



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Διπλωματική εργασία με θέμα:

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ
ΠΙΘΑΝΩΝ ΕΓΚΟΙΛΩΝ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

Φοιτητής: **Τσερμίδης Μιχαήλ**

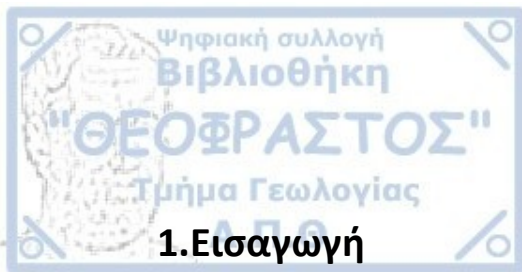
ΑΕΜ: 4932

Επιβλέποντες καθηγητές: Βαργεμέζης Γεώργιος, αναπληρωτής καθηγητής ΑΠΘ
Τσούρλος Παναγιώτης, καθηγητής ΑΠΘ



Περιεχόμενα:

1.Εισαγωγή	2
2. Περιοχή μελέτης	3
2.1 Θέση περιοχής μελέτης	3
2.2 Γεωλογία της περιοχής	4
3.Γεωφυσική Έρευνα	6
3.1 Σύντομη περιγραφή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπηση	6
3.2 Μέθοδος της ειδικής αντίστασης	8
3.3 Μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	11
3.4 Ηλεκτρική τομογραφία	14
3.5 Εφαρμογές της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	16
3.6 Εξοπλισμός	17
4.Εγκοιλα	19
5.Περιγραφή και αποτελέσματα της έρευνας	21
5.1 Περιγραφή της μεθόδου έρευνας	21
5.2 Αποτελέσματα έρευνας	25
6. Συμπεράσματα	33
7.Βιβλιογραφία	34



1.Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας του τμήματος Γεωλογίας, τομέα Γεωφυσικής, από τον φοιτητή Τσερμίδα Μιχαήλ υπό την εποπτεία του αναπληρωτή καθηγητή Βαργεμέζη Γεωργίου και του καθηγητή Τσούρλου Παναγιώτη.

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο μελέτης γεωλογικής καταλληλότητας περιοχής του Νομού Κοζάνης στην οποία προγραμματίζεται η ανέγερση της πανεπιστημιούπολης Δυτικής Μακεδονίας. Συγκεκριμένα παρότι η περιοχή αποτελείται από ασβεστόλιθους του Κρητιδικού και οι οποίοι γενικά χαρακτηρίζονται από πολύ καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και ως εκ τούτου αποτελούν κατάλληλο υπόβαθρο για τη θεμελίωση κατασκευών, παρόλ'αυτά θα πρέπει να γίνεται περαιτέρω έρευνα για την ενδεχόμενη ύπαρξη εγκοίλων και μικροεγκοίλων τα οποία θα πρέπει να αξιολογούνται ως προς τα προβλήματα που πιθανόν να δημιουργήσουν κατά τη διάρκεια εκσκαφής και θεμελίωσης του έργου και συνεπώς να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

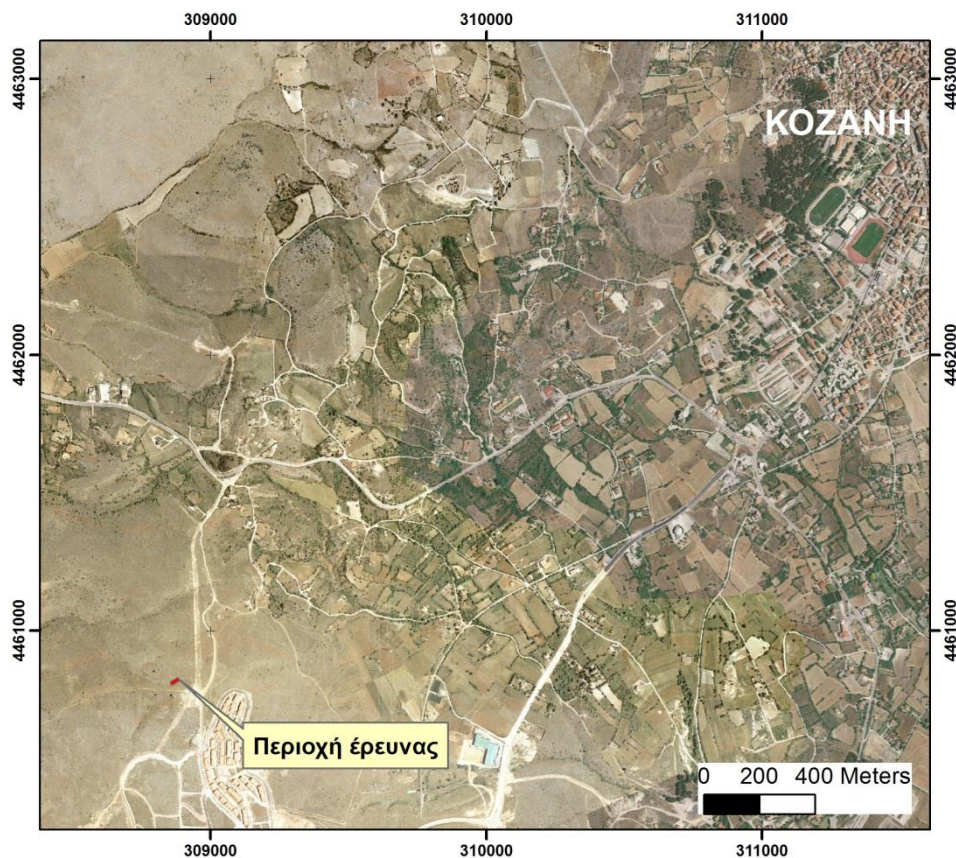
Στην περίπτωση του συγκεκριμένου έργου παρότι μια αρχική γεωφυσική μελέτη τον Νοέμβριο του 2013, προτού ξεκινήσουν οι εργασίες εκσκαφής, έδειξε ότι πιθανόν υπάρχουν έγκοιλα στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς σε μία από τις ηλεκτρικές τομογραφίες που πραγματοποιήθηκαν συναντήθηκε σώμα με ιδιαίτερα μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η ερευνητική γεώτρηση που ακολούθησε στην περιοχή όπου υπέδειξαν οι γεωφυσικές έρευνες έδειξε ότι πρόκειται για συμπαγή ασβεστολιθική μάζα και όχι έγκοιλο.

Κατά την εκσκαφή όμως, προκειμένου να γίνει η θεμελίωση του κτιρίου η ανακάλυψη εγκοίλων και μικροεγκοίλων δημιούργησε την ανάγκη για μία εκ νέου αναλυτικότερη γεωφυσική έρευνα προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη καθώς και το μέγεθος των πιθανών εγκοίλων. Έτσι αποφασίστηκε η διενέργεια γεωφυσικών μετρήσεων με την εφαρμογή της μεθόδου των γεωηλεκτρικών τομογραφιών με το σκεπτικό που περιγράφεται σε επόμενη ενότητα.

Στη συνέχεια περιγράφεται η γεωφυσική μέθοδος που επιλέχθηκε σαν η πλέον κατάλληλη για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, οι μετρήσεις που υλοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας, η ερμηνεία και η αξιολόγησή τους με βάση τον στόχο της μελέτης. Τέλος, περιγράφονται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η γεωφυσική έρευνα.

2.1 Θέση περιοχής μελέτης

Η περιοχή της έρευνας βρίσκεται στο νομό Κοζάνης και συγκεκριμένα σε απόσταση λιγότερη των 5 χιλιομέτρων από το κέντρο της πόλης της Κοζάνης στην περιοχή Ζ.Ε.Π. Κοζάνης όπου βρίσκεται και το Διοικητήριο Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (Εικόνα 1).

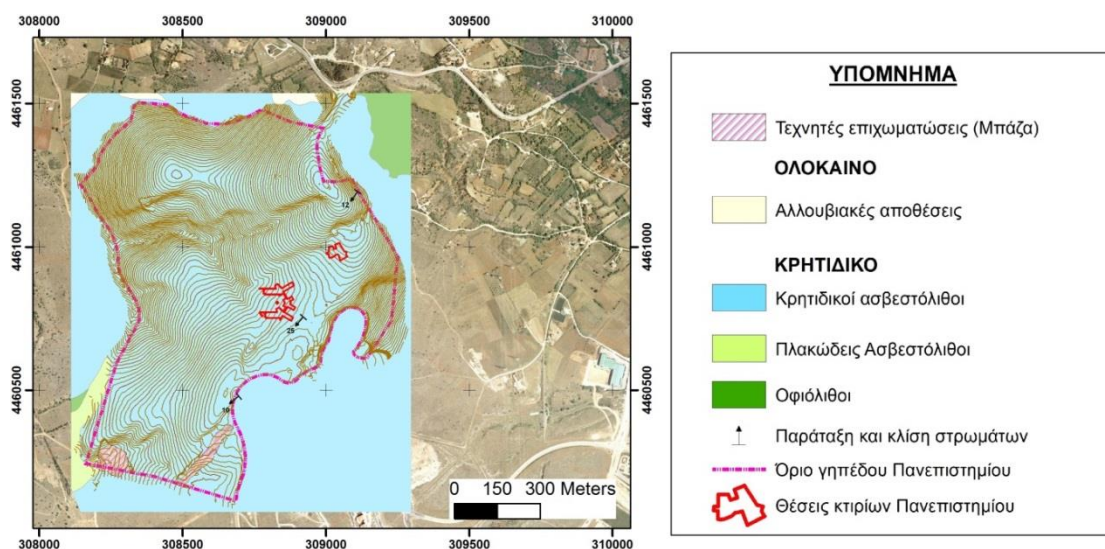


Εικόνα 1 : Δορυφορική φωτογραφία της ευρύτερης περιοχής και απεικόνιση της θέσης ερευνας σε σχέση με την πόλη της Κοζάνης.

2.2 Γεωλογία της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης όπως και όλη σχεδόν η περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας ανήκει γεωτεκτονικά στη Πελαγονική ζώνη η οποία αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (γνευσιωμένοι γρανίτες), ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Κρητιδικού καθώς και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα. Αρα συνοπτικά η περιοχή αποτελείται από ένα υπόβαθρο γνευσίων, αμφιβολιτών και σχιστολίθων, υπερκείμενο σε αυτό το υπόβαθρο παρατηρούμε νηριτικά πετρώματα: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες. Τέλος, ως ανώτερο στρώμα στη γεωλογία της περιοχής συναντάμε τον Φλύσχη ηλικίας Ανω Κρητιδικού.

