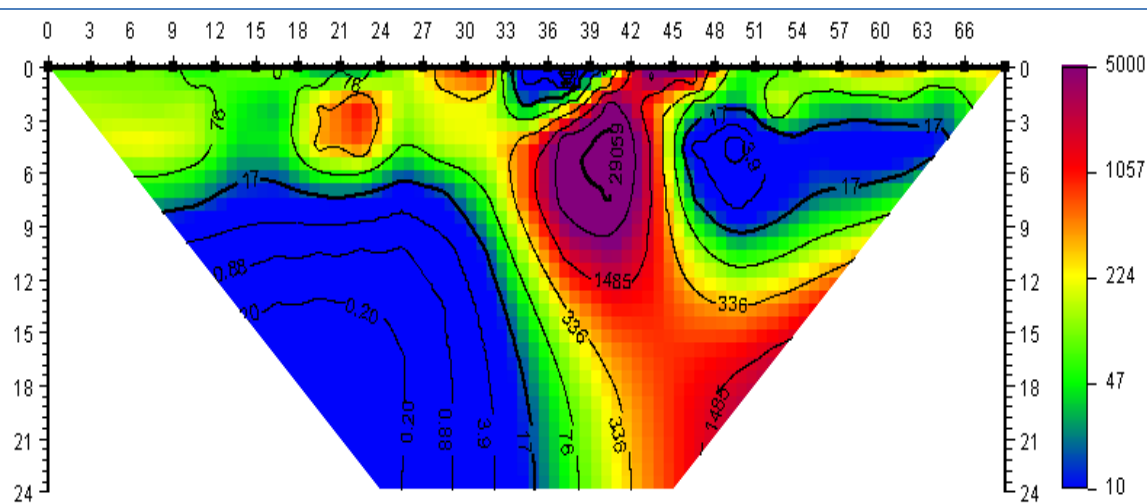




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Διπλωματική εργασία:

“Έντοπισμός παλαιάς ακτογραμμής Θεσσαλονίκης
με την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής
τομογραφίας”



Μπαζάκου Ευτυχία
Ρελάκη Ελευθερία

Υπεύθυνοι Καθηγητές:

Βαργεμέζης Γεώργιος

Τσούρλος Παναγιώτης

Επίκουρος Καθηγητής

Αναπληρωτής Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
Εισαγωγή	2
Κεφάλαιο 2	3
2. 1 Αντικείμενο της εργασίας.....	3
2. 2 Γεωλογικά στοιχεία	3
2. 3 Γεωτεχνικά στοιχεία	7
Κεφάλαιο 3	12
Γεωφυσική έρευνα.....	12
3. 1. 1 Περιγραφή υφαλμύρωσης	12
3. 1. 2 Σχέση υφαλμύρωσης με τις γεωφυσικές ιδιότητες.....	15
3. 2 Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.....	18
3. 2. 1 Τρόποι μέτρησης (1D, 2D)	21
3. 2. 2 Δισδιάστατη μέτρηση (τομογραφία).....	23
3. 2. 3 Παραδείγματα εφαρμογών γεωηλεκτρικής τομογραφίας	34
3. 3 Μετρήσεις υπαίθρου.....	37
Κεφάλαιο 4	45
Συμπεράσματα.....	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	46

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών των φοιτητριών Μπαζάκου Ευτυχία και Ρελάκη Ελευθερία με την εποπτεία των κ. Βαργεμέζη Γεώργιου και Τσούρλου Παναγιώτη, Επίκουρου και Αναπληρωτή Καθηγητή αντίστοιχα του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει την περιγραφή της διαδικασίας μετρήσεων με τη χρήση της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας, με αντικείμενο μελέτης τα παλαιά όρια της παλιάς ακτογραμμής της Θεσσαλονίκης. Διεξήχθη μέσα στην πόλη της Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στην Πλατεία Αριστοτέλους. Η διαδικασία και τα συμπεράσματα μας περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται τα εισαγωγικά στοιχεία της παρούσας εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο προσδιορίζεται η περιοχή μέτρησης, η γεωλογία και τα γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής μέτρησης.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στη γεωφυσική έρευνα. Παρατίθενται η περιγραφή της υφαλμύρωσης, η επιλογή της μεθόδου καθώς και η ανάλυση της. Ακόμη παρουσιάζονται οι μετρήσεις υπαίθρου και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, η επεξεργασία των δεδομένων και η ερμηνεία τους.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που ανάγονται από αυτήν την έρευνα.

Κεφάλαιο 2

2. 1 Αντικείμενο της εργασίας

Σκοπός της έρευνας που διεξήχθη στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας είναι να εντοπιστεί η ζώνη πλευρικής επαφής των νεώτερων αποθέσεων με την παλαιά ακτογραμμή στην περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης με την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας.

2. 2 Γεωλογικά στοιχεία

Στο χώρο της πλατείας Αριστοτέλους στη Θεσσαλονίκη πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές μετρήσεις, με σκοπό την εύρεση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, στην περιοχή αυτή για τον προσδιορισμό παλιών ορίων της ακτογραμμής στο ύψος Ερμού με Αριστοτέλους. Η περιοχή της Θεσσαλονίκης ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και πιο συγκεκριμένα στην Περιοδοπική ζώνη.

Η Θεσσαλονίκη ανήκει στην ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη, η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μια ευγεωσυγκλινική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια Κάτω-Μέσου Ιουρασικού. Ο κατώτερος ορίζοντας είναι Περμο-Τριαδικής ηλικίας με μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα και ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Μέσα στα ιζήματα παρεμβάλλονται οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Επίσης παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Γενικά οι συνθήκες παραμόρφωσης είναι χαμηλού βαθμού πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Παρακάτω αναλύεται γεωτεχνικά η διάρθρωση της ευρύτερης περιοχής, της Θεσσαλονίκης. Στην περιοχή που περιλαμβάνεται στο σχετικό χάρτη παρακάτω, διαχωρίστηκαν είκοσι κύριες τεχνικογεωλογικές ενότητες, που εντάσσονται σε τέσσερις κύριες λιθολογικές ομάδες. Για κάθε μία από αυτές που διακρίθηκαν δίνεται εκτεταμένη περιγραφή της φυσικής κατάσταση της περιοχής. Πιο αναλυτικά:

A. Επιχωματώσεις

I. Πρόσφατες επιχωματώσεις – μπάζα

II. Ιστορικές επιχωματώσεις

B. Τεταρτογενείς αποθέσεις

I. Παράκτιες άμμοι

II. Αποθέσεις κοίτης χειμάρρων

III. Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση των αμμωδών οριζόντων

IV. Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση ιλυωδών οριζόντων

V. Τεταρτογενή χαλαρά, συνήθως λεπτομερή, με οργανικά

VI. Τεταρτογενή χαλαρά με επικράτηση των αδρομερών υλικών

C. Νεογενή ιζήματα

I. Πλειστοκαινικές αποθέσεις μικτών φάσεων, συνεκτικά

II. Νεογενή μεικτών φάσεων, με επικράτηση των λεπτομερών

D. Σχηματισμοί προνεογενούς υποβάθρου

I. Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Χορτιάτη

II. Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Σβούλας

III. Μεταμορφωμένα πετρώματα Χορτιάτη

IV. Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα Χορτιάτη

V. Μεταμορφωμένα εκρηξιγενή πετρώματα Χορτιάτη:

1. Γνευσιοσχιστόλιθοι – πρασινοσχιστόλιθοι – σχιστοψαμμίτες

2. Σχιστογενεύσιοι – γενεύσιοι

3. Σχιστοποιημένοι γάββροι

4. Υπερβασικοί σχηματισμοί

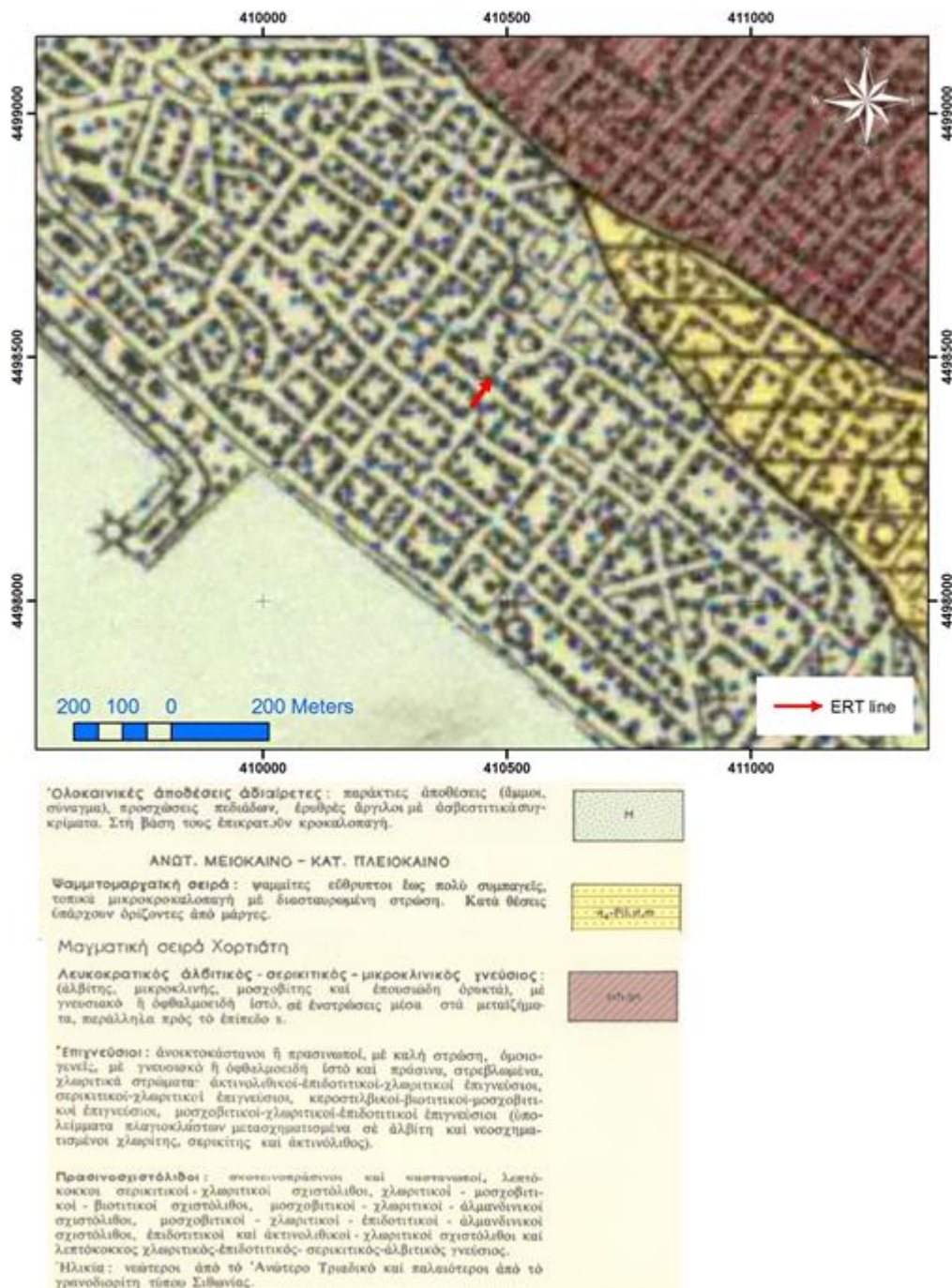
5. Μεταμορφωμένοι σχηματισμοί υποβάθρου

Από τις παραπάνω ενότητες οι δύο πρώτες αναφέρονται σε υλικά που καλύπτουν σχεδόν όλη την περιοχή του κέντρου της πόλης της Θεσσαλονίκης και συνεπώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο αναφορικά με τη θεμελίωση των κατασκευών στην υπόψη περιοχή. Για το λόγο αυτό, αν και δεν αποτελούν γεωλογικούς σχηματισμούς, κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούν σαν τεχνικογεωλογικές ενότητες.

Οι επόμενες επτά τεχνικογεωλογικές ενότητες εντάσσονται στη λιθολογική ομάδα των Τεταρτογενών αποθέσεων. Οι περισσότερες από αυτές εντοπίζονται στις πεδινές περιοχές και ορισμένες με σοβαρά προβλήματα εδαφικών υποχωρήσεων. Μόνο τα κορήματα και οι αποθέσεις κλειστών λεκανών, εμφανίζονται στα πρηνή και σε ορεινές πεδινές ζώνες αντίστοιχα.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες των νεογενών είναι δύο, εντάσσονται στους μαλακούς βραχώδεις ή σκληρούς εδαφικούς σχηματισμούς, έχουν μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη στα βόρεια και νότια τμήματα της πόλης, αλλά και αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο στο μεγαλύτερο τμήμα του κέντρου αυτής.

Οι υπόλοιπες εννέα τεχνικογεωλογικές ενότητες εντάσσονται στην ομάδα των σχηματισμών του προνεογενούς υποβάθρου. Πρόκειται για βραχώδεις σχηματισμούς, που δομούν την ημιορεινή και ορεινή ζώνη στα βορειοανατολικά και ανατολικά της πόλης και έχουν γενικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά.



