

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:
**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ
(ΝΟΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ)**
ΦΟΙΤΗΤΕΣ:
ΜΑΡΚΟΥΛΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΑΕΜ: 3882
ΣΑΚΑΛΗ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ ΑΕΜ: 4351

Επιβλέπων καθηγητής:
Βαργεμέζης Γεώργιος
Επίκουρος καθηγητής
ΑΠΘ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2011



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ



1. Εισαγωγή σ.4
2. Γεωγραφία περιοχής σ.4
3. Γεωλογία περιοχής
 - 3.1. Γεωτεκτονική θέση και παλαιογεωγραφία σ.5
 - 3.2. Λιθοστρωματογραφία και Τεκτονική σ.6
4. Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
 - 4.1. Εισαγωγή στη μέθοδο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σ.10
 - 4.2. Βασικές αρχές μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σ.10
5. Βυθοσκοπίσεις
 - 5.1. Εισαγωγή για τις βυθοσκοπίσεις σ.11
 - 5.2. Μετρήσεις πεδίου-υπαίθρου σ.13
 - 5.3. Ερμηνεία Βυθοσκοπήσεων σ.13
6. Μετρήσεις υπαίθρου-ερμηνεία
 - 6.1. Χάρτες θέσεων βυθοσκοπήσεων σ.17
 - 6.2. Διαδικασία μετρήσεων υπαίθρου σ.18
 - 6.3. Χαρακτηριστικά μετρήσεων σ.20
7. Δισδιάστατη τομή και ψευδοτομή βυθοσκοπήσεων σ.24
8. Μέθοδος επαγώμενης πολικότητας σ.25
9. Συμπεράσματα προτάσεις σ.29
10. Βιβλιογραφία σ.30

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του τμήματος Γεωλογίας από τους φοιτητές Σακαλή Μαργαρίτα και Μαρκούλα Χαράλαμπο υπό την εποπτεία του επίκουρου καθηγητή του τομέα Γεωφυσικής Γιώργου Βαργεμέζη.

Διεξήχθη στην περιοχή Αργυρούπολη του Νομού Κιλκίς με αντικείμενο μελέτης τον καθορισμό της δομής του υποβάθρου με τη χρήση Ηλεκτρικών Μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης και τον εντοπισμό πιθανών υδροφόρων στρωμάτων.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν βυθοσκοπήσεις και μετρήσεις επαγόμενης πόλωσης στην περιοχή της Αργυρούπολης. Τα γεωφυσικά δεδομένα αναλύθηκαν με τη χρήση του ειδικού λογισμικού IP2WIN. Συνδυάζοντας γεωφυσικά και γεωλογικά δεδομένα πραγματοποιήθηκε απόδοση της δομής των στρωμάτων της περιοχής και προτάθηκαν πιθανές θέσεις γεωτρήσεων.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Αργυρούπολη του Νομού Κιλκίς. Ο οικισμός βρίσκεται σε απόσταση 1,7 km από την πόλη του Κιλκίς.



Εικόνα 1: Δορυφορική φωτογραφία ευρύτερης περιοχής

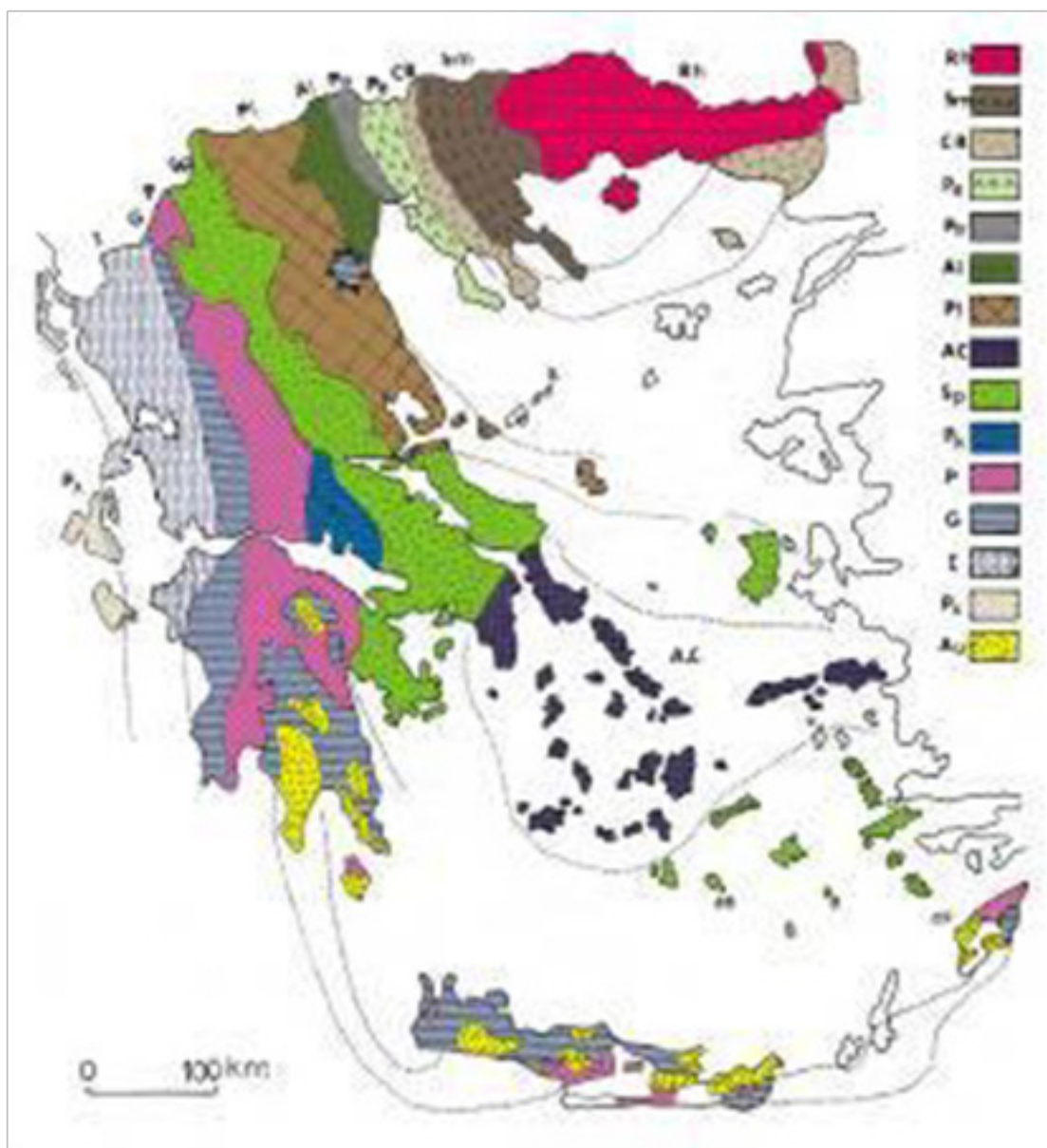
Η Αργυρούπολη βρίσκεται σε μέσο υψόμετρο 215m και περιβάλλεται από χαμηλό ορεινό ανάγλυφο με μικρή κλίση.

Υδρολογικά εντάσσεται στην πλούσια σε υδατικούς πόρους λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού που ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της κεντρικής Μακεδονίας .

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.1.Γεωτεκτονική θέση και παλαιογεωγραφία

Γεωλογικά η ευρύτερη περιοχή του Κιλκίς εντάσσεται στη γεωτεκτονική ζώνη της Περιροδοπικής. Σημαντικές όμως, είναι και οι εμφανίσεις ομάδων πετρωμάτων που εντάσσονται στην ενότητα της Παιονίας της γεωτεκτονικής ζώνης του Αξιού. Σημειώνεται ότι η διάκριση του ορίου μεταξύ της Περιροδοπικής και της ενότητας της Παιονίας είναι δύσκολη και είναι πιθανό ότι Παιονία και Περιροδοπική αποτελούν ουσιαστικά την ίδια ζώνη και γι αυτό δεν μπορεί να βρεθεί όριο στα πετρώματα της.



Εικόνα 2: Γεωτεκτονικές ζώνες του ελλαδικού χώρου

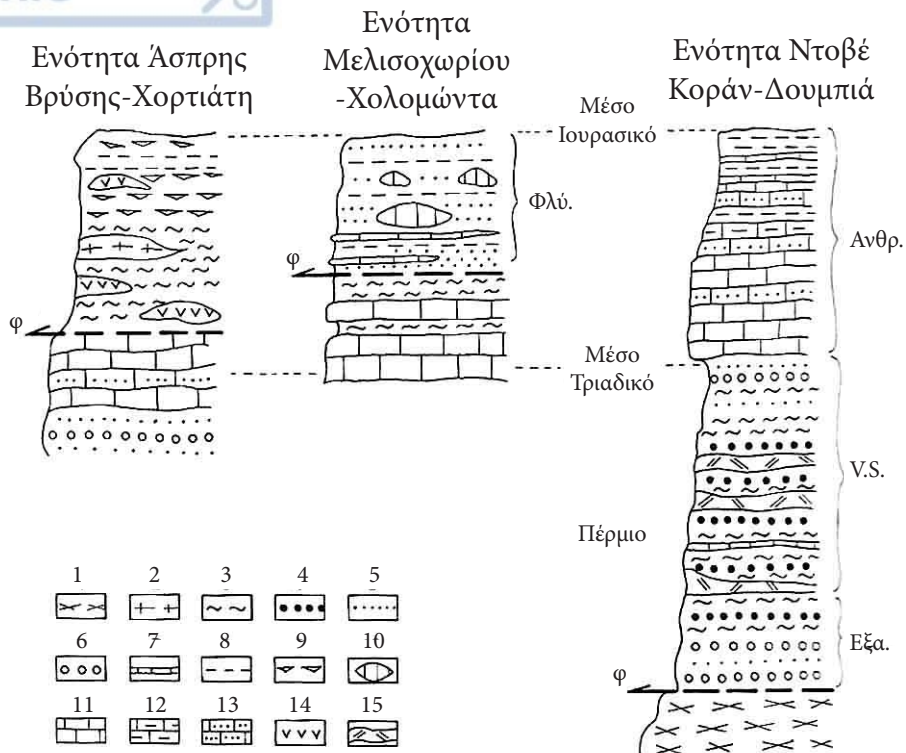
Η κύρια παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιοδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας, η οποία κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας. Αυτή η βαθιά αύλακα ήταν η θέση βύθισης, subduction, της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης του Αξιού κάτω από την Ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα το περιθώριο της οποίας αποτελούσαν οι μάζες της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής. Η ζώνη της Παιονίας αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Οι δύο ζώνες αναδύθηκαν οριστικά κατά την τελική ορογενετική διεργασία των Ελληνίδων που τοποθετείται στο τέλος Κρητιδικού αρχές Παλαιοκαίνου.

