρησιμοποιήθηκε η χειροκίνητη μέτρηση κατά μήκος συνεχούς γραμμής και παράλληλα του πετρώματος. Με τον τρόπο αυτό είχαμε μια νοητή γραμμή πάνω στην οποία το μηχάνημα έπαιρνε μετρήσεις. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαμορφώσεις του ηλεκτρομαγνητικού οργάνου μετρήσεων, μια για βάθος συνολικής διασκόπησης τα 3m και μία για το 1,5m. Οι μετρήσεις και στις δύο περιπτώσεις έγιναν με βήμα 0,5 m.



Εικόνα 6.2xxx: Μετρήσεις με το ηλεκτρομαγνητικό όργανο στο Λατομείο Διονύσου. Οι μπλε τελείες αποτελούν τη συνεχή γραμμή μετρήσεων με βήμα 0,5m. (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016)

5.2.1 Εξοπλισμός

Χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης αγωγιμότητας της GF Instruments “CMD” με τις δύο διαμορφώσεις του CMD-2 με συνολικό βάθος διασκόπησης τα 3m. Το όργανο μπορεί να συνδεθεί με GPS μέσω του οποίου γίνεται καταγραφή των στοιχείων των γεωγραφικών συντεταγμένων της κάθε θέσης μέτρησης.

Το όργανο αποτελείται από την μονάδα έλεγχου και το σύστημα πομπού δέκτη.

Μονάδα ελέγχου:

- Η Μονάδα έλεγχου Attachable CMD λειτουργεί σε όλους τους τύπους των συστημάτων πομπού δέκτη.

- Χρησιμοποιούνται πέντε τρόποι μέτρησης:
 - Χειροκίνητη μέτρηση: Ο χρήστης ξεκινά τη μέτρηση σε κάθε σημείο πιέζοντας το πλήκτρο. Η θέση του σημείου ενημερώνεται αυτόματα στο προκαθορισμένο δίκτυο ή μπορεί να εισαχθεί απευθείας. Κάθε σημείο μπορεί να μετρηθεί και πάλι ή να παραλειφθεί και να και να ολοκληρωθεί με ένα σχόλιο.
 - Συνεχής μέτρηση: Τα δεδομένα των μετρήσεων αποθηκεύονται συνεχώς στην επιλεγμένη χρονική περίοδο μέτρησης. Οι θέσεις για το προφίλ καθορίζεται από τα σήματα μήκους με συνεχή συνυπολογισμό των θέσεων μεμονωμένων μετρήσεων.
 - Χειροκίνητη μέτρηση GPS: Ο χρήστης ξεκινά τη μέτρηση σε κάθε σημείο πατώντας το πλήκτρο. Η θέση προσδιορίζεται από το δέκτη GPS.
 - Συνεχής μέτρηση GPS: Τα δεδομένα των μετρήσεων αποθηκεύονται συνεχώς στην επιλεγμένη χρονική περίοδο μέτρησης. Η θέση προσδιορίζεται από τον δέκτη GPS.
 - Λειτουργία αναζήτησης: Τα δεδομένα μετρώνται συνεχώς, αλλά δεν σώζονται

Στην συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο τρόπος μέτρησης χειροκίνητη μέτρηση.

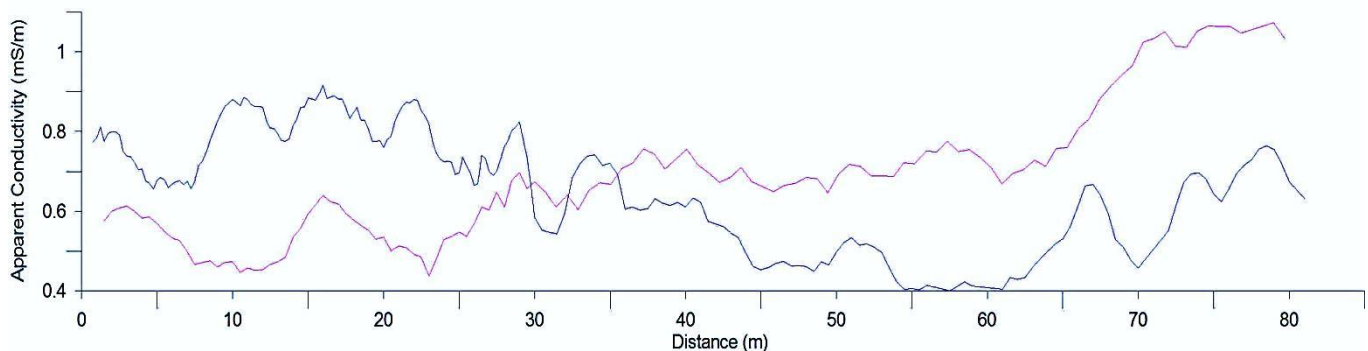
- Εύκολη μεταφορά δεδομένων σε USB.
- Χρόνος μέτρησης: 0,1-20 sec
- Μνήμη δεδομένων (128 MB):
 - Max 64 αρχεία
 - Max 4.8 εκατομμύρια σημεία μετρήσεων
- Οθόνη LCD320x240, με λευκό φωτισμό
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -10°C έως +50°C
- Διαστάσεις: 270x90(145)x60mm
- Βάρος:0,7kg
- Σύστημα πομπού δέκτη
- Μεγέθη που μετρώνται:
 - Ηλεκτρική Αγωγιμότητα
 - Μαγνητική Επιδεκτικότητα
- Ακρίβεια μέτρησης: $\pm 4\%$ σε $50mS/m$

- Μέγιστος ρυθμός δειγματοληψίας: 10 Hz

Τέλος τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα Grapher της Goldensoftware και παρουσιάζονται στην συνέχεια.

5.2.2 Αποτελέσματα Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου

Η εφαρμογή της μεθόδου κατά μήκος μία γραμμής στο μέτωπο εξόρυξης πετρώματος οδηγεί στην αποτύπωση των αποτελεσμάτων σε γραφική παράσταση, όπου στον άξονα y έχουμε την φαινόμενη αγωγιμότητα (apparent conductivity), η οποία μετράται σε mili Siemens/ μέτρο (mS/m) και μετρήθηκε και με τις δυο ρυθμίσεις του μηχανήματος τόσο σε οριζόντια ρύθμιση πηνίου (HCP) και συνολικό βάθος διασκόπησης 3μ όσο και σε κάθετη (VCP) και συνολικό βάθος διασκόπησης 1,5μ, και στον άξονα x την οριζόντια απόσταση, η οποία δίνεται σε μέτρα (m) (Εικ. 6.3).



Εικόνα 6.3γγγ: Γράφημα ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου: γραφική παράσταση της φαινόμενης αγωγιμότητας σε σχέση με την θέση μέτρησης , όπου έχουμε την HCP με μπλε χρώμα και την VCP με κόκκινο χρώμα.

5.2.3 Ερμηνεία αποτελεσμάτων ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου

Το γράφημα (Εικ. 6.3) δείχνει τη συμπεριφορά του μαρμάρου κατα μήκος της γραμμής όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις. Στα σημεία όπου το πέτρωμα είναι ομοιογενές εκεί έχουμε ομαλά κινούμενη γραμμή χωρίς έντονες μεταβολές και χαμηλές τιμές φαινόμενης αγωγιμότητας (HCP, 35-65μ) Στα σημεία, όπου το μάρμαρο εμφανίζει ασυνέχειες ή ρωγματώσεις, έχουμε εντονες ανωμαλίες (0-35μ) και αύξηση στις τιμές της φαινόμενης αγωγιμότητας..

5.3 Ηλεκτρική Μέθοδος

Κατά τη γεωφυσική έρευνα στο λατομείο του Διονύσου χρησιμοποιήθηκε και η γεωφυσική μέθοδος της γεωηλεκτρικής τομογραφίας. Σε μέρος της γραμμής όπου διεξήχθησαν τα ηλεκτρομαγνητικά και οι μετρήσεις με το γεωραντάρ έγινε και η γεωηλεκτρική τομή των ηλεκτρικών. Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την ηλεκτρική τομογραφία είναι η dipole-dipole. Η διάταξη αυτή επιλέχθηκε λόγω της δυνατότητας με αυτή την διάταξη να εντοπίζουμε τις παράπλευρες ανομοιογένειες (περιοχές με κατακεραματισμένο και περιοχές με καθαρό πέτρωμα).

Αρχικά, ο σχεδιασμός είχε γίνει, ώστε τα μεταλλικά ηλεκτρόδια να τοποθετηθούν στο μέτωπο του πετρώματος, παρόλα αυτά και λόγω της μη αποτελεσματικότητας της μεθόδου (μεγάλη αντίσταση επαφής) έγινε επανασχεδιασμός του τρόπου λήψης των δεδομένων. Τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν σε απόσταση 50cm το ένα από το άλλο στη γωνία που σχηματίζει το δάπεδο του παταριού της εξόρυξης με το μέτωπο του μαρμάρου (καλύτερη αντίσταση επαφής). Για την βελτίωση της αντίστασης επαφής στις τρύπες που μπήκαν τα ηλεκτρόδια τις γέμισαμε με ειδικό τζελ.



Εικόνα 6.4zzz: Αρχικός σχεδιασμός του τρόπου απόκτησης των δεδομένων με την ηλεκτρική τομογραφία. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται κάθετα στο μάρμαρο. (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016)

5.3.1 Εξοπλισμός

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης είναι το SYSCALPro της IRIS Instruments.

Πρόκειται για έναν διαβιβαστή ρεύματος, ο οποίος στέλνει ρεύμα στο υπέδαφος μέσω των ηλεκτροδίων ρεύματος και μετράει στην συνέχεια την τάση που αναπτύσσεται στα ηλεκτρόδια δυναμικού. Ο μετρητής SYSCALPro αποτελείται από 10 ταυτόχρονα κανάλια λήψης δεδομένων, είναι 1000V-250W-2.5A. Έχει την δυνατότητα αυτόματου injection ranging και έχει την επιλογή αλλαγής ηλεκτροδίων.

Περιλαμβάνει αρκετές επιλογές δίνοντας τη δυνατότητα εργασίας σε κάθε είδους συνθήκες και πεδία. Δηλαδή έχει την προοπτική για εξερεύνηση υπογείων νερών, για γεωτεχνικές μελέτες των πολιτικών μηχανικών και για διάφορες περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Γενικά Χαρακτηριστικά του μηχανήματος:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως 4000 ηλεκτρόδια
- Διαθέτει μνήμη flashδεδομένων: για πάνω από 21000 αναγνώσεις
- Η τροφοδοσία του γίνεται με δύο εσωτερικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (12V,7.2A), μια προαιρετική εξωτερική μπαταρία 12V μπορεί να συνδεθεί με το τμήμα πομπού
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε καιρό
- Η θήκη του δεν καταστρέφεται ούτε φθείρεται
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -20 έως +70°C
- Διαστάσεις (SYSCAL Pro Switch-48): 31x23x36 cm
- Βάρος (SYSCAL Pro Switch-48): 13kg (IRIS INSTRUMENTS: SYSCAL Pro Manual Guide).

5.3.2 Επεξεργασία Μετρήσεων

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία λήψης των μετρήσεων ακολούθησε η ανάλυση και η επεξεργασία της γεωηλεκτρικής τομής.