Σχήμα 1 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη περιοχής. (ΙΓΜΕ, Κλ. 1:50.000, Φύλλο Θεσσαλονίκη)

2.3 Γεωτεχνικά στοιχεία

Το ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης είναι το μέρος της σύγχρονης πόλης το οποίο περικλείεται από αρχαίες οχυρώσεις, ξαναχτίστηκε και συνεχίζει να χτίζεται όλα αυτά τα χρόνια. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των τοιχωμάτων στέκεται ακόμα σήμερα και χρησιμοποιείται για να σχηματίσει ένα τεχνητό όριο του ιστορικού κέντρου της πόλης. Η συσσώρευση από τεχνητές αποθέσεις συνέβη με σταθερό ρυθμό εναπόθεσης. Έτσι ανυψώθηκε το επίπεδο του εδάφους του ιστορικού κέντρου της, μέσα στο χρόνο, (Christaras, 1988). Αυτό οφείλεται στη συνεχή ιστορική παρουσία της πόλης και επηρεάζεται από παράγοντες που σχετίζονται με τη μηχανική γεωλογία. Η πόλη έχει υψηλή σεισμική δραστηριότητα, κατολισθήσεις σε περιοχές με απότομη τοπογραφία, ασταθή υλικά, πλημμύρες με υψηλά ποσοστά διάβρωσης και εναπόθεση των υλικών (Τσότσος και Πιτιλάκης, 1993). Ένας σεισμός στις αρχές του 7ου αιώνα κατέστρεψε τμήματά της, εκκλησίες και ολόκληρα τμήματα από τα τείχη της πόλης. Άλλοι καταστροφικοί σεισμοί σημειώθηκαν το 1635 και 1837, ο τελευταίος εκ των οποίων κατάστρεψε όλα τα θαλάσσια τείχη εκτός από το Λευκό Πύργο.

Ισχυροί βόρειοι άνεμοι επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή και είναι υπεύθυνοι για την εξάπλωση των πυρκαγιών, όπως το 1890, όπου καταστράφηκε ένα μεγάλος μέρος της πόλης και η δεύτερη το 1917 κατέστρεψε το κέντρο της πόλης. Ακόμη την πόλη πολιορκήσαν και εισέβαλαν σε αυτήν αρκετές φορές κατά τη διάρκεια πολέμων στα 2300 χρόνια της μακράς ιστορίας της με καταστροφικές συνέπειες για το αστικό κέντρο.

Στο κέντρο της πόλης όπου αντιμετωπίζονται κάποια γεωτεχνικά προβλήματα, η περιοχή καλύπτεται από υλικά επιχωματώσεων, πρόσφατων και ιστορικών. Οι βαθύτεροι ορίζοντες (ιστορικές επιχωματώσεις) συνίστανται από υλικά που προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές οικιστικών τμημάτων της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής εποχής. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από θραύσματα δομικών λίθων, επιχρίσματα και λοιπά κατασκευαστικά υλικά, ανάμικτα με εδαφικούς σχηματισμούς ιλύο-αμμώδους κύριας σύστασης. Εντοπίζονται σε μεγάλο τμήμα της κατοικημένης περιοχής, κυρίως στο τμήμα της πόλης, κατάντη του δρόμου του Αγίου Δημητρίου μέχρι και την παραλία, όπου καλύπτουν διάφορους σχηματισμούς κύρια όμως αυτούς του νεογενούς.

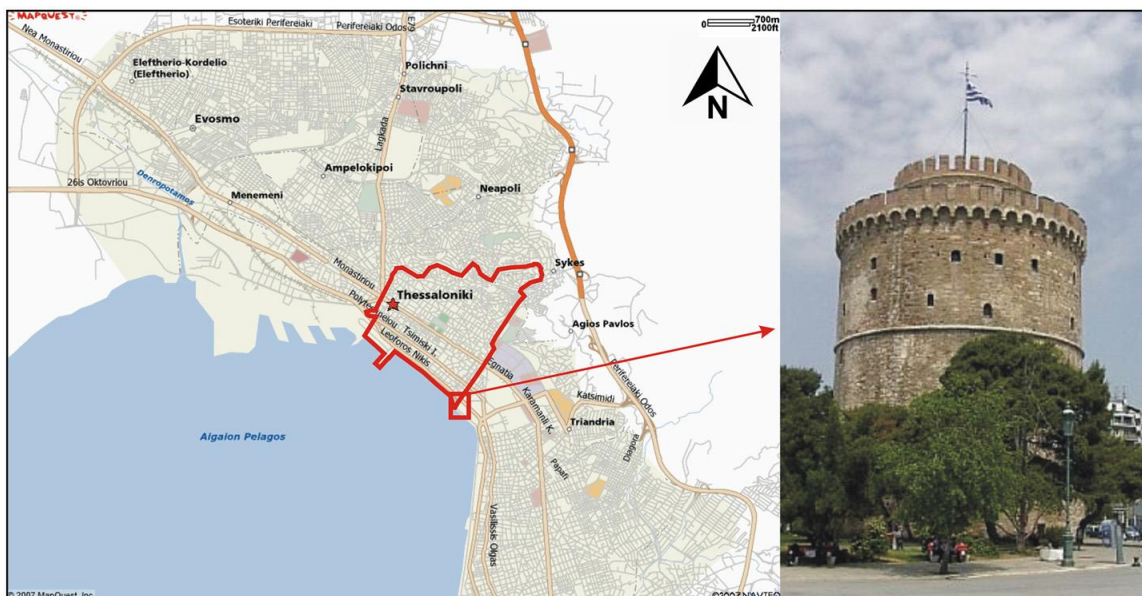
Στους επιφανειακούς ορίζοντες (πρόσφατες επιχωματώσεις) συμπεριλαμβάνονται υλικά που προέκυψαν είτε από τις εκσκαφές για τη διαμόρφωση διαφόρων χώρων θεμελίωσης είτε από χώρους δανειοδότησης υλικών που αποτέθηκαν σε παράκτιες κυρίως περιοχές. Αποτελούνται από αργιλοίλυδη λεπτομερή κυρίως υλικά με άμμο, ψηφίδες και χάλικες.

Γενικά οι επιχωματώσεις είναι χαλαροί και με κακή γεωμηχανική συμπεριφορά σχηματισμοί με πάχη που φθάνουν μέχρι και 20 μέτρα, καλύπτοντας κυρίως τους σχηματισμούς του νεογενούς.

Η χαλαρότητα, τα υποβαθμισμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με τη σχετικά αυξημένη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής, απαιτούν προσεκτική θεμελίωση των διαφόρων κατασκευών και πάντα σύμφωνα με τους σύγχρονους κανόνες δόμησης, ώστε να θωρακιστούν από αστοχίες ιδιαίτερα ύστερα από κάποια δυναμική φόρτιση.



Σχήμα 2 Η θέση του ιστορικού κέντρου στην αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης (Μακεδών κ.ά. 2006) .



Σχήμα 3 Ο λευκός πύργος της Θεσσαλονίκης και η θέση του στο ιστορικό κέντρο (τμήμα της τις παλιές οχυρώσεις). (Μακεδών κ.ά. 2006)

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της πόλης έχουν περιγραφεί από πολλούς ερευνητές. Έχουν ταξινομηθεί ως SC-CL 60% και SM, GM σύμφωνα με το Ηνωμένο σύστημα ταξινόμησης του εδάφους (Αναστασιάδης, 2001). Γενικά είναι πληρωμένη από πηλό με χαλίκια και άμμο, βότσαλα, μπάζα, απορρίμματα, υλικά κατεδαφίσεων και τα μέλη των αρχαίων δομών, κεραμικά, ξύλο κλπ. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 2 έως 13m και έχει χαρακτηριστεί ως “μέσο γέμισμα”, (Charles, 1993).

Οι αναλύσεις μεγέθους κόκκων έδειξαν ότι η ποσότητα πλήρωσης έχει τις ακόλουθες μέσες τιμές (Αναστασιάδης, 2001):

1. Ποσοστό του εδάφους με μέγεθος σωματιδίων μικρότερο από 0. 074 χιλιοστά.
2. Ποσοστό του εδάφους με μέγεθος σωματιδίων μικρότερο από 4. 76 χιλιοστά.

Το ποσοστό της ιλύος και της αργίλου είναι υψηλό και οι καταθέσεις φαίνονται να είναι συνεκτικές. Οι τιμές αυτές αφορούν το συγκολλητικό υλικό. Το μεγαλύτερο βάρος της μονάδας πλήρωσης της Θεσσαλονίκης είναι περίπου $18.5-20\text{kN}/\text{m}^3$. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι τυπικές τιμές πυκνοτήτων του πεδίου.

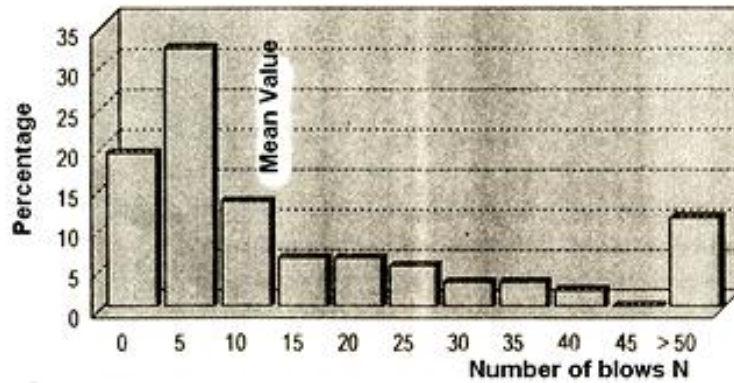
Πίνακας 1

Type*	Fill material	Placement method			Typical field density				
		Layer thickness (m)	Number of passes	Roller weight (kN/m)	ρ_d (Mg/m ³)	w (%)	ρ_s (Mg/m ³)	n (%)	V _a (%)
Eng	Clayfill	0.2	6	30	1.68	20	2.65	37	3
Non-eng	Clayfill	–	–	–	1.53	20	2.65	42	12
Eng	Sandfill	0.25	6	30	1.85	6	2.65	30	19
Non-eng	Sandfill	–	–	–	1.55	6	2.65	42	32
Eng	Sandstone rockfill	1.0	4	60	2.03	7	2.65	23	9
Non-eng	Sandstone rockfill	–	–	–	1.60	7	2.65	40	28
Eng	Colliery spoil	0.30	6	40	1.86	11	2.55	27	7
Non-eng	Colliery spoil	–	–	–	1.56	11	2.55	39	22
Eng	Conditioned pfa	0.30	8	40	1.30	25	2.20	41	8
Non-eng	Lagoon pfa	–	–	–	1.17	40	2.20	47	0

Οι δείκτες ρευστότητας και πλαστικότητα έχουν τις ακόλουθες τιμές: (Αναστασιάδης, 2001)

- LL=31 ± 5. 5
- PL=19 ± 4
- PI=12 ± 5. 8

Ένας μεγάλος αριθμός των Πρότυπων Δοκιμών Διείσδυσης (SPT) που έχουν διεξαχθεί στη Θεσσαλονίκη από το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ(1985), όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα με χτύπημα N30.



Σχήμα 4

Στο παρακάτω πίνακα γίνεται εκτίμηση της διατμητικής γωνίας σύμφωνα με το υλικό πλήρωσης.

Πίνακας 2

Υλικό πλήρωσης	Διατμητική γωνία
Πηλός	20° με 30°
Άμμος	32° με 37°
Πετρώματα	35° με 42°

Κεφάλαιο 3

Γεωφυσική έρευνα

3. 1. 1 Περιγραφή υφαλμύρωσης

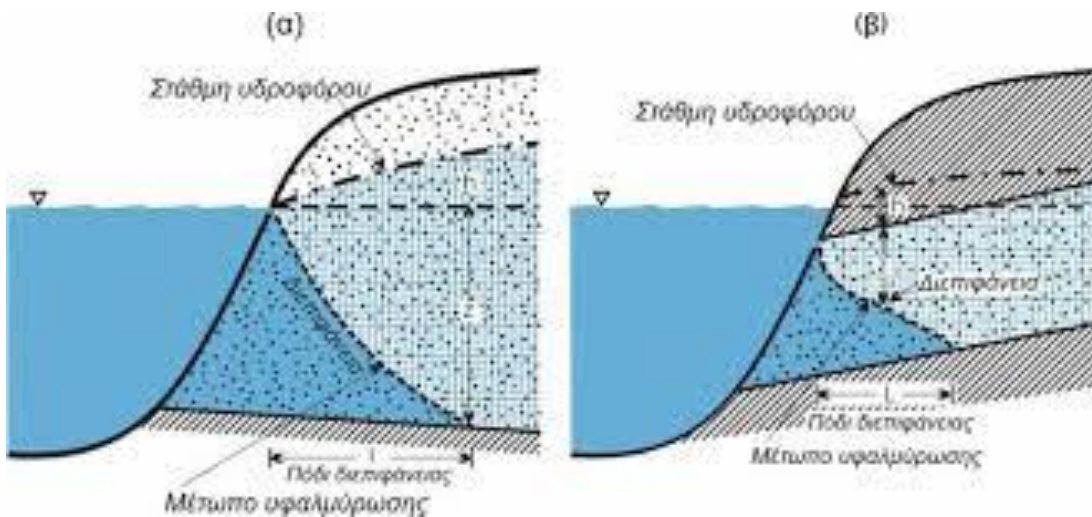
Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την είσοδο της θάλασσας σε αυτούς λόγω διατάραξης της υδροστατικής ισορροπίας, και είναι το πρόβλημα όλων των χωρών που προέρχονται από θάλασσα, όπως και η Ελλάδα. Η υφαλμύρωση έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των παράκτιων υδροφορέων.

Με τον όρο «υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων» εννοείται ύπαρξη όχι μόνο γλυκού αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς αυτούς. Αιτία ύπαρξης της υφαλμύρωσης μπορεί να είναι γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Η υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων αποτελεί ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και αφορά συγκεκριμένους υδροφορείς, με γνωστά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Στην επαφή αλμυρού και γλυκού νερού δημιουργείται μια μεταβατική ζώνη μεταβαλλόμενης πυκνότητας και ορισμένου πάχους γνωστή ως διεπιφάνεια. Πάνω από αυτή κινείται το ελαφρύτερο γλυκό νερό (ειδικό βάρος περίπου $1.000 \text{ cm}^3/\text{gr}$) που εξέρχεται προς τη θάλασσα ενώ από κάτω συναντάται το αλμυρό νερό (ειδικό βάρος περίπου $1.025 \text{ cm}^3/\text{gr}$).

Δύο είναι οι τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων:

- Θεώρηση διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους, λόγω υδροδυναμικής διασποράς.
- Θεώρηση απότομης διεπιφάνειας, εάν το πάχος της διεπιφάνειας είναι μικρό σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα.