Συγκεκριμένα όμως, για την περιοχή όπου εργαζόμαστε (Εικόνα 2) ο βασικός σχηματισμός είναι οι Ασβεστόλιθοι, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως τεφρού χρώματος ασβεστόλιθοι, μέτρια έως ισχυρά κερματισμένοι (Εικόνες 3&4). Στους ανώτερους ορίζοντες είναι λεπτοπλακώδεις, μαργαϊκοί και αποτελούν τα μεταβατικά προς τον φλύσχη στρώματα. Πρόκειται για αλλόχθονους ασβεστόλιθους οι οποίοι στα μέτωπα επώθησης εμφανίζονται έντονα καταπονημένοι και κερματισμένοι, κάτι το οποίο έρχεται σε συμφωνία και με την γενικότερη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής, όπως αναφέραμε και παραπάνω. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διαφορετικές κλίσεις που εμφανίζει, γεγονός που δείχνει και την έντονη καταπόνηση που δέχθηκε από τεκτονικές διεργασίες.



Εικόνα 2: Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας (από Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας, ANKO)



Εικόνες 3&4: Φωτογραφίες από την περιοχή της έρευνας, όπου διακρίνονται οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί

3.Γεωφυσική Έρευνα

Μέσω της γεωφυσικής έρευνας μελετάμε τη δομή των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης με βάση τις μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών και με την εφαρμογή θεμελιωδών φυσικών νόμων. Στόχος της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής είναι ο εντοπισμός δομών οικονομικού ή άλλου ενδιαφέροντος. Συγκριτικά με τις γεωτρήσεις τα πλεονεκτήματα των γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης είναι ότι πρόκειται για πιο οικονομικές μεθόδους, λιγότερο χρονοβόρες και μη καταστροφικές. Καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις σε σχέση με τις γεωτρήσεις και παρέχουν μια γενική εικόνα της ευρύτερης περιοχής έρευνας, προσδιορίζοντας έτσι καλύτερα τους πιθανούς στόχους - θέσεις για την πραγματοποίηση μελλοντικών γεωτρήσεων που είναι απαραίτητες.

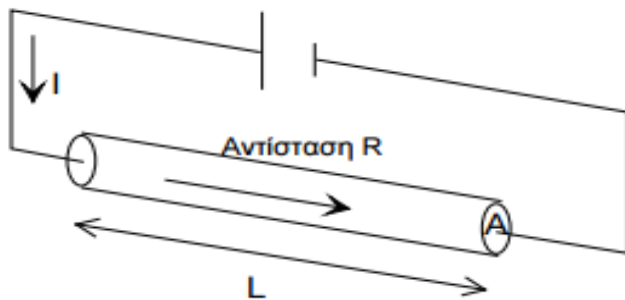
Συγκεκριμένα, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας εκτελέστηκαν 10 παράλληλες ηλεκτρικές τομογραφίες διάταξης διπόλου-διπόλου, όπου με τη χρήση της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας υπολογίστηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους.

3.1 Σύντομη περιγραφή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης

Στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης σκοπός είναι ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής των σχηματισμών του υπεδάφους. Οι μέθοδοι πραγματοποιούνται με τη χρήση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος με σκοπό την ανίχνευση οριζόντιων ή κατακόρυφων διαφοροποιήσεων στις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους που αντίστοιχα θα σημαίνει και διαφοροποίηση στις γεωλογικές ιδιότητες του υπεδάφους. Συνεπώς αντικείμενο των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο προσδιορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας. Το μέγεθος που μετράται είναι η ηλεκτρική τάση, ενώ η ιδιότητα της οποίας οι μεταβολές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις παθητικές και τις ενεργητικές, ανάλογα με τη χρήση φυσικών ή τεχνητών πεδίων. Οι κυριότερες ηλεκτρικές μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος ειδικής αντίστασης (E)
- Μέθοδος ισοδυναμικών γραμμών (E)
- Μέθοδος επαγόμενης πολικότητας (E)
- Μέθοδος φυσικού δυναμικού (Π)
- Μέθοδος τελλουρικών ρευμάτων (Π)

Το μέγεθος που μελετάται ως επι το πλείστον στις ηλεκτρικές διασκοπίσεις είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων (ρ). Ως ειδική ηλεκτρική αντίσταση ονομάζουμε το μέτρο που δείχνει το κατά πόσο ισχυρή αντίσταση παρουσιάζει το υλικό που μελετάμε, στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος και εκφράζεται με τη σχέση: $\rho = RA/l$, όπου το R αποτελεί την ηλεκτρική αντίσταση ενός τμήματος πετρώματος με κυλινδρικό σχήμα, με διατομή A και μήκος l.



Η ειδική αντίσταση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλονται εύκολα και γιαυτό οι διακυμάνσεις της για τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς έχουν μεγάλο εύρος. Οι κύριοι παραγοντες που την επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία, η πίεση, οι υδρογεωλογικές συνθήκες, η χημική σύσταση του νερού, το πορώδες των σχηματισμών καθώς και οι διαρρήξεις-διακλάσεις-ρήγματα των σχηματισμών. Ως ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται το αντίστροφο μέγεθος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και εκφράζει το κατά πόσο εύκολα "ρέει" το ηλεκτρικό ρεύμα (Πίνακας 1)

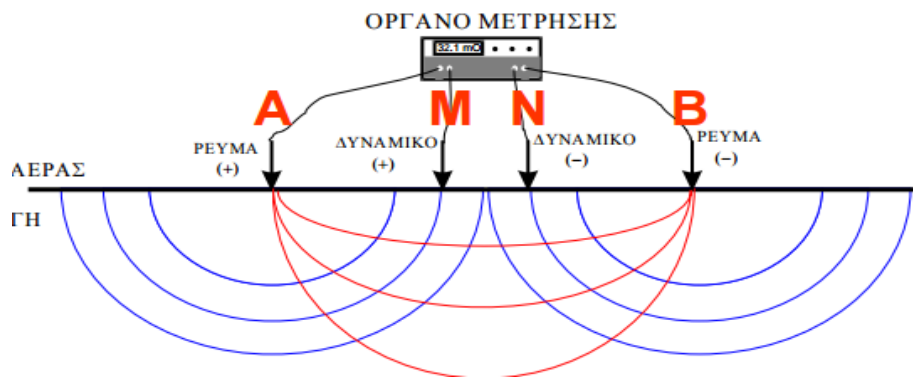
ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm·m)
Αέρας	∞
Μαρμαρυγία	$9 \times 10^{12} - 1 \times 10^{14}$
Χαλαζία	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Ορυκτό άλας	$30 - 1 \times 10^{13}$
Σιδηροπορίτης	3×10^{-1}
Γαληνίτης	2×10^{-3}
Γάββρος	$1 \times 10^1 - 1 \times 10^6$
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	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^4$
Άμμος	$1 - 1 \times 10^3$
Αργίλος	$1 - 1 \times 10^2$
Εδαφικό Νερό	0,5 - 300
Θαλασσινό Νερό	0,2

Πίνακας 1: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε διαφορετικά ορυκτά και πετρώματα.

3.2 Μέθοδος ειδικής αντίστασης

Για την εφαρμογή της μεθόδου της ειδικής αντίστασης θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος με τη χρήση τεχνητών μέσων, το οποίο διαμορφώνεται ανάλογα με τη δομή των σχηματισμών του υπεδάφους. Σκοπός επομένως είναι ο καθορισμός των ιδιοτήτων του τεχνητού αυτού ηλεκτρικού πεδίου.

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαβιβάζεται στο έδαφος με τη χρήση δυο ηλεκτροδίων ρεύματος A και B. Κατόπιν σε διάφορες καθορισμένες θέσεις λαμβάνουμε μετρήσεις για το δυναμικό που δημιουργείται λόγω του πεδίου, με τη χρήση δύο ηλεκτροδίων δυναμικού M και N. Οι ποσότητες που μετρώνται είναι η ένταση του ρεύματος, I, και η διαφορά δυναμικού, V_{MN} , μεταξύ των ηλεκτροδίων M και N (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικής αντίστασης με διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Οι ποσότητες που μετρούνται δεν επαρκούν για το προσδιορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Συγκεκριμένα στην ιδεατή περίπτωση ενός ομογενούς και ισότροπου μέσου η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση είναι σταθερή και ανεξάρτητη των σχετικών θέσεων των ηλεκτροδίων και είναι ίση με την πραγματική ειδική αντίσταση του μέσου. Έτσι για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης χρησιμοποιούμε την:

$$\rho = \frac{V}{I} * \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} = \frac{V}{I} * K$$

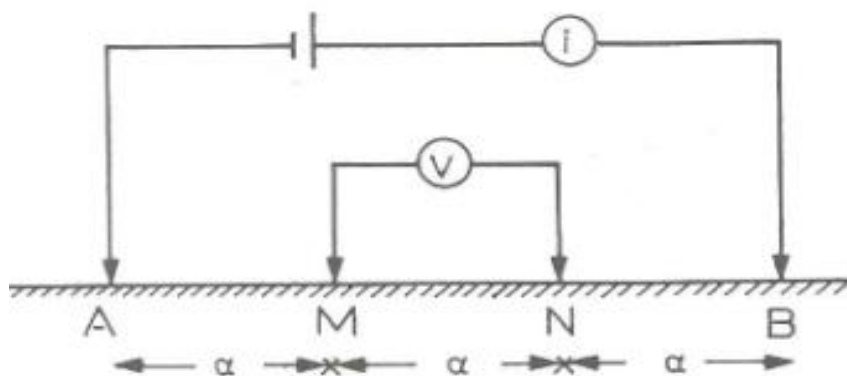
Καθώς όμως η ομοιογένεια του εδάφους πρόκειται για μια ιδεατή κατάσταση, η ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται πέρα από τη γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και από το τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων λόγω της ανομοιογένειας που το έδαφος παρουσιάζει. Χρησιμοποιείται λοιπόν ο όρος της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ρ_α .

Αποτελεί μια φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, η οποία εισάγεται για το προσδιορισμό της πραγματικής ειδικής αντίστασης των γεωλογικών σχηματισμών. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση: $\rho_\alpha = K * V/I$, όπου I η ένταση του ρεύματος και V η μετρούμενη διαφορά δυναμικού. Οπου K ένας γεωμετρικός παράγοντας που καθορίζεται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων και ανάλογα με τη διάταξη που εφαρμόζεται η σχέση που περιγράφει το K διαφοροποιείται.

Οι κύριοι τρόποι διάταξης αναλύονται παρακάτω:

Διάταξη Wenner

Κατά τη μέθοδο διάταξης Wenner τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους τα δύο ηλεκτρόδια σε ορισμένη γραμμή ($AM = MN = NB = \alpha$). Κατά την εκτέλεση της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης, η απόσταση α αυξάνεται κάθε φορά κατά ορισμένη τιμή, σε σχέση με ορισμένο κέντρο. Στη περίπτωση ηλεκτρικής χαρτογράφησης η απόσταση α παραμένει σταθερή και μετακινούνται μόνο τα ηλεκτρόδια κατά μήκος της προκαθορισμένης τομής (Εικόνα 6). Η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης και δίνεται από τη σχέση: $\rho_\alpha = 2\pi\alpha \frac{\Delta V}{I}$.