Για την ερμηνεία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2dinv (Loke and Barker, 1996). Το πρόγραμμα αυτό μας δίνει την δυνατότητα διάφορων παραμέτρων ερμηνείας. Τα βήματα επεξεργασίας είναι τα παρακάτω:

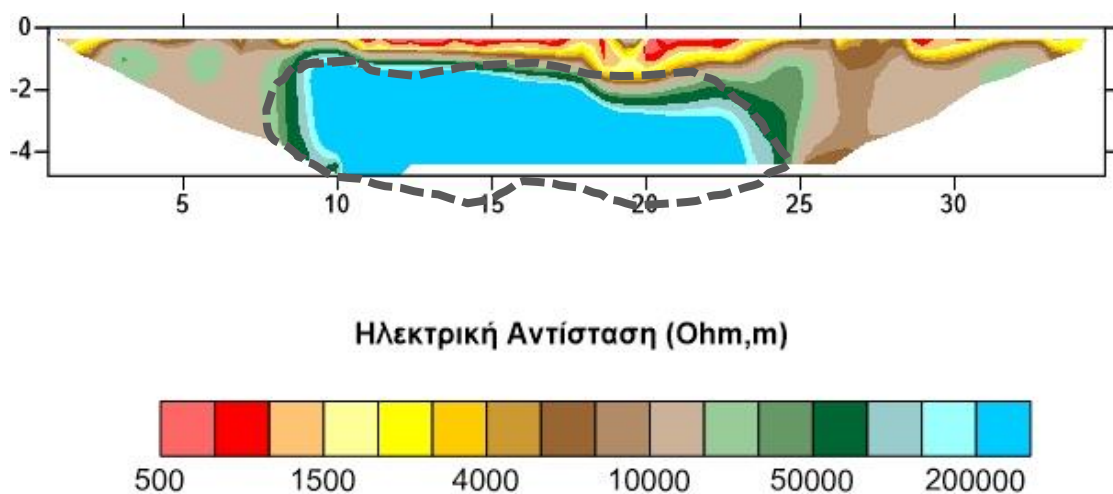
1. Επιλέξαμε την ρύθμιση «use model refinement» ώστε να δημιουργήσουμε μετρήσεις περισσότερες από αυτές που του εισάγονται. Πιο συγκεκριμένα έχει την δυνατότητα να δημιουργεί μετρήσεις με το μισό της απόστασης των ηλεκτροδίων. Έτσι το τελικό μοντέλο στις παράλληλες τομές 0,5m και μπορεί να διακρίνει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το υπέδαφος.

2. Επιλέξαμε για την δημιουργία του μοντέλου κατά την αντιστροφή των μετρήσεων (inversion) μια διαδικασία ερμηνείας:

A) Robust-Robust: Με αυτή την επιλογή έχουμε ερμηνεία μετρήσεων όπου οι παράμετροι του γεωηλεκτρικού μοντέλου μεταβάλλονται δίνοντας έμφαση σε απότομες αλλαγές στις τιμές της ειδικής αντίστασης και στην παρουσία θορύβου στις μετρήσεις.

5.3.3 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Μεθόδου

Γεωηλεκτρική τομή RES



Εικόνα 6.5αααα: Γεωηλεκτρική τομή RES. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με διόρθωση αέρα στις 90°.

6.3.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων Ηλεκτρικής Μεθόδου

Στην επιφάνεια του μαρμάρου έχουμε πολύ χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης, αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της έντονης καταπόνησης κατά την διαδικασία κοπής και το μάρμαρο επιφανειακά είναι ταλαιπωρημένο και έχει ατέλειες. Βαθύτερα υπάρχει περιοχή με πολύ υψηλές ειδικές αντιστάσεις που απεικονίζουν ‘καθαρό’ μάρμαρο όπως και είναι σημειωμένο με διακεκομμένη γραμμή στην γεωηλεκτρική τομή (Εικ. 6.5). Το κομμάτι αυτό του μαρμάρου εντοπίζεται σε βάθος περίπου 1-1,5 μ και φθάνει μέχρι και τα 4μ που έχουμε απεικόνιση μέσω της μεθόδου.



Εικόνα 6.6bbb: Επιφάνεια του μελετώμενου μετώπου μαρμάρου, όπου οι ρωγματώσεις και οι φθορές λόγω της εξόρυξης είναι εμφανείς.(Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016)

5.4 Μέθοδος Γεωραντάρ (GPR- Ground Penetrating Radar)

5.4.1 Εισαγωγή

Οι μετρήσεις που έγιναν με τη μέθοδο του γεωραντάρ έγιναν στην ίδια επιφάνεια και στην ίδια γραμμή με αυτή των ηλεκτρομαγνητικών στο υπαίθριο πατάρι στο λατομείο, και σε ύψος στο μέτωπο περίπου στο 1m. Το μήκος του προφίλ είναι στα 81 m και τα αποτελέσματα θα συγκριθούν και με τα αποτελέσματά των άλλες δυο άλλων μεθόδων και τους. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις κεραίες συχνότητας 250MHz, 500MHz και 800MHz, αλλά τα αποτελέσματα της κεραίας των 800MHz ήταν ιδιαίτερος επιφανειακά και έτσι προτιμήθηκε η μη περαιτέρω χρήση της.

Επειτα μετρήσεις ελήφθησαν και στο υπόγειο εξόρυξης, όπου υπάρχει και το ενδιαφέρον της εταιρείας ως προς το παραγωγικό επίπεδο. Οι μετρήσεις στο υπόγειο εξόρυξης έλαβαν χώρα, αρχικά, στο δάπεδο της εισόδου με κάρναβο μετρήσεων 4 μηκογραμμών 60m και με 2 m απόσταση η κάθε μια. Έπειτα, οι μετρήσεις έλαβαν χώρα κάθετα στο μέτωπο της εξόρυξης σε 4 μηκογραμμές 14m και με απόσταση μεταξύ τους 50cm.



Εικόνα 6.7ccsc: Α) Με μπλε χρώμα γραμμής απεικονίζεται η μηκογραμμή κατά την οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις με το γεωραντάρ στο δάπεδο της εισόδου του υπογείου της εξόρυξης. Β) με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι μηκογραμμές κατά τις οποίες ελήφθησαν οι μετρήσεις στο μέτωπο εξόρυξης του υπογείου.

5.4.2 Εξοπλισμός

Κατά την παρούσα γεωφυσική έρευνα χρησιμοποιήθηκε το επιστημονικό γεωφυσικό σύστημα γεωραντάρ της MALA Geoscience με θωρακισμένες κεραίες. Οι κεραίες συχνότητας που χρησιμοποιήθηκαν είναι 250MHz και 500MHz, οι οποίες λειτούργησαν και ως πηγές, αλλά και ως δέκτες. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου και του εξοπλισμού της είναι η ταχεία περάτωση λήψης μετρήσεων συγκριτικά με άλλες μεθόδους και αυτό συμβαίνει τόσο λόγω της φύσης του εξοπλισμού, αλλά και της δυνατότητας άμεσης σύνδεσης του εξοπλισμού με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή για άμεση ερμηνεία των αποτελεσμάτων, συνθήκη αναγκαία για την εφαρμογή σε παραγωγική διαδικασία.



Εικόνα 6.dddd: Απεικόνιση διάταξης Γεωραντάρ της MALA Geoscience με κεραία 250MHz, όπως χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα γεωφυσική έρευνα (Λατομείο Διονύσου, Ιανουάριος 2016)

5.4.3 Επεξεργασία Μετρήσεων

Μετά την λήψη των δεδομένων, έγινε επεξεργασία τους από τον επιβλέποντα καθηγητή, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα REFLEXW της Sandmeier Scientific Software. Τα στάδια της επεξεργασίας ήταν τα εξής:

1) **Subtract - mean (dewow)**

Το φίλτρο λειτουργεί σε κάθε ίχνος ανεξάρτητα. Με αυτή την επιλογή ενεργοποιημένη η τρέχουσα μέση τιμή του υπολογίζεται για κάθε ξεχωριστή τιμή του κάθε ίχνους. Αυτή η τρέχουσα μέση τιμή αφαιρείται από το κεντρικό σημείο.

Ως παράμετρος του φίλτρου πρέπει να εισάγεται το χρονικό παράθυρο για τον υπολογισμό της τρέχουσας μέσης τιμής.

Αυτό το φίλτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη ενός πιθανού τμήματος χαμηλής συχνότητας (dewow). Για το λόγο αυτό, το χρονικό εύρος παραθύρου θα πρέπει να οριστεί σε περίπου μία κύρια περίοδο χρόνου.

2) **Correct max. Phase**

Το φίλτρο λειτουργεί σε κάθε ίχνος ανεξάρτητα. Το στάδιο επεξεργασίας σωστής μέγιστης φάσης προσφέρει τη δυνατότητα να βρεθεί αυτόματα η φάση του μέγιστου πλάτους ταλάντωσης μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό παράθυρο και να ισιώσει αυτή τη φάση. Αποτελεί μια αυτόματη επαναδειγματοληψία στην κατεύθυνση του χρόνου για κάθε ίχνος που περιλαμβάνεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, ώστε να αυξηθεί η ανάλυση της με τον αυτόματο καθορισμό της φάσης.

Οι παράμετροι του φίλτρου **εκκίνηση παραθύρου(start window)** και **τέλος παραθύρου(end window)** στη δεδομένη διάσταση του χρόνου καθορίζουν το χρονικό

παράθυρο που χρησιμοποιείται για την εύρεση της φάσης που πρόκειται να διορθωθεί. Η επιλογή **πολικότητα(polarity)** καθορίζει την πολικότητα της φάσης. Το πρόγραμμα καθορίζει για κάθε ίχνος το μέγιστο πλάτος που έχει την επιλεγμένη πολικότητα εντός της δεδομένης χρονικής περιόδου(time window).

Η επιλογή αυτή χρησιμοποιείται , για παράδειγμα για μια γρήγορη στατική διόρθωση της πρώτης άφιξης (π.χ. το άμεσο κύμα από την πηγή στον δέκτη), εάν αυτή η φάση δείχνει κάποια ανωμαλίες (π.χ. η εκτροπή ή σκανδάλη διακυμάνσεις) ή για να αλλαχθεί αυτόματα η ώρα έναρξης.

3) Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)

Το φίλτρο λειτουργεί σε κάθε ίχνος ανεξάρτητα. Η επεξεργασία στην κίνηση του χρόνου έναρξης διευκολύνει μια στατική διόρθωση προς την κατεύθυνση του χρόνου από μια δεδομένη τιμή.

4) Energy Decay

Εάν ενεργοποιηθεί, η καμπύλη φθοράς ενέργειας, εφαρμόζεται για την αποτύπωση ενίσχυση των δεδομένων. Με την ενεργοποίηση αυτής της επιλογής μιας καμπύλης στην γ - (χρονικά) κατεύθυνση εφαρμόζεται στο πλήρες προφίλ με βάση τη μέση καμπύλη φθοράς πλάτους.

5) Band pass frequency

Το φίλτρο λειτουργεί σε κάθε ίχνος ανεξάρτητα. Εδώ εφαρμόζεται ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης σε κάθε ίχνος. Το φίλτρο λειτουργεί μέσα στο πεδίο της συχνότητας.

6) Αφαίρεση θορύβων (background removal)

Αυτό το φίλτρο δρα επιλεκτικά σε αριθμό των ιχνών. Το φίλτρο εκτελεί μια διεργασία αφαιρώντας από ένα μέσο ίχνος (traceringe), το οποίο είναι χτισμένο πάνω από τον επιλεγόμενο εύρος χρόνου / απόστασης της ακριβούς ενότητας. Το φίλτρο εκτελεί μια λεγόμενη αφαίρεση θορύβου.