Περισσότερο από έναν αιώνα πριν, οι Badon-Ghyben (1888) και Herzberg (1901), ανεξάρτητα, βρήκαν ότι η στάθμη του θαλάσσιου νερού στο έδαφος δεν βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας αλλά κάτω από αυτό, 40 περίπου φορές τη διαφορά στάθμης του γλυκού νερού από το επίπεδο της θάλασσας.



Σχήμα 5. Διαδικασία υφαλμύρωσης υδροφορέων σε επαφή με τη θάλασσα.

Η σχέση αυτή, γνωστή με τ' όνομα Ghyben-Herzberg, προκύπτει από την υδροστατική ισορροπία μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού.

Η αλάτινη σφήνα θεωρείται ακίνητη, η πίεση στη διεπιφάνεια είναι κοινή και για τις δύο περιοχές και θεωρείται ότι ισχύει η γνωστή παραδοχή Dupuit. Ορίζοντας h_f το ύψος γλυκού νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και h_s τη θέση της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού κάτω από αυτήν και γ_f , γ_s τα ειδικά βάρη γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα και δ το λόγο $\gamma_f/(\gamma_s - \gamma_f)$, ισχύει:

$$h_s \cdot \gamma_s = (h_s + \gamma_s) \cdot \gamma_s$$

$$h_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_f} \cdot h_f \equiv \delta h_f$$

Εξίσωση 1

Οι αφορμές που συντέλεσαν στη δημιουργία της υφαλμύρωσης των υδροφόρων οριζόντων διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς:

Κύρια αίτια υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών και κυρίως των παραλιακών υπόγειων υδροφόρων αποτελεί η ύπαρξη χαμηλής πιεζομετρίας. Η όποια φυσική ή ανθρωπογενής δράση που συνεπάγεται με περαιτέρω μείωση του υδραυλικού φορτίου, αποτελεί λόγω για ανύψωση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού. Κύριες φυσικές δράσεις που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι οι καθο-

δικές κινήσεις της στεριάς και άλλοι γεωλογικοί παράγοντες. Επίσης οι κλιματικές μεταβολές που προκαλούν εν μέρει τη μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας που προκαλείται από τήξη παγετώνων.

Η θάλασσα εισχωρεί με έντονους ρυθμούς και τα αποθέματα νερού μειώνονται επικίνδυνα από αλόγιστη χρήση που γίνεται από τις ανθρώπινες δράσεις που προκαλούν ελάττωση των υδραυλικών φορτίων.

Στη χώρα μας η άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η ανάπτυξη και η εντατικοποίηση της γεωργίας συνοδευόμενη από αλόγιστη χρήση λιπασμάτων έγιναν αίτια εμφάνισης νιτρικών αλάτων και άλλων ρυπαντών και η ανάπτυξη του τουρισμού έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των υδάτινων αναγκών σε υπόγειο νερό, με αποτέλεσμα τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους σχηματισμούς προκαλώντας την υφαλμύρωση των αποθεμάτων που καθίστανται ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση.

Οι επιπτώσεις της υφαλμύρωσης. Η άντληση υπόγειου νερού σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές μετακινεί τη διεπιφάνεια (ή μεταβατική ζώνη) που σχηματίζεται ανάμεσα στο υπόγειο γλυκό νερό και το νερό της θάλασσας. Το υπόγειο μέτωπο του θαλασσινού νερού προωθείται προς την ξηρά (εισχώρηση θαλασσινού νερού) και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο νερό (υφαλμύρωση) ή ακόμα και θαλασσινό νερό. Γενικά το υφάλμυρο νερό χαρακτηρίζεται ακατάλληλο τόσο για άρδευση όσο και για ύδρευση ενώ οι επιπτώσεις του στην υγεία των καταναλωτών έχουν να κάνουν με την καρδιά και το κυκλοφορικό σύστημα. Τέλος, στις περιπτώσεις όπου στα δίκτυα μεταφοράς το νερό είναι υφάλμυρο, λόγω της μεγάλης διαβρωτικής ικανότητας, προκαλεί σημαντικά προβλήματα στα διάφορα στοιχεία του δικτύου, όπως αύξηση των ρυθμών εμφάνισης βλαβών με επακόλουθη μείωση του χρόνου ζωής τους, αύξηση των απωλειών λόγω διαρροής, μείωση της παροχετευτικής ικανότητας των αγωγών, αύξηση του λειτουργικού κόστους συντήρησης του δικτύου και του βαθμού αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας του.

3. 1. 2 Σχέση υφαλμύρωσης με τις γεωφυσικές ιδιότητες

Πριν ασχοληθούμε με τη συγκεκριμένη έρευνα, θα αναφέρουμε τις τιμές αντίστασης των κοινών πετρωμάτων, του εδάφους και άλλων υλικών. Οι έρευνες αντίστασης δίνουν μια εικόνα της διανομής της αντίστασης του υπεδάφους. Ο παρακάτω πίνακας (πίνακας 3) δίνει τις τιμές των αντιστάσεων των υλικών εδάφους, (Keller και Frischknecht 1966, Daniels και Alberty 1966).

Πίνακας 3

ΥΛΙΚΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)
ΠΥΡΙΓΕΝΗ-METAMORΦΩΜΕΝΑ	
Γρανίτης	$5 \times 10^3 - 10^6$
Βασάλτης	$10^3 - 10^6$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 \times 10^3$
Χαλαζίας	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Γάβρος	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	
Άμμος	$8 - 4 \times 10^3$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 \times 10^3$
Ασβεστόλιθος	$50 - 4 \times 10^2$
Ασβεστίτης	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Ψαμμίτης	$1 - 1 \times 10^8$
Άργιλος	1-100
Αέρας	Άπειρο
Σιδηροπυρίτης	3×10^{-1}

Γαληνίτης	2×10^{-3}
Υπόγειο νερό	0.5-300
Θαλάσσιο νερό	0.2

Τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα πετρώματα τυπικώς έχουν υψηλές τιμές αντιστάσεως. Η αντίσταση των πετρωμάτων αυτών σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το βαθμό της θραύσεως, και το ποσοστό των ρωγμών που γεμίζουν με νερό. Ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία συνήθως είναι πιο πορώδη και έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό, συνήθως έχουν χαμηλότερες τιμές αντίστασης. Αργιλικά εδάφη έχουν συνήθως χαμηλότερη τιμή αντίστασης από αμμώδη εδάφη. Η ειδική αντίσταση του νερού του εδάφους κυμαίνεται από 10 έως 100 ohm • m, ανάλογα με τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων. Η χαμηλή αντίσταση του θαλασσινού νερού είναι περίπου 0, 2 ohm•m, λόγω της σχετικά υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι.

Η σχέση μεταξύ των γεωφυσικών παραμέτρων και της ποιότητας του νερού.

Η ειδική αντίσταση ρ ενός πορώδους χωρίς αργιλικά ορυκτά μπορεί να εκφράζεται από το νόμο του Archie (Archie 1942), ο οποίος είναι ένας εμπειρικά καθορισμένος τύπος που εκφράζει την αντίσταση ως συνάρτηση της αντίστασης ρ_0 νερού, του πορώδους (η) και του κορεσμού ύδατος(s).

$$\rho = \alpha \cdot \rho_0 \cdot \eta^{-m} \cdot S^{-n}$$

Εξίσωση 2

Η τιμή του n και m εξαρτάται κυρίως από τη συγκόλληση. Εάν οι κόκκοι ορυκτών είναι μονωτές, τότε $a = 1$, που είναι η βασική προϋπόθεση για τον τύπο του Archie.

Η αγωγιμότητα ενός ρευστού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωση και την κινητικότητα των ιόντων, όπου η κινητικότητα ιδιαίτερα εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αγωγιμότητα του νερού είναι συνήθως τυποποιημένα στους 25°C. Κατά τη σύγκριση ΕΚ νερού με αγωγή υδροφόρο ορίζοντα είναι σημαντικό να διορθωθεί η πραγματική θερμοκρασία του νερού. Η αγωγιμότητα των περισσότερων υπόγειων υδάτων ποικίλλει ανάλογα με περίπου 2% ανά ° C (Clesceri, 1998).

Παράμετροι ποιότητας του νερού που σχετίζονται με την αγωγιμότητα. Νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα, κυρίως του ασβεστίου (Ca^{+2}) και μαγνησίου (Mg^{+2}) ιόντα, που θεωρούνται ως σκληρά. Σκληρότητα του νερού είναι ένα σημαντικό κριτήριο για τεχνικούς λόγους (Πίνακας 4). Το σκληρό νερό μπορεί να αναμένεται σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες ασβεστόλιθο ($CaCO_3$) ή δολομίτη ($CaMg(CO_3)_2$) (Reynolds and Richards 1996). Η σκληρότητα του νερού με τα πολυσθενή ιόντα του, συμβάλλει άμεσα στην αγωγιμότητα (Krawczyk και Ford 2006, 2007). Η συνολική σκληρότητα (H_T) μπορεί να υπολογιστεί από το περιεχόμενο των: Ca^{+2} και Mg^{+2} στο νερό, από τον τύπο: H_T [mg/l ως $CaCO_3$] = 2, 497 [Ca^{+2} , mg/l] + 4. 118 [Mg^{+2} , mg/l] όπως περιγράφεται στο Πρότυπες Μεθόδους 2340 B (Clesceri, 1998).

Η ποσότητα του αλατιού και ιδιαίτερα το νάτριο διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην εκτίμηση της επικίνδυνης αλατότητας για τις καλλιέργειες και τα φυτά. Πολλά φυτά είναι ευαίσθητα σε υψηλή αλατότητα και όταν η συγκέντρωση του νατρίου (Na^+) είναι υψηλή, τείνει να απορροφηθεί από σωματίδια αργίλου, ενώ αντικαθιστά τα Ca^{+2} και Mg^{+2} . Αυτή η διαδικασία ανταλλαγής μειώνει την διαπερατότητα του εδάφους και θα μπορούσε να οδηγήσει σε κακή εσωτερική αποστράγγιση και σε σκληρά, άγονα εδάφη (ΗΠΑ Εργαστηριακό Προσωπικό Αλατότητα 1954). Ο κίνδυνος του νατρίου του νερού άρδευσης εκτιμάται από την αναλογία Απορρόφηση Νάτριο:

$SAR = Na^+ / (((Ca^{+2} + Mg^{+2}) / 2)^{1/2})$ και σχετίζεται με τις σχετικές αναλογίες των Na^+ , Ca^{+2} και Mg^{+2} .

Πίνακας 4

Σκληρότητα [mg/l] ως $Ca-HCO_3$	Βαθμός σκληρότητας
1-75	Μαλακά
75-150	Μέτρια μαλακό
150-300	σκληρά
300 και πάνω	Πολύ σκληρά

3. 2 Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Γεωφυσική διασκόπηση είναι η μελέτη της δομής των στοιχείων που δεν μπορούν να έρθουν σε επαφή ή άμεση παρατήρηση στα επιφανειακά στρώματα του γήινου φλοιού με βάση τις μετρήσεις γεωφυσικών μεθόδων και με την εφαρμογή νόμων της φυσικής. Σκοπός της γεωφυσικής είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών οικονομικής σημασίας και όχι μόνο.

Στην γεωφυσική έρευνα δεν μας ενδιαφέρουν οι τιμές των διαφόρων μεγεθών, αλλά οι μεταβολές τους που οφείλονται στις ανωμαλίες της δομής του φλοιού της Γης. Σκοπός της γεωηλεκτρικής μεθόδου διασκόπησης είναι να μετρηθεί η διαφορά δυναμικού που προκαλείται από την εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη γη. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει τη δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μια ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν και διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις η γνώση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έμμεση εύρεση της γεωλογικής δομής και δομών ενδιαφέροντος. Η ποσότητα που μετράμε συνήθως, η ηλεκτρική τάση, ενώ η ποσότητα η οποία παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον και της οποίας επιδιώκεται ο καθορισμός της και η μελέτη της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων για έρευνες υπόγειων υδάτων έχει καθιερωθεί ως ένα επιτυχημένο εργαλείο για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών των υδροφόρων οριζώντων και για την απεικόνιση ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων των υπογείων υδάτων (Zohdy et al., 1990). Παρόμοιες γεωφυσικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε παράκτιες μελέτες υπόγειων υδάτων, ειδικά για την παρακολούθηση της διεύδυσης του αλμυρού νερού. Επειδή η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται από την αλατότητα (Archie, 1942), ηλεκτρικές μέθοδοι, όπως η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και απεικόνιση αντίστασης προσφέρονται ιδιαίτερα για τις έρευνες παράκτιων υπόγειων υδάτων λόγω της έντονης αντίθεσης στην αγωγιμότητα μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού.

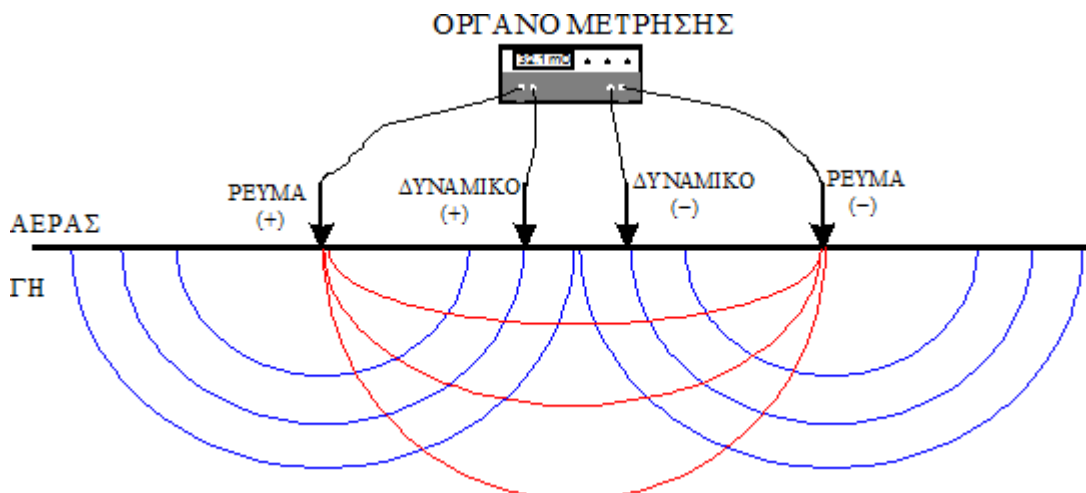


Σχήμα 6

Στις ηλεκτρικές τεχνικές διασκόπησης περιλαμβάνονται οι παρακάτω μέθοδοι:

- Ειδική ηλεκτρική αντίσταση
- Επαγόμενη πόλωση
- Ισοδυναμικές γραμμές
- Φυσικό δυναμικό
- Τελλουρικά ρεύματα

Οι μέθοδοι αυτοί μπορεί να διαχωριστούν σε δυο κατηγορίες, σε εκείνες βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεθόδων φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων και σε εκείνες που βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία.