3.2. Λιθοστρωματογραφία και Τεκτονική

Το γεγονός ότι η περιοχή βρίσκεται μεταξύ των ζωνών Παιονίας και Περιοδοπικής δικαιολογεί την εμφάνιση πετρωμάτων διαφορετικής προέλευσης. Συγκεκριμένα εντοπίζονται ιζηματογενή και μεταϊζηματογενή πετρώματα των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης καθώς και της υποζώνης της Παιονίας, τμήματα από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής ζώνης και Τριτογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το ενδιαφέρον μας εστιάζεται κυρίως στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις καθώς η περιοχή μελέτης βρίσκεται πάνω σε αυτές.



Χάρτης 1: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής



Εικόνα 3: Στρωματογραφικές στήλες της περιοχής

Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης.

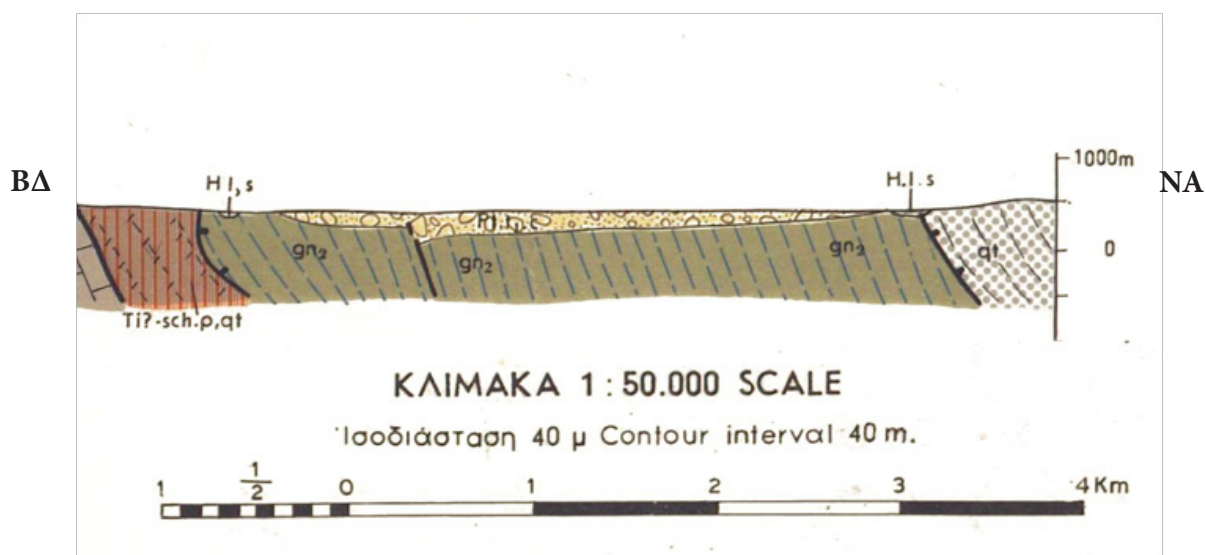
1: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής. 2: πράσινοι γνεύσιλοι της Θεσσαλονίκης. 3: σχιστόλιθοι και φυλλίτες. 4: πυροκλαστικά υλικά. 5: μεταψαμμίτες, χαλαζίτες. 6: μετα-κροκαλοπαγή. 7: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι. 8: αργιλικοί σχιστόλιθοι και μάργες. 9: κερατόλιθοι. 10: ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων. 11: ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα. 12: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. 13: ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι. 14: οφειολιθικά πετρώματα. 15: ηφαιστειακά υλικά (σχιστοποιημένοι ρυόλιθοι, πορφυροειδή).

φ: τεκτονική επαφή. Εξα: σχηματισμός Εξαμιλίου. V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά.

Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά. Φλύ: φλύσχης.

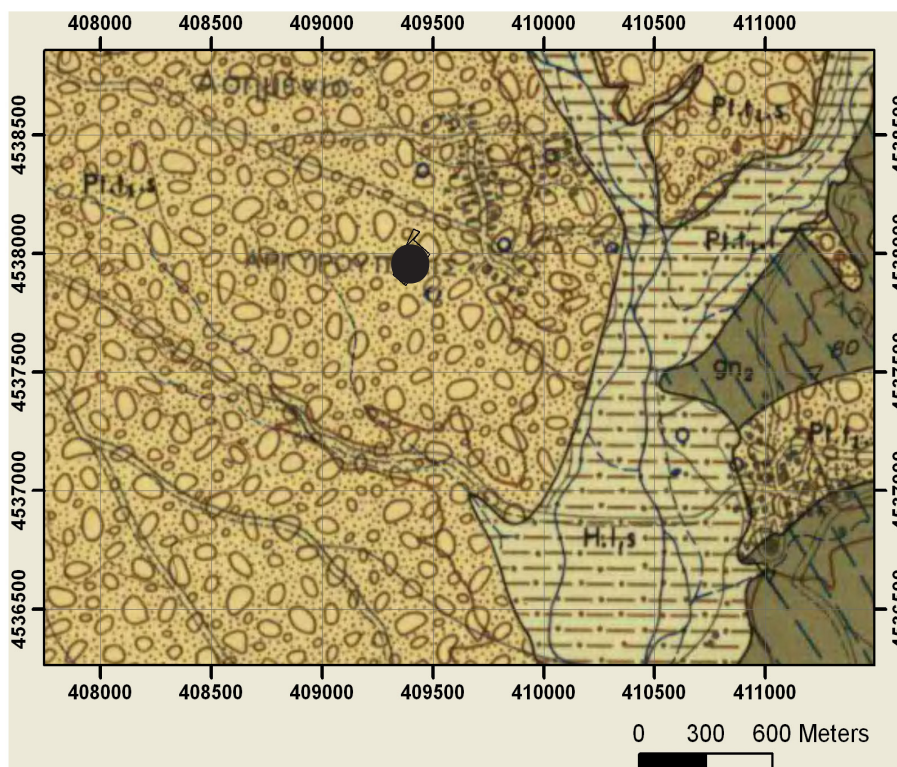
Η περιοχή του Κιλκίς και συγκεκριμένα η περιοχή της Αργυρούπολης διαμορφώθηκε κατά το Τεταρτογενές από μια σειρά παράλληλων κανονικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΝΑ-ΒΔ αποτέλεσμα των εφελκυστικών τάσεων στον Ελληνικό χώρο μετά την οριστική ανάδυση των Ελληνίδων. Οι διαδικασίες της διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης έδωσαν ένα σύστημα αναβαθμίδων που αποτελούν το κύριο σχηματισμό της Αργυρούπολης. Το σύστημα των αναβαθμίδων υπέρκειται σε μια σειρά ερυθρών αργίλων Πλειστοκαινικής ηλικίας χερσαίας έως λιμναίας φάσης με χαρακτηριστικές διασταυρωμένες στρώσεις.

Το σύστημα των ανώτερων αναβαθμίδων πάνω στο οποίο βρίσκεται η περιοχή μελέτης αποτελείται από ερυθρές αργιλούχες άμμους με ενστρώσεις άμμων χαλικιών και κροκαλών. Κατά θέσεις εντοπίζονται ογκόλιθοι από μεταμορφωμένα πετρώματα. Στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων αποτελούμενες από αργιλικές άμμους και ψηφίδες και κυρίως χαλίκια της κατώτατης βαθμίδας του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων με αργιλώδες κάλυμμα. Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελούν διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι του σχηματισμού του Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας.

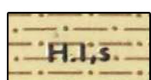


Εικόνα 4: Γεωλογική τομή περιοχής της μελέτης

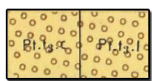
Χάρτης 2: Χάρτης της περιοχής



Υπόμνημα



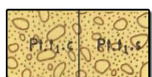
Άμμοι, άργιλοι του Ολοκαίνου



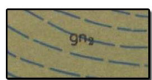
Χαλίκια και αργιλώδες κάλυμμα του Πλειστοκαίνου



Κροκάλες και χαλίκια, αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων



Άμμοι και χαλίκια Πλειστοκαίνου



Υπόβαθρο της περιοχής Διμαρμαρυγιακός Γενέσιος του σχηματισμού βερτίσκου, του Παλαιοζωϊκού ή και παλαιότερος



Όριο γεωλογικών σχηματισμών

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

4.1. Εισαγωγή στη μέθοδο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα για τον εντοπισμό πιθανών υδροφόρων στρωμάτων στην περιοχή της Αργυρούπολης. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από τις γεωηλεκτρικές μεθόδους σε υδρογεωλογικές έρευνες. Επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογία της περιοχής και λόγω του μικρού απαιτούμενου βάθους διασκόπησης στις γεωφυσικές έρευνες για υδρογεωλογικές εφαρμογές. Η μέθοδος υπάγεται στην κατηγορία όπου παράγεται ηλεκτρικό πεδίο με τεχνητό τρόπο στο έδαφος. Με μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού καθορίζεται τελικά η δομή του υπεδάφους καθώς οι ιδιότητες του πεδίου διαμορφώνονται από τη ζητούμενη δομή.

4.2. Βασικές αρχές μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η ειδική αντίσταση του εδάφους υπολογίζεται με την εισαγωγή ρεύματος στο υπέδαφος και μετρήσεις τις διαφορές δυναμικού που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια. Απαιτούνται δυο ζεύγη ηλεκτροδίων, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A,B και τα ηλεκτρόδια δυναμικού M,N.

Η αντίσταση, για ομογενές έδαφος, δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_A = K \cdot \frac{U}{I}$$

όπου I, η ένταση του ρεύματος και U, η μετρούμενη διαφορά δυναμικού. Το K αποτελεί γεωμετρικό παράγοντα που εξαρτάται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων και δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]$$

Ένα ομογενές έδαφος δεν ανταποκρίνεται σε ρεαλιστικές γεωλογικές συνθήκες. Δεν μπορεί δηλαδή, να υπολογιστεί η πραγματική ειδική αντίσταση των πετρωμάτων εύκολα, με απλή εφαρμογή της σχέσης:

$$\rho_A = K \cdot \frac{U}{I}$$

Εισάγεται έτσι η έννοια της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, ρ_a . Η φαινόμενη αντίσταση εξαρτάται επιπλέον, εκτός από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους, και από την διάταξη των ηλεκτροδίων.