Με αυτή την επιλογή μπορεί να εξαλειφθούν θόρυβοι από το σύνολο του προφίλ και, ως εκ τούτου, ενδεχομένως, να κάνει σήματα ορατά, τα οποία καλύπτονταν από κάποιο θόρυβο. Αυτή η μέθοδος- φίλτρο καταστέλλει επίσης οριζόντια συνεκτική ενέργεια. Μια επιπλέον ενέργεια που γίνεται είναι η άμβλυνση σημάτων τα οποία ποικίλλουν πλευρικά (π.χ. διαθλάσεις).

7) Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening)

Το φίλτρο λειτουργεί σε κάθε ίχνος ξεχωριστά. Το φίλτρο φασματικής λεύκανσης επιτρέπει την αντιστάθμιση για την εξασθένιση της συχνότητας σε συνάρτηση με το χρόνο.

8) Fk migration (Stolt)

Ο στόχος της μετανάστευσης είναι να μεταφέρει την ανάκλαση και την ενέργεια περιθλασης στην θέση τους. Η μετανάστευση είναι ένα από τα πιο σημαντικά φίλτρα. Ένα μηδενικό offset τμήμα συχνά δεν αντιπροσωπεύει την «πραγματική» θέση των ανακλαστών κυρίως για απότομα στρώματα. Μετά τη μετανάστευση συχνά μια καλύτερη

προσέγγιση στην πραγματικότητα είναι δεδομένη. Αν υπάρχουν ισχυρές διαθλάσεις στο μέσο, τότε η μετανάστευση προσπαθεί να συρρικνώσει αυτές τις διαθλάσεις στο ελάχιστο δυνατό

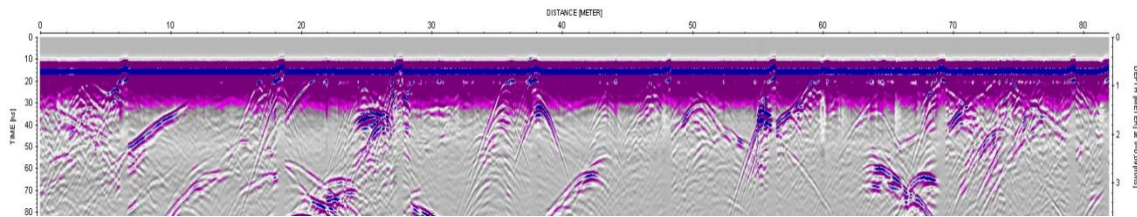
9) **Envelope**

Το στιγμιαίο εύρος ή envelope είναι ένα μέτρο για την ένταση της ανακλαστικότητας, η οποία είναι ανάλογη προς την τετραγωνική ρίζα της πλήρους ενέργειας του σήματος σε μια χρονική στιγμή. Παρέχει μια επισκόπηση της κατανομής ενέργειας των ιχνών και από την άλλη πλευρά, μπορεί να διευκολύνει τον προσδιορισμό του σήματος κατά τις λεγόμενες πρώτες αφίξεις.

5.4.4 Αποτελέσματα μεθόδου Γεωραντάρ

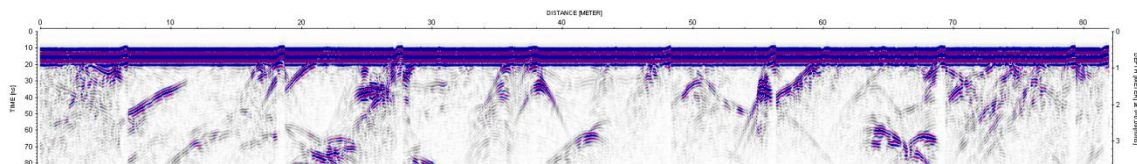
5.4.4.1 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 250MHz στην Υπαίθρια εκμετάλλευση του Λατομείου Διονύσου

0) Αρχική μέτρηση



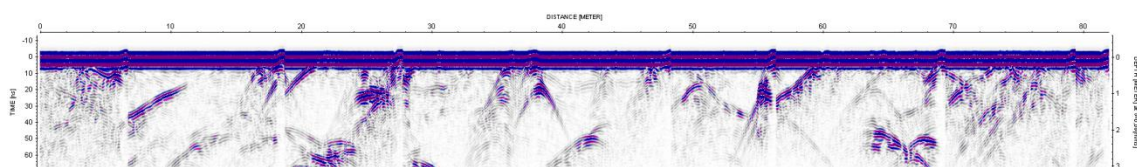
Εικόνα 6.8eeee : Αρχική μέτρηση με την κεραία 250MHz

1) Subtract - mean (dewow)



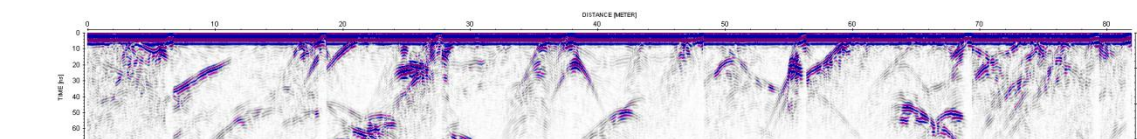
Εικόνα 6.9ffff : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Subtract – mean

2) Correct max. Phase



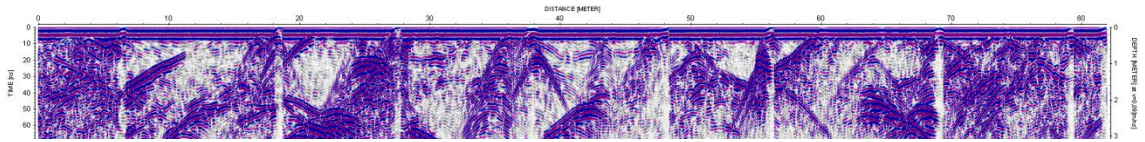
Εικόνα 6.10gggg : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Correct max. Phase

3) Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)



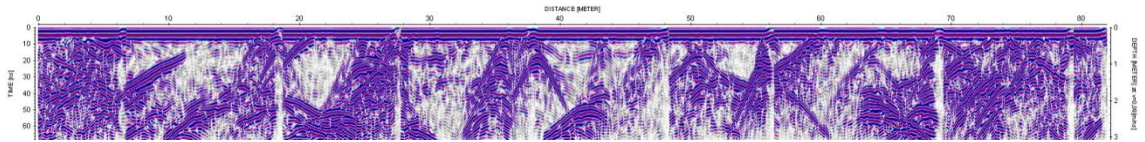
Εικόνα 6.11hhhh : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)

4) Energy Decay



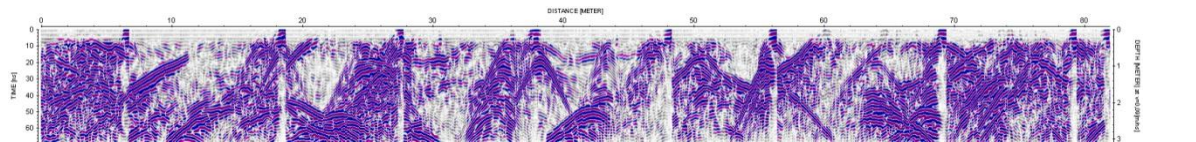
Εικόνα 6.12iiii: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Energy Decay

5) Band pass frequency



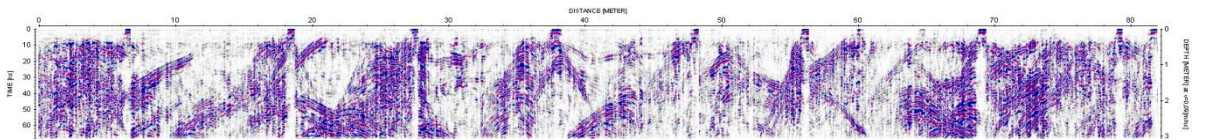
Εικόνα 6.13jjjj: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Band pass frequency

6) Αφαίρεση θορύβων (background removal)



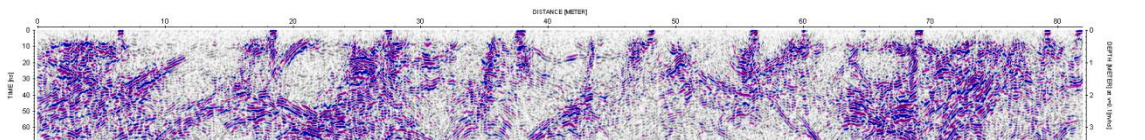
Εικόνα 6.14kkkk: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Αφαίρεση θορύβων (background removal)

7) Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening)



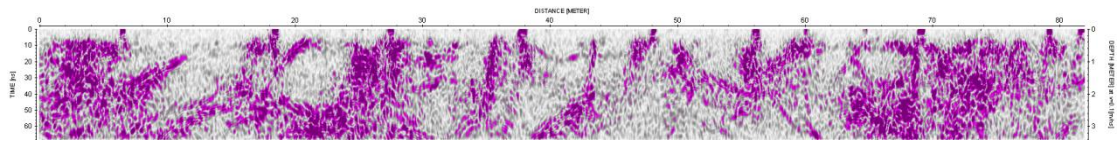
Εικόνα 6.15llll : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening)

8) Fk migration (Stolt)



Εικόνα 6.16mmmm : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Fk migration (Stolt)

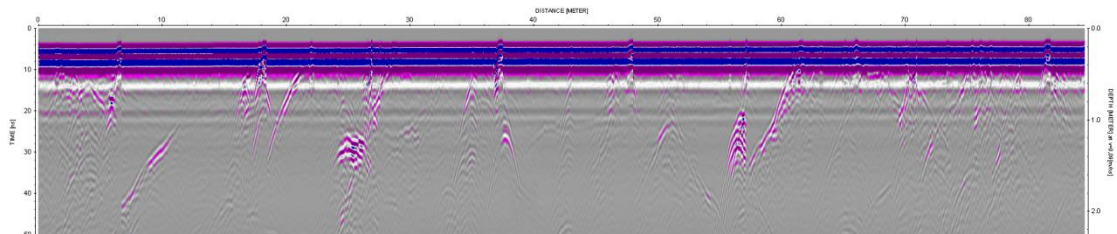
9) Envelope



Εικόνα 6.17ηηηηη : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope

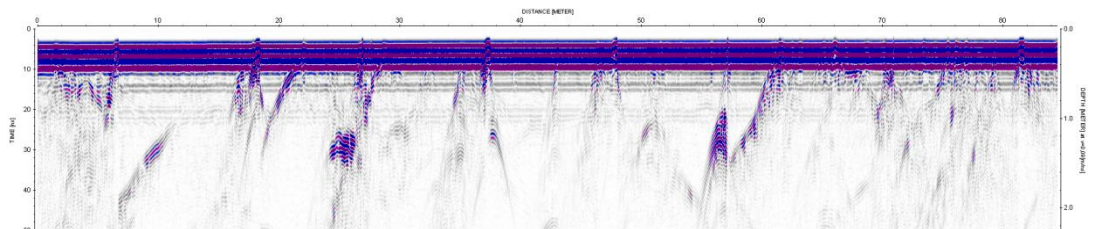
5.4.4.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 500MHz στην Υπαίθρια εκμετάλλευση του Λατομείου Διονύσου