Σχήμα 7

Η ειδική αντίσταση, ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ηλεκτρική διασκόπηση.

Αν R είναι η ηλεκτρική αντίσταση ενός κομματιού πετρώματος σχήματος κυλίνδρου, διατομής S και μήκος l , η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, ορίζεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

Εξίσωση 3

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. (Πίνακας 3).

Η μέθοδος της ειδικής αντίστασης εφαρμόζεται πλατύτερα από όλες τις άλλες μεθόδους γεωηλεκτρικής αντίστασης διασκόπησης και ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων κατά τις οποίες παράγεται στο έδαφος με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου

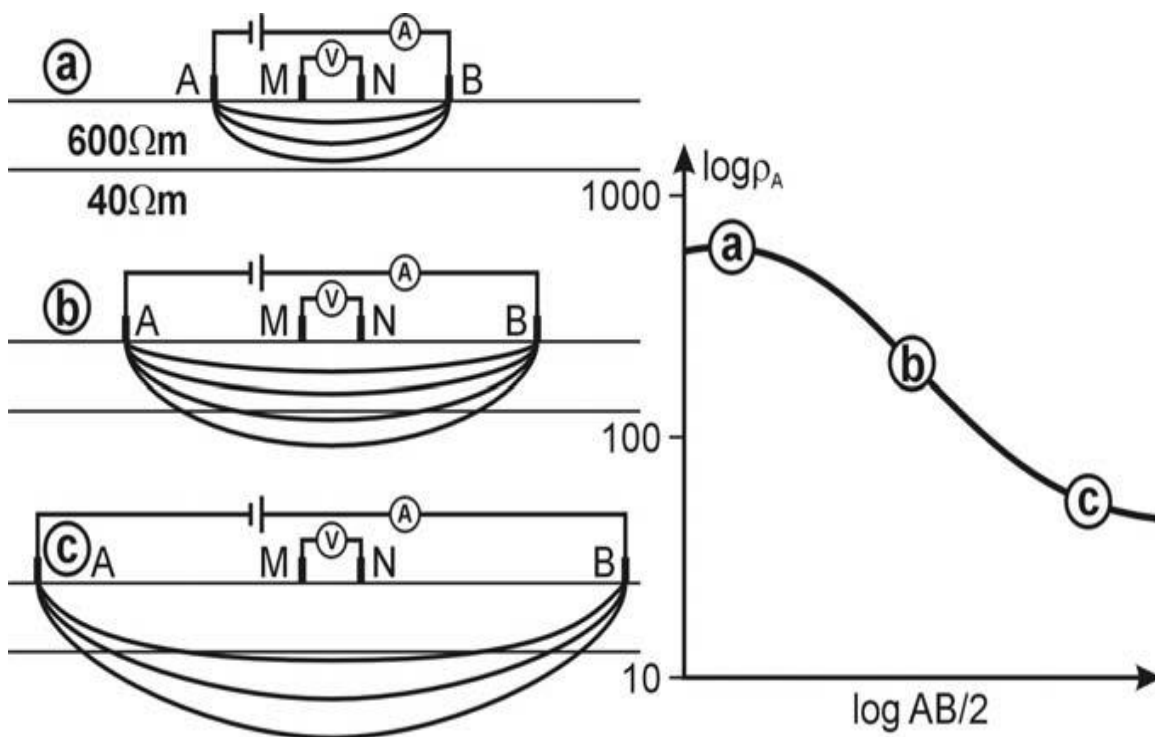
αυτού διαμορφώνονται από τη δομή του υπεδάφους και για το λόγο αυτό ο καθορισμός των ιδιοτήτων αυτών με μετρήσεις του δυναμικού οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους.

3. 2. 1 Τρόποι μέτρησης (1D, 2D)

Η μέθοδος αντίστασης έχει τις ρίζες της στη δεκαετία του 1920. Στη μέθοδο αυτή, το κεντρικό σημείο της συστοιχίας ηλεκτροδίων παραμένει σταθερή, αλλά η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι αυξημένη προκειμένου να λάβει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα βαθύτερα τμήματα του υπεδάφους.

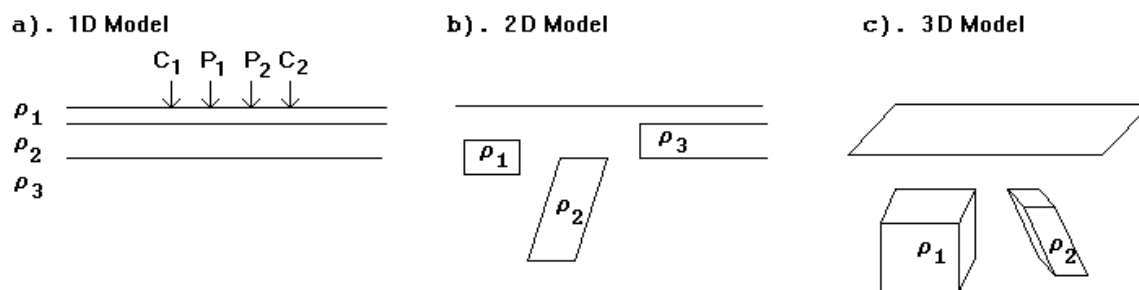


Σχήμα 8 Μία συμβατική συστοιχία τεσσάρων ηλεκτροδίων για τη μέτρηση της αντίστασης κάτω από την επιφάνεια.



Σχήμα 9 Φαινομενικές μετρήσεις αντίστασης με αυξημένη απόσταση ηλεκτροδίων ρεύματος οδηγώντας σε αυξημένο βαθμό διείσδυσης του εγχεόμενου ρεύματος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην καμπύλη.

Παρά τον περιορισμό αυτό, στη μέθοδο αυτή δίνονται χρήσιμα αποτελέσματα για τις γεωλογικές καταστάσεις, όπου το μονοδιάστατο μοντέλο είναι περίπου αλήθεια. Μια άλλη κλασική τεχνική έρευνα είναι το προφίλ μέθοδος. Στην περίπτωση αυτή, η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερή, αλλά η όλη διάταξη κινείται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Αυτό δίνει κάποιες πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στα πλάγια της υπόγειας αντίστασης, αλλά δεν μπορεί να ανιχνεύσει κατακόρυφες μεταβολές στην αντίσταση. Ερμηνεία των στοιχείων από έρευνες προφίλ είναι κυρίως ποιοτική.



Σχήμα 10 Τα τρία διαφορετικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη ερμηνεία των μετρήσεων αντίστασης

3. 2. 2 Δισδιάστατη μέτρηση (τομογραφία)

Έχουμε δει ότι ο μεγαλύτερος περιορισμός της μεθόδου αντίστασης είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη οριζόντιες αλλαγές της αντιστάσεως, στο υπέδαφος. Ένα πιο ακριβές μοντέλο του υπεδάφους είναι το δύο διαστάσεων (2-D) μοντέλο όπου οι αλλαγές στην αντίσταση έχουν κατακόρυφη διεύθυνση, καθώς και οριζόντια διεύθυνση κατά μήκος της γραμμής έρευνας. Σε αυτή την περίπτωση, υποτίθεται ότι η ειδική αντίσταση δεν αλλάζει στην κατεύθυνση, που είναι κάθετη προς την γραμμή έρευνας. Ωστόσο, επί του παρόντος, 2-D έρευνες είναι πιο πρακτικές και οικονομικά συμβιβασμένες μεταξύ της απόκτησης αποτελεσμάτων, μεγάλης ακρίβειας και διατηρώντας το κόστος της έρευνας προς τα κάτω. Τυπικές 1-D αντίστασης έρευνες συνήθως περιλαμβάνουν περίπου 10 έως 20 αναγνώσεις, ενώ 2-D αντίστασης έρευνες απεικόνισης περιλαμβάνουν περίπου 100 έως 1000 μετρήσεις.

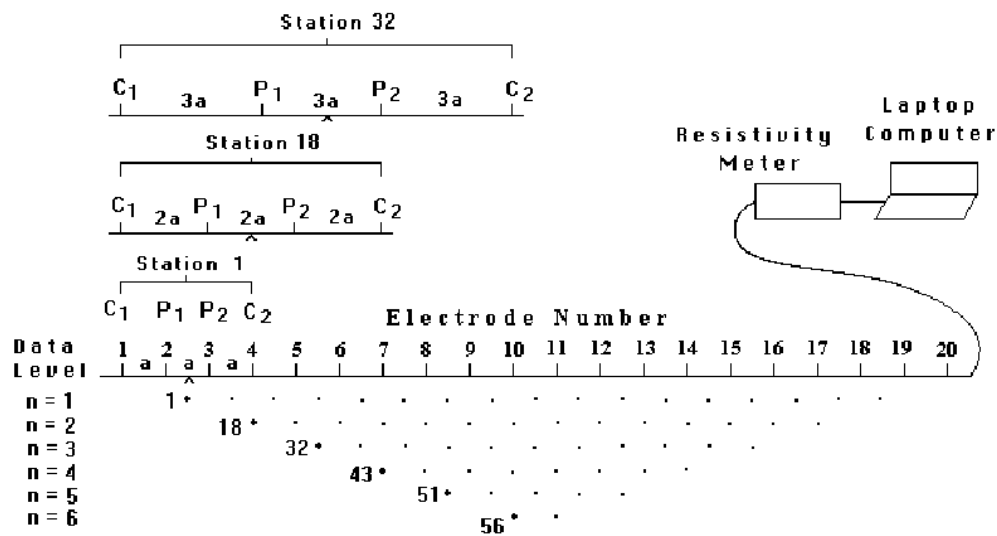
Το κόστος μιας τυπικής 2-D έρευνας αντιστάσεως θα μπορούσε να είναι αρκετές φορές το κόστος μιας 1-D έρευνας, και είναι πιθανόν να συγκριθεί με μια σεισμική έρευνα. Σε πολλές γεωλογικές περιπτώσεις, 2-D αντίστασης ηλεκτρικές έρευνες απεικόνισης, μπορούν να δώσουν χρήσιμα αποτελέσματα τα οποία είναι συμπληρωματικά με τις πληροφορίες που λαμβάνονται με άλλες γεωφυσικές μεθόδους. Για παράδειγμα, οι σεισμικές μέθοδοι μπορεί να χαρτογραφίσουν κυματιστές διεπαφές, αλλά θα έχουν δυσκολία (χωρίς τη χρήση προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας δεδομένων) στη χαρτογράφηση με διακριτά όργανα, όπως κοιλότητες βράχων, και φτερά της ρύπανσης. Έρευνες με ραντάρ εδάφους μπορούν να παρέχουν πιο λεπτομερείς εικόνες, αλλά έχουν πολύ περιορισμένη διείσδυση σε περιοχές με αγωγίμα ενοποιημένα ιζήματα, όπως αργιλώδη εδάφη. Οι 2D ηλεκτρικές έρευνες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό

με σεισμικές έρευνες ή GPR καθώς παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με το υπέδαφος.