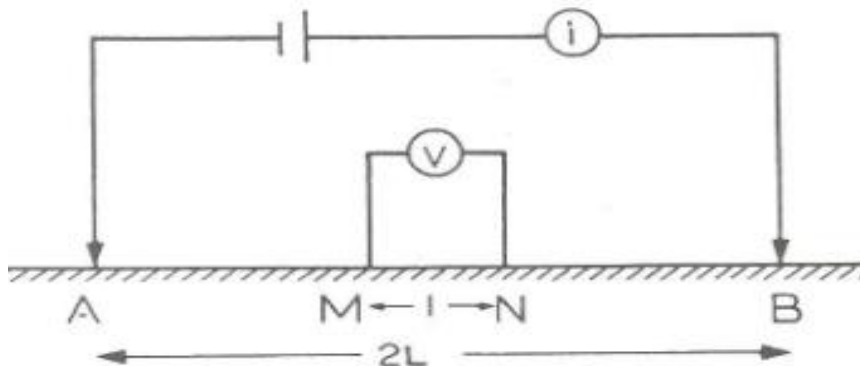


Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης Wenner. (Παπαζάχος 1986)

Διάταξη Schlumberger

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

Δηλαδή, στην περίπτωση αυτή ο γεωμετρικός συντελεστής είναι $K = \pi L^2 / 2l$. Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger 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 απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στην διάταξη Wenner (Εικόνα 7). 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.



Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση διάταξης Schlumberger. (Παπαζάχος 1986)

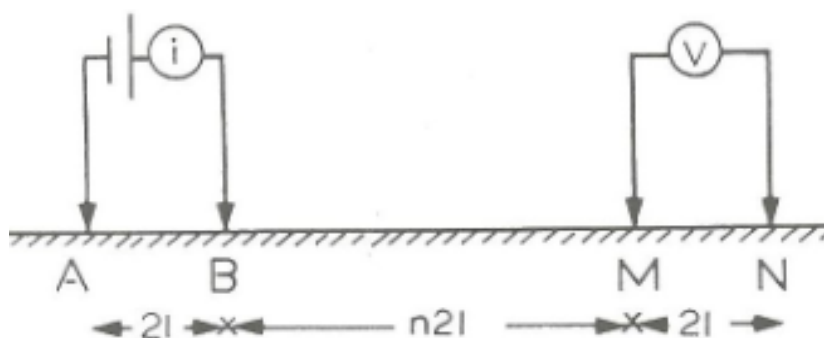
Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Στη διάταξη αυτή τα ηλεκτρόδια ρεύματος καθώς και τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ($AB=MN=2l$), με το ένα ζεύγος όμως ηλεκτροδίων να βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το άλλο ($BM=n2l$). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με αύξηση του n κατά βήματα, όπου $n \gg 1$ (Εικόνα 8).

Η σχέση που μας δίνει τη φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι η:

$$\rho_a = 2\pi n(n+1)(n+2)l \frac{\Delta V}{I}.$$

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.



Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση διάταξης διπόλου- διπόλου. (Παπαζάχος 1986)

Πρόκειται για γραμμική διάταξη όπου το ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από τα υπόλοιπα τρία ηλεκτρόδια (Εικόνα 9).

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση: $\rho_{\alpha} = [2\pi n(n+1)a] \frac{\Delta V}{I}$.



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση διάταξης πόλου- διπόλου.

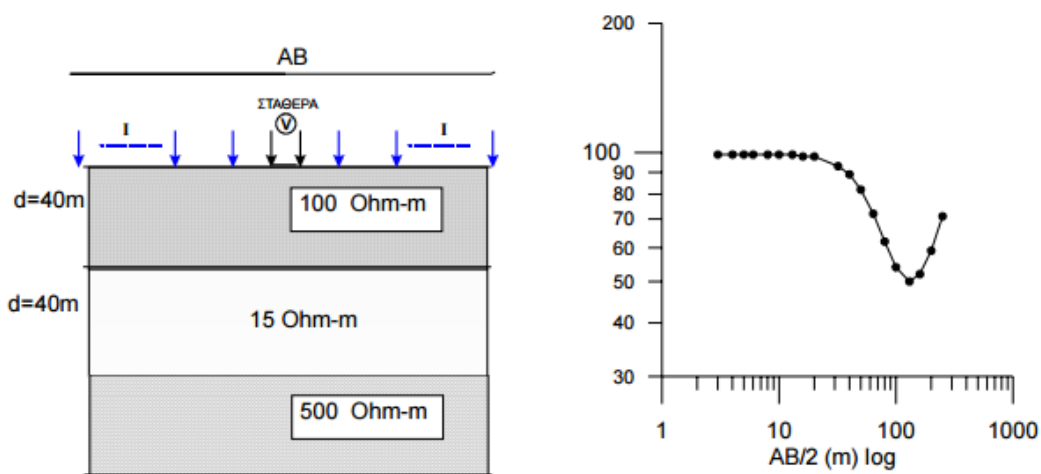
3.3 Μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης διακρίνεται σε μονοδιάστατη διασκόπηση με δυο μεθόδους την βυθοσκόπηση και την όδευση και σε δισδιάστατη ή ακόμη και τριών διαστάσεων διασκόπηση.

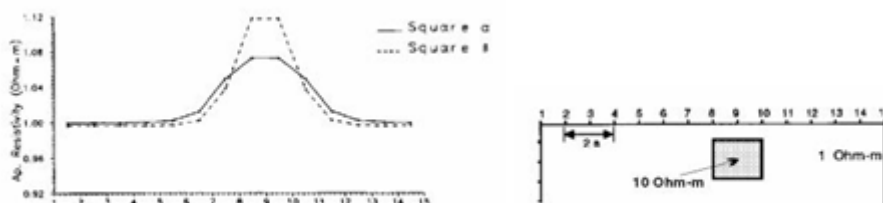
Βυθοσκόπηση (Sounding). Σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε συνάρτηση με το βάθος. Το κέντρο της διάταξης παραμένει σταθερό και με την συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος, αυξάνεται και το βάθος διεύθυνσης του ρεύματος και διαρρέονται βαθύτεροι σχηματισμοί. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η διάταξη Schlumberger. Έτσι, μετράται η κατακόρυφη κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων. Η ερμηνεία των βυθοσκοπήσεων γίνεται θεωρώντας ύπαρξη οριζόντιων στρωμάτων για αυτό και εφαρμόζεται κυρίως σε ιζηματογενείς λεκάνες (μονοδιάστατη γεωηλεκτρική δομή). Κλασικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό υδροφόρων σχηματισμών (Εικόνα 9).

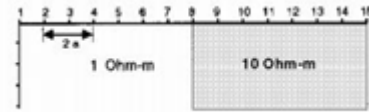
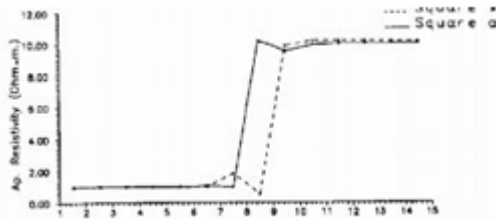
Οδευση (Profiling). Χρησιμοποιείται για να εντοπίζει πλευρικές μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίθετα με τη βυθοσκόπηση, οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με πλευρική μετακίνηση της διάταξης των ηλεκτροδίων ως συνόλου με σταθερό βήμα. Έτσι, χαρτογραφούνται οι μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σταθερό βάθος κατά μήκος μιας όδευσης και εντοπίζονται δομές που παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση με το περιβάλλον τους. Στη γεωλογία χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ρηγμάτων, φακών άμμου ή χαλκικών, επαφών, κενών κ.α. ενώ η χρήση της είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη στην αρχαιομετρία (Εικόνα 10).

Δισδιάστατη διασκόπηση (Συνδυασμός sounding και profiling). Με την ηλεκτρική τομογραφία, (συνδυασμός όδευσης και βυθοσκόπησης), είναι δυνατό να πάρουμε πληροφορίες τόσο για την πλευρική όσο και για την σε βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό γίνεται για παράδειγμα, με διαδοχικές οδεύσεις πάνω από την περιοχή μελέτης, με συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε μια δισδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής. Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνικές, η ηλεκτρική τομογραφία απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων, επομένως αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και η ανάλυση της ηλεκτρικής μεθόδου. Παράδειγμα εφαρμογής της δισδιάστατης διασκόπησης με τη μέθοδο διπόλου-διπόλου, φαίνεται στο σχήμα (Εικόνα 11).



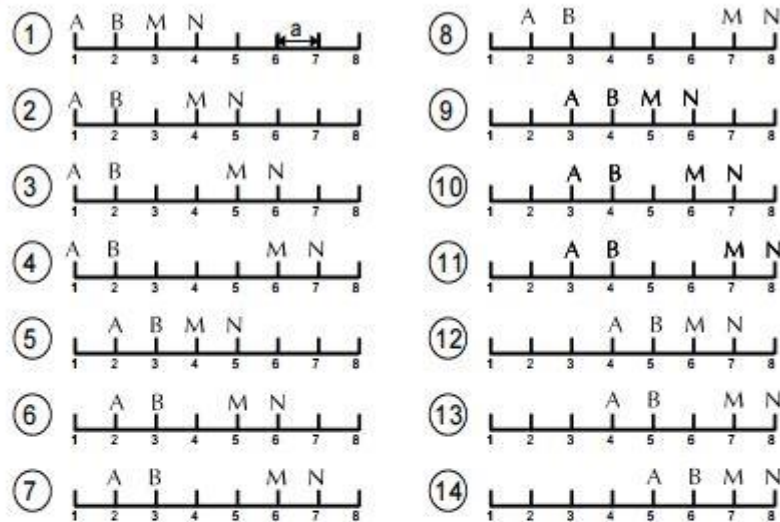
Εικόνα 9: Παραδείγματα μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος κατά την εκτέλεση βυθοσκόπησης με τα αντίστοιχα εδαφικά μοντέλα.