0) Αρχική Μέτρηση



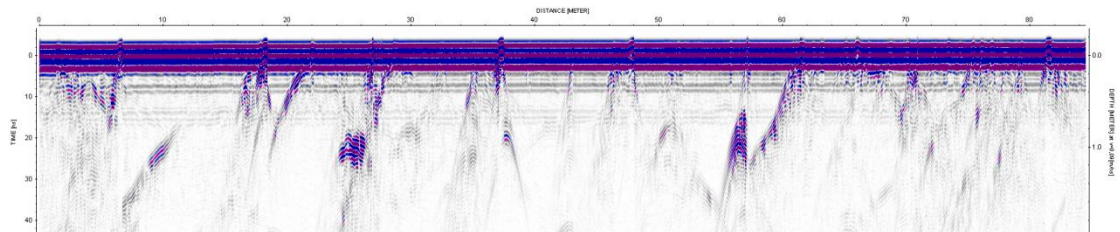
Εικόνα 6.18οοοοο : Αρχική μέτρηση με την κεραία 500MHz

1) Subtract - mean (dewow)



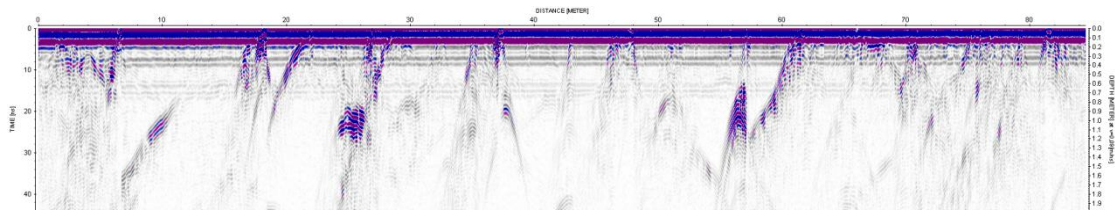
Εικόνα 6.19ρρρρρ : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Subtract – mean

2) Correct max. Phase



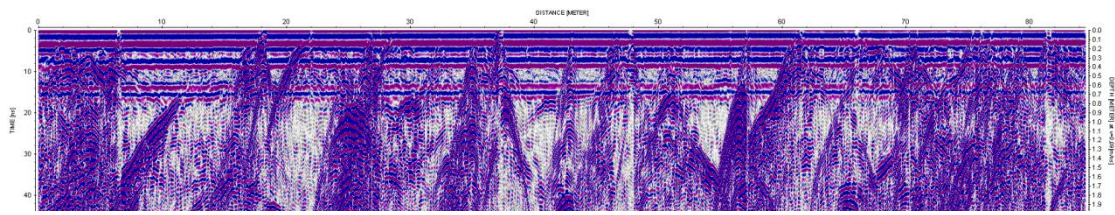
Εικόνα 6.20ααααα : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Correct max. Phase

3) Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)



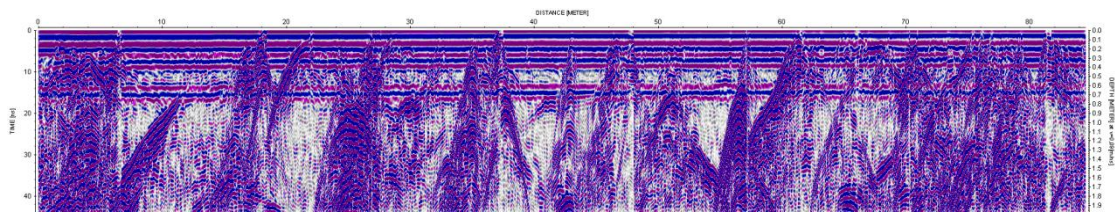
Εικόνα 6.20rrrr: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Κίνηση χρόνου έναρξης (move START TIME)

4) Energy Decay



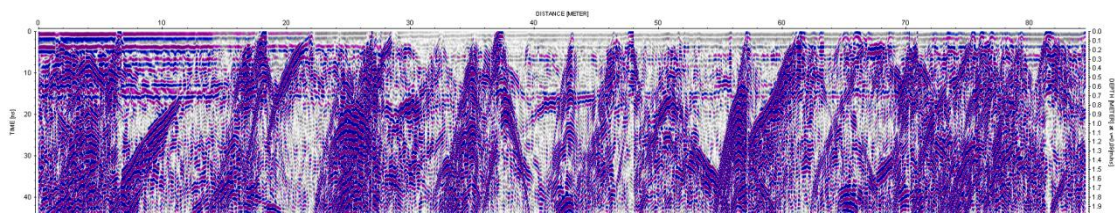
Εικόνα 6.21ssss: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Energy Decay

5) Band pass frequency



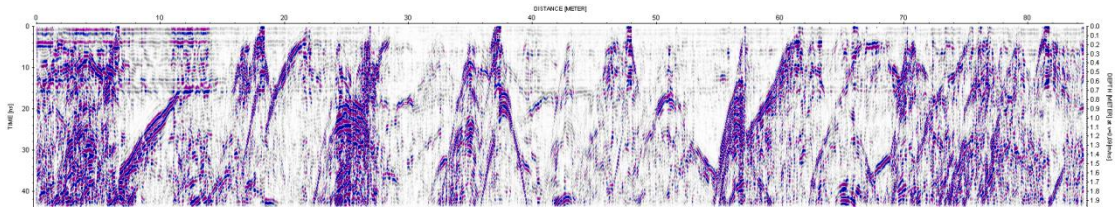
Εικόνα 6.22tttt : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Band pass frequency

6) Αφαίρεση θορύβων (background removal)



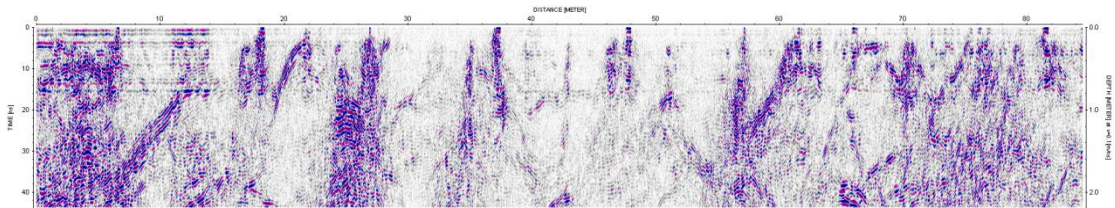
Εικόνα 6.23uuuu : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Αφαίρεση θορύβων (background removal)

7) Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening)



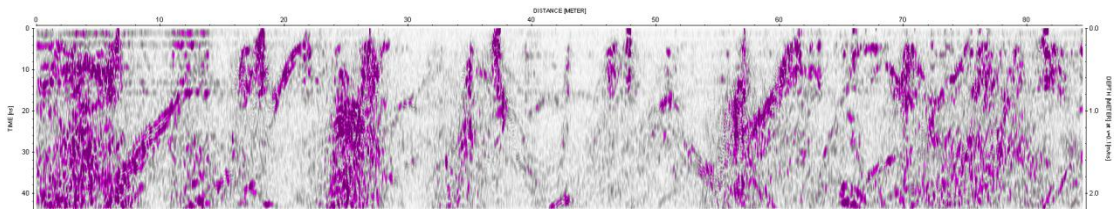
Εικόνα 6.24nnnn: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Φασματική λεύκανση (Spectral Whitening)

8) Fk migration (Stolt)



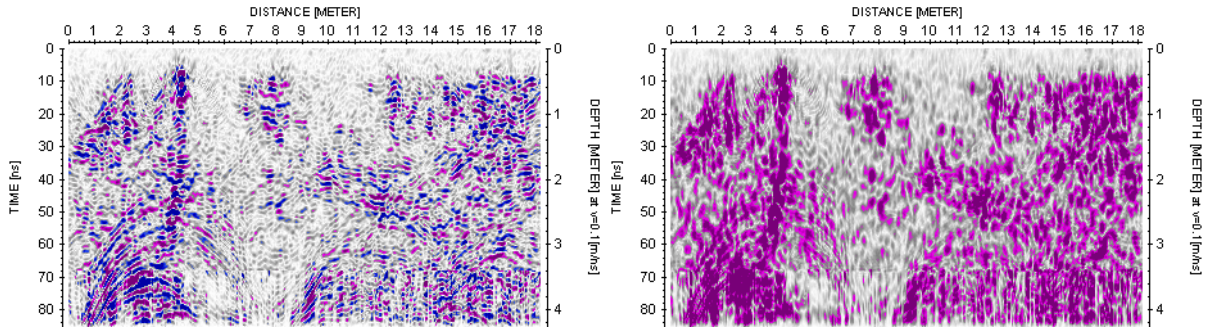
Εικόνα 6.25wwww: : Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Fk migration (Stolt)

9) Envelope

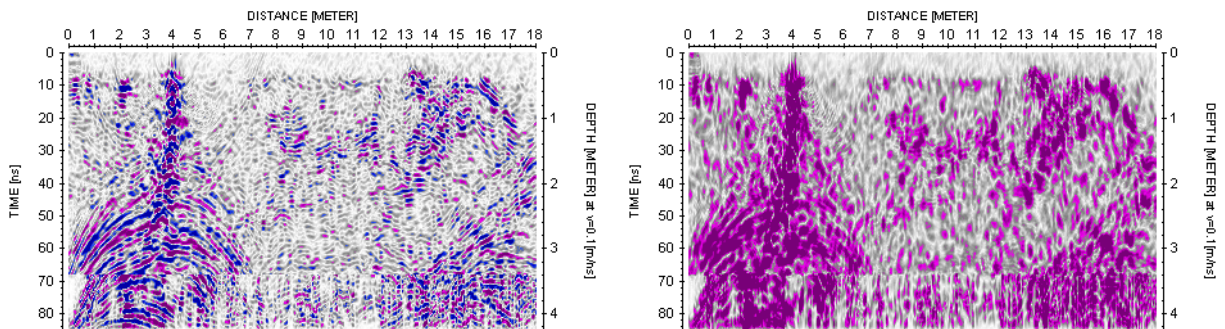


Εικόνα 6.26xxxx: Αποτέλεσμα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope

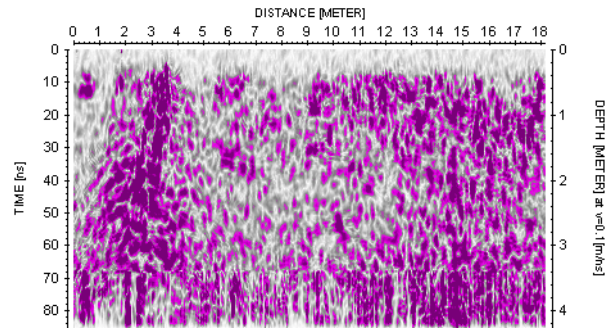
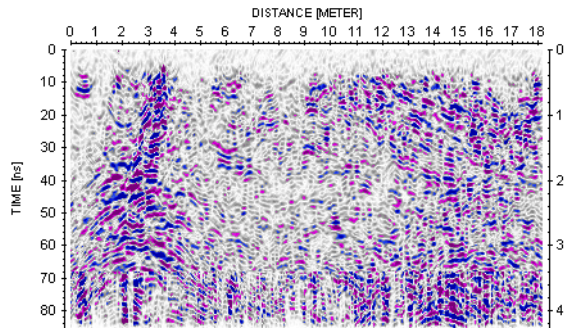
5.4.4.3 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 250MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



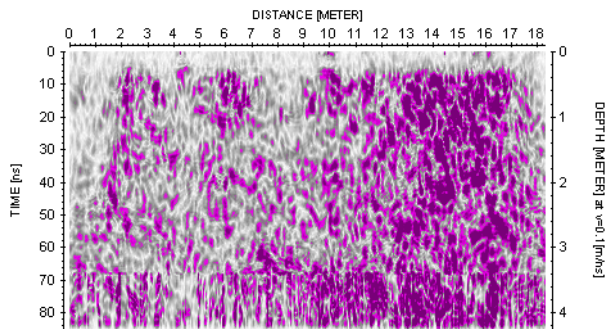
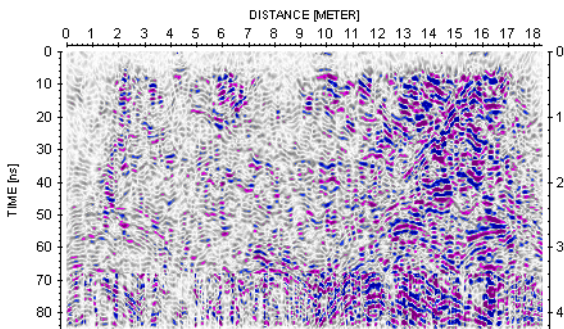
Εικόνα 6.27γγγγ: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.