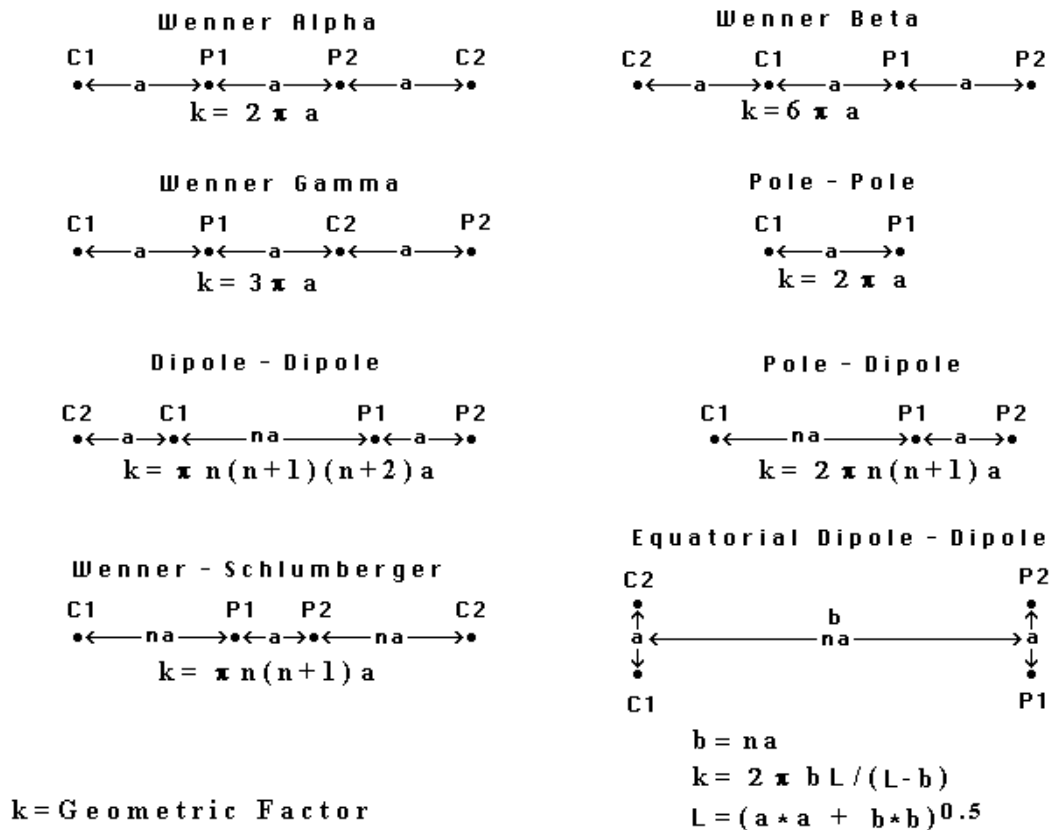
Μία από τις νέες εξελίξεις των τελευταίων χρόνων είναι η χρήση της 2-D ηλεκτρικής απεικόνισης / έρευνα τομογραφίας, για τη χαρτογράφηση περιοχών με μέτρια έως πολύπλοκη γεωλογία (Griffiths και Barker 1993). Τέτοιες έρευνες συνήθως διεξάγονται με τη χρήση ενός μεγάλου αριθμού ηλεκτροδίων, 25 ή περισσότερα, συνδέονται με ένα πολύκλωνο καλώδιο. Ένας φορητός μικρός υπολογιστής μαζί με μια ηλεκτρονική μονάδα μεταγωγής χρησιμοποιείται για να επιλέγει αυτόματα τις σχετικές τιμές των τεσσάρων ηλεκτροδίων για κάθε μέτρηση (Σχήμα 11). Προς το παρόν, οι τεχνικές και ο εξοπλισμός για τη διεξαγωγή 2-D αντιστάσεως έρευνες είναι αρκετά ανεπτυγμένες.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατά τους οποίους διατάσσονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού. Οι πιο γνωστές από αυτές φαίνονται στο σχήμα και είναι η διάταξη Wenner, η διάταξη Schlumberger, η διπόλου-διπόλου, η διάταξη πόλου-διπόλου και η διάταξη πόλου-πόλου. Το κύριο χαρακτηριστικό μιας διάταξης είναι ο γεωμετρικός παράγοντας, ο οποίος σχετίζεται με τις σχετικές αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων (Τσούρλος, 1995).

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους διαφέρουν ως προς τη γεωμετρία τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η κάθε μια από αυτές να έχει διαφορετικές δυνατότητες ανίχνευσης μεταβολών της αντίστασης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Έτσι, λόγου χάρη, οι διατάξεις Wenner και Schlumberger είναι περισσότερο ευαίσθητες μεταβολές της αντίστασης με το βάθος. Οι διατάξεις διπόλου-διπόλου και πόλου-διπόλου είναι περισσότερο ευαίσθητες σε πλευρικές μεταβολές της αντίστασης.



Σχήμα 11 Η διάταξη των ηλεκτροδίων για μια 2-D ηλεκτρική έρευνα και η αλληλουχία των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μιας ψευδοτομής.



Σχήμα 12 Κοινή πίνακες που χρησιμοποιούνται σε έρευνες αντίστασης και τους γεωμετρικούς παράγοντες.

$$\rho = \frac{2\pi V}{i} \cdot \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

Εξίσωση 4

i. Διάταξη Wenner

Κατά τη διάταξη αυτή λαμβάνονται $AM=MN-NB=a$, δηλαδή, τα ηλεκτρόδια διατάσσονται συμμετρικά σε ορισμένη γραμμή. Προκύπτει πως στην περίπτωση αυτή η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από την:

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

Εξίσωση 5

δηλαδή στην περίπτωση αυτή ο γεωμετρικός συντελεστής είναι $K=2\pi a$. Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή, για κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται σε σχέση με ορισμένο κέντρο με αύξηση της a κατά ορισμένη κάθε φορά απόσταση, ενώ κατά την εφαρμογή της για ηλεκτρική χαρτογράφηση, δηλαδή, για οριζόντια ηλεκτρική διασκόπηση η απόσταση a παραμένει σταθερή και τα τέσσερα ηλεκτρόδια κινούνται κατά μήκος ορισμένης τομής (οριζόντια γραμμή), κατόπιν κατά μήκος άλλης κτλ και η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης. Η διάταξη Wenner, παρά τη γεωμετρική της απλότητα, παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων κυρίως γιατί πρέπει να μετακινούμε όλα τα ηλεκτρόδια κατά την πραγματοποίηση νέας μέτρησης και έχει επίσης η διάταξη αυτή και ορισμένα μειονεκτήματα κατά την ερμηνεία των παρατηρήσεων για θεωρητικούς λόγους.

ii. Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη αυτή η απόσταση, $MN=2l$, μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση, $AB=2L$, μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος ($L \gg l$).

Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι στην περίπτωση αυτή η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\pi L^2}{2l} \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

Εξίσωση 6

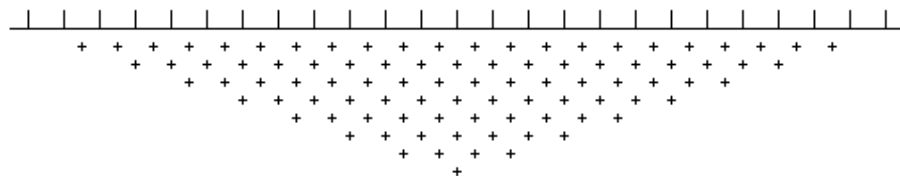
Δηλαδή στην περίπτωση αυτή ο γεωμετρικός συντελεστής είναι $K = \pi L^2 / 2l$.

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για μια γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά, ενώ η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά σχετικά με το κέντρο της διάταξης, ενώ κατά την εφαρμογή της διάταξης αυτής για γεωηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται πάνω στην τομή, ενώ η απόσταση τους παραμένει σταθερή όπως και στην διάταξη Wenner. Η διάταξη Schlumberger εφαρμόζεται περισσότερο απ' όλες τις άλλες διατάξεις, επειδή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι το ότι απαιτείται η μεταβολή της απόστασης μόνο των δύο ηλεκτροδίων κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, το ότι η χρησιμοποίηση σταθερού διπόλου τάσης περιορίζει ανεπιθύμητες επιδράσεις στις μετρήσεις που προκαλούνται από γεωλογικές πλευρικές ασυνέχειες και ότι το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου σήμερα βοηθητικού υλικού (καμπύλες, προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών) για την ερμηνεία των παρατηρήσεων έγινε για την εφαρμογή σε διάταξη Schlumberger.

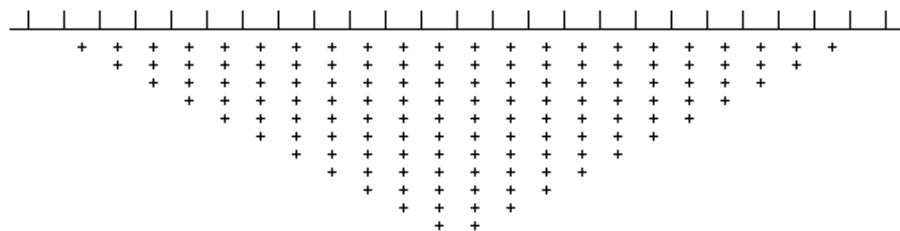
a).



Wenner



Schlumberger



$\perp$ Electrode + Datum point in pseudosection

iii. Διάταξη διπόλου-διπόλου

28

$$\rho_{\alpha} = 2\pi m(n+1) \cdot (n+2) \cdot l \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

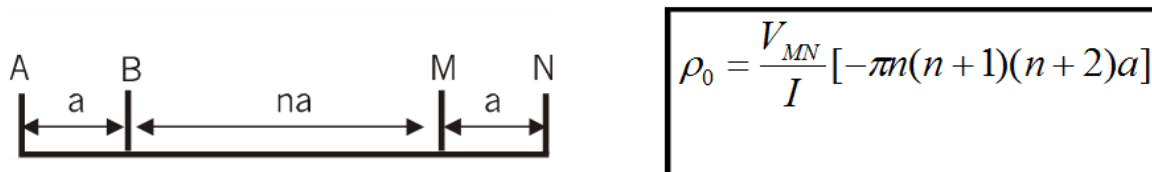
Εξίσωση 7

Η διάταξη αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι η απόσταση, $2nl$, μεταξύ του διπόλου ρεύματος και του διπόλου δυναμικού μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και περιορίζεται μόνο από τον εδαφικό θόρυβο και από τη δυνατότητα των οργάνων να καταγράψουν την τάση και όχι από την απαίτηση για μεγάλα μήκη καλωδίων, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των διατάξεων Wenner και Schlumberger. Οι μετρήσεις κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής πραγματοποιούνται με αύξηση του n κατά βήματα.

Εκτός από τις τρεις βασικές διατάξεις που αναφέραμε παραπάνω υπάρχουν και άλλες διατάξεις, για τη μέτρηση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, στις οποίες τα ηλεκτρόδια βρίσκονται στην ίδια γραμμή (τομή) αλλά χρησιμοποιούνται λιγότερο. Τέτοιες είναι η διάταξη Lee η οποία είναι όμοια με τη διάταξη Wenner με τη διαφορά ότι σ' αυτή χρησιμοποιείται το πέμπτο ηλεκτρόδιο που τοποθετείται στο μέσο της απόστασης MN και η διάταξη τριών σημείων στην οποία το ένα από τα άλλα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από τα άλλα τρία ηλεκτρόδια.

Χρησιμοποιούνται επίσης και διατάξεις μη γραμμικές, δηλαδή διατάξεις στις οποίες τα ηλεκτρόδια δε βρίσκονται στην ίδια γραμμή. Στη Σοβιετική Ένωση π. χ. χρησιμοποιείται διάταξη στην οποία εφαρμόζεται η αρχή της διάταξης δίπολο-δίπολο αλλά τα δύο δίπολα δε βρίσκονται στην ίδια γραμμή (τομή), ενώ στην Αγγλία εφαρμόζεται η τετραγωνική διάταξη στην οποία τα τέσσερα ηλεκτρόδια βρίσκονται στις κορυφές τετραγώνου και για κάθε νέα μέτρηση μεταβάλλεται η πλευρά του τετραγώνου.

ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ



Σχήμα 14

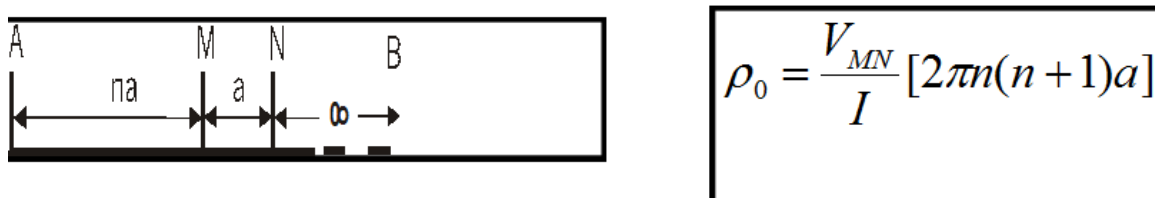
iv. Διάταξη πόλου-διπόλου

Τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος, αλλά ένα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος, λόγω χάρη το B, είναι τοποθετημένο σε απόσταση πολύ μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα τρία ηλεκτρόδια. Με τον τρόπο αυτό, οι αποστάσεις BM και BN θεωρούνται άπειρες και συνεπώς οι όροι $1/BM$ και $1/BN$ είναι πρακτικά μηδέν. Αν η απόσταση MN είναι ίση με a και η απόσταση AM ίση με na , τότε η φαινόμενη αντίσταση είναι:

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

Εξίσωση 8

ΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ



Σχήμα 15

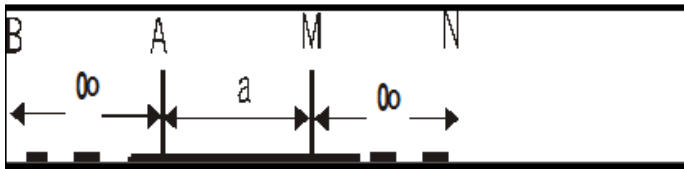
ν. Διάταξη πόλου-πόλου

Η διάταξη αυτή αποτελεί μια επιπλέον διαφοροποίηση της διάταξης πόλου-διπόλου και λαμβάνεται με μετακίνηση και ενός εκ των ηλεκτροδίων δυναμικού, λόγου χάρη του N, σε άπειρη απόσταση από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια A, M. Επομένως, οι αποστάσεις που θεωρούνται άπειρες είναι οι BM, BN και AN. Αν $AM=a$, ο γεωμετρικός παράγοντας $K=1/a$, που είναι ο ίδιος με τον γεωμετρικό παράγοντα της διάταξης Wenner και η φαινόμενη αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