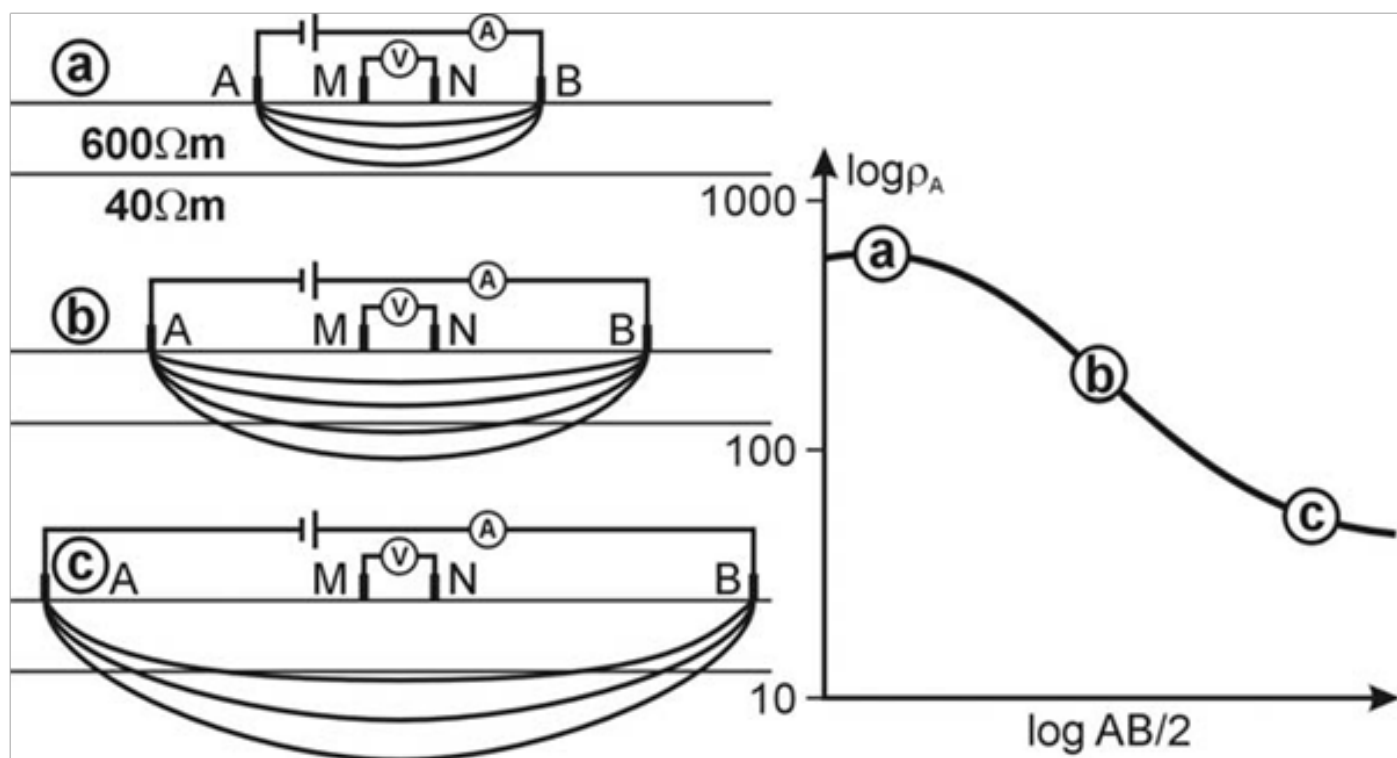
Οι ηλεκτρικές διασκοπήσεις πραγματοποιούνται με την επιλογή της κατάλληλης διάταξης ηλεκτροδίων, και την χαρτογράφηση των τιμών της φαινόμενης αντίστασης, ρ_a . Τα δεδομένα επεξεργάζονται με κατάλληλο λογισμικό ώστε να υπολογιστεί η κατανομή της πραγματικής ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος η οποία θα πρέπει να συσχετιστεί και με υπάρχοντα γεωλογικά δεδομένα.

Μεταξύ της ειδικής αντίστασης ρ , ενός πετρώματος και του πορώδους ϕ αυτού, έχει προταθεί η ακόλουθη εμπειρική σχέση $\rho = \alpha \rho_v \phi^{-m}$, γνωστή και ως νόμος του Archie. Στη σχέση αυτή, το ρ_v είναι η ειδική αντίσταση που περιέχεται στους πόρους του πετρώματος και το α και το m , είναι σταθερές στις οποίες προσεγγιστικά δίνονται οι τιμές $\alpha=1$ και $m=2$. Η σχέση αυτή, δείχνει ότι η ειδική αντίσταση αυξάνει όταν ελαττώνεται το πορώδες του πετρώματος, και μπορεί έτσι να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με την υδροπερατότητα των σχηματισμών, των οποίων η ειδική αντίσταση προσδιορίζεται με την ηλεκτρική μέθοδο.

5.1. Εισαγωγή για τις βυθοσκοπήσεις

Βυθοσκοπήσεις εφαρμόζονται σε οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια στρώματα. Γεωλογικοί στόχοι μπορεί να είναι ιζηματογενή πετρώματα διαφορετικής λιθολογίας, στρώματα υδροφορέων διαφορετικών ιδιοτήτων, ιζηματογενή πετρώματα που υπέρκεινται πυριγενών ή μεταμορφωμένων και ζώνες αποσάθρωσης.

Βασική αρχή στην διεξαγωγή μιας βυθοσκόπησης είναι η σταδιακή αύξηση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος A,B. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται το βάθος διείσδυσης των γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου και του βαθμού επιρροής των βαθύτερων στρωμάτων στη διαμόρφωση της φαινόμενης αντίστασης. Οι μετρούμενες τιμές της φαινόμενης αντίστασης χαρτογραφούνται με σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων A,B σε διλογαριθμικό διάγραμμα, εκτός από την περίπτωση της διάταξης Wenner. Η καμπύλη της βυθοσκόπησης αποτελεί την βάση για την διαδικασία την αντιστροφής προκειμένου να καθοριστεί η με το βάθος διακύμανση της πραγματικής ειδικής αντίστασης. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Μετρήσεις φαινόμενης αντίστασης με σταδιακή αύξηση της απόστασης A,B των ηλεκτροδίων

Συνήθεις διατάξεις γεωφώνων στη διαδικασία της βυθοσκόπησης αποτελούν οι Schlumberger, Wenner και η Dipole-Dipole. Λόγω πρακτικών πλεονεκτημάτων προτιμάται κυρίως η συμμετρική διάταξη Schlumberger όπου η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι μικρή και σταθερή, ενώ η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος A,B αυξάνεται σταδιακά. Ο γεωμετρικός παράγοντας για αυτή τη διάταξη δίνεται από τη σχέση:

$$K_{SCHLUMBERGER} = \frac{\pi}{MN} \cdot \left(\frac{AB}{2} \right)^2$$

Συχνά κρίνεται καταλληλότερη η διάταξη πόλου-διπόλου όταν οι τοπογραφικές συνθήκες δεν επιτρέπουν πλήρη διάνοιξη της Schlumberger. Θεωρητικά στη διάταξη πόλου-διπόλου το ηλεκτρόδιο ρεύματος B τοποθετείται σε άπειρη απόσταση και επηρεάζει σε μηδενικό βαθμό τα ηλεκτρόδια δυναμικού. Ο γεωμετρικός παράγοντας σε αυτή την περίπτωση δίνεται από τη σχέση:

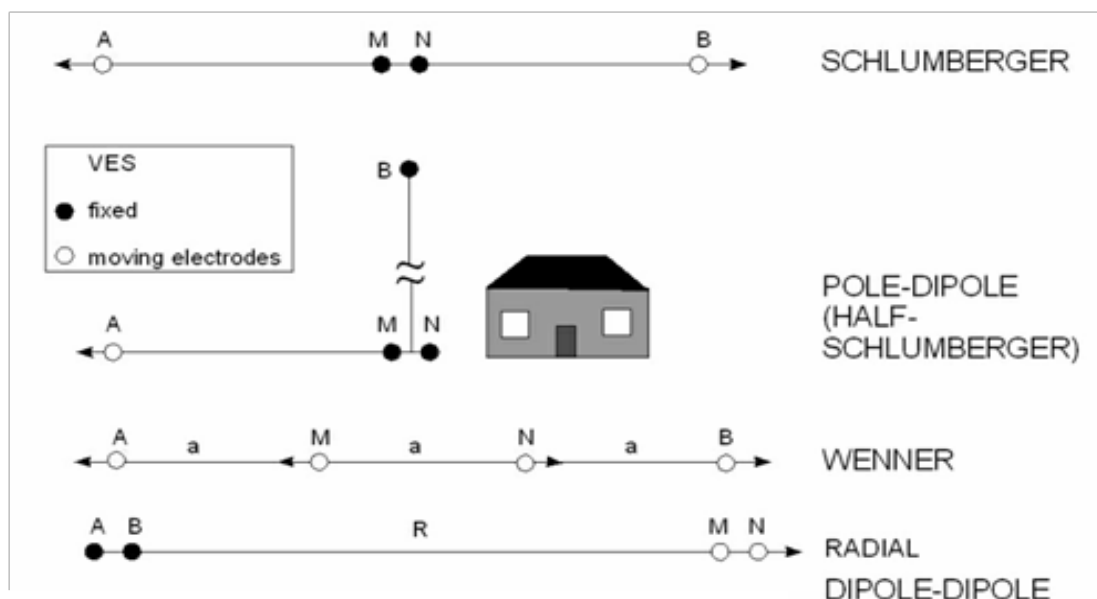
$$K = \frac{2\pi}{MN} \cdot \left(\frac{AO}{2} \right)^2$$

Στη διάταξη Wenner μετακινούνται και τα τέσσερα ηλεκτρόδια σε αυξανόμενες αποστάσεις. Η απόσταση $AM = MN = NB = a$ παραμένει σε καθορισμένη τιμή. Ο γεωμετρικός παράγοντας δίνεται από τη σχέση:

$$K_{WENNER} = 2 \cdot \pi \cdot a$$

Στη διάταξη διπόλου-διπόλου τα ηλεκτρόδια A,B και M,N βρίσκονται και στις δυο περιπτώσεις σε μικρή απόσταση. Η βυθοσκόπηση πραγματοποιείται με τα ηλεκτρόδια ρεύματος να βρίσκονται σε σταθερή θέση ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού μετακινούνται. Η φαινόμενη αντίσταση χαρτογραφείται σε διλογαριθμική κλίμακα ως συνάρτηση της απόστασης R μεταξύ των διπόλων.

Οι παραπάνω διατάξεις περιγράφονται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Διατάξεις ηλεκτροδίων

5.2. Μετρήσεις πεδίου-υπαίθρου

Ο σχεδιασμός βυθοσκοπήσεων για την επίλυση ενός υδρογεωλογικού προβλήματος απαιτεί τη γνώση της γεωλογίας της περιοχής και της κατάστασης του εδάφους. Επίσης, η απόσταση μεταξύ των βυθοσκοπήσεων εξαρτάται από της ανάγκες της εκάστοτε έρευνας.

Για να αποτραπεί το τοπογραφικό αποτέλεσμα στην καμπύλη της βυθοσκόπησης, πρέπει η διεύθυνση του ανοίγματος των ηλεκτροδίων να είναι οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια. Για το λόγω αυτό σε λοφώδεις περιοχές προτιμάται η διάταξη πόλου-διπόλου.

Η ερμηνεία της καμπύλης της βυθοσκόπησης γίνεται με βάση την αρχή της επαλληλίας των στρωμάτων. Για στρώματα με κλίση, η διεύθυνση του ανοίγματος των ηλεκτροδίων θα πρέπει να ακολουθεί τη γενική διεύθυνση κλίσης ώστε να μειωθούν πιθανές παρεμβολές.