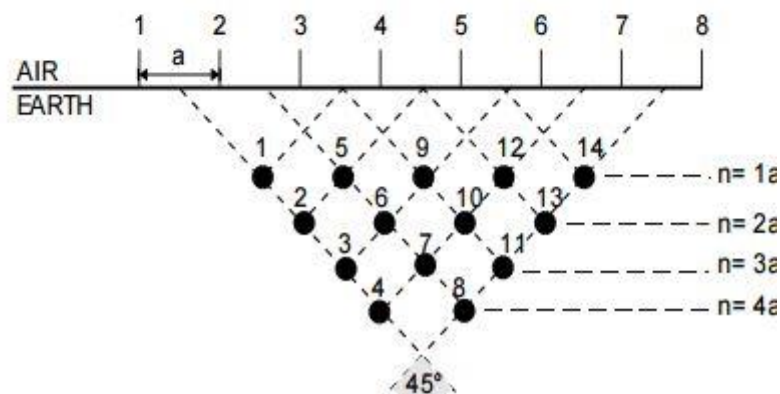


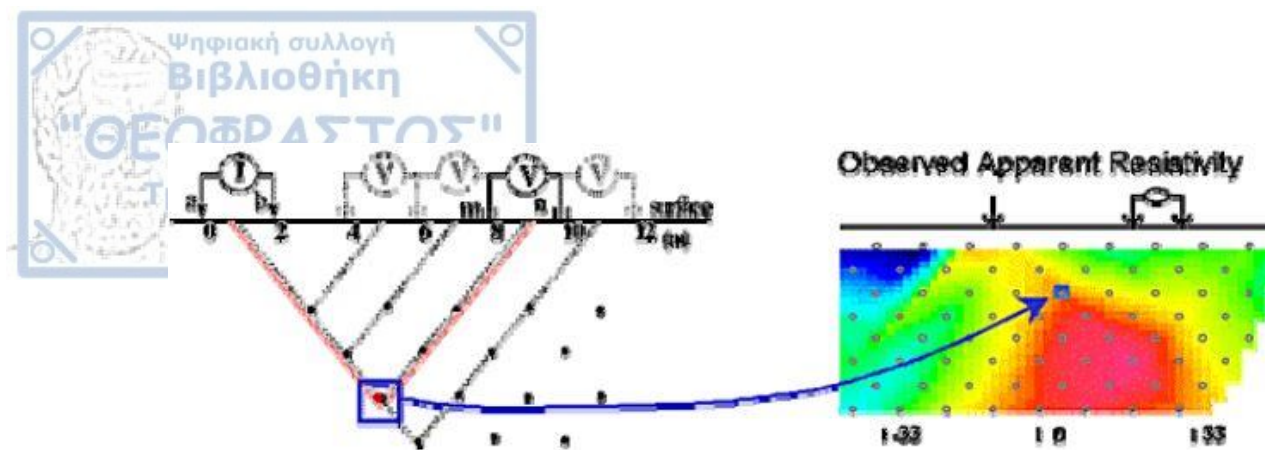
Εικόνα 10: Παραδείγματα μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την εκτέλεση της όδευσης σε περίπτωση τοπικής ανωμαλίας (πάνω) και πλευρικής ασυνέχειας (κάτω).

(a)



(b)





Εικόνα 11: Παραδείγματα δισδιάστατης διασκόπησης με χρήση ψευδοτομής.

3.4 Ηλεκτρική τομογραφία

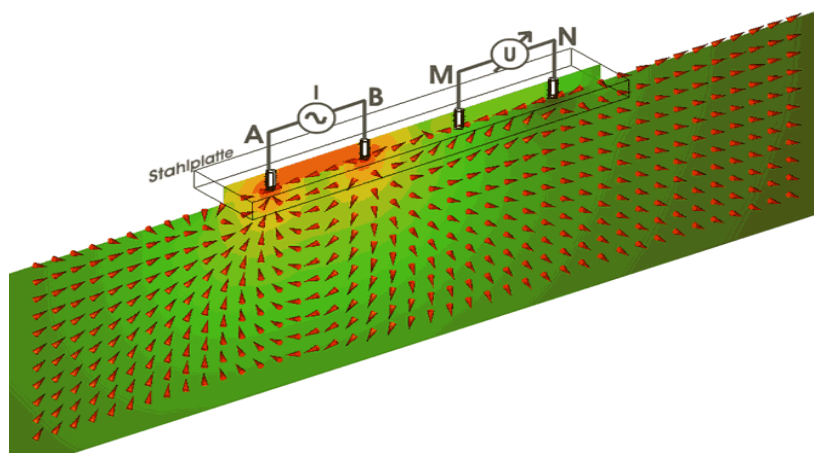
Με την εφαρμογή ηλεκτρικών μεθόδων επιδιώκεται ο καθορισμός της κατανομής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων. Ενώ με ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση που προκαλείται στην τάση. Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται από το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τη χρήση της οποίας προκύπτει ο υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην συγκεκριμένη έρευνα αξιοποιούνται οι διατάξεις τομογραφίας που μας επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις δηλαδή οριζόντια και κατακόρυφη.

Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός δύο “παραδοσιακών” τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκόπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη “εικόνα” του υπεδάφους. Στην διαδικασία της τομογραφίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (δίπολου-δίπολου, Wenner,

πόλου-δίπολου). Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ΗΤ είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμης πληροφορίας). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων, και γι' αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Σημαντική παράμετρος κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι η ύπαρξη πυκνής χωρικής κάλυψης όσον αφορά τη λήψη δεδομένων. Είναι απαραίτητη λοιπόν η χρήση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος πολύ-ηλεκτροδιακής λήψης δεδομένων.

Για την επεξεργασία του μεγάλου όγκου δεδομένων που προκύπτουν από τα συστήματα αυτά είναι απαραίτητη η χρήση μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας. Χρησιμοποιούνται έτσι, αυτόματες αριθμητικές τεχνικές αντιστροφής και δημιουργίας μοντέλων, που βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων για ευθείς υπολογισμούς. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με τον χωρισμό του εδάφους σε κελιά σταθερών διαστάσεων που αυξάνει όσο αυξάνει και το βάθος. Μέσω συνεχών επαναλήψεων γίνεται προσαρμογή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, έτσι ώστε τα δεδομένα εισόδου και το παραγόμενο μοντέλο να έρθουν σε αποδεκτή συμφωνία. Η επίδραση της τοπογραφίας αντιμετωπίζεται με την απευθείας εισαγωγή της στο πλέγμα.

Κατά την λήψη των μετρήσεων η απόσταση, α , μεταξύ του δίπολου δυναμικού MN παραμένει σταθερή και η ίδια όδευση επαναλαμβάνεται αυξάνοντας κάθε φορά την απόσταση $n \cdot \alpha$ μεταξύ του διπόλου ρεύματος AB και του ηλεκτροδίου δυναμικού M (ο n είναι ακέραιος) (Εικόνα 12). Η μέγιστη απόσταση $n_{\max} \cdot \alpha$ εξαρτάται από τη μέγιστη ένταση που μπορεί να δώσει η πηγή μας και από τη γεωλογία (γεωηλεκτρικές αντιστάσεις) της περιοχής σε συνάρτηση με το επιθυμητό βάθος έρευνας.



Εικόνα 12: Η διάταξη μέτρησης διπόλου διπόλου

3.5 Εφαρμογές της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκει εφαρμογή σε τομείς όπως:

- Υδρογεωλογικές έρευνες
- Γεωτεχνικές έρευνες (κατασκευή φραγμάτων, εντοπισμός μητρικού πετρώματος, κ.α.)
- Αναζήτηση μεταλλευμάτων οικονομικού ενδιαφέροντος
- Αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων
- Εντοπισμό τεκτονικών δομών (ρήγματα)
- Αρχαιομετρία

3.6 Εξοπλισμός

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL pro που παράγεται από την εταιρία IRIS Instruments(Εικόνα 13). Πρόκειται για ένα πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σχεδιασμένο για έρευνα με μεθόδους συνεχούς ρεύματος. Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος της αντισταθμίστη του φυσικού δυναμικού, η ψηφιακή υπέρθεση για την ενίσχυση του σήματος και η προβολή του σφάλματος κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων που προσφέρονται από το συγκεκριμένο όργανο, εξασφαλίζουν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας Έχει τη δυνατότητα σύγχρονης καταγραφής 10 διαφορών δυναμικού καθιστώντας ταχύτατη τη διαδικασία μέτρησης. Το συγκεκριμένο όργανο έχει μέγιστη τάση εξόδου 800 V και επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που τυπικά ξεπερνάει τα 1000 mA, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει και σημαντικά μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος (έως 1500mA).



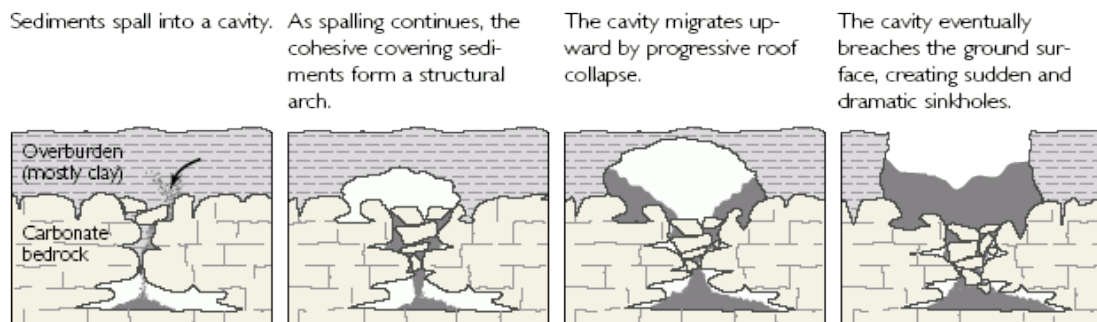
Εικόνα 13: Το γεωηλεκτρικό όργανο SYSCAL-Pro της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

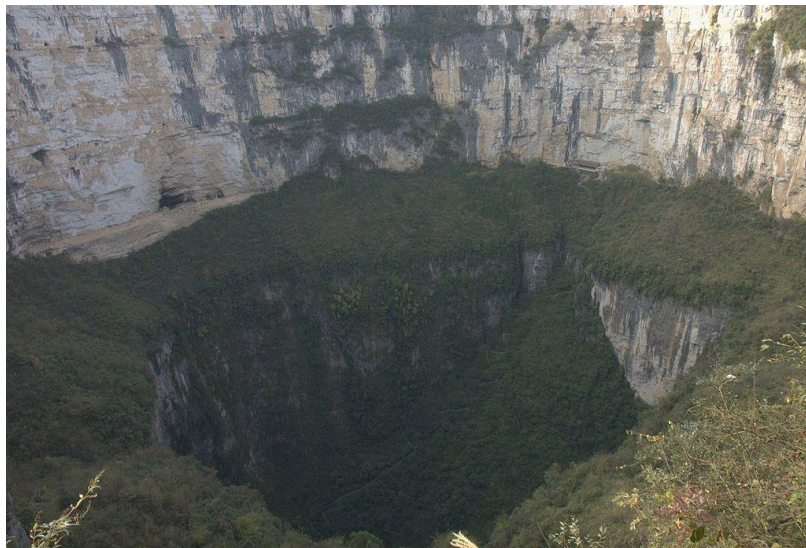
ΠΟΜΠΟΣ	
Maximum output voltage	800 V
Maximum output current	2000mA
Maximum output power	100W
Current waveform (Rho mode)	ON+, ON-
Current Resolution	10μA
Current Accuracy	0.3% typical 1% maximum over the whole operating temperature range
ΔΕΚΤΗΣ	
Input impedance	10Mohm
Input voltage range	-5V to +5V
Rejection filter 50Hz and 60Hz	
Voltage	
Resolution during the measurement	10μV
after stacking	1μV
Accuracy	0.3% Typical
	1% max

4.Εγκοίλα

Ως έγκοιλα ονομάζουμε τις υπόγειες καρστικές μορφές οι οποίες σχηματίζονται λόγω της εισόδου του επιφανειακού νερού στο εσωτερικό του πετρώματος και αποτελούν το δευτερογενές πορώδες του. Η διατομή των υπόγειων αυτών καρστικών μορφών εξαρτάται από δύο παράγοντες, τις υδραυλικές δυνάμεις που διαμορφώνουν ομαλές επιμήκεις μορφές υπόγειων καρστικών εγκοίλων και την τεκτονική που ελέγχει σε μεγάλο βαθμό το σχήμα της διατομής των εγκοίλων, όπου αυτή υπάρχει(Εικόνα 13). Το μέγεθος των εγκοίλων γενικώς ποικίλει από μερικά μέτρα εως και εκατοντάδες μέτρα. Τα έγκοιλα συναντώνται γενικώς σε καρστικά περιβάλλοντα όπου τα πετρώματα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μπορούν να διαλυθούν από το επιφανειακό νερό που δέχονται.