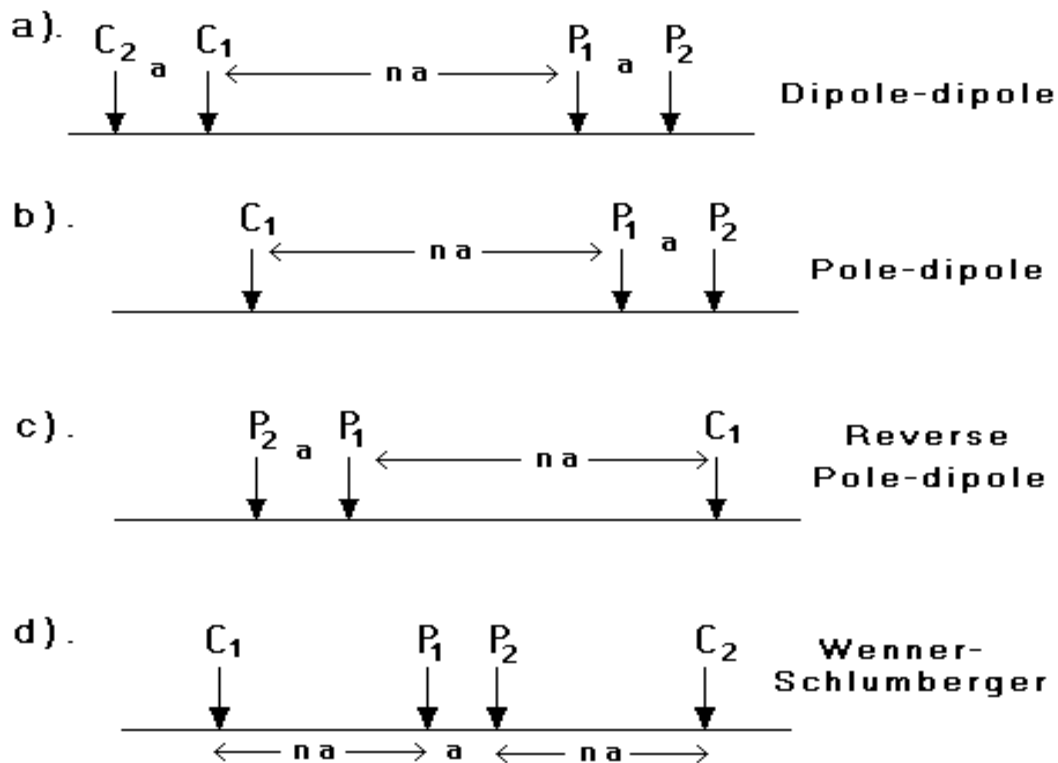
Εξίσωση 9

ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ



$$\rho_0 = \frac{V_{MN}}{I} [2\pi a]$$

Σχήμα 16

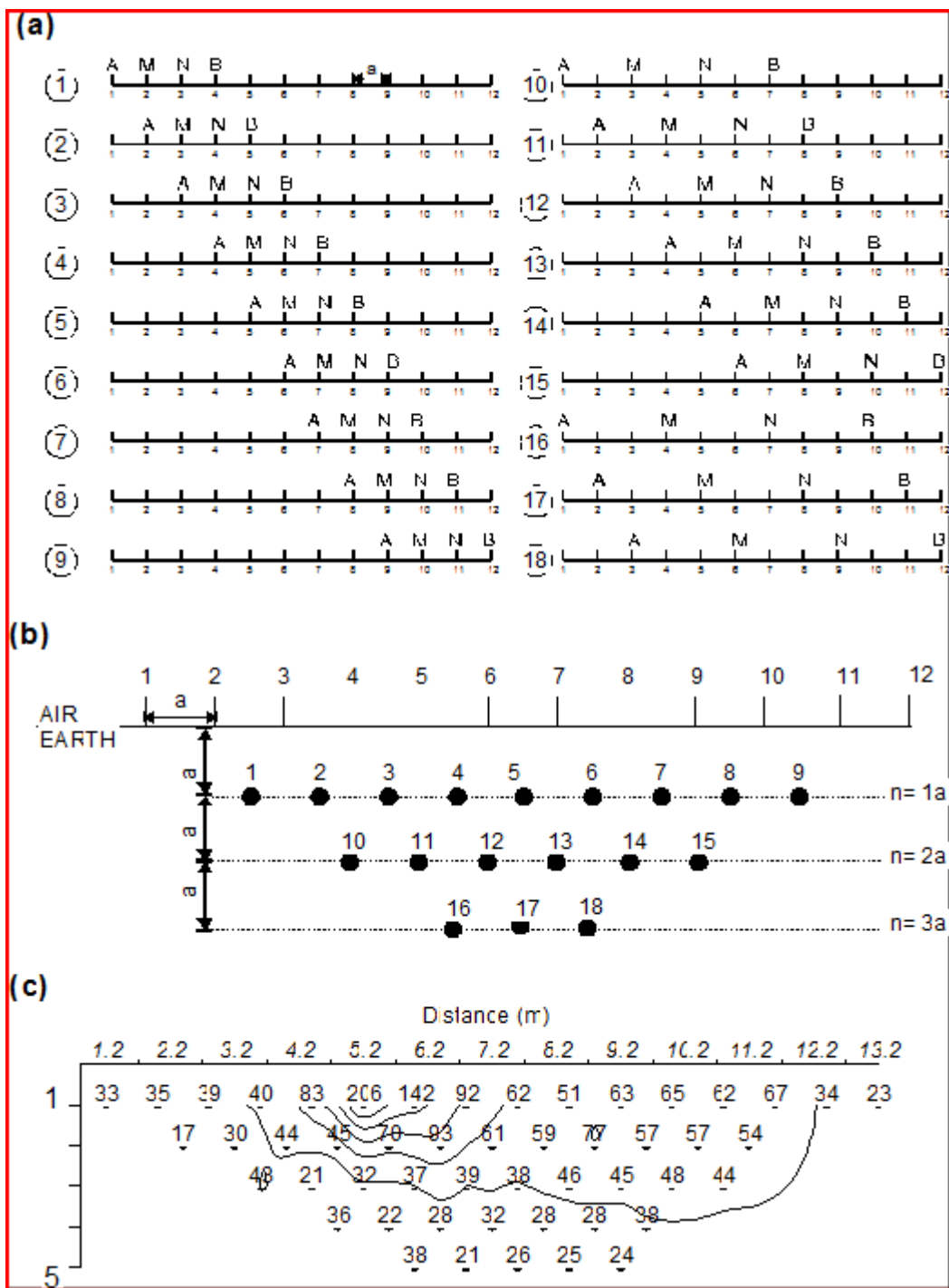


Σχήμα 17 Διάταξη των ηλεκτροδίων για την διπόλου-διπόλου, πόλου-διπόλου και Wenner-Schlumberger, όπου “n”, η απόσταση για κάθε συστοιχία.

Η μέθοδος της όδευσης-οριζοντιογραφίας είναι ένας συνδυασμός των μεθόδων της βυθοσκοπής και της όδευσης και είναι δυνατόν να πάρουμε πληροφορίες τόσο για την πλευρική όσο και για την εις βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό γίνεται με διαδοχικές οριζοντιογραφίες ή συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις επάνω από την ίδια περιοχή με συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε μια δισδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά τη ηλεκτρικής τομογραφίας είναι ότι σε σύγκριση με άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας μεγάλος αριθμός μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Όμως λόγω του μεγάλου αριθμού μετρήσεων είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων και γι’ αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών.

Πρόδρομος της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι η μέθοδος της “ψευδοτομής”. Στην διαδικασία της ψευδοτομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις όπως διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου.



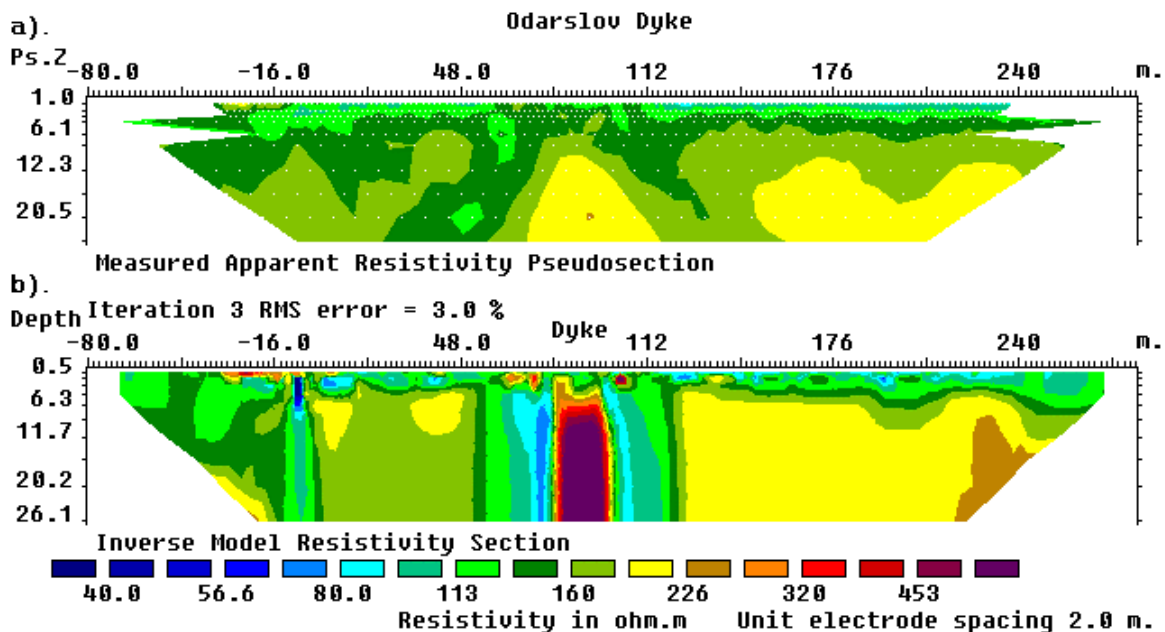
Σχήμα 18 Δισδιάστατη διασκόπηση και ψευδοτομή Wenner

x =κέντρο μέτρησης και $y=a$

3. 2. 3 Παραδείγματα εφαρμογών γεωηλεκτρικής τομογραφίας

Odarslov Ανάχωμα - Σουηδία

Ένα δολεριτικό ανάχωμα που περιβάλλεται από σχιστόλιθους προκαλεί μια επιφανή ζώνη αντίστασης (Dahlin1996) κοντά στο μέσο της ψευδομορφής στο άνω μέρος του σχήματος. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα δύσκολο σύνολο δεδομένων να αντιστραφεί ως το πλάτος του αναχώματος υψηλής ειδικής αντίστασης, επειδή είναι μικρότερο από ό, τι το βάθος στο κατώτερο τμήμα του αναχώματος. Έτσι το κατώτερο τμήμα του αναχώματος μπορεί λιγότερο καλά να επιλυθεί λόγω της μείωσης του ψηφίσματος της μεθόδου ειδικής αντίστασης με το βάθος. Σ' αυτό το τμήμα του μοντέλου, το ανάχωμα εμφανίζεται ως ένα σχεδόν κατακόρυφο σώμα υψηλή αντίσταση. Αυτό το σύνολο δεδομένων έχει 701 σημεία αναφοράς και 181 ηλεκτρόδια. Ενώ η σειρά Wenner είναι πιθανόν να μην είναι η καλύτερη σειρά για να χαρτογραφήσει μια τέτοια κάθετη δομή, το ανάχωμα εξακολουθεί να φαίνεται καθαρά στο τμήμα μοντέλο. Αυτή η έρευνα διεξήχθη στη Σουηδία από τον Δρ Torleif Dahlin του Τμήματος Τεχνικής Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο του Lund.

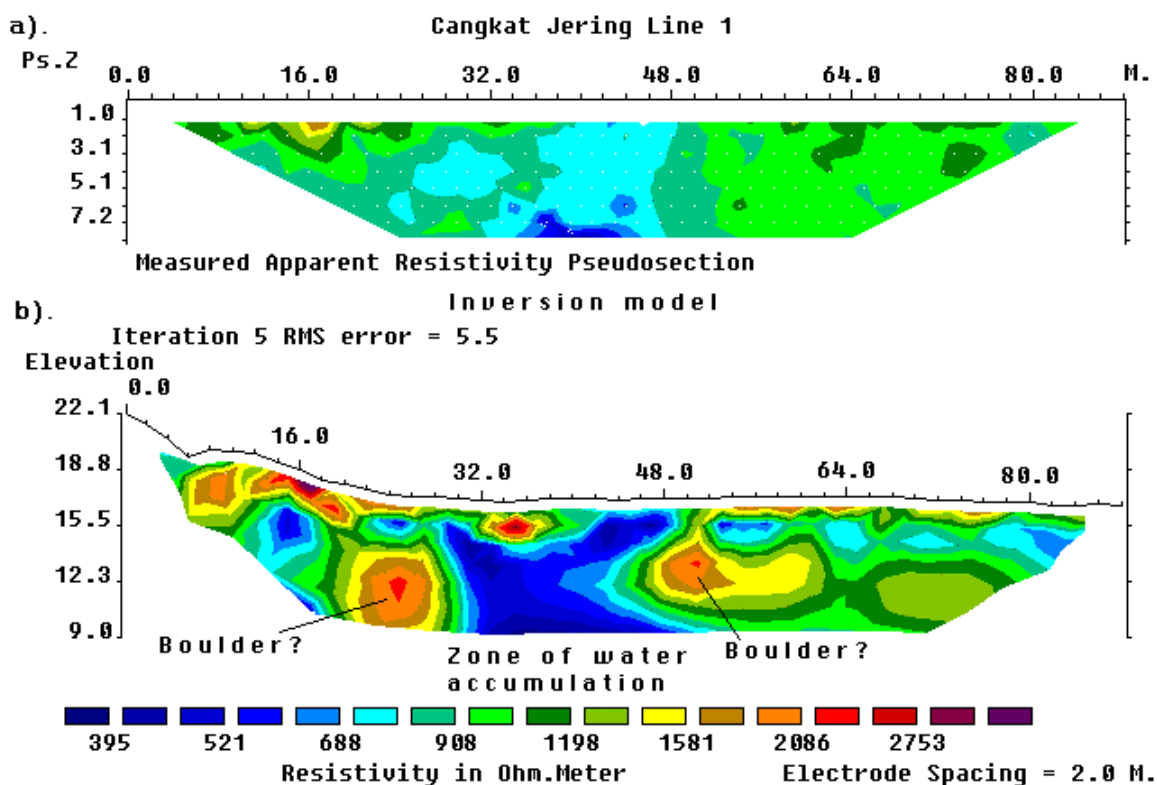


Σχήμα 19 (M.H.Loke 1997,1999)

Κατολίσθηση - Cangkat Jering, Μαλαισία

Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζει η Μαλαισία είναι κατολισθήσεις στις πλαγιές των λόφων. Οι κατολισθήσεις συχνά προκαλούνται από συσσώρευση νερού στο μέρος της πλαγιάς που οδηγεί στην αποδυνάμωση ενός τμήματος της πλαγιάς. Το Σχήμα 21 δείχνει