Στις βυθοσκοπήσεις η αυξανόμενη απόσταση $AB/2$ στη Schlumberger, a στη Wenner και R dipole-dipole, θα πρέπει να επιλέγεται σε ίσα διαστήματα στη λογαριθμική κλίμακα και συνεπώς και στο πεδίο. Η αύξηση της απόστασης $AB/2$ οδηγεί σε μείωση της τιμής της διαφοράς δυναμικού που μετρείται στα ηλεκτρόδια M,N. Αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί με αύξηση της έντασης του ρεύματος στα ηλεκτρόδια ρεύματος. Αν είναι απαραίτητο μπορεί να αυξηθεί και η απόσταση μεταξύ των M,N προκειμένου να ληφθεί καλύτερο σήμα.

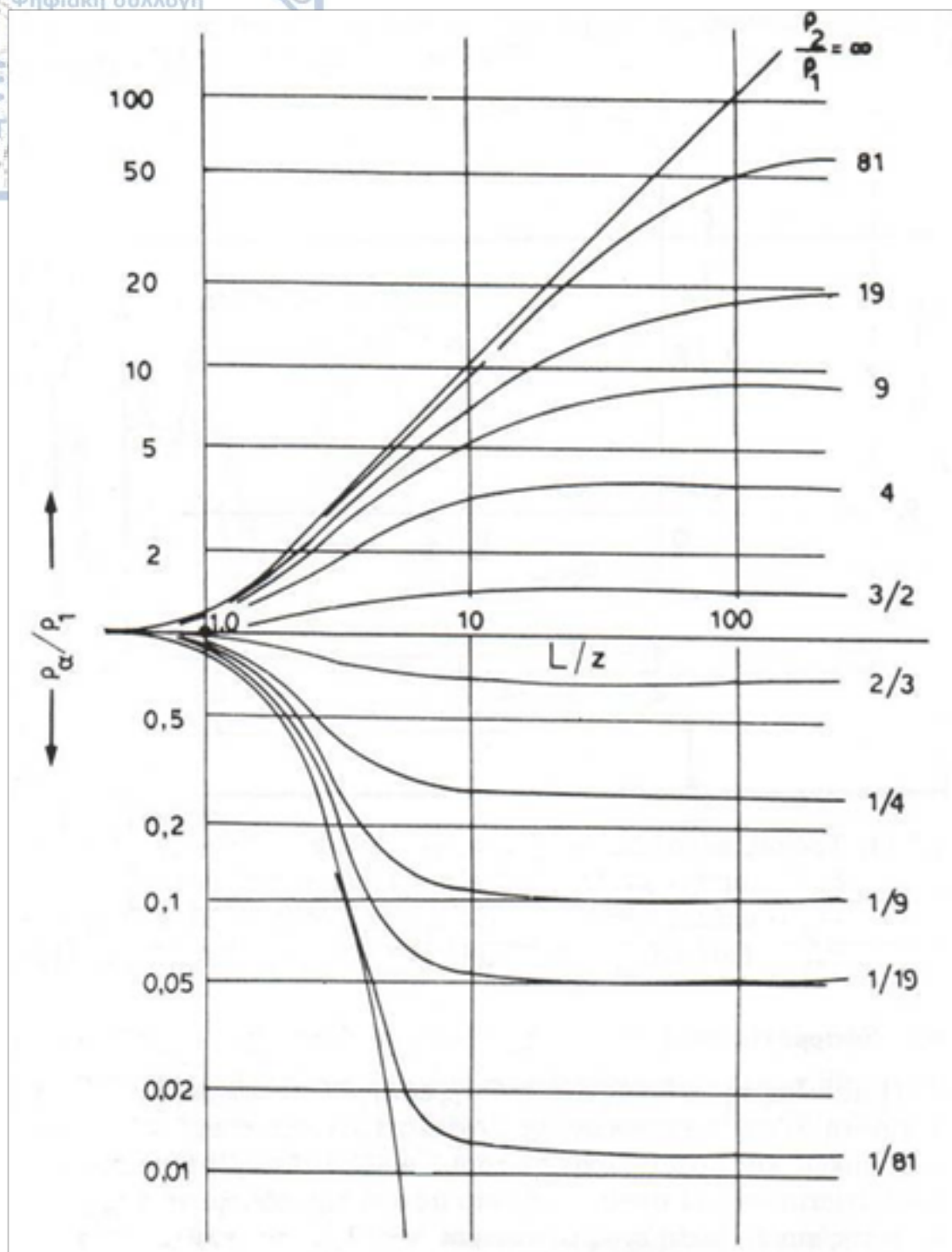
Καμπύλες βυθοσκόπησης πάνω από οριζόντια στρώματα είναι συνήθως ομαλές. Μεγάλες διαφοροποιήσεις στη τιμή της μετρούμενης φαινόμενης αντίστασης, μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενείς ανωμαλίες αντίστασης όπως αγωγοί ή σε γεωλογικά αίτια όπως ζώνη ρήγματος.

5.3. Ερμηνεία Βυθοσκοπήσεων

Για ένα γεωλογικό μοντέλο με οριζόντια στρώματα με καθορισμένες αντιστάσεις και πάχη των στρωμάτων, μπορεί να υπολογιστεί η φαινόμενη αντίσταση ως συνάρτηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος A,B. Στην πράξη, πρέπει να πραγματοποιηθεί διαδικασία αντιστροφής δηλαδή, να καθοριστεί ο αριθμός των στρωμάτων, η αντίσταση τους και το πάχος τους από τις μετρήσεις που αποτελούν την καμπύλη της βυθοσκόπησης.

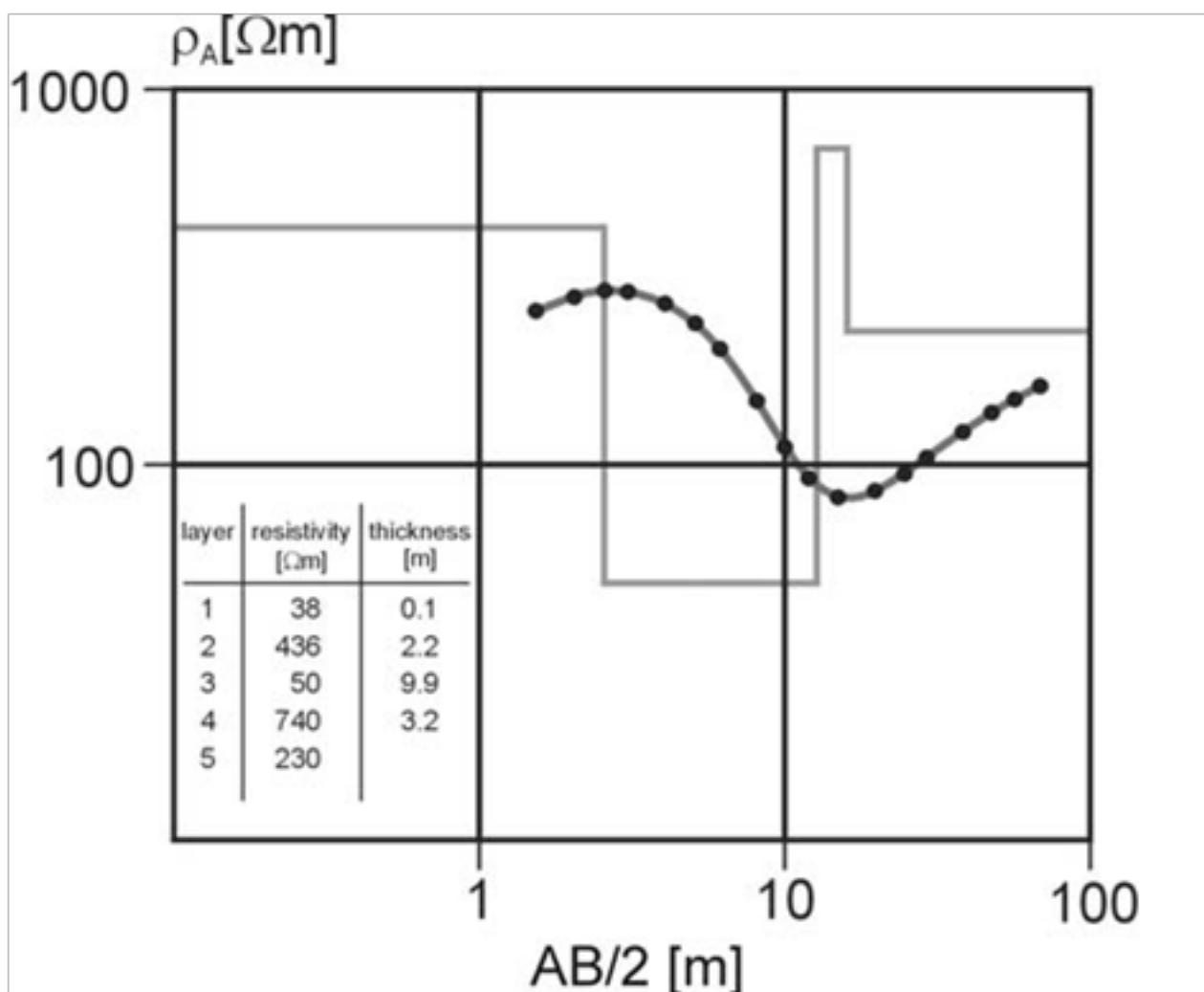
Η διαδικασία της αντιστροφής προκύπτει από τη σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων της καμπύλης βυθοσκόπησης και πρότυπων καμπύλων για ορισμένη κατανομή της ειδικής αντίστασης.

Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου Schlumberger για την ερμηνεία της δομής δύο γεωηλεκτρικών στρωμάτων, πρώτο βήμα στην ερμηνεία αποτελεί η χρήση των πρότυπων καμπύλων Schlumberger, όπως αυτών στο σχήμα 4.