Εικόνα 13:Αναπαράσταση της δημιουργίας ενός εγκοίλου σε καρστικό περιβάλλον



Εικόνα 14:Χιαozhai Tiankeng, Κίνα διαστάσεις:626μ.-537μ. και βάθος 662μ.

Είναι προφανές σύμφωνα και με τα παραπάνω ότι η παρουσία εγκοίλων στη περιοχή θεμελίωσης ενός έργου μπορεί να αποτελέσει σημαντικό τεχνικογεωλογικό πρόβλημα καθώς η παρουσία μεγάλων κενών στο υπόβαθρο όπου θελούμε να πραγματοποιήσουμε την ανέγερση ενός κτιρίου μπορεί να προκαλέσει την απώλεια στήριξης του έργου και ειδικά σε ακραίες περιπτώσεις όπως ένας σεισμός. Στην περίπτωση εντοπισμού εγκοίλων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σοβαρά το ενδεχόμενο να μετατεθεί η θέση εκτέλεσης του τεχνικού έργου, ειδικότερα εάν βρίσκονται στη γειτονία ενεργού ή σεισμικού ρήγματος.

Για τον εντοπισμό των εγκοίλων σε τεχνικά έργα η πλέον συνηθισμένη μέθοδος είναι οι γεωφυσικές διασκοπήσεις οι οποίες υποδεικνύουν με μεγάλη σχετικά ακρίβεια τη θέση και το μέγεθος των πιθανών εγκοίλων, ενώ στην πορεία του έργου μπορεί να πραγματοποιηθεί και μία ερευνητική γεώτρηση για την περαιτέρω μελέτη του προβλήματος.

Στην έρευνα αυτή η εμφάνιση ενός εγκοίλου(Εικόνα 15) σε γειτονική θέση όπου προγραμματίζεται η ανέγερση άλλου κτηρίου του Πανεπιστημίου έκανε απαραίτητη την περαιτέρω αναλυτική έρευνα σε όλες τις προγραμματισμένες θέσεις ανέγερσης κτιρίων καθώς η αποκάλυψη ενός εγκοίλου συνεπάγεται και την παρουσία άλλων παρόμοιων μορφών στην ευρύτερη περιοχή.

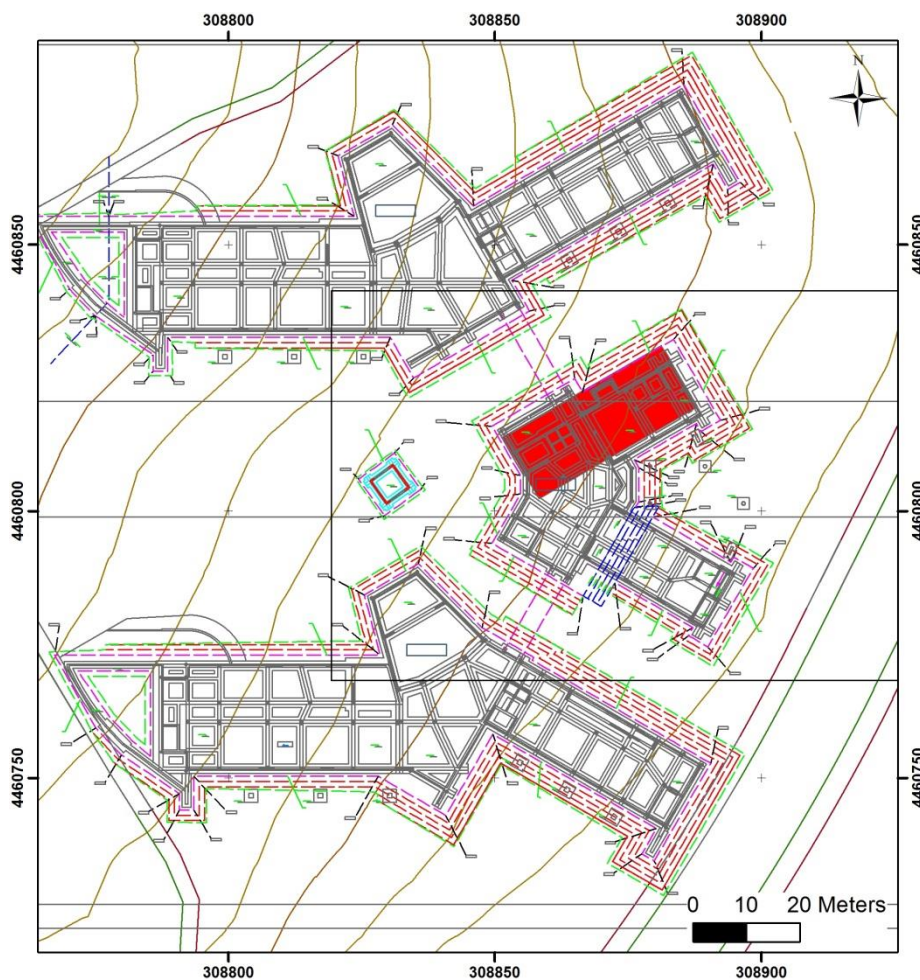


Εικόνα 15:Το έκοιλο που αποκαλύφθηκε στη θέση ανέγερσης του γειτονικού κτιρίου

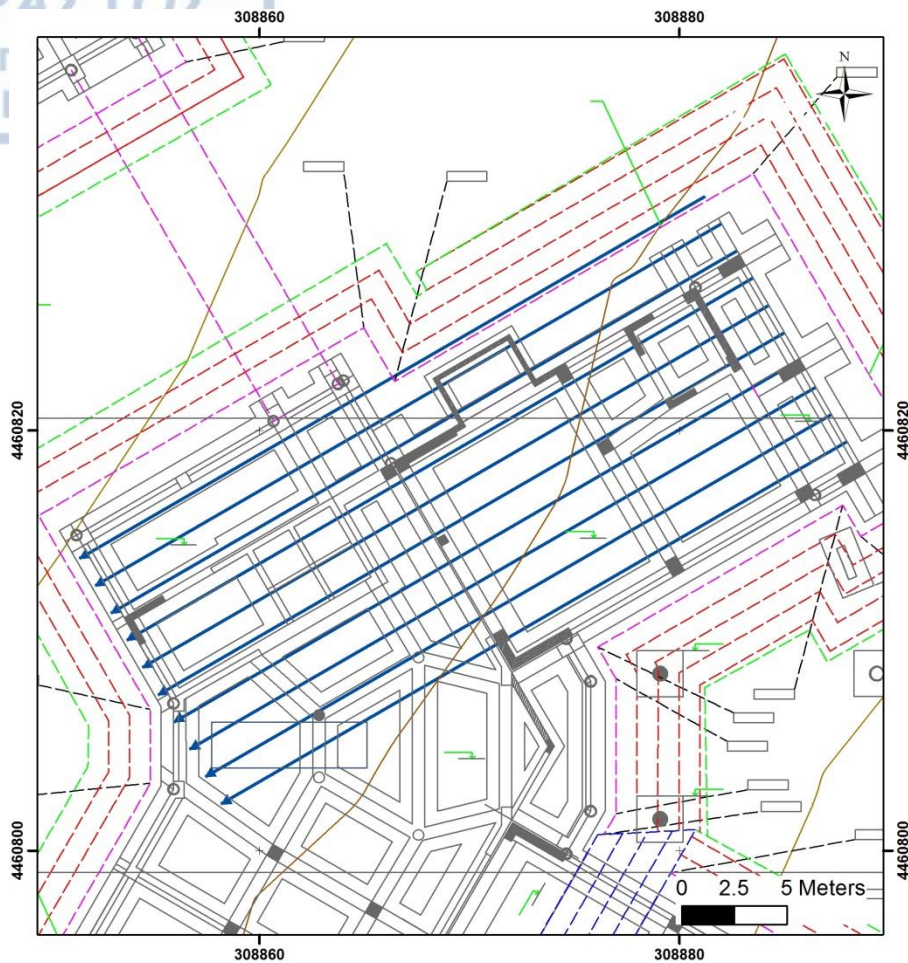
5. Περιγραφή και αποτελέσματα της έρευνας

5.1 Περιγραφή της μεθόδου έρευνας

Κατά τη διάρκεια της γεωφυσικής έρευνας πραγματοποιήθηκαν 10 παράλληλα ηλεκτρικά προφίλ μήκους 36 μέτρων και με απόσταση μεταξύ τους το 1,5 μέτρο. Ως όργανο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε το SYSCAL της IRIS INSTRUMENTS του οποίου τα χαρακτηριστικά αναλύονται περαιτέρω σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για τη σύνδεση του οργάνου μέτρησης με τα ηλεκτρόδια χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικό πολυκάναλο καλώδιο κατάλληλο για τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Η περιοχή μελέτης (Εικόνα 16) καθώς και η αναπαράσταση των παράλληλων τομογραφιών (Εικόνα 17) σε κάτοψη της περιοχής παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 16: Κάτοψη των τριών νέων κτιρίων του έργου, ενώ η κόκκινη περιοχή αποτελεί την περιοχή της έρευνας.