Εικόνα 6.28zzzz: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 2m από την πρώτη μηκογραμμή.

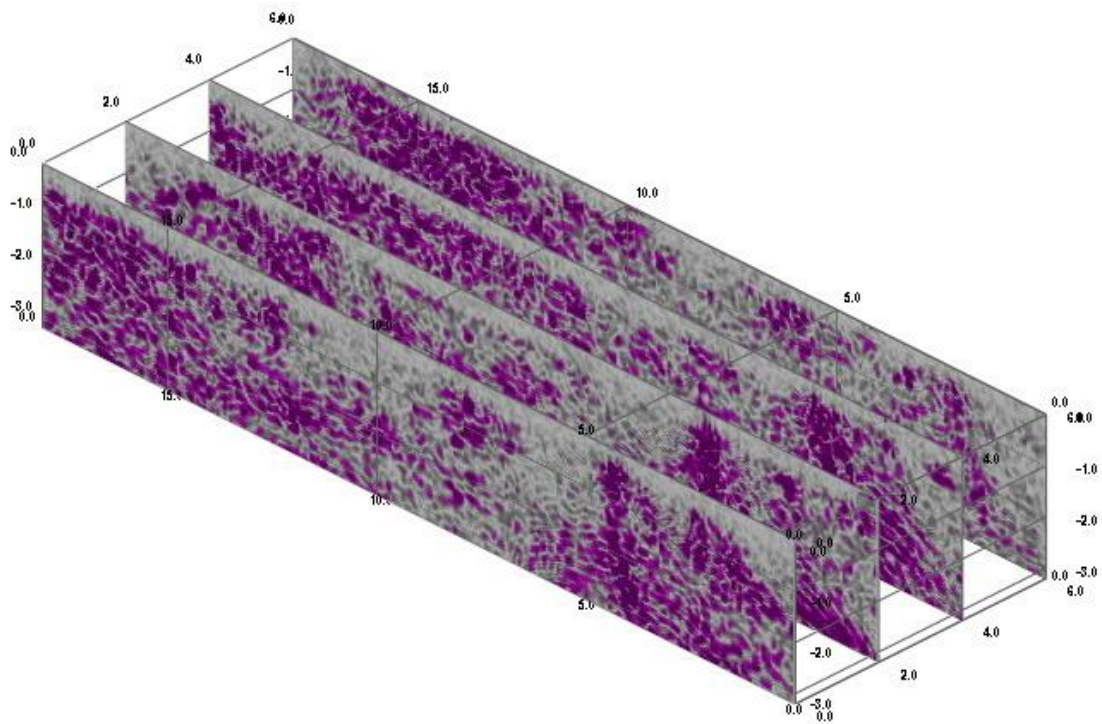


Εικόνα 6.29aaaaa: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 4m από την πρώτη μηκογραμμή.



Εικόνα 6.30bbbbbb: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 6m από την πρώτη μηκογραμμή.

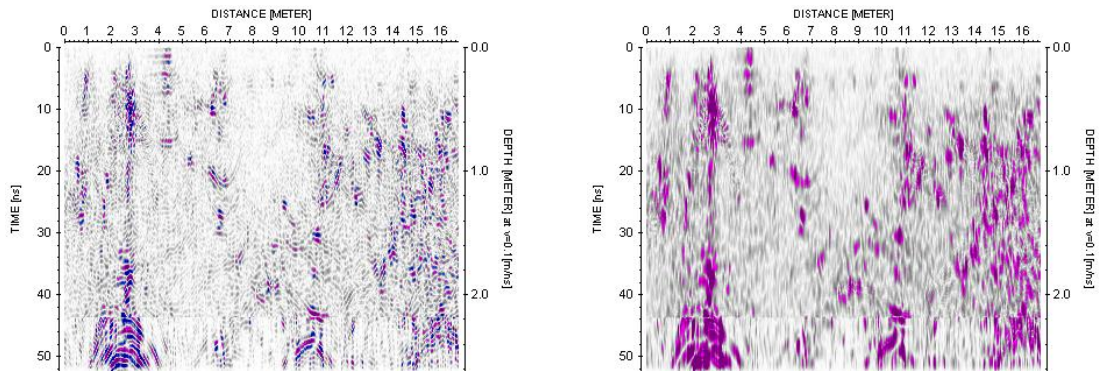
5.4.4.3.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 250MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



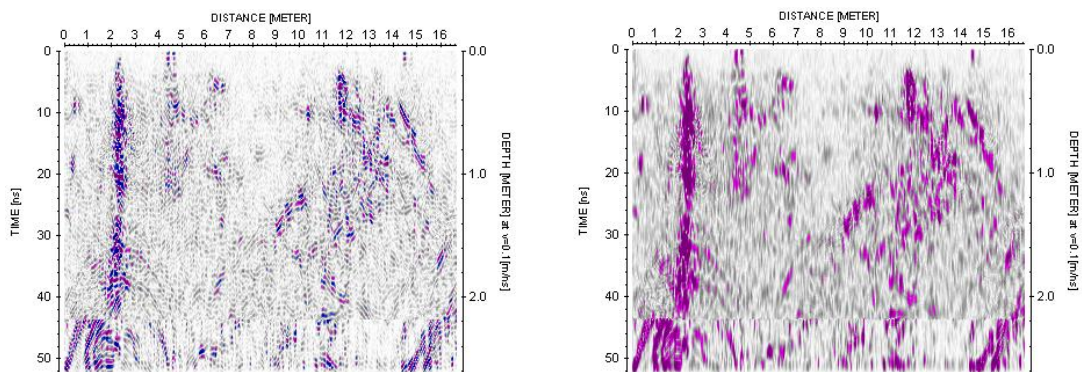
Εικόνα 6.31ccccc: Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 250 MHz στην είσοδο της υπόγειας εκμετάλλευσης

Παρατηρούμε ότι έχουμε έντονα κατακερματισμένο μάρμαρο στις τομές του δαπέδου. Τα γκρι κομμάτια στα ραδογράμματα αποτελούν τα πιο συνεκτικά και καθαρά κομμάτια μαρμάρου, ενώ οι μωβ περιοχές αποτελούν είτε ρωγματώσεις είτε ασυνέχειες.

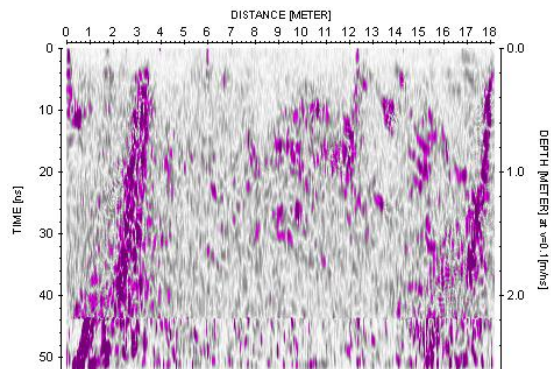
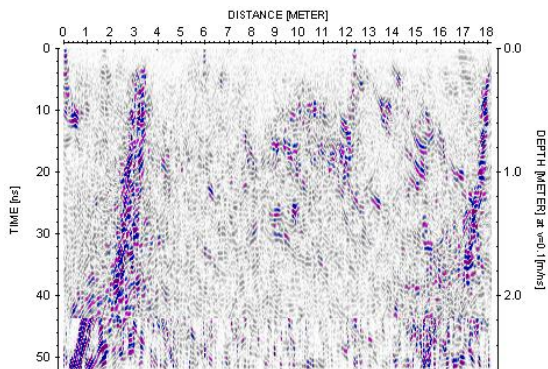
5.4.4.3.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 500MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



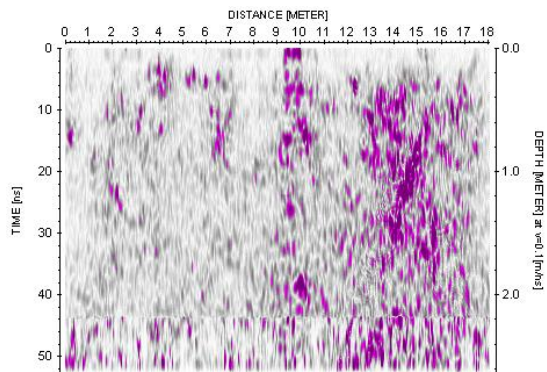
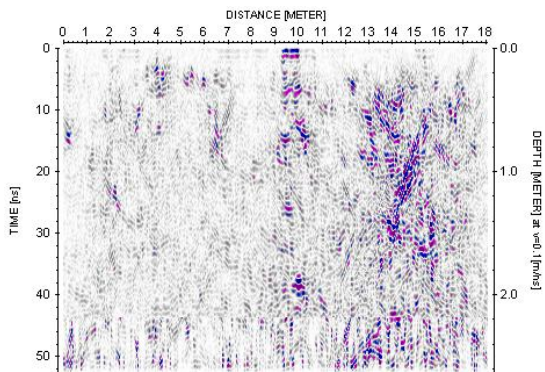
Εικόνα 6.32ddddd: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.



Εικόνα 6.33eeeeee: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 2m από την πρώτη μηκογραμμή.

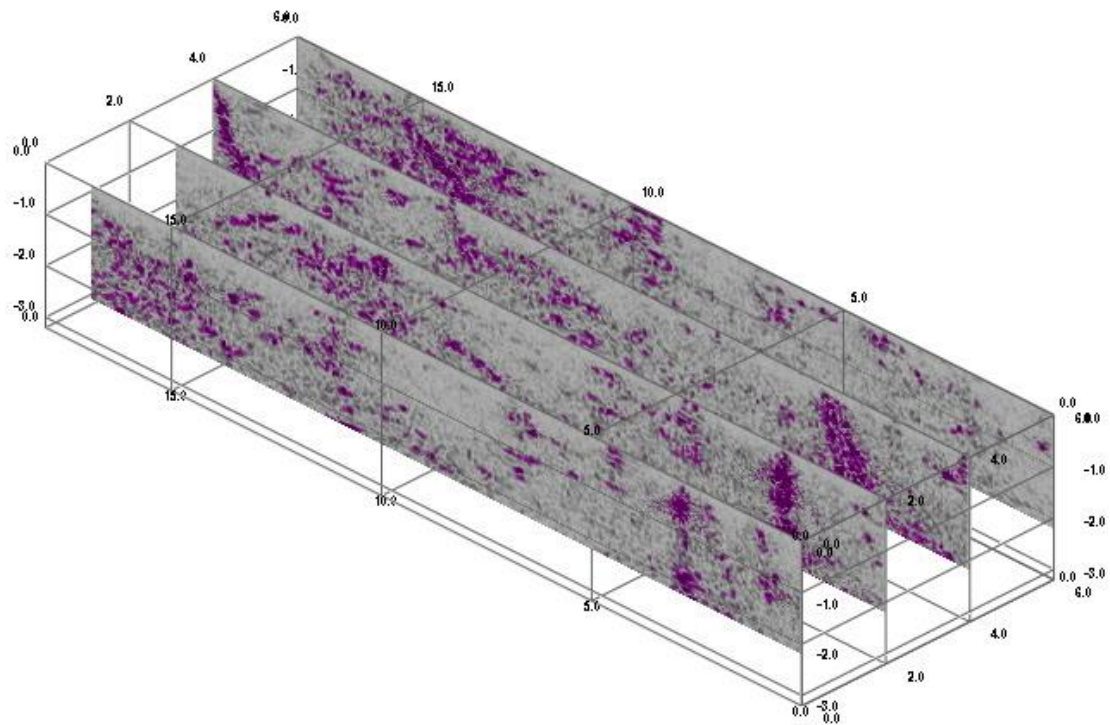


Εικόνα 6.34ggggg: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 4m από την πρώτη μηκογραμμή.