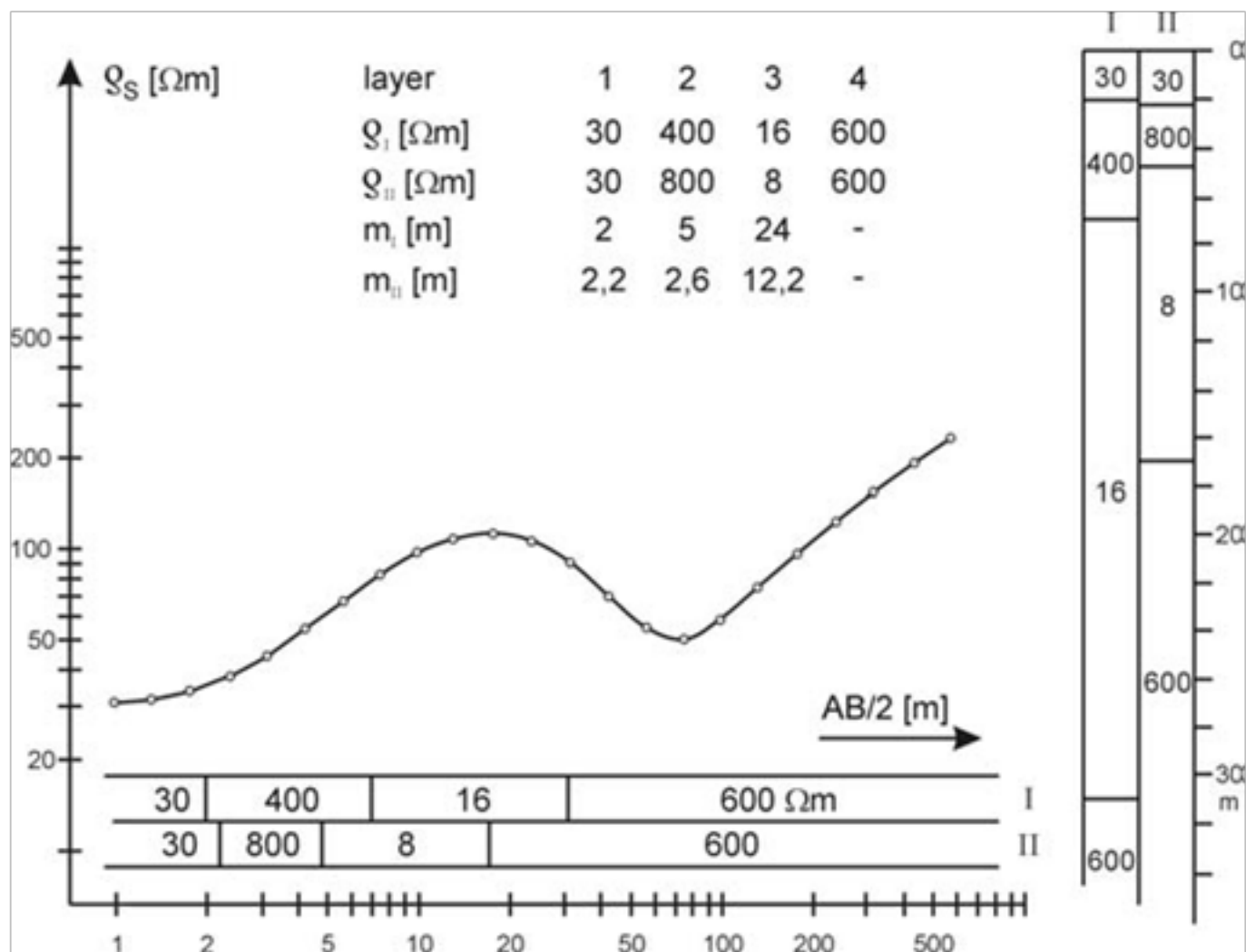
Σχήμα 3 : Πρότυπες καμπύλες Schlumberger

Κατά τη διαδικασία αυτή σχεδιάζονται οι πειραματικές καμπύλες σε χαρτί διλογαριθμικό και στη συνέχεια τα τμήματα που αντιπροσωπεύουν τα δυο στρώματα ταυτίζονται με μια από τις πρότυπες καμπύλες. Προκύπτει έτσι ένα αρχικό μοντέλο που αντιστοιχεί σε ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις και πάχη των δυο στρωμάτων. Το ίδιο μοντέλο χρησιμοποιείται και από προγράμματα αντιστροφής όπως το ειδικό λογισμικό IP2WIN. Στο σχήμα 5 δίνεται ένα παράδειγμα αντιστροφής μέσω του λογισμικού IP2WIN όπου, με τελείες εμφανίζονται οι τιμές της φαινόμενης αντίστασης που έχουν μετρηθεί στο πεδίο και τα αποτελέσματα της αντιστροφής παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα.



Σχήμα 4: Παράδειγμα διαδικασίας αντιστροφής

Πρέπει να σημειωθεί ότι απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή καθώς το μοντέλο που προτείνεται από το λογισμικό αποτελεί μια από τις πιθανές αποδεκτές φυσικές ερμηνείες, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα δίνεται στο σχήμα 6, όπου η καμπύλη της βυθοσκόπησης μετά την διαδικασία της αντιστροφής μπορεί να αντιστοιχεί σε δυο διαφορετικές γεωηλεκτρικές δομές τεσσάρων στρωμάτων.



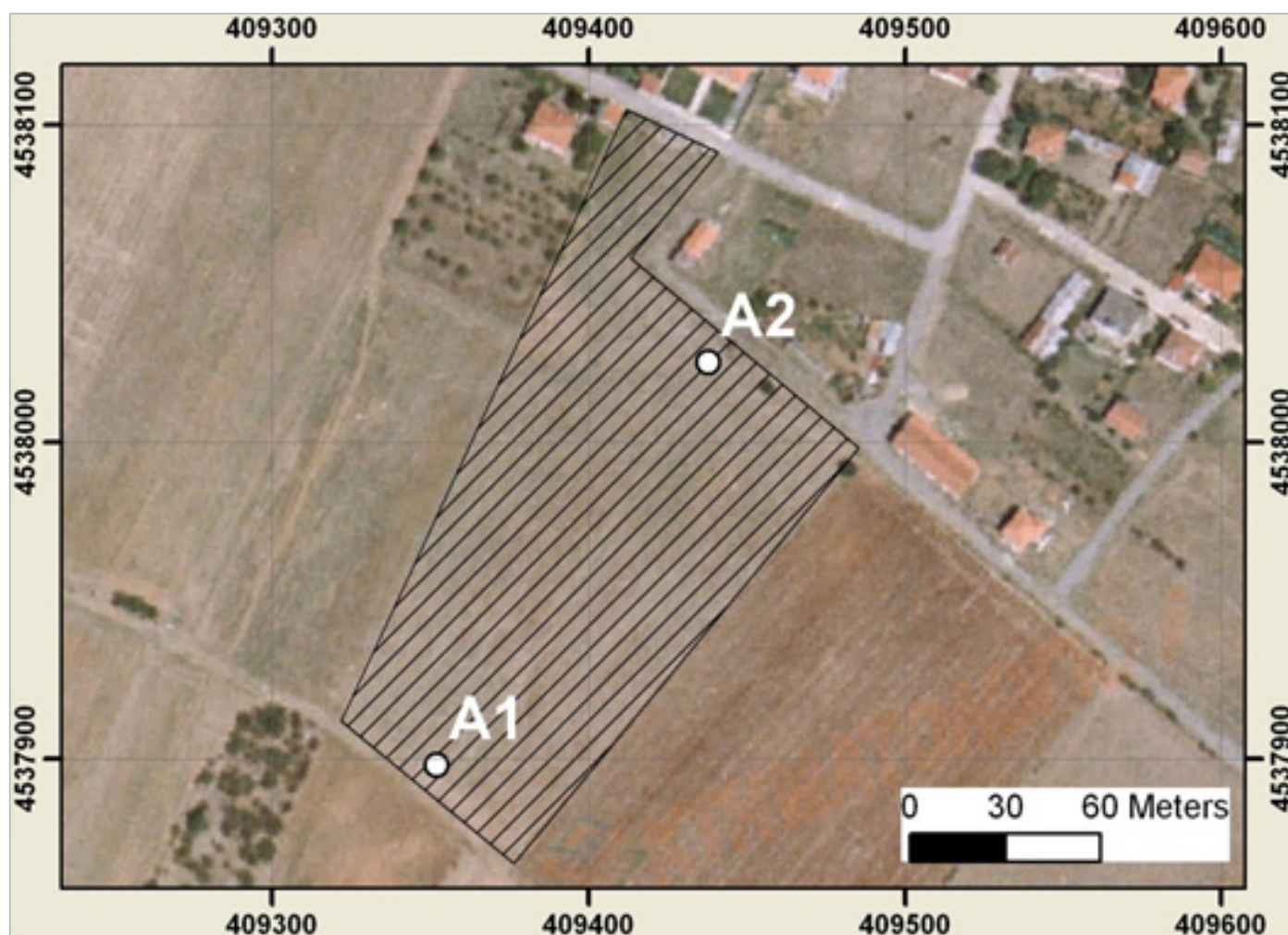
Σχήμα 5

Προκύπτει επομένως η αναγκαιότητα της συσχέτισης μεταξύ γεωλογικών και γεωηλεκτρικών δεδομένων. Με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναμένεται να υπάρχουν στην υπό μελέτη περιοχή, από στοιχεία γεωτρήσεων ή άλλων ερευνών γίνεται η απόδοση των γεωηλεκτρικών σχηματισμών στους γεωλογικούς.

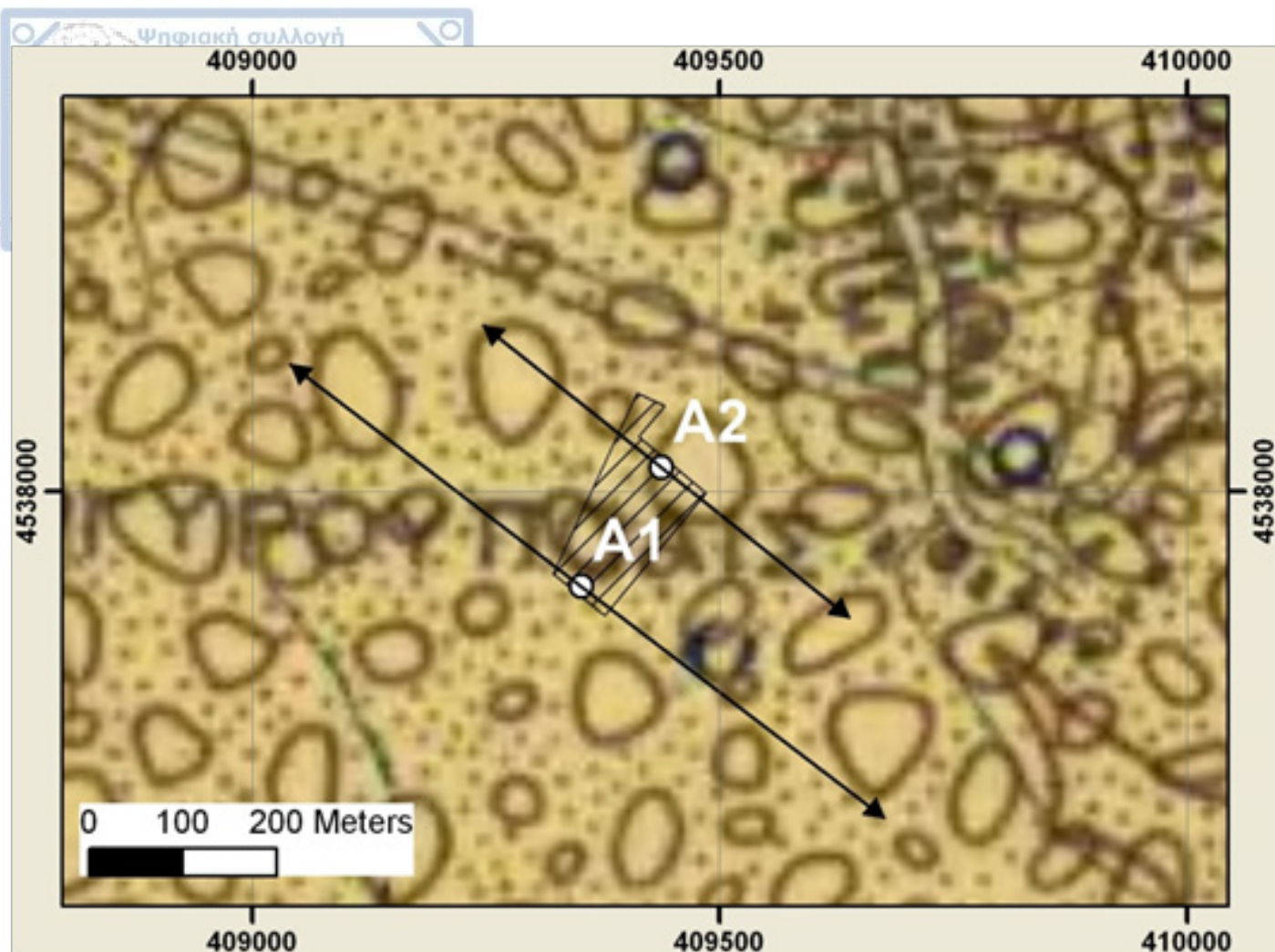
6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ

6.1. Χάρτες θέσεων βυθοσκοπήσεων

Στην παρούσα γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκαν δυο βυθοσκοπήσεις σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και απόσταση 147m μεταξύ τους σε απόλυτο υψόμετρο 186m. Οι θέσεις των μετρήσεων σημειώνονται στους παρακάτω χάρτες.