Εικόνα 17: Η περιοχή έρευνας, ενώ με τις μπλέ παράλληλες γραμμές μπορούμε να διακρίνουμε τις 10 παράλληλες ηλεκτρικές τομογραφίες που πραγματοποιήθηκαν.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ξεκινάμε με την τοποθέτηση δύο σταθερών μετροταινιών στις δύο απέναντι πλευρές του νοητού ορθογωνίου που θέλουμε να δημιουργήσουν οι τομές μας (Εικόνα 18), στην περίπτωση μας η ταινία αυτή είχε μήκος 14,5m. Έτσι ξεκινώντας από το 0m φέρναμε μια κινητή μετροταινία από το της οποίας τα δύο άκρα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο σημείο και στις 2 σταθερές ταινίες δηλαδή ξεκινώντας τα δύο άκρα της κινητής ταινίας θα πρέπει να βρίσκονται στο σημείο 0. Στην συνέχεια αφού έχουμε πραγματοποιήσει όλη τη διαδικασία της συνδεσμολογίας των καλωδίων με το μηχάνημα καθώς και με τα ηλεκτρόδια, ξεκινάμε το "κάρφωμα" των ηλεκτροδίων στο έδαφος με ίση απόσταση μεταξύ τους (1,5m) κατά μήκος της κινητής ταινίας (Εικόνα 19). Αφού πραγματοποιήσουμε έναν έλεγχο μέσω του μηχανήματος για το εάν όλα τα ηλεκτρόδια βρίσκονται σε καλή επαφή με το έδαφος ξεκινάμε την μέτρηση μας, εάν σε περίπτωση που το μηχάνημα κατά τον έλεγχο διαπιστώσει κακή επαφή κάποιου ηλεκτροδίου με το έδαφος, προσπαθούμε να το καρφώσουμε πιο βαθιά στο έδαφος ή να ποτίσουμε την περιοχή με λίγο νερό έτσι ώστε να μειώσει την

αντίσταση γύρω από το συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο έτσι ώστε το ρεύμα να μπορέσει να εισέλθει χωρίς δυσκολία στο υπέδαφος. Ξεκινώντας τη μέτρηση το μηχάνημα πραγματοποιεί αυτόματα την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου στο υπέδαφος μέσω των ηλεκτροδίων και στη συνέχεια κάνει μόνο του όλες τις μετρήσεις ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και τις αποθηκεύει.



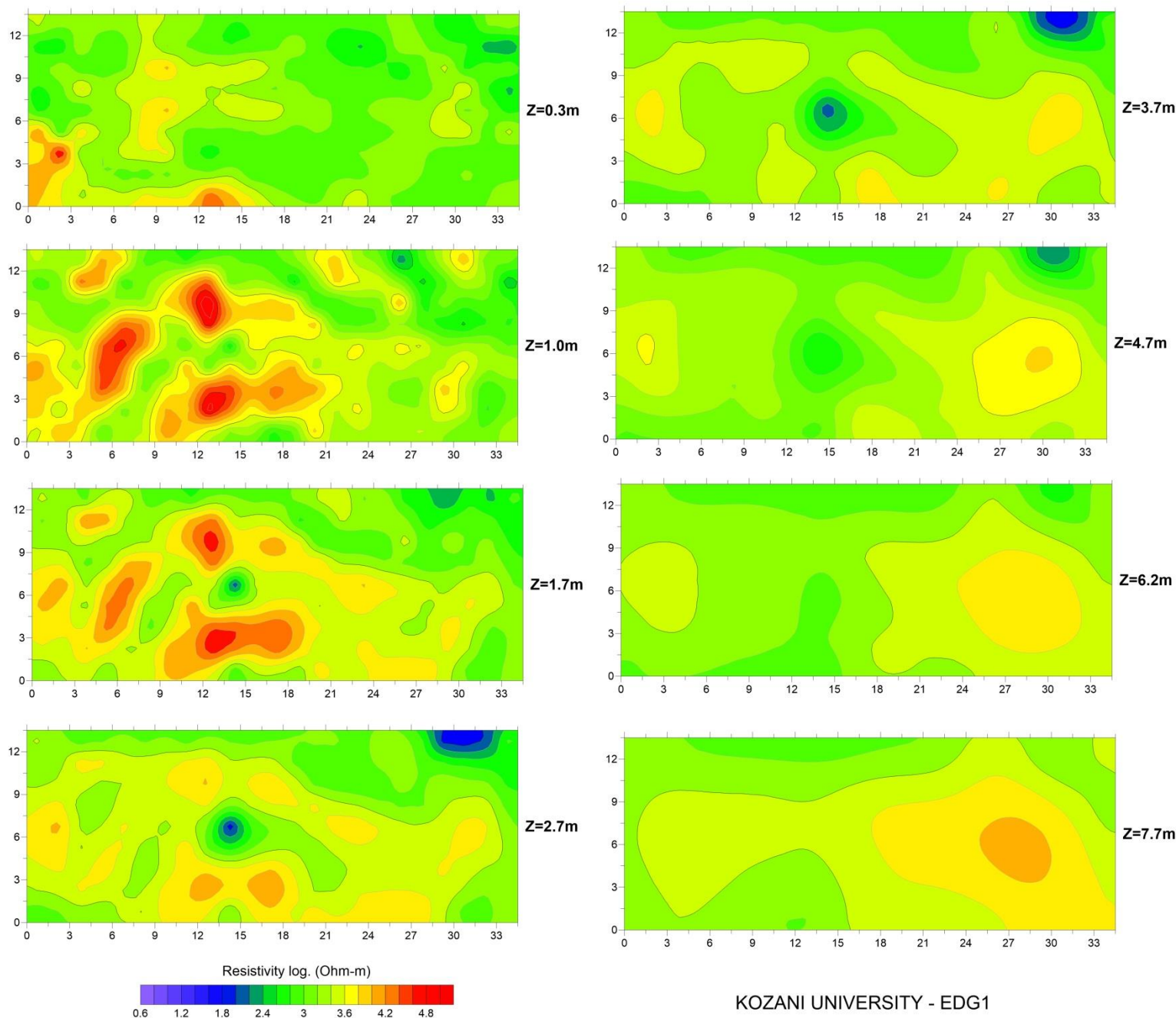
Εικόνα 18: Αριστερά διακρίνουμε τη μία σταθερή κορδέλα ενώ κάθετα σε αυτήν βλέπουμε την κινητή.



Εικόνα 19:Το κάρφωμα των ηλεκτροδίων στο έδαφος, διακρίνεται και πάλι η σταθερή κορδέλα καθώς και η κινητή που είναι κάθετη σε αυτήν.

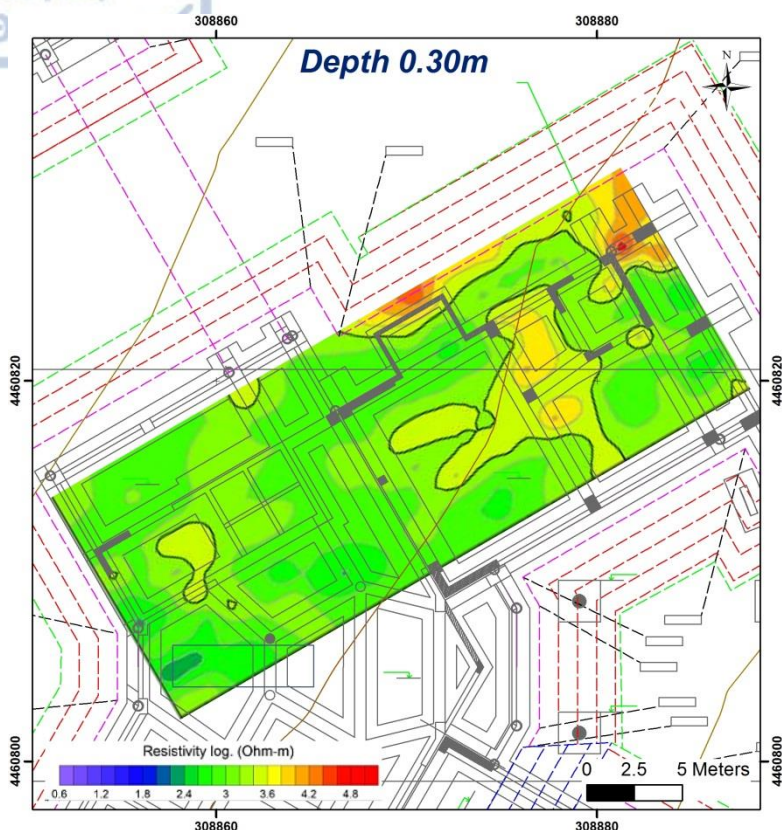
Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις, τα αποτελέσματα τους θα πρέπει να μεταφερθούν από το μηχάνημα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να γίνει η περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων σε ειδικά λογισμικά όπου πραγματοποιείται η επεξεργασία των παραμέτρων αντιστροφής και το φιλτράρισμα των μετρήσεων με την απομάκρυνση των ακραίων τιμών με στόχο τη μείωση των σφαλμάτων. Ετσι στο τέλος το αποτέλεσμα που παίρνουμε είναι οριζόντιες τομές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για συγκεκριμένα βάθη.Απο τις οποίες αυτές οριζοντιογραφίες της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μπορούμε στη συνέχεια να σχεδιάσουμε και τρισδιάστατες απεικονίσεις των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή.Παρακάτω δίνονται οι οριζοντιογραφίες αυτές όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων.

5.2 Αποτελέσματα έρευνας



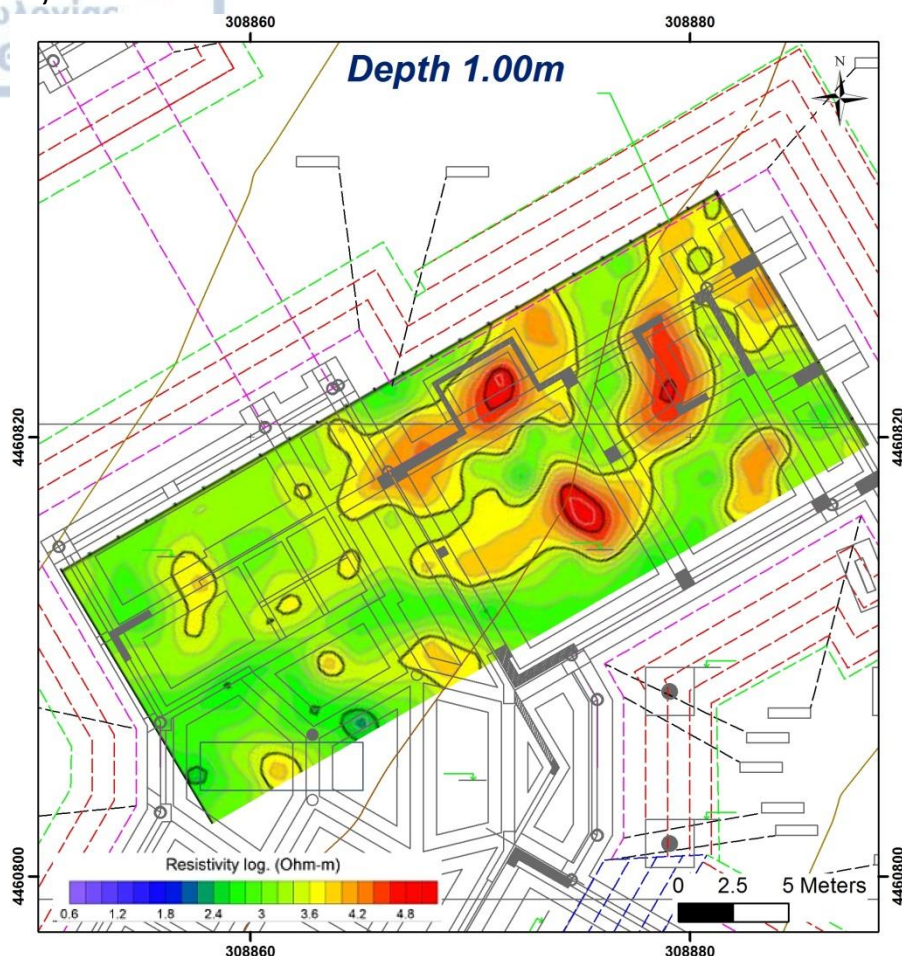
Εικόνα 20: Η μορφή των οριζοντιογραφιών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε διάφορα βάθη.