Εικόνα 6.35fffff: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 50MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου και σε απόσταση 6m από την πρώτη μηκογραμμή.

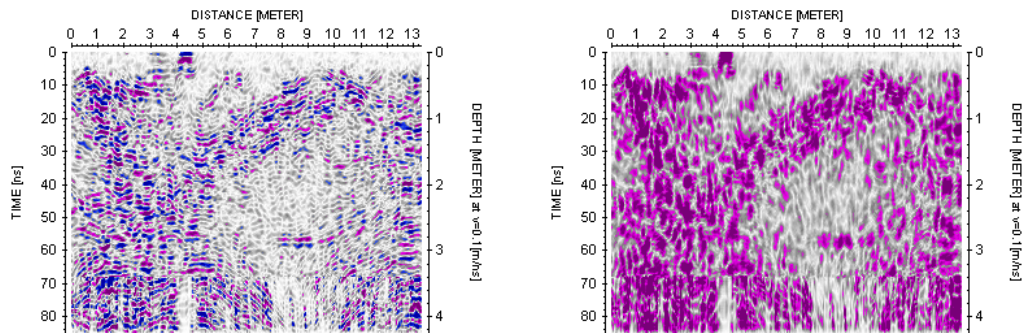
5.4.4.4.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 500MHz στο δάπεδο της εισόδου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



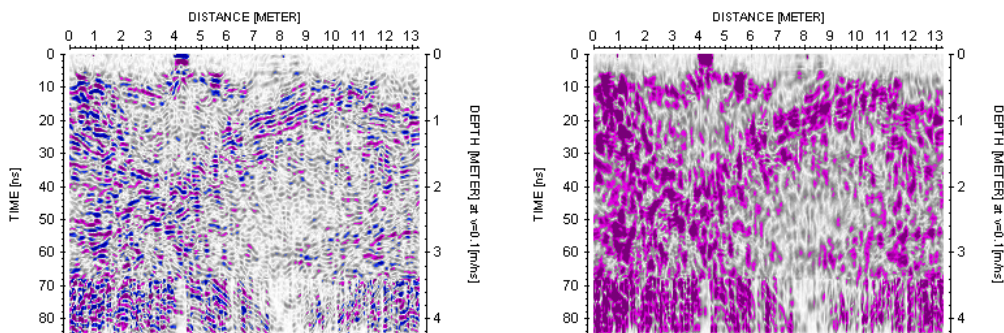
Εικόνα 6.36hhhh: Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 500 MHz στην είσοδο της υπόγειας εκμετάλλευσης

Παρατηρούμε ότι λόγω του βάθους διασκόπησης συγκριτικά με την κεραία των 250MHz το πέτρωμα δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλες ρωγματώσεις και ασυνέχειες. Τα γκρι κομμάτια αποτελούν τα καθαρά κομμάτια μαρμάρου, ενώ οι μωβ περιοχές αποτελούν τυχόν ρωγματώσεις ή ασυνέχειες.

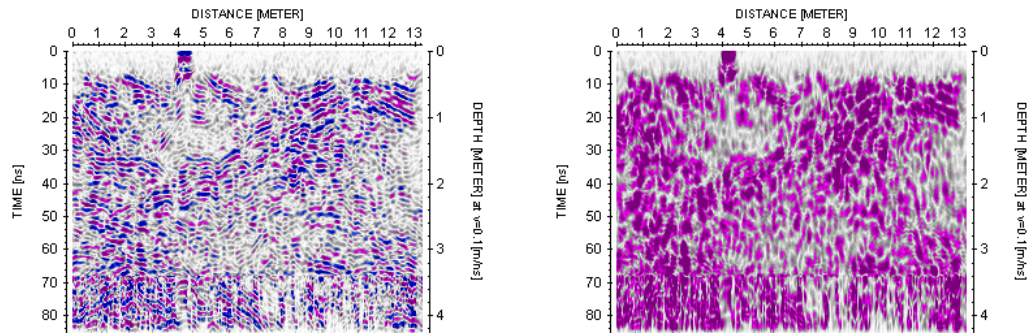
5.4.4.4.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 250MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



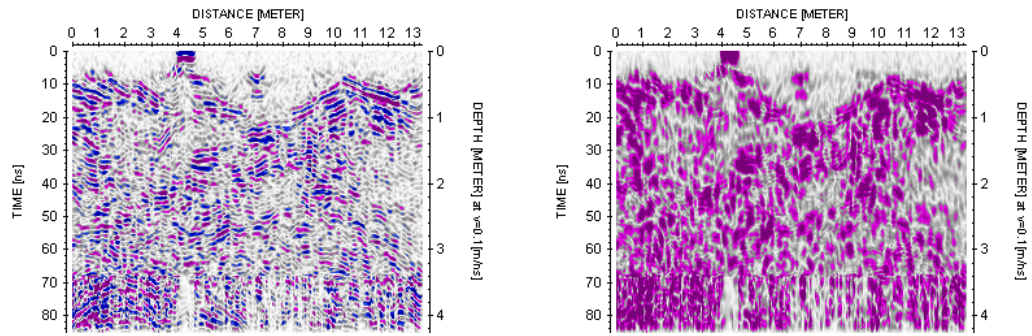
Εικόνα 6.37jjjjj: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή, απόστασης 0,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.



Εικόνα 6.38iiiiii : Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή, απόστασης 1m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.

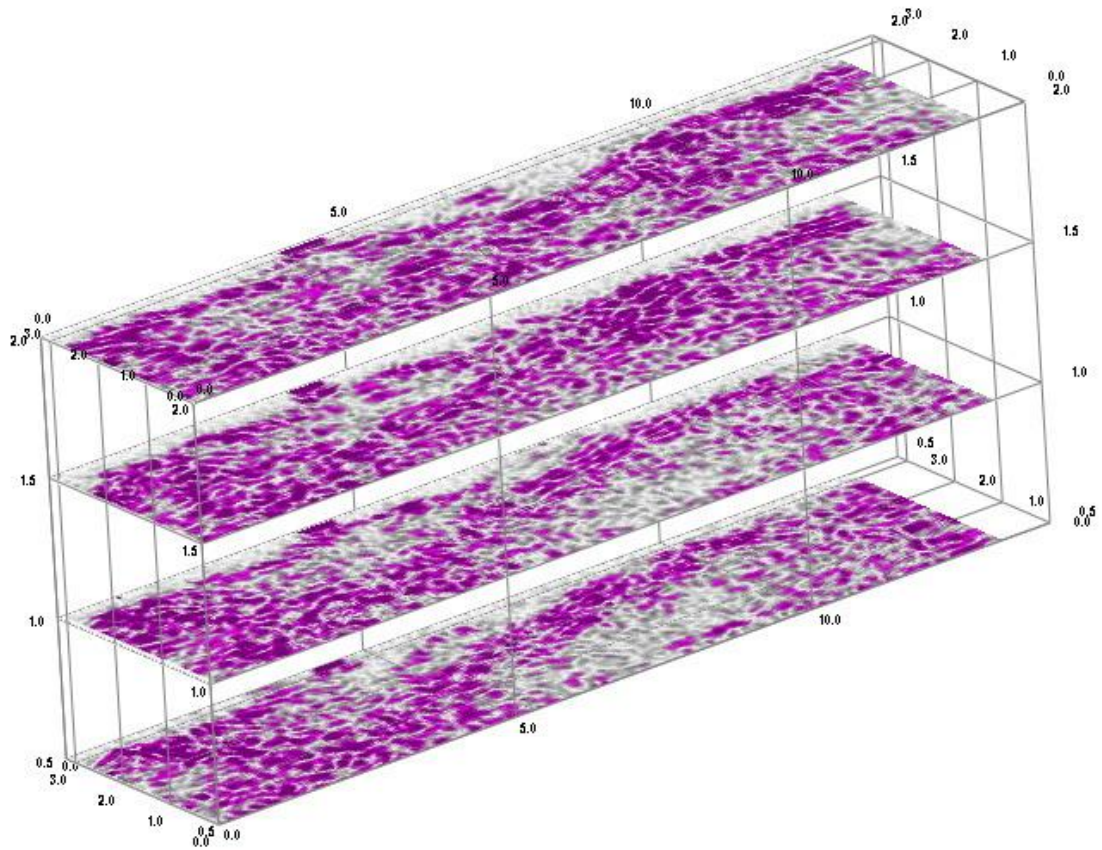


Εικόνα 6.39: : Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή, απόστασης 1,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.



Εικόνα 6.40kkkkk: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 250MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά)κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή, απόστασης 2m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.

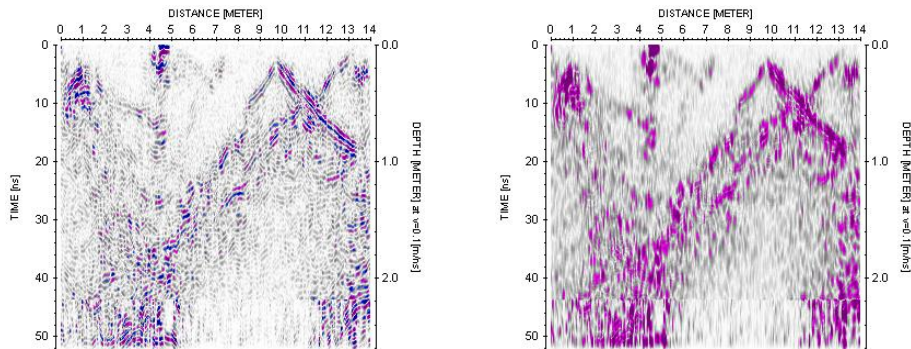
5.4.4.5.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 250MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



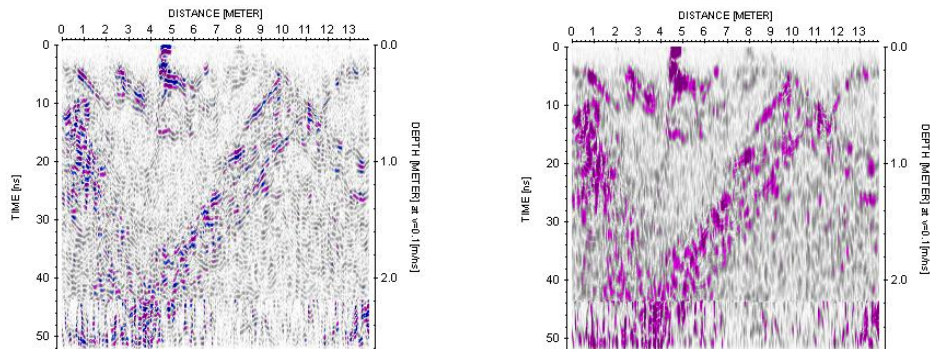
Εικόνα 6.41III: Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 250 MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης

Παρατηρούμε ότι έχουμε έντονα κατακερματισμένο μάρμαρο στις τομές του μετώπου. Μέχρι το βάθος διασκόπησης (3m) εντοπίζονται ελάχιστα κομμάτια καθαρού μαρμάρου. Τα γκρι κομμάτια στα ραδογράμματα αποτελούν τα πιο συνεκτικά και καθαρά κομμάτια μαρμάρου, ενώ οι μωβ περιοχές αποτελούν είτε ρωγματώσεις είτε ασυνέχειες.