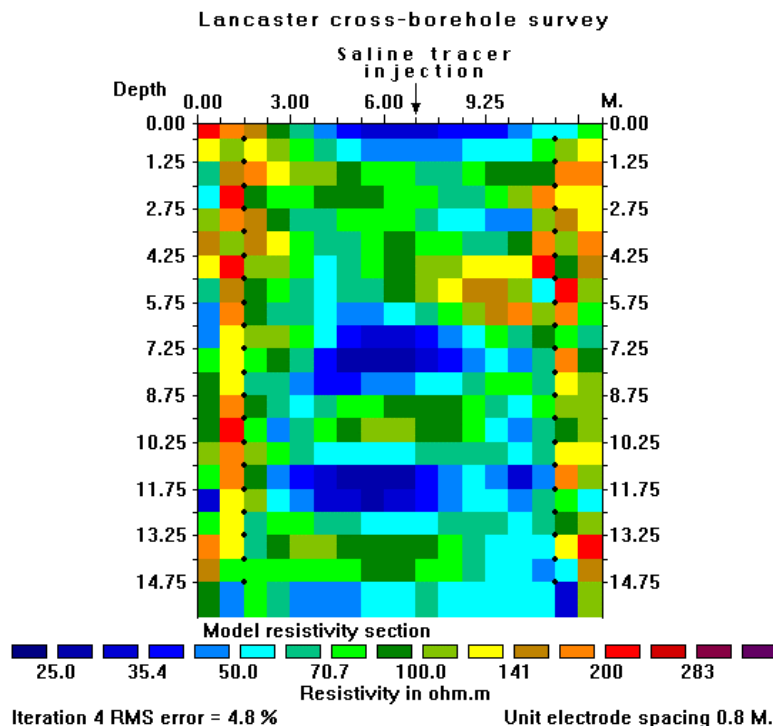
τα αποτελέσματα από μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο άνω τμήμα της μια πλαγιά όπου μια κατολίσθηση είχε συμβεί στο κάτω τμήμα. Διάβρωση του γρανιτικού υπόβαθρου που παράγεται είναι ένα αργιλώδες, αμμώδες έδαφος που αναμιγνύεται με πέτρες και άλλα βασικά υλικά. Η εικόνα που λαμβάνεται από την έρευνα αυτή δείχνει μια εξέχουσα χαμηλή ζώνη αντίστασης κάτω από το κέντρο της γραμμής της έρευνας. Αυτό πιθανόν προκαλείται από τη συσσώρευση νερού σε αυτή την περιοχή, η οποία μειώνει την αντίσταση σε λιγότερο από 600 Ohm • m. Προκειμένου να σταθεροποιηθεί η κλίση, θα ήταν αναγκαία η άντληση της περίσσειας νερού από τη ζώνη αυτή. Έτσι, είναι σημαντικό να χαρτογραφηθεί με ακρίβεια η ζώνη συσσώρευσης υδάτων.



Σχήμα 20 (M.H.Loke 1997,1999)

Έρευνα μεταξύ γεωτρήσεων - U. K

Μία εφαρμογή τομογραφίας μεταξύ γεωτρήσεων μπορεί να δώσει μια πολύ μεγαλύτερη ανάλυση από τις επιφανειακές έρευνες που έχουν επίσης πραγματοποιηθεί. Το σχήμα 22, δείχνει την αντιστροφή των φαινομένων αντιστάσεων από μια ενδιαφέρουσα έρευνα. Αυτό το σετ δεδομένων προέρχεται από γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της ροής των υγρών στον υδροφορέα Chalk του Ηνωμένου Βασιλείου, στο ανατολικό Yorkshire χρησιμοποιώντας έναν αλατούχο ιχνηθέτη (Slater et al 1997). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος διπόλου-διπόλου . Υπάρχει μια ζώνη χαμηλών αντιστάσεων κοντά στην επιφάνεια, σαν αποτέλεσμα άμεσης κατείσδυσης του αλατούχου διαλύματος στο έδαφος, αλλά και εξέχουσες ζώνες χαμηλής αντίστασης σε βάθος κάτω των 7 μέτρων λόγω του αλατούχου ιχνηθέτη που έρεε προς τα κάτω. Η αντιστροφή αυτού του συνόλου δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περίπου 15 λεπτά σε 200 Mhz υπολογιστή Pentium Pro.

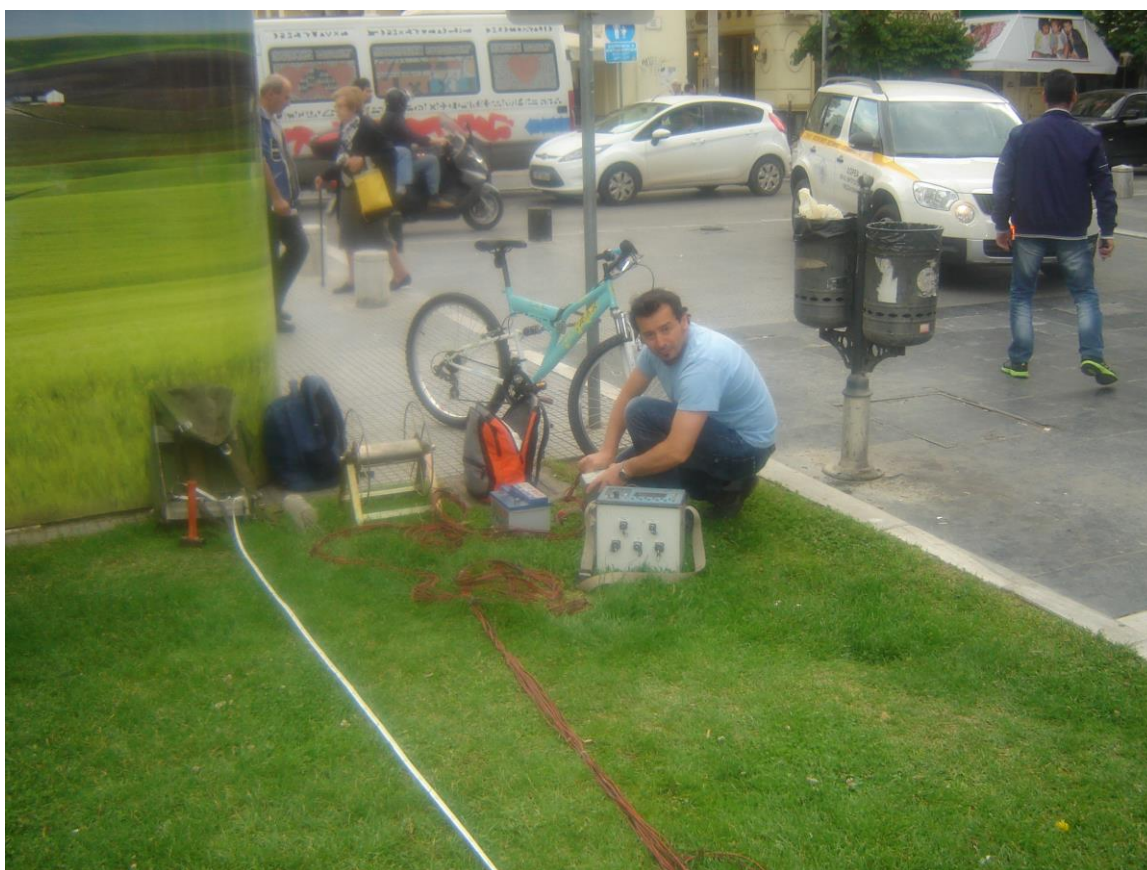


Σχήμα 21 (M.H.Loke 1997,1999)

Εκτός από αυτά τα παραδείγματα, οι 2-D έρευνες απεικόνισης έχουν πραγματοποιηθεί για πολλούς άλλους σκοπούς, όπως η ανίχνευση διαρροής ρύπων από τους χώρους υγειονομικής ταφής, ο εντοπισμός του βάθους του υποβάθρου και τη χαρτογράφηση των υπερκείμενων πάνω από ιζημάτων, η διαρροή νερού από φράγματα, καθώς και η διεύθυνση θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Οι απεικονίσεις των μεθόδων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε υποβρύχιες έρευνες σε λίμνες και φράγματα.

3.3 Μετρήσεις υπαίθρου

Η ραγδαία ανάπτυξη και επέκταση των αστικών κέντρων και η κατασκευή μικρών και μεγάλων τεχνικών έργων υποδομής δημιούργησε την ανάγκη γνώσης της δομής και σύστασης του εδάφους στις περιοχές αυτές. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορούν να εφαρμοστούν για την διερεύνηση του υπεδάφους, όπως εκσκαφές, γεωτρήσεις και γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης.



Σχήμα 22 Διάταξη εξοπλισμού μετρήσεων.

Από αυτές, οι εκσκαφές είναι αδύνατο να υλοποιηθούν σε αστικά περιβάλλοντα γιατί προϋποθέτουν την καταστροφή των ήδη υπαρχόντων δομών και επιπλέον έχουν μεγάλο κόστος. Οι γεωτρήσεις δίνουν μόνο σημειακές πληροφορίες του υπεδάφους, ενώ για την υπόλοιπη περιοχή μελέτης μόνο υποθέσεις μπορούν να γίνουν για τη δομή και τη σύσταση του υπεδάφους.

Από τις γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική τομογραφία, η οποία αποτελεί μια φθηνή και εύχρηστη μέθοδο διασκόπησης που δίνει αξιόπιστες και εύκολα ερμηνεύσιμες απεικονίσεις της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους



Σχήμα 23 Διάταξη εξοπλισμού μετρήσεων.

Για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το SYSCAL PRO της εταιρίας IRIS INSTRUMENTS. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης πολύκλινα καλώδια καθώς και ειδικά ηλεκτρόδια, υψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας (Σχήμα 24).

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κατά την εφαρμογή της είναι απαραίτητο να καρφωθούν μεταλλικά ηλεκτρόδια στο έδαφος της περιοχής μελέτης σε βάθος, γεγονός που καθιστά αδύνατη την εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα όπου υπάρχει τσιμέντο, μάρμαρο, άσφαλτος κ.τ.λ. Βέβαια πλέον είναι δυνατή η χρήση ηλεκτροδίων σε περιοχές όπου δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα “κανονικά” ηλεκτρόδια.



Για την μείωση της αντίστασης επαφής των ηλεκτροδίων χρησιμοποιείται ένα μίγμα μπετονίτη μεγάλης αγωγιμότητας και πολύ υψηλού ιξώδους, τ' οποίο τοποθετείται μεταξύ του πλακώδους τμήματος του ηλεκτροδίου της επιφάνειας που αυτό τοποθετείται (Σχήμα 25). Το μίγμα αποτελείται από νερό , αλάτι και συντηρητικά υλικά. Το μίγμα έχει αρκετά υψηλό σημείο τήξεως ώστε να διατηρείται και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Σχήμα 24

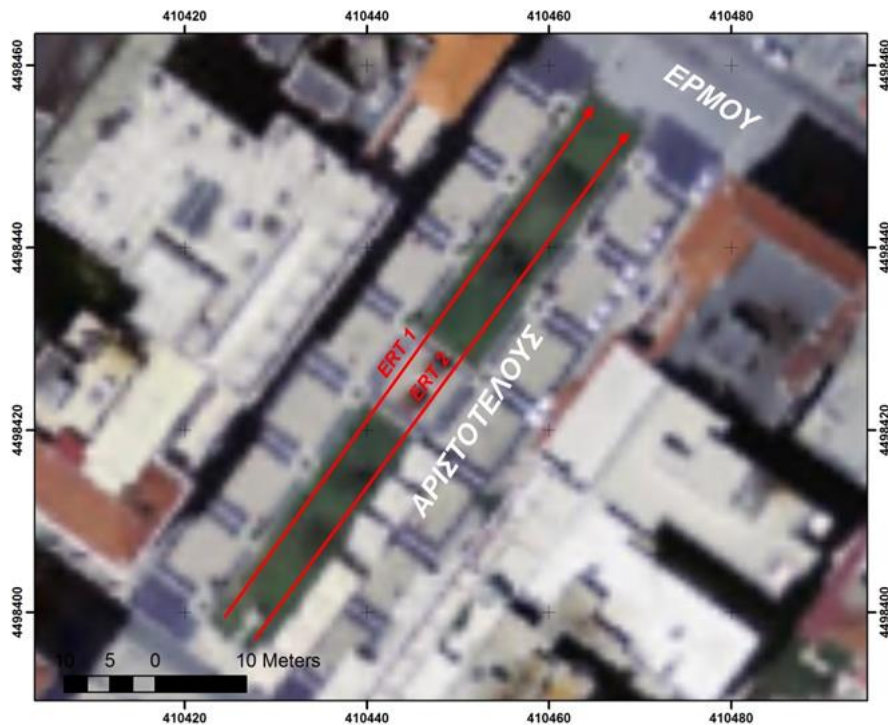
Αντί για αυτό το μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ζελέ ζαχαροπλαστικής τ' οποίο κατά την

παρασκευή του εμπλουτίζεται με ποσότητα αλατιού. Το μειονέκτημα του είναι ότι έχει