- Βάθος 0,3m



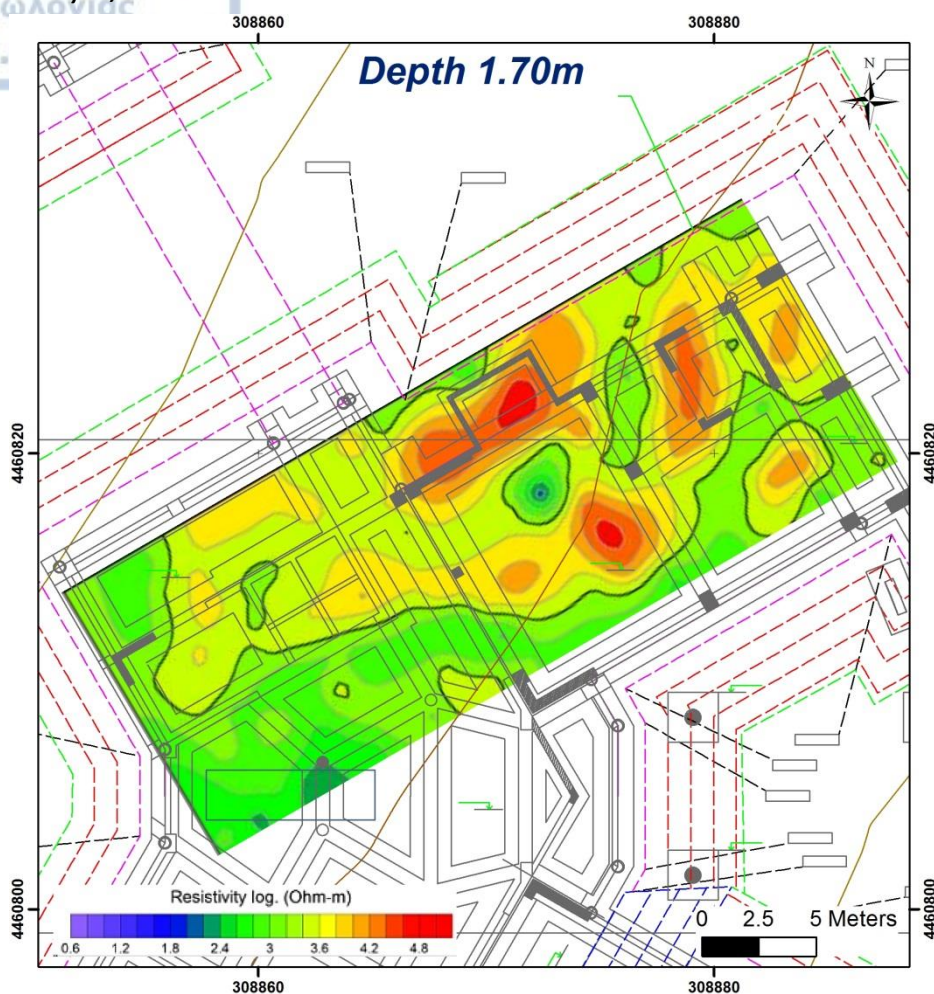
Στο βάθος των 0,3m μπορούμε να πούμε πως στο βορειότερο σημείο της περιοχής έρευνας καθώς και στο βόρειο κομμάτι της ΒΔ πλευράς της περιοχής παρατηρείται μία σχετική ανωμαλία των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης καθώς οι τιμές που παρατηρούμε κινούνται από 3,6-4,5 Ohm-m ενώ η γενικότερη εικόνα των πετρωμάτων της περιοχής κινείται στις τιμές από 2,5-3,1 Ohm-m. Επίσης παρατηρείται και μία άλλη διαφοροποίηση, σε μικρότερο βαθμό βέβαια με τιμές γύρω στο 3,7 Ohm-m ακριβώς λίγο Νοτιότερα του 1^{ου} σημείου μεγάλης διαφοροποίησης.

- Βάθος 1m



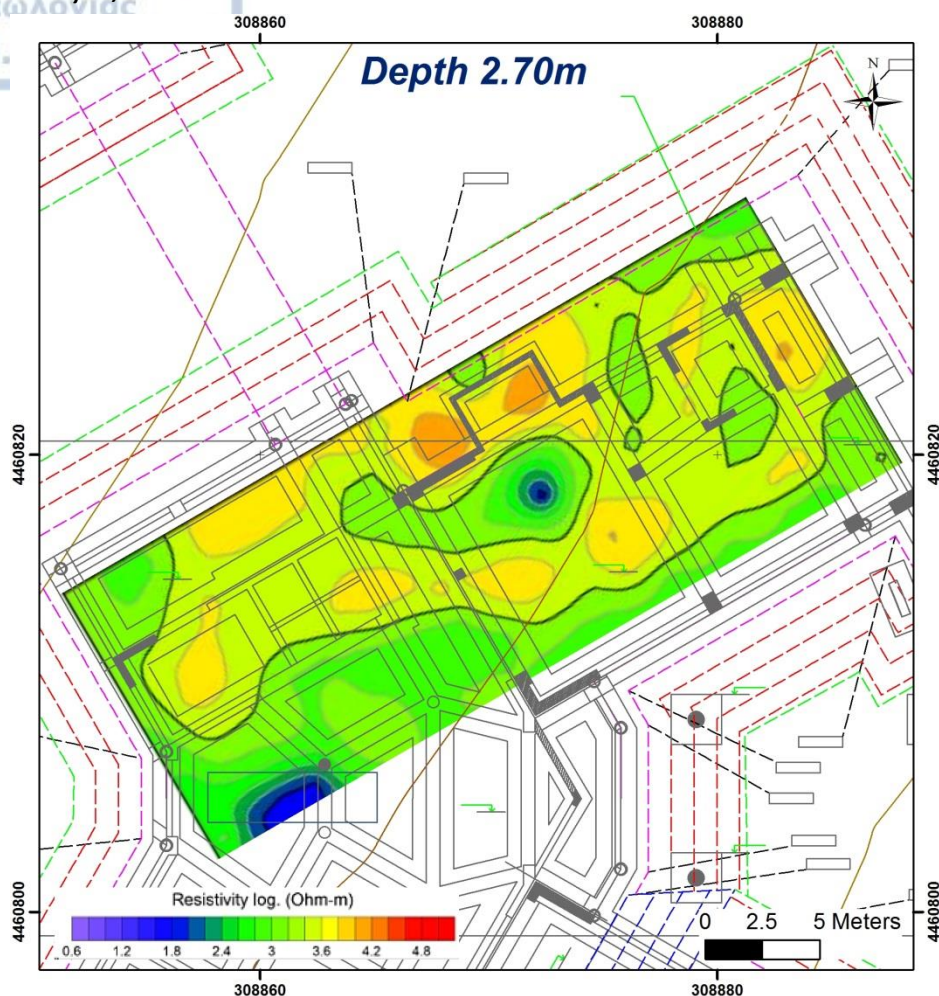
Στο βάθος του ενός μέτρου από την επιφάνεια του εδάφους μπορούμε να παρατηρήσουμε τρεις περιοχές με έντονη διαφοροποίηση τιμών, οι οποίες κινούνται από 4,2-4,8 Ohm-m και οι οποίες βρίσκονται στο βόρειο κομμάτι της περιοχής κάτι που έρχεται σε συμφωνία και με την προηγούμενη οριζοντιογραφία όπου όλα τα σημεία με υψηλές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκονταν στην ίδια περιοχή, αντίθετα το νότιο κομμάτι της περιοχής παρότι στο βάθος αυτό δείχνει να έχει κάποια σημεία με υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, το μέγεθος των τιμών όμως βρίσκεται στα φυσιολογικά πλαίσια της διαφοροποίησης που παρουσιάζουν τα πετρώματα.