Χάρτης 3: Απεικόνιση θέσεων βυθοσκοπήσεων



Χάρτης 4: Θέση και διεύθυνση βυθοσκοπήσεων

6.2. Διαδικασία μετρήσεων υπαίθρου

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιούνται κατάλληλα όργανα μετρήσεων. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στη γεωηλεκτρική διασκόπηση περιλαμβάνουν βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης και πηγή ηλεκτρικού ρεύματος με αμπερόμετρο όταν διαβιβάζεται στο έδαφος τεχνητά παραγόμενο ρεύμα. Επίσης οι συσκευές ηλεκτρικής διασκόπησης περιλαμβάνουν καλώδια και ηλεκτρόδια.

Τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι κατάλληλα πορώδη τα οποία δεν πολώνονται, συγκέντρωση ανιόντων γύρω από το θετικό ηλεκτρόδιο και κατιόντων γύρω από το αρνητικό, έτσι ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία τάσης επαφής μεταξύ αυτών και του εδάφους.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στη γεωηλεκτρική διασκόπηση είναι συνήθως τυλιγμένα σε φορητούς κυλίνδρους και είναι μονωμένα με πλαστικό.

Στην εικόνα απεικονίζεται το όργανο Syscal που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη γεωφυσική έρευνα.



Εικόνα 5: Όργανο μέτρησης Syscal

Με τη χρήση του παραπάνω οργάνου διεξάγονται οι μετρήσεις στην περιοχή της έρευνας αυξάνοντας την απόσταση $AB/2$ μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος σε προκαθορισμένα διαστήματα (3.2, 4, 5, 6.4, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 60, 64, 80, 100, 130, 160, 200, 250, 320, 400 m) ανάλογα με το βάθος συνάντησης του υποβάθρου. Η απόσταση $MN/2$ μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού μένει αρχικά σταθερή και ίση με 1m. Στη συνέχεια αυξάνεται στα 10m, 20m αναλογικά με την αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές $AB/2$ και τις μετρήσεις της φαινόμενης αντίστασης p_a κατασκευάζεται σε διλογαριθμικό χαρτί καμπύλη τοποθετώντας στον άξονα ψ τις τιμές της p_a και στον χ τις τιμές της απόστασης $AB/2$. Με τον τρόπο αυτό δίνεται μια πρώτη εκτίμηση των αντιστάσεων και των βαθών των στρωμάτων που διαπιστώθηκαν κατά τη βυθοσκόπηση. Για πιο ακριβή αποτελέσματα μεταφέρονται τα δεδομένα σε διαφανές χαρτί όπου με τη βοήθεια των πρότυπων καμπύλων δύο ή περισσότερων στρωμάτων προσδιορίζονται τα πάχη και οι αντιστάσεις των στρωμάτων.

Με τη βοήθεια του προγράμματος ip2win μεταφέρονται τα δεδομένα για την απόσταση $AB/2$ και τις τιμές της p_a στους πίνακες του προγράμματος όπου, χρησιμοποιώντας το μοντέλο από πρότυπες καμπύλες εξάγει τα αποτελέσματα που αφορούν τον αριθμό, τις αντιστάσεις, το πάχος και το βάθος των στρωμάτων στο σημείο μέτρησης. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας δεδομένα από τις δυο μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν δημιουργείται η δισδιάστατη τομή και ψευδοτομή της περιοχής έρευνας.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η ερμηνεία των τομών με στόχο τον εντοπισμό πιθανών υδροφόρων στρωμάτων με τελικό σκοπό την πρόταση θέσεων γεωτρήσεων.

6.3. Χαρακτηριστικά μετρήσεων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές της ρ_a , σε αντιστοιχία με τις αποστάσεις AB/2, ηλεκτροδίων ρεύματος και MN/2, ηλεκτροδίων δυναμικού που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο καθώς και τα επεξεργασμένα αποτελέσματα μέσω του λογισμικού ip2win.

Αριθμός Βυθοσκόπησης : 1

Περιοχή : Αργυρούπολη

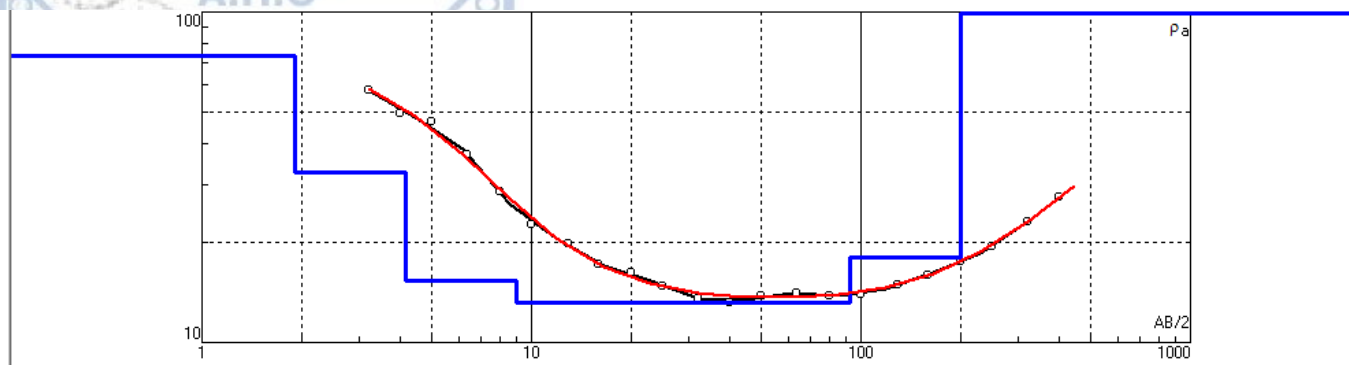
Υψόμετρο : 186m

Συντεταγμένες θέσης : x: 409345 , y: 4537893

AB/2	MN/2	$\rho_a(\Omega m)$
3.2	1	56.7
4	1	48.1
5	1	45.4
6.4	1	36.2
8	1	27.9
10	1	22.3
13	1	19.4
16	1	16.8
20	1	15.9
25	1	14.5
32	1	13.3
40	1	12.9
40	10	13.2
50	10	13.8
64	10	14.1
80	10	13.8
100	10	14
130	10	14.9
160	10	16
200	10	17.5
250	10	19.5
320	10	23.2
400	10	27.5

Πίνακας Μετρήσεων Υπαίθρου

Σχήμα 6



Επεξεργασμένα αποτελέσματα ip2win

Πίνακας 1

1	73.8	1.92	1.92	-1.92
2	32.8	2.24	4.16	-4.16
3	15.4	4.87	9.03	-9.03
4	13.2	83.2	92.2	-92.23
5	18.1	108	200	-200.2
6	150			

Σφάλμα: 2.1%

ρ = ειδική ηλεκτρική αντίσταση

h = πάχος σχηματισμού

d = βάθος

βάθος υποβάθρου: 200m

Αριθμός Βυθοσκόπησης :2

Περιοχή : Αργυρούπολη

Υψόμετρο : 186m

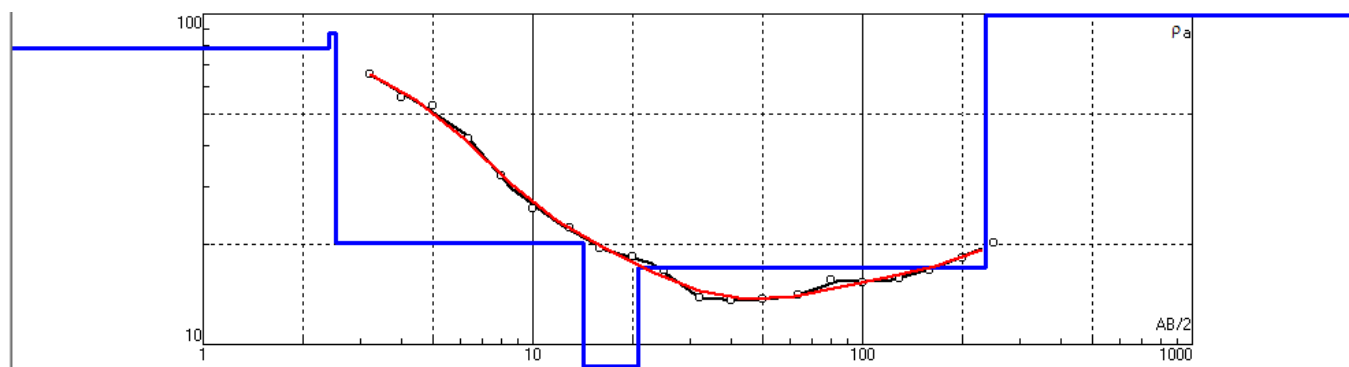
Συντεταγμένες θέσης : x: 409345 , y: 4537893

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

AB/2	MN/2	p_a (Ωm)
3.2	1	56.7
4	1	48.1
5	1	45.4
6.4	1	36.2
8	1	27.9
10	1	22.3
13	1	19.4
16	1	16.8
20	1	15.9
25	1	14.5
32	10	11.8
40	10	11.7
50	10	11.8
64	10	12.2
80	10	14.4
100	10	13.3
130	10	13.6
160	10	14.5
160	20	16.8
200	20	18.3
250	20	20.2