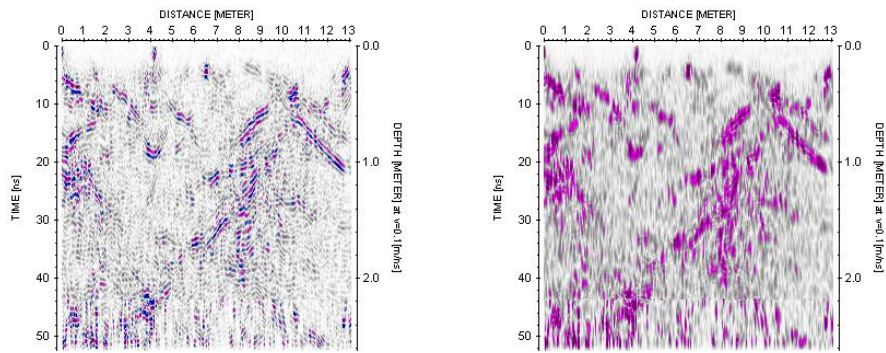
5.4.4.5.2 Αποτελέσματα μεθόδου με Γεωραντάρ με την κεραία συχνότητας 500MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



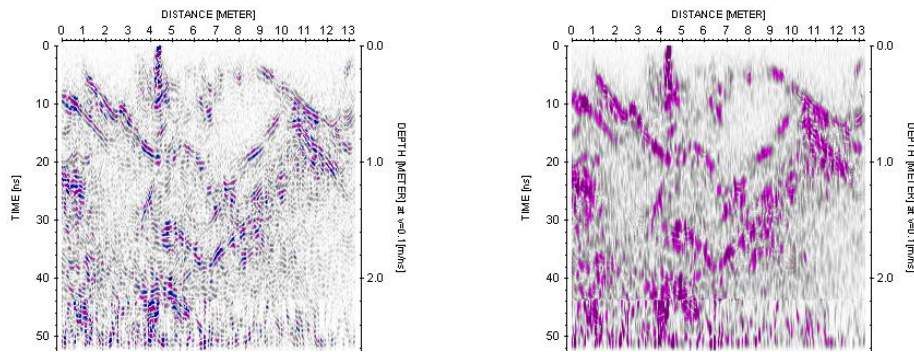
Εικόνα 6.42mmmm: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην πρώτη μηκογραμμή, απόστασης 0,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.



Εικόνα 6.43nnnnn: : Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία μετά και την εφαρμογή του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) και του φίλτρου Envelope (δεξιά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στη δεύτερη μηκογραμμή, απόστασης 1m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.

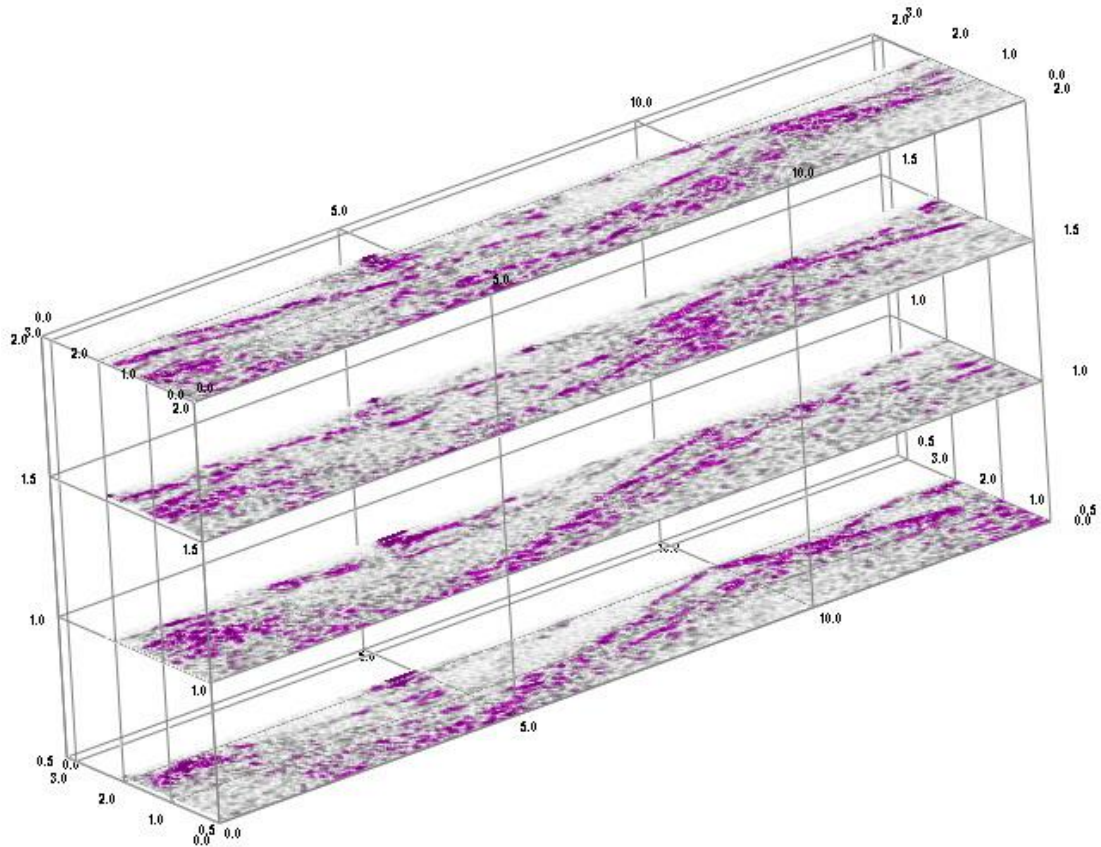


Εικόνα 6.44οοοοο: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope (δεξιά) και του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τρίτη μηκογραμμή, απόστασης 1,5m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.



Εικόνα 6.45ρρρρρ: Αποτελέσματα επεξεργασίας μέτρησης με την κεραία 500MHz μετά την εφαρμογή του φίλτρου Envelope (δεξιά) και του φίλτρου FK Migration Stolt (αριστερά) κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην τέταρτη μηκογραμμή, απόστασης 2m από το δάπεδο της εξόρυξης, του μετώπου της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου.

5.4.4.6.1 Τρισδιάστατη αποτύπωση τομών γεωραντάρ με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με την κεραία συχνότητας 500MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του Λατομείου Διονύσου



Εικόνα 6.46ααααα : Τρισδιάστατη αποτύπωση των γεωφυσικών τομών με βάση τις μετρήσεις με την κεραία 500 MHz στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης

Παρατηρούμε, ότι παρόλο που έχουμε έντονα κατακερματισμένο μάρμαρο, υπάρχουν και επιφανειακά μέχρι το 1,5m κομμάτια μαρμάρου τα οποία είναι σχετικά καθαρά. Τα γκρι κομμάτια στα ραδογράμματα αποτελούν τα πιο συνεκτικά και καθαρά κομμάτια μαρμάρου, ενώ οι μωβ περιοχές αποτελούν είτε ρωγματώσεις είτε ασυνέχειες.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Σχόλια

6.1 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας εξετάστηκαν εναλλακτικές μέθοδοι διερεύνησης της ποιότητας των ογκομαρμάρων με τη βοήθεια γεωφυσικών μεθόδων στην παραγωγική διαδικασία της εξόρυξης ογκομαρμάρου στο λατομείο του Διονύσου και ποια μέθοδος θα απέδιδε τα μέγιστα τόσο με βάση τα αποτελέσματά της όσο και με τη δυνατότητα που αυτή δίνει για τη χρήση της κατά την εκμετάλλευση προκειμένου να υπάρχει καλύτερος σχεδιασμός της κοπής και να αυξηθεί η αποληψιμότητα.

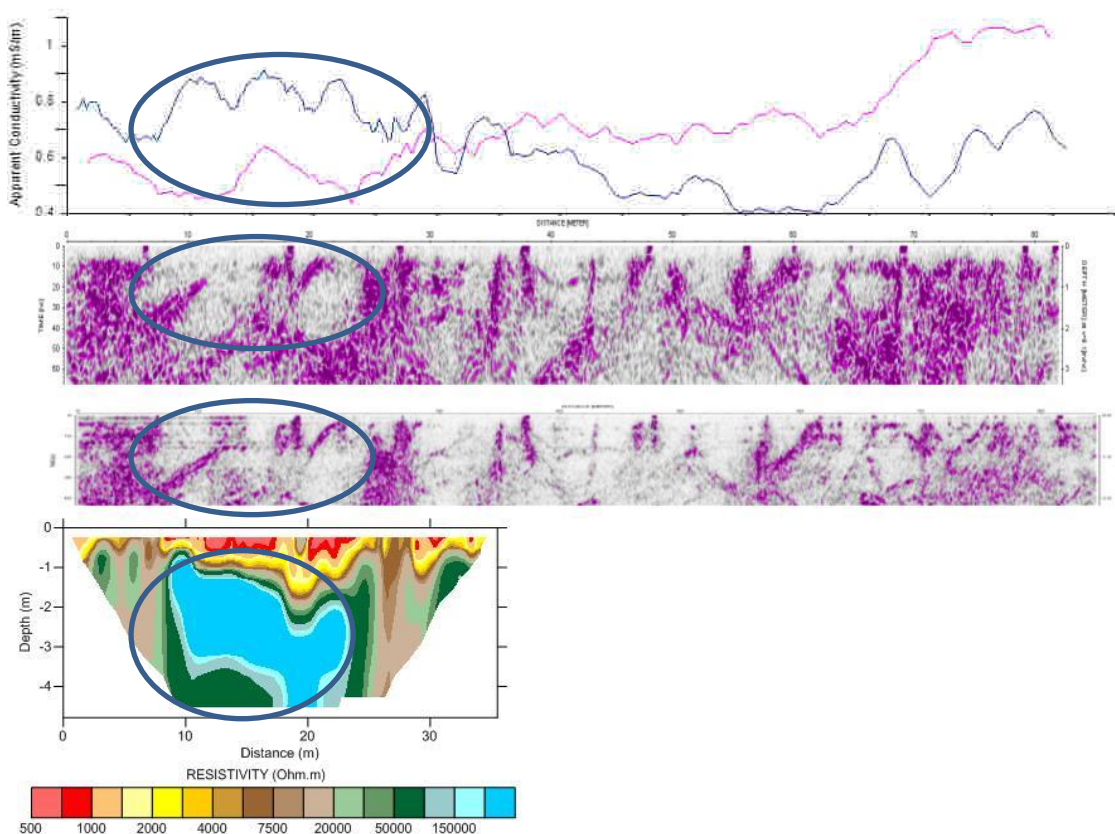
Στο μέτωπο της υπαίθριας εκμετάλλευσης βαθμονομήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν και οι τρεις γεωφυσικές μέθοδοι ηλεκτρομαγνητική, γεωηλεκτρική τομογραφία, γεωραντάρ με σκοπό τη σύγκρισή τους όχι μόνο όσον αφορά τα αποτελέσματα που η κάθε μια εμφανίζει, αλλά και με σκοπό το χαρακτηρισμό τους όσον αφορά την εύκολη χρήση τους και την ταχύτητα λήψης των μετρήσεων, αφού στόχος είναι η εφαρμογή τους στην διαδικασία της εξόρυξης από προσωπικό της εταιρείας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν στην υπαίθρια εκμετάλλευση έδωσαν πληροφορίες και στοιχεία, τα οποία ήταν δυνατόν να ερμηνευθούν σε συσχέτιση το ένα με το άλλο. Στις μετρήσεις με το ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης εμφανίζονται, λόγω της φύσης του πετρώματος, μεγάλες αυξομειώσεις στο γράφημα όπου εντοπίζονται "καθαρά" κομμάτια πετρώματος, ενώ οποιαδήποτε αλλαγή στη σύσταση του πετρώματος εμφανίζεται ως κορυφή και ελάχιστο. Στην γεωηλεκτρική τομογραφία είναι εμφανής η επιφανειακή καταπόνηση λόγω της μεταλλευτικής δραστηριότητας, ενώ με γκρι χρώμα εμφανίζονται ρωγματώσεις που τυχόν υπάρχουν στο πέτρωμα. Υπάρχει ταύτιση στο καθαρό κομμάτι του μαρμάρου, το οποίο και απεικονίζεται με γαλάζιο χρώμα. Στα ραδογράμματα έχουμε σε λευκό φόντο τα καθαρά κομμάτια του πετρώματος, ενώ σε μωβ φόντο τις ατέλειες, που αυτό εμφανίζει. Το βάθος διασκόπησης αλλάζει αναλόγως με την κεραία που χρησιμοποιήθηκε (500MHz- 2m, 250MHz- 4m).