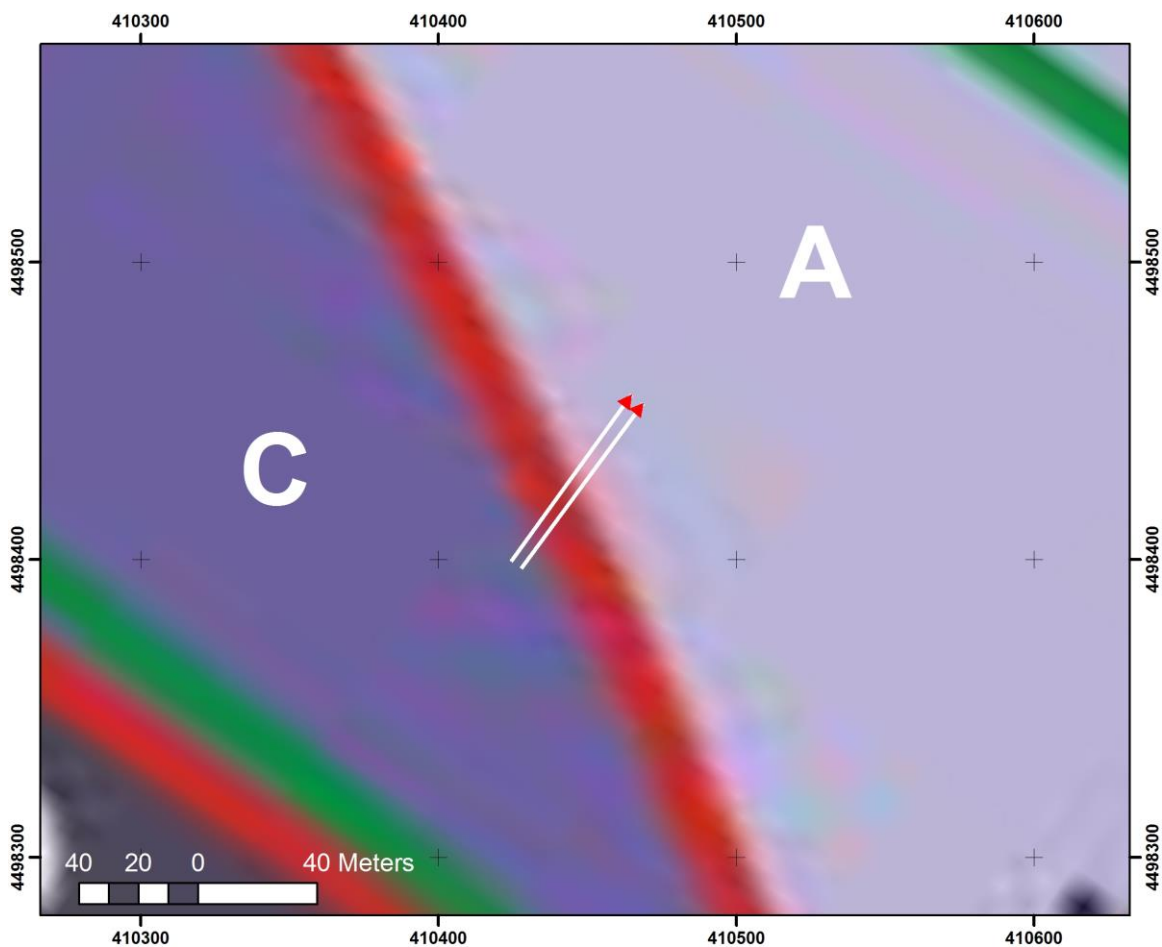
χαμηλό σημείο τήξεως, με αποτέλεσμα να λιώνει πολύ γρήγορα όταν υφίσταται υψηλές θερμοκρασίες. (Αθανασίου 2004).

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, στην περιοχή έρευνας (Πλατεία Αριστοτέλους με Ερμού), πραγματοποιήθηκαν γεωηλεκτρικές μετρήσεις με σκοπό την εύρεση της παλαιάς ακτογραμμής της Θεσσαλονίκης.

Για την μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκαν δυο παράλληλες μεταξύ τους γεωηλεκτρικές τομογραφίες στο χώρο μπροστά από το αστυνομικό τμήμα Λευκού πύργου στην πλατεία Αριστοτέλους, (ERT1, ERT2). Οι τομογραφίες είχαν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.



Σχήμα 25



Σχήμα 26

Στο Σχήμα 26 παρατηρούνται τρεις υποδιαίρεσεις της περιοχής.

Ο σχηματισμός A περιλαμβάνει αποθέσεις πάνω από 1500 ετών, οι οποίες επιδεικνύουν ένα σταθερό ρυθμό εναπόθεσης επίσης περιέχει όλα τα αρχαιολογικά αντικείμενα, λείψανα που έχουν αποκαλυφθεί ή εξακολουθούν να είναι θαμένα.

Σύμφωνα με τον Charles (1993) αποτελείται από πηλό, άμμο, χαλίκια, βότσαλα, μπάζα, απορρίμματα, υλικά κατεδάφισης και τα μέλη αρχαίων δομών, κεραμικά, πέτρες, ξύλο κλπ. Ο σχηματισμός C περιλαμβάνει τα γεω-υλικά που χρησιμοποιούνται για τη δεύτερη επέκταση των ακτών της Θεσσαλονίκης, η οποία πραγματοποιήθηκε μετά το 1900, όπως καθώς και χωματουργικές εργασίες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή των δρόμων στο κέντρο της πόλης στα τέλη του 19ου αιώνα.

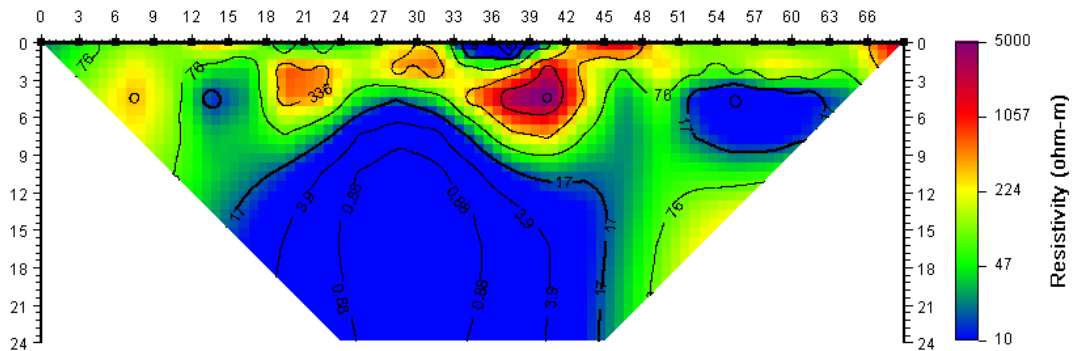
Επεξεργασία μετρήσεων

Η ερμηνεία των μετρήσεων πραγματοποιείται με την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, μέθοδος οπισθοπροβολής, είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Tsourlos 1997).

Η πλέον δημοφιλής τεχνική για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας της γεωηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι αυτή της αντιστροφής, την οποία θα χρησιμοποιήσουμε και μείς στην διπλωματική μας εργασία. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές. Προϋπόθεση η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις, δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Για την αντιστροφή των φαινόμενων αντιστάσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα δισδιάστατης αντιστροφής του Loke (Loke, 1996).

Κατά τη διαδικασία αντιστροφής φαινόμενων αντιστάσεων που μετρήθηκαν σε αστικά περιβάλλοντα με πολύπλοκες υπεδάφεις δομές υπεισέρχονται σφάλματα που οφείλονται στην αδυναμία του αλγορίθμου να προσεγγίσει τη δομή του υπεδάφους με ένα απλό μοντέλο. Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στη λήψη μετρήσεων σε αστικά περιβάλλοντα είναι η υψηλή στάθμη θορύβου που δίνει ιδιαίτερα θορυβώδεις μετρήσεις και η οποία οφείλεται κυρίως στα υπάρχοντα έργα υποδομής (αγωγοί ύδρευσης-αποχέτευσης, φυσικού αερίου, φρεάτια, τούνελ), στα ηλεκτροφόρα καλώδια και στα απορρίμματα υλικών κατασκευής των οικοδομών και τεχνικών έργων. Ο θόρυβος αυτός είναι τυχαίος και συνεπώς μπορούν εύκολα να εντοπιστούν οι μετρήσεις που έχουν επηρεαστεί και να αφαιρεθούν από το αρχείο των δεδομένων. Από την διαδικασία αντιστροφής των δεδομένων προέκυψαν οι παρακάτω εικόνες που αντιστοιχούν στο γεωηλεκτρικό μοντέλο της περιοχής έρευνας.

ERT 1.

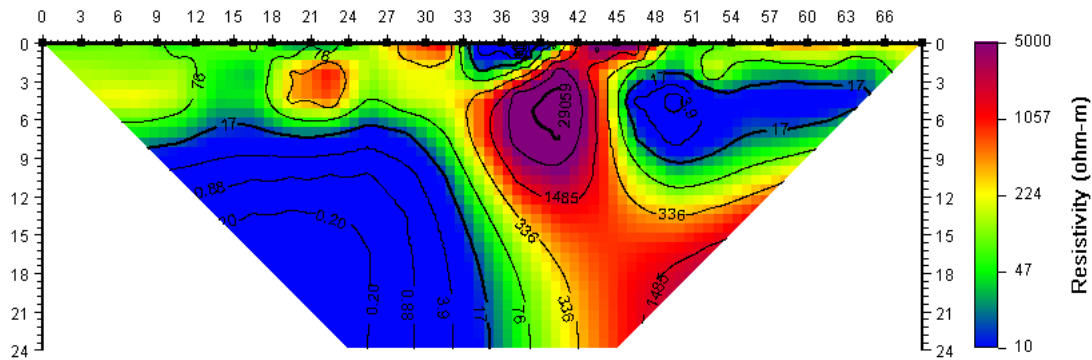


Σχήμα 27 Γεωηλεκτρικό μοντέλο τομογραφίας ERT1.

Στην τομή (ert1), παρατηρούνται τα εξής:

- ✓ Από 15-45 m και σε βάθος 5 m έως το μέγιστο βάθος της τομογραφίας, υπάρχει ζώνη με πολύ χαμηλές αντιστάσεις της τάξης των 0,88-17 Ohm-m. Η παρουσία τόσο χαμηλών αντιστάσεων υποδηλώνει υφάλμυρα νερά.
- ✓ Από 33-48 m και σε βάθος 0-8 m, παρατηρείται ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων που δεν δικαιολογείται για γεωλογικό σχηματισμό τόσο χαμηλού βάθους. Μετά από έρευνα ανακαλύφθηκε ύπαρξη υπόγειας στοάς.
- ✓ Στο 48^ο μέτρο και σε βάθος 9 μέτρων εντοπίζεται πλευρική μεταβολή του αγώγιμου σχηματισμού με σχηματισμό σχετικά μεγάλης αντίστασης. Ο σχηματισμός αυτός ανταποκρίνεται σε σχηματισμό που δεν έχει υποστεί υφαλμύρωση και πιθανά αντιστοιχεί στο όριο του Σχήμα 26 (A-C).

ERT 2



Σχήμα 28 Γεωηλεκτρικό μοντέλο τομογραφίας ERT2.

Στην δεύτερη τομή (ert2), παρατηρείται ίδια δομή με την τομή (ert1). Πιο αναλυτικά:

- ✓ Από τα 6-34 m και σε βάθος 5 έως το τέλος της μέτρησης υπάρχει ζώνη πολύ χαμηλών αντιστάσεων από 0,2- 17 Ohm-m. Όπως και στην τομή (ert1) έτσι και εδώ αποδεικνύεται η ύπαρξη υφάλμυρων νερών.
- ✓ Από τα 33-47 m παρατηρείται ζώνη μεγάλης αντίστασης που δηλώνει τη συνέχεια της υπόγειας στοάς, όπως και στην τομή (ert1).

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα

Με βάση τα στοιχεία της γεωφυσικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας στην τοποθεσία της Πλατείας Αριστοτέλους, διαπιστώθηκε ότι:

- Σε μικρό βάθος, η ύπαρξη ζώνης πολύ υψηλών αντιστάσεων μας οδήγησε στην ανακάλυψη της υπόγειας στοάς που βρίσκεται κάτω από το αστυνομικό τμήμα Λευκού Πύργου. Αυτή η στοά χρησιμοποιήθηκε στον πόλεμο ως καταφύγιο.
- Σε βάθος περίπου 5 μέτρων εντοπίζεται ζώνη πολύ χαμηλών αντιστάσεων. Αυτό αποδεικνύει την αρχική μας υπόθεση για παρουσία υφάλμυρων νερών.
- Εντοπίστηκε πλευρική επαφή της υφάλμυρης ζώνης με τον σχηματισμό των παλαιότερων ιζηματογενών αποθέσεων. Η επαφή αυτή πιστεύεται ότι ταυτίζεται με την παλιά ακτογραμμή της Θεσσαλονίκης, όπως αυτή προσδιορίζεται από τα στοιχεία των γεωτεχνικών γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Α. Νάνου-Γιάνναρου, Συμπόσιο «Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη ανάπτυξη», Πάρος 6&7 Ιουλίου 2001
- Βαργεμέζης Γ., Παυλίδης Σ., Μακεδών Θ., Μιχαηλίδης Σ., Αρβανιτίδης Ν., Καρακώστας Θ., Σκορδύλης Ε., Αθανασιάς Σ. Ημερίδα «Θωράκιση της Θεσσαλονίκης από φυσικές καταστροφές», Θεσσαλονίκη 2002
- Βασίλης Κ. Παπαζάχος “Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη Γεωφυσική”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1996.
- Μουντράκης Δημοσθένης “Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας”, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2010
- Στράτζαλης Κωνσταντίνος, Διπλωματική εργασία: “Προσδιορισμός υδάτινου ισοζυγίου υπόγειου παράκτιου υδροφορέα της Ν. Θήρας υπό την επίδραση έντονων κλιματικών αλλαγών”, Αθήνα Ιούλιος 2008

ΛΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dr. M. H. Loke, "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies", Coryright(1997, 1999)
- Kirsch Reinhard, "Groundwater Geophysics, A tool of Hydrogeology", Springer 2006
- Nils Perttu, Kamhaeng Wattanasen, Khamphouth Phommasone and Sten-Åke Elming, "Determining water quality parameters of aquifers in the Vientiane Basin, Laos using geophysical and water chemistry data. ", Received December 2009, revision accepted April 2011
- Nikolaos Chatzigogos, Thomas Makedon, Stefanos Tsotsos, Basiles Christaras, "Implementation of a ground investigation strategy on urban fills", The Geological society of London, 2006
- Thomas Makedon, Nikolaos P. Chatzigogos, Sotirios Spandos, "Engineering geological parameters affecting the response of Thessaloniki's urban fill", Engineering Geology, 2009.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[http://www. geo. auth. gr/courses/ggp/ggp762e/](http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp762e/)