Επεξεργασμένα δεδομένα ip2win

Σχήμα 7



Πίνακας 2

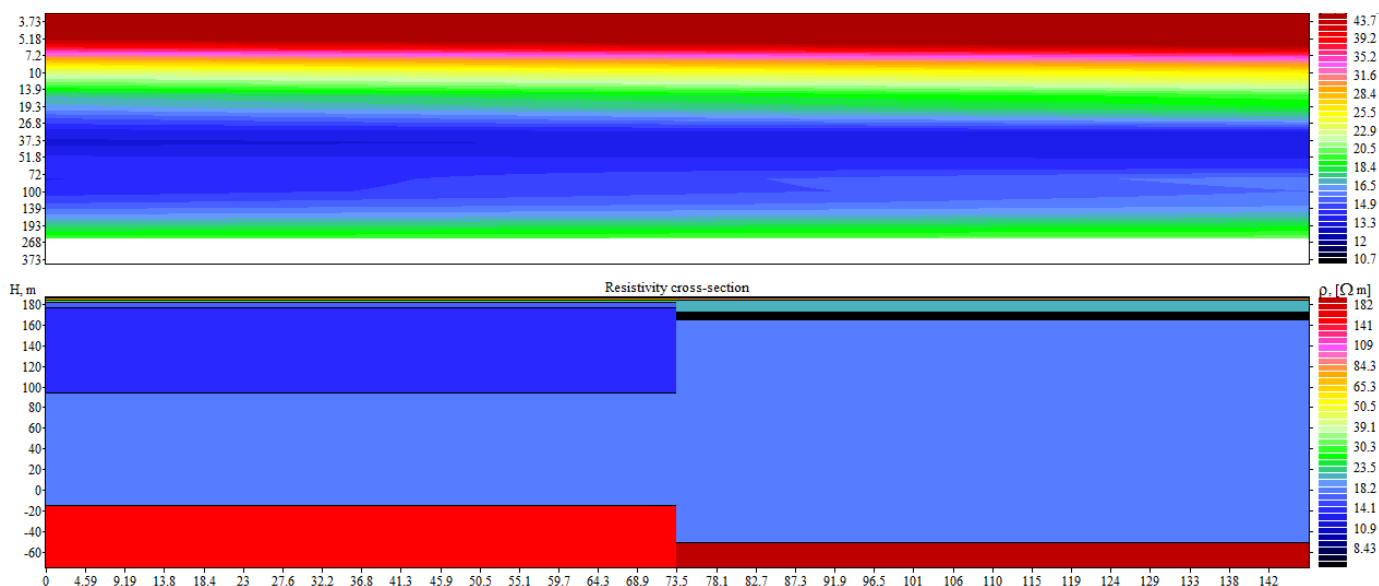
N	ρ	h	d	Alt
1	78.7	2.4	2.4	-2.4
2	87.1	0.124	2.52	-2.524
3	20.3	11.7	14.2	-14.22
4	5.77	6.7	20.9	-20.92
5	17	215	236	-235.9
6	246			

Σφάλμα: 2.8%
 ρ = ειδική ηλεκτρική αντίσταση
h= πάχος σχηματισμού
d= βάθος
βάθος υποβάθρου: 236m

7. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΤΟΜΗ ΚΑΙ ΨΕΥΔΟΤΟΜΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται η τομή και η ψευδοτομή που προέκυψαν από τις βυθοσκοπήσεις:

Εικόνα 6



Σύμφωνα με τη δισδιάστατη τομή και την ψευδοτομή εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

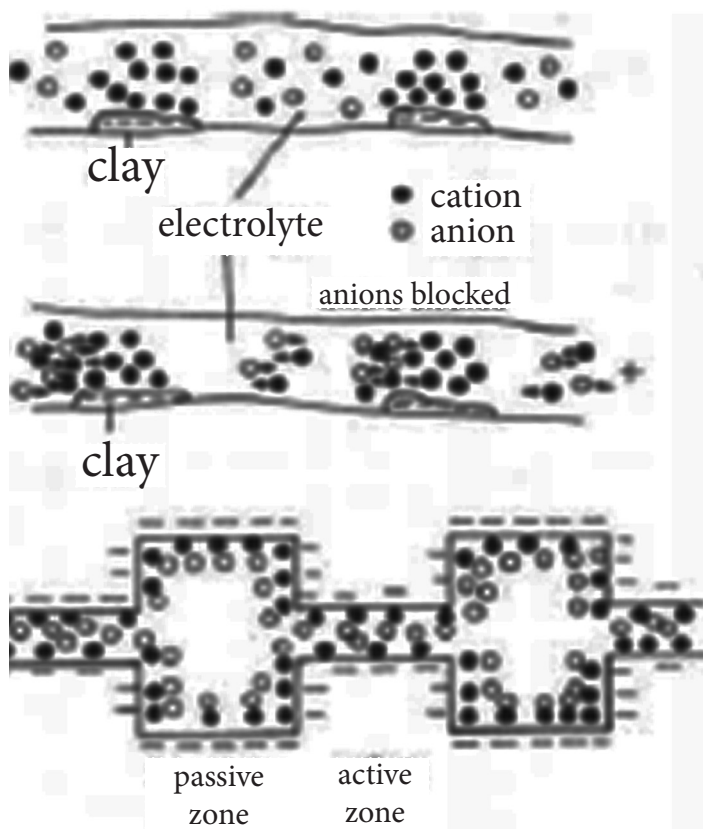
- Οι σχηματισμοί του υποβάθρου, συναντώνται περίπου στα 200 m βάθος. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πτώση του υποβάθρου προς τα ΝΑ.
- Επιφανειακά παρατηρείται στρώμα υψηλών αντιστάσεων που αντιστοιχεί σε κροκάλες και άμμους ποτάμιας προέλευσης.
- Στην περιοχή κυριαρχούν σχηματισμοί χαμηλών αντιστάσεων, που αντιστοιχούν σε εναλλαγές αργιλούχων άμμων και αμμοχάλικων.

8. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΑΓΟΜΕΝΗΣ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑΣ

Έχει παρατηρηθεί ότι όταν το συνεχές ρεύμα που διαβιβάζεται στη Γη με δύο ηλεκτρόδια Α,Β διακοπεί απότομα, τότε η τάση στα δύο ηλεκτρόδια τάσης Μ,Ν δεν μηδενίζεται αμέσως, αλλά αφού υποστεί αμέσως μια απότομη σημαντική μείωση, αρχίζει στη συνέχεια να ελαττώνεται εκθετικά με το χρόνο και περνούν αρκετά δευτερόλεπτα μέχρι να μηδενιστεί εντελώς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τι υπέδαφος ενεργεί ως πυκνωτής και συσσωρεύει ηλεκτρικά φορτία. Το φαινόμενο της επαγόμενης πολικότητας είναι γνωστό με τον όρο IP (Included Polarization).

Πηγή της επαγόμενης πολικότητας αποτελούν οι κόκκοι μεταλλικών ορυκτών που μπορεί να βρίσκονται σε πορώδη πετρώματα αλλά και η τάση που δημιουργείται στις επιφάνειες επαφής ορισμένων πετρωμάτων, όπως η άργιλος, με ηλεκτρολύτες που αποτελούνται από πορώδη πετρώματα με νερό, όπως άμμος με νερό.

Η δεύτερη περίπτωση παρουσιάζει ενδιαφέρον σε υδρογεωλογικές έρευνες και επεξηγείται πληρέστερα. Τα πετρώματα όπως η άργιλος έχουν στην επιφάνεια επαφής τους με τον ηλεκτρολύτη συσσωρευμένα αρνητικά ιόντα τα οποία έλκουν ένα σύννεφο από θετικά ιόντα του ηλεκτρολύτη και απωθούν τα αρνητικά του ιόντα. Όταν εφαρμόζεται εξωτερική τάση στο σύστημα, τα αρνητικά ιόντα μαζεύονται στο ένα άκρο της ζώνης του ηλεκτρολύτη εγκαταλείποντας το άλλο και πραγματοποιείται έτσι πόλωση. Μετά τη διακοπή του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος περνάει ορισμένος χρόνος μέχρι να επανέλθουν τα ιόντα στην αρχική τους θέση και για το λόγο αυτό παρατηρείται το φαινόμενο της επαγόμενης πόλωσης η οποία ονομάζεται στην περίπτωση αυτή πόλωση μεμβράνης.



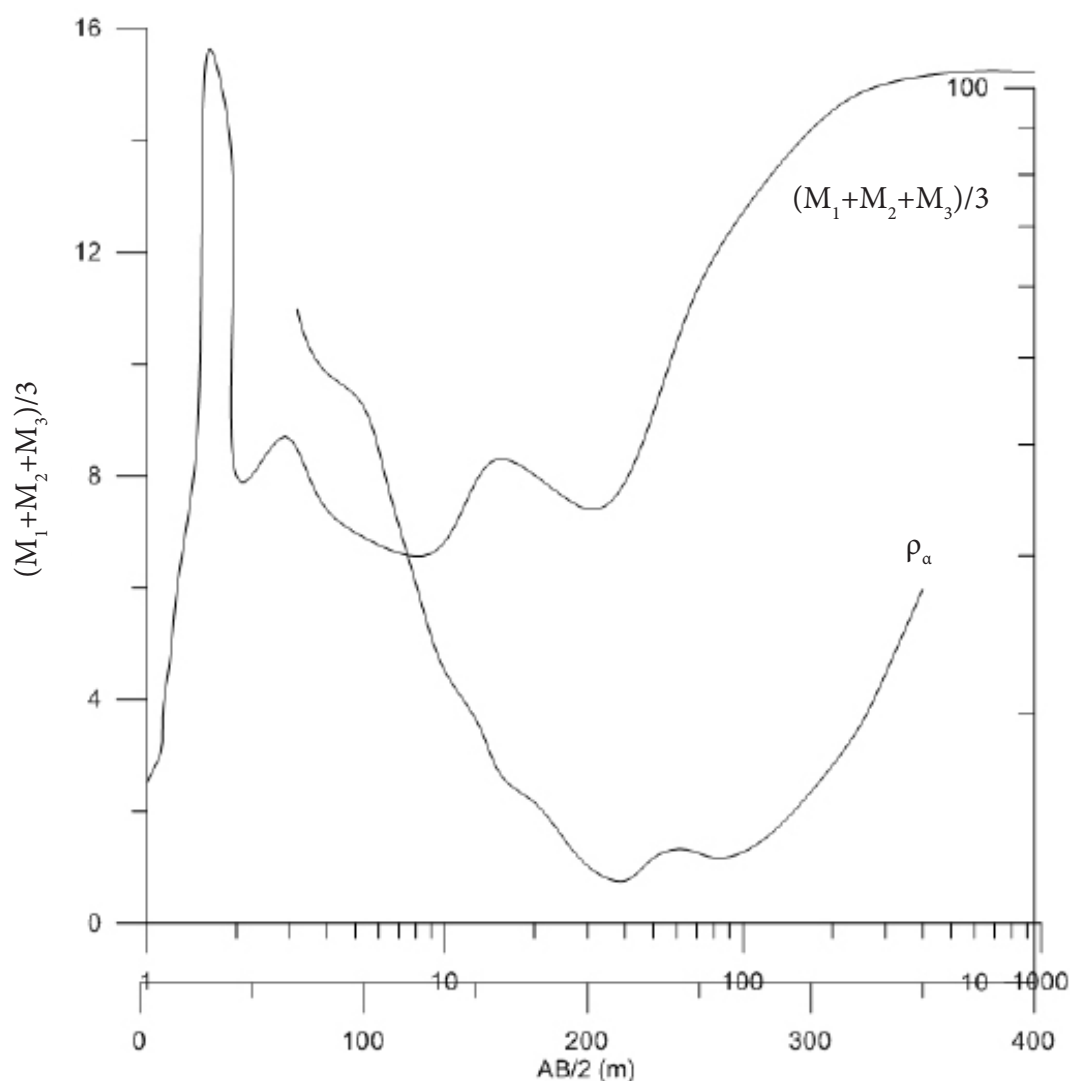
Σχήμα 8: Πόλωση μεμβράνης

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα των μετρήσεων επαγόμενης πόλωσης εξαρτάται και από δευτερογενείς παράγοντες όπως το είδος της αργίλου και η κατανομή της, η πιθανή περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά και ο κορεσμός ή όχι σε νερό.