Έπειτα, ελήφθησαν μετρήσεις με Γεωραντάρ στην είσοδο και στο μέτωπο της υπόγειας εκμετάλλευσης του λατομείου στο Διόνυσο προκειμένου να καταλήξουμε στο αν η μέθοδος αυτή από μόνη της μπορεί να δώσει τις απαραίτητες πληροφορίες για να χρησιμοποιηθεί από την εταιρία για το παραγωγικό της έργο.

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα:

- Η μέθοδος που παρουσίασε την μεγαλύτερη επιτυχία στην αποτύπωση των καθαρών κομματιών του μαρμάρου είναι η μέθοδος με Γεωραντάρ.
- Το βάθος διασκόπησης σε όλες τις μεθόδους με βάση τον εξοπλισμό και την διάταξή του δεν ξεπέρασε σε καμία από αυτές τα 4m.

- Η ανάγκη συσχέτισης των αποτελεσμάτων μεταξύ των γεωφυσικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν κρίνεται ως απαραίτητη, για την καλύτερη δυνατή ερμηνεία τους.
- Στην υπόγεια εκμετάλλευση, όπου υπήρξε χρήση μόνο της μεθόδου με το Γεωραντάρ φάνηκε πως ο χαρακτηρισμός και η ικανοποιητική αποτύπωση των προς εξόρυξη όγκων μπορεί να επιτευχθεί και μόνο με τη χρήση αυτής, επιτρέποντας στην εταιρεία να εφαρμόσει την πλέον κατάλληλη τεχνική κοπής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του όγκου.



Εικόνα 7.1: Αποτελέσματα των γεωφυσικών μετρήσεων στο μέτωπο εξόρυξης στην υπαίθρια εκμετάλλευση. Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω : Ηλεκτρομαγνητικό διάγραμμα, ραδόγραμμα γεωραντάρ (250MHz, φίλτρο Envelope), ραδόγραμμα γεωραντάρ (500MHz, φίλτρο Envelope) και γεωηλεκτρική τομή. Ο κύκλος με το μπλε χρώμα απεικονίζει την κοινή περιοχή ύπαρξης καθαρού μαρμάρου.

6.2 Σχόλια

Στη βάση των παραπάνω και με βάση τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας σε σχέση με τους στόχους που θέλαμε να πετύχουμε, αλλά και την εφαρμογή των μεθόδων και την διαδικασία λήψης και επεξεργασίας των δεδομένων προκύπτουν τα παρακάτω σχόλια:

- Σημαντική είναι η εφαρμογή όσο τον δυνατόν περισσότερων γεωφυσικών μεθόδων καθώς η μια μέθοδος έρχεται και επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της επόμενης και συνεπώς παρέχει παραπάνω ασφάλεια στην εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Η επιτυχία της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε αποδεικνύει τη δυνατότητα εφαρμογής των γεωφυσικών μεθόδων στην επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων, βελτιώνοντας το βαθμό απόληψης του κοιτάσματος και επομένως την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης. Κρίσιμη παράμετρο προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η ευκολία χρήσης και το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.
- Η μέθοδος του Γεωραντάρ αποτέλεσε την πιο εύχρηστη και την πιο αξιόπιστη μέθοδο, αφού παρείχε τις απαραίτητες πληροφορίες (ιδανικό βάθος διασκόπησης 2m-500MHz και 4m-250MHz) χωρίς να υπάρχει απαιτούμενος χρόνος λήψης των μετρήσεων εις βάρος της παραγωγικής διαδικασίας και χωρίς την απαίτηση ο χειρισμός να γίνεται από γεωφυσικό. Ο όγκος των εξαρτημάτων και του εξοπλισμού είναι τέτοιος, ώστε να επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη μετακίνησή του στο λατομείο κατά τη διάρκεια της εξόρυξης σε διαφορετικά μέτωπα, προκειμένου να είναι εφικτός ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης. Η οικονομοτεχνική αξιολόγηση εφαρμογής της μεθόδου κρίνεται απαραίτητη σε επόμενο στάδιο, προκειμένου να ενταχθεί στην παραγωγική διαδικασία.

Βιβλιογραφία

CMD. 2013. Electromagnetic Conductivity User Manual. 2013.

E.Everett, Mark. 2013. Near-Surface Applied Geophysics. New York : Gambridge Universtity Press, 2013.

G.Drahor, Mahmut. 2010. A review of integrated geophysical investigations from archaeological and cultural sites under encroaching urbanisation in Izmir, Turkey. Physics and Chemistry of the Earth. 2010, σσ. 1294-1309.

Geophysical characterization of contaminated urban fills. Jean-Philippe Boudreault, Jean-Sebastien Dube, Michel Chouteau ,Thierry Winiarski, Erix Hardy. 2009. 2009, Engineering Geology, σσ. 196-206.

H.N.Ulrichs. 1817. Topography of the harbours and position of the long walls of Athens. London : Stewart and Murray , 1817.

INSTRUMENTS, IRIS. 2003. SYSCAL Pro.Manual Guide. 2003.

Philip Keary, Michael Brooks ,Ian Hill. 2002. An Introduction To Geophysical Eploration. Hong Kong : Blackwell Science Ltd, 2002.

Conti G., Lisanti V., Mannoni T., Montani C., Pinzari M., Ragone M., Ricci A., Semel G., “Marble in the World”, Societa Editrice Apuana, Carrara, Italy, 1st Edition, January 1986.

Γ.Αποστολόπουλος. 2013. Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2013.

Μυρτώ, Παπαδοπούλου. 2015. Γεωφυσική έρευνα στην Μονη Καισαριανής για την επίλυση Γεωτεχνικών προβλημάτων. Αθήνα : Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2015. Διπλωματική Εργασία.

Οι επιπτώσεις της πυκνής χωρικής δειγματοληψίας σε σχέση με τον προσανατολισμό της κεραίας στην απεικόνιση ρωγματώσεων με κεραία 3D σχεδιασμό μετρήσεων GPR . (Λατομείο Madonna della Mazza, Majella, Ιταλία) (Pierpaolo Marchesini and Mark Grasmueck, 2014)

Ανάπτυξη και εφαρμογή σύγχρονων γεωφυσικών τεχνικών (περιλαμβανομένου του ραντάρ) στην εξερεύνηση και εκμετάλλευση διακοσμητικών πετρωμάτων. (Λατομείο Μαμάρου Θάσου, Ελλάδα, λατομείο μαρμάρου Βώλακα, Δράμα, Ελλάδα – Λατομείο Γρανίτη Budduso , Ιταλία) (Π. Κάρμης, J.H. Gourry, G. Grandjean, G. Gazzano, G. Niccolini, M. Voi, G Cherchi, Δ. Γαλανίδης, Δ. Βουγιούκας, Ε. Χαϊδάς, 1996)

KORRES MANOLIS, “From Pentelicon To The Parthenon”, 1994, Athens.

Αποστολίδης Ν.Χ., “Εκμετάλλευση Μαρμάρων”, ΕΜΠ, Αθήνα, 1991.

Korres, M., 1988, The geological factor in ancient Greek architecture, In Proceedings of international symposium “The engineering geology of ancient works, monuments and historical sites. Preservation and protection”, Athens, 19-23 September 1988, Vol. 3:

earthquakes, vibrations and other hazards in relation to the study and the protection of monuments and historical sites (eds. P. Marinos, and G. Koukis), 1779–1783, Balkema, Rotterdam.

ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΕΣ- Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ, Πελεκάση Τερψιχόρη, Αθήνα 2010, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μ.Μ.Μ.

Εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων για τον εντοπισμό ρευστοποιήσεων στη Βασιλική Λεχαιού Κορινθίας, Παπαδόπουλος Αλέξανδρος, . Αθήνα : Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2015. Διπλωματική Εργασία.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΩΣ ΚΙΝΗΤΡΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΓΩΝ , ΓΙΟΥΤΑ-ΜΗΤΡΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, Αθήνα : Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2007. Διπλωματική Εργασία.

Αποτελέσματα Δοκιμών του μαρμάρου της εταιρείας ‘‘Α.Ε.Β.Ε. Λατομείων Μαρμάρου Διονύσου’’, εργαστήριο Λίθος, Ι.Γ.Μ.Ε, αθήνα, 2008

Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων Λατομείου μαρμάρου Διονύσου- Πεντέλης με ενσωμάτωση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων ως σύννοδα έργα- λατομικός χώρος Β, Echmes Ltd., Αθήνα ,2012

Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων Λατομείου μαρμάρου Διονύσου- Πεντέλης με ενσωμάτωση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων ως σύννοδα έργα- λατομικός χώρος Γ, Echmes Ltd., Αθήνα ,2012

Τεχνική Μελέτη Λειτουργίας Λατομικού χώρου Εκμετάλλευσης Μαρμάρου, Αθήνα 1997, ‘‘Α.Ε.Β.Ε. Λατομείων Μαρμάρου Διονύσου’’

Περιγραφή Σύγχρονου τρόπου εξόρυξης, Αθήνα, 2008, ‘‘Α.Ε.Β.Ε. Λατομείων Μαρμάρου Διονύσου’’

Γεωφυσική έρευνα στον Πειραιά για τον εντοπισμό στρωματογραφίας και πιθανών ανθρωπογενών δομών, Αθήνα : Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2016. Διπλωματική Εργασία.

Σχεδιασμός Υπαίθριων εκμεταλλεύσεων- σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2010, εκδόσεις Ε.Μ.Π., Μαρία Μενεγάκη