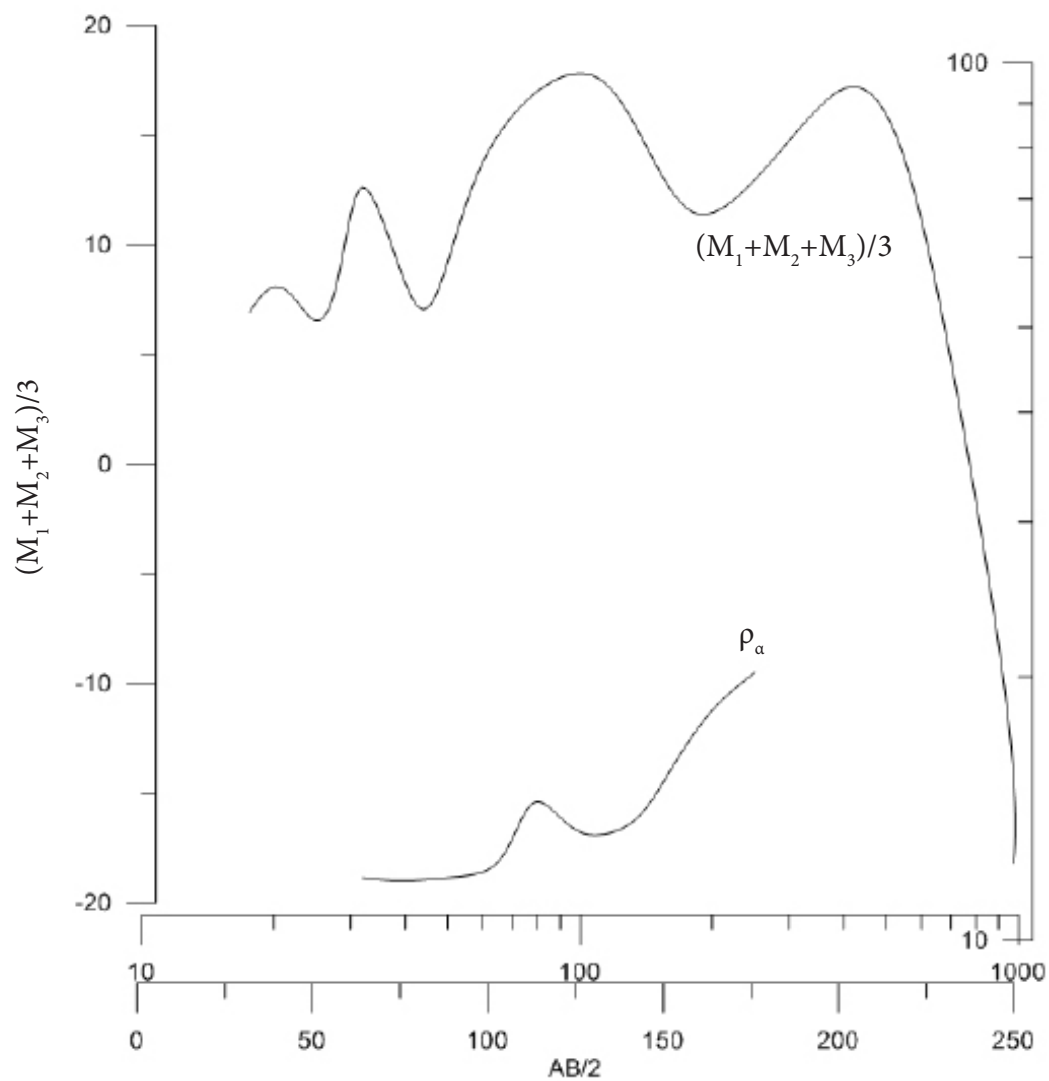
Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επαγόμενης πόλωσης και τα αποτελέσματα δίνονται συγκεντρωτικά στα παρακάτω διαγράμματα.

Τα μέγιστα στις καμπύλες, αντιστοιχούν σε υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο και αφορούν στρώματα χαμηλών αντιστάσεων.

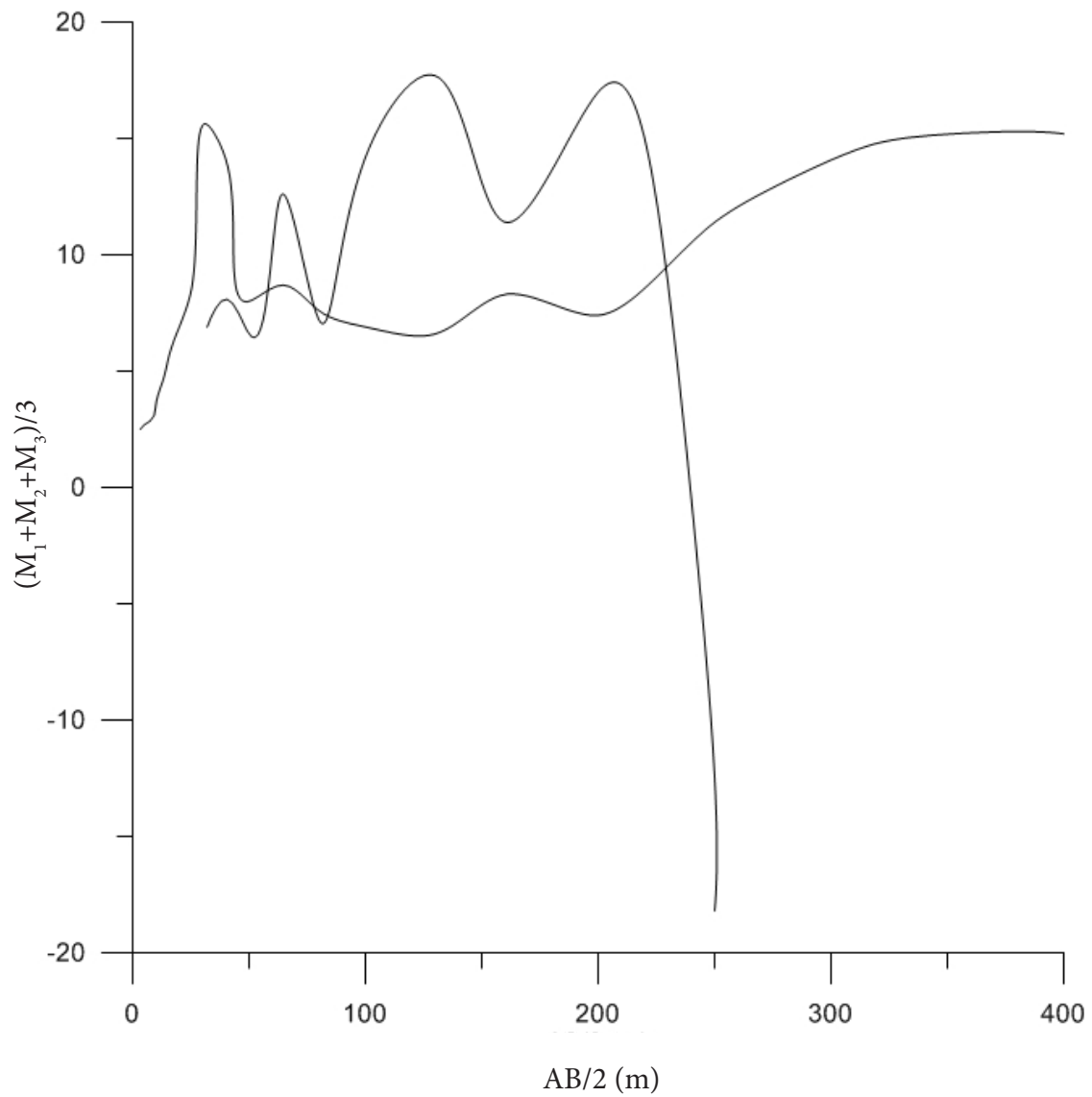
Εικόνα 7: Τομή Α1
Χαρτογράφηση τιμών ειδικής αντίστασης
και μετρήσεων επαγόμενης πόλωσης



Εικόνα 8: Τομή Α2
Χαρτογράφηση τιμών ειδικής αντίστασης
και μετρήσεων επαγόμενης πόλωσης



Εικόνα 9:
Χαρτογράφηση τιμών επαγόμενης πόλωσης
των δύο τιμών των βυθοσκοπήσεων



9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα επεξεργασμένα δεδομένα των βυθοσκοπήσεων, προκύπτει ότι το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της περιοχής συναντάται στα 200 μέτρα βάθος. Από το βάθος των 90 μέτρων και βαθύτερα, συναντάται εν δυνάμει υδροφόρο στρώμα σε εναλλαγές όμως, με ορίζοντες χαμηλών αντιστάσεων. Από τα διαγράμματα μετρήσεων επαγόμενης πόλωσης, προκύπτει ότι οι σχηματισμοί χαμηλής αντίστασης εμφανίζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε άργιλο, γεγονός που μειώνει την υδροπερατότητα του πιθανού υδροφόρου στρώματος.

Με βάση όλα τα παραπάνω, μπορεί να προταθεί ανόρυξη υδρογεώτρησης μέχρι το βάθος συνάντησης του υποβάθρου στα 200 μέτρα, χωρίς όμως να αναμένεται η συνάντηση στρωμάτων αυξημένης υδραυλικής αγωγιμότητας.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

-Παπαζάχος Κ.Β.(1986) : Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, 1986, Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη

-Μουντράκης Δ., (1985): Γεωλογία Της Ελλάδας , University Studio Press, Θεσσαλονίκη

-Μουντράκης Δ., (1988): Συνοπτική Γεωτεκτονική Εξέλιξη του Ευρύτερου Ελληνικού Χώρου, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ.

-Reinhardt Kirsch, (2006): Groundwater Geophysics, Springer Berlin Heidelberg New York

-Rubin and S.S Hubbard,(2005): Hydro geophysics, Springer

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

-www.usgs.gov

-www.maps.google.com