- Βάθος 1,7m



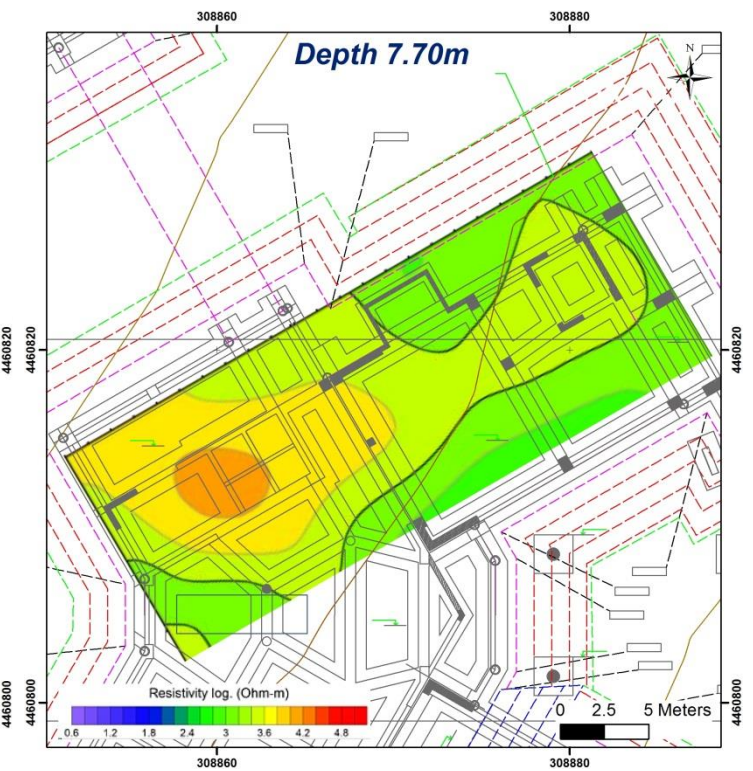
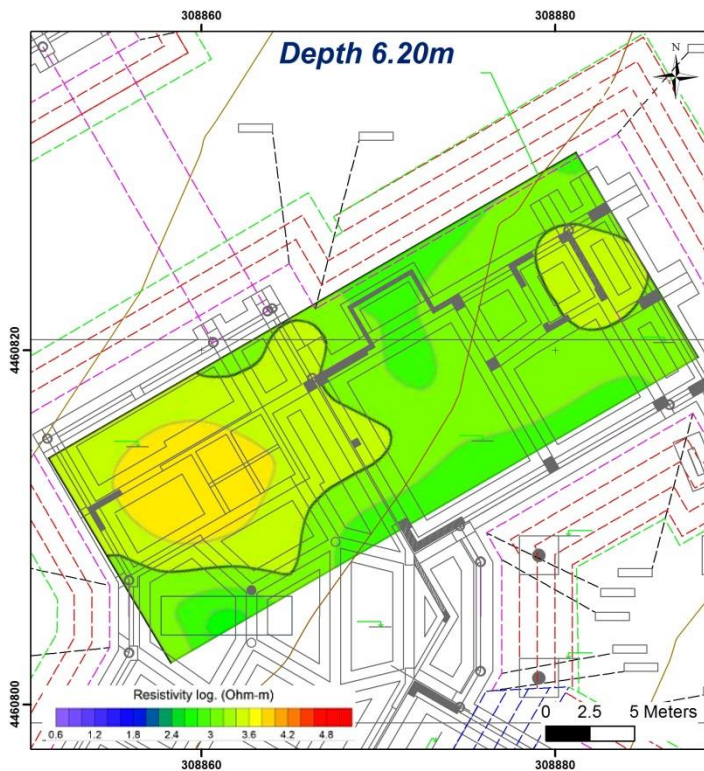
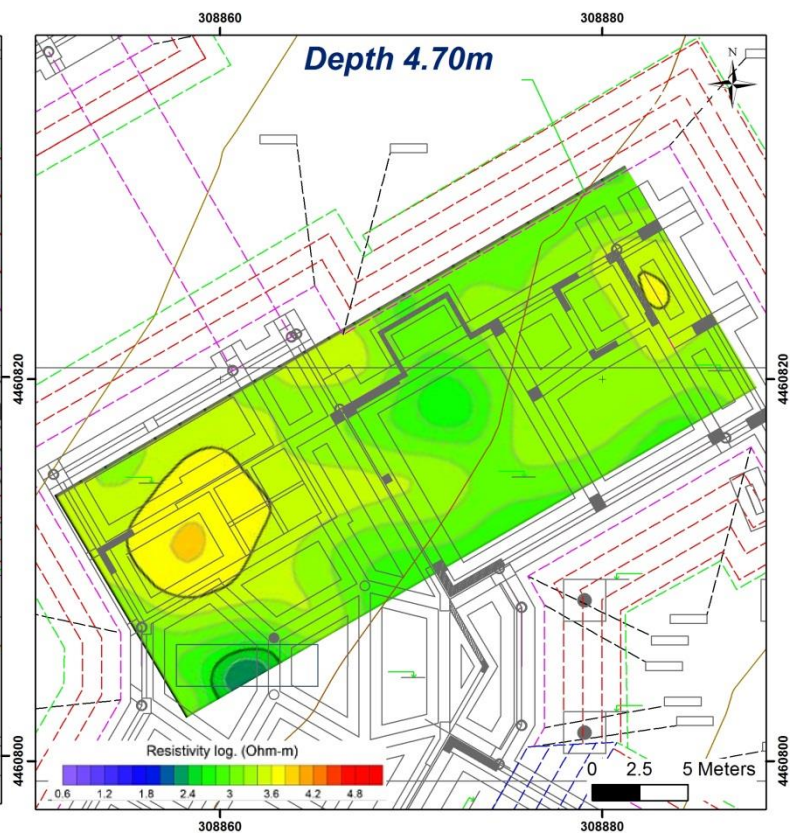
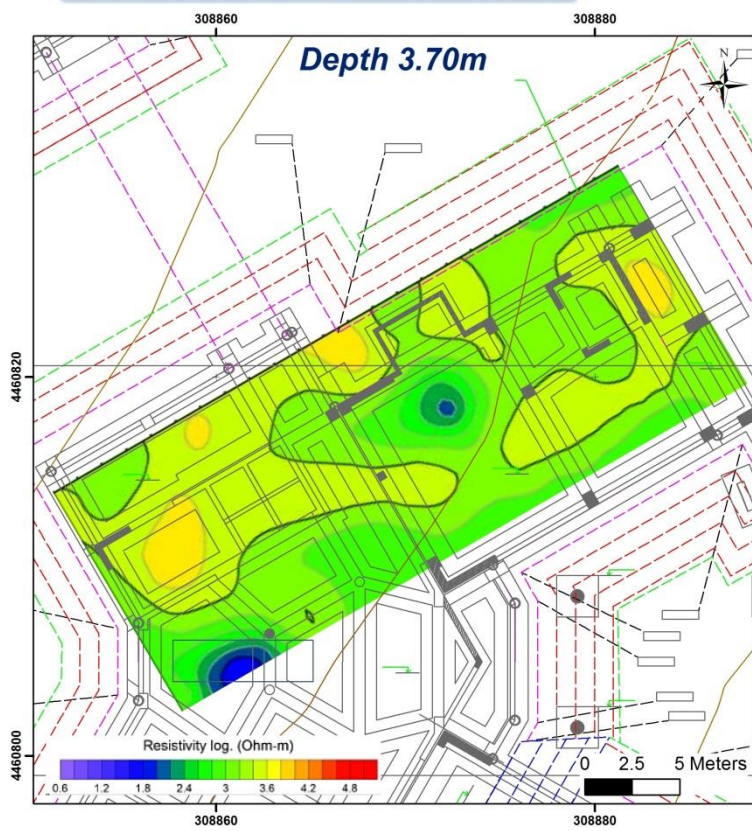
Τα σημεία στα οποία παρατηρήσαμε στην προηγούμενη οριζοντιογραφία να παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις συνεχίζουν να παρουσιάζουν μεγάλες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και στο βάθος των 1,7m με τιμές πάλι γύρω στα 4,2-4,8 Ohm-m, πράγμα το οποίο υποδεικνύει ότι τα συγκεκριμένα σημεία αποτελούν έγκοιλα. Οι υπόλοιπες αυξημένες τιμές που παρατηρούμε και σε άλλα σημεία της περιοχής δε δείχνουν ανυσηχητικές καθώς δεν ξεπερνούν τα 3,6 Ohm-m.

- Βάθος 2,7m



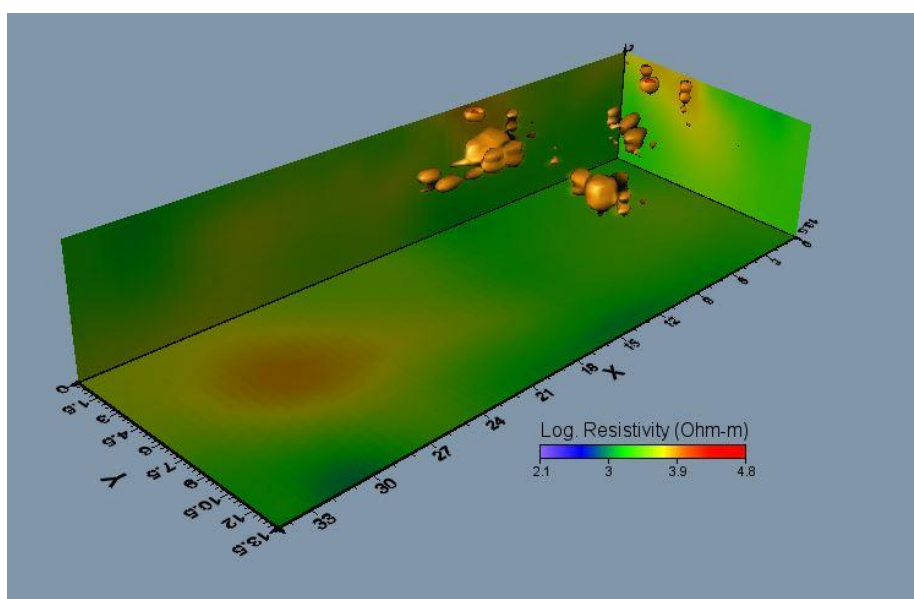
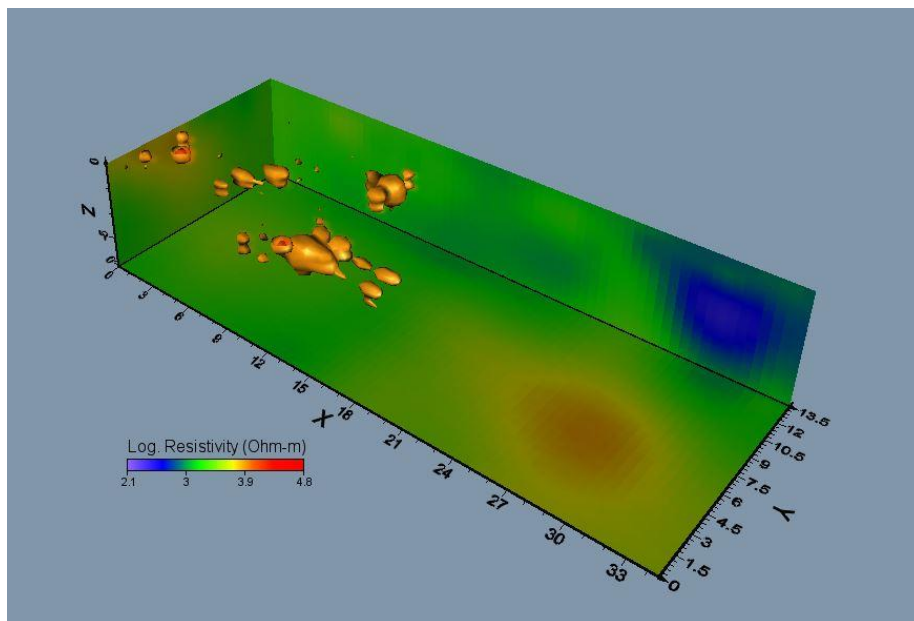
Στο βάθος των 2,7m βλέπουμε ότι οι τιμές σχετικά έχουν σταθεροποιηθεί στα φυσιολογικά πλαίσια για την περιοχή με μόνη εξαίρεση μια περιοχή στην ΒΔ πλευρά της περιοχής μελέτης όπου οι τιμές κινούνται στα 3,9-4,3 Ohm-m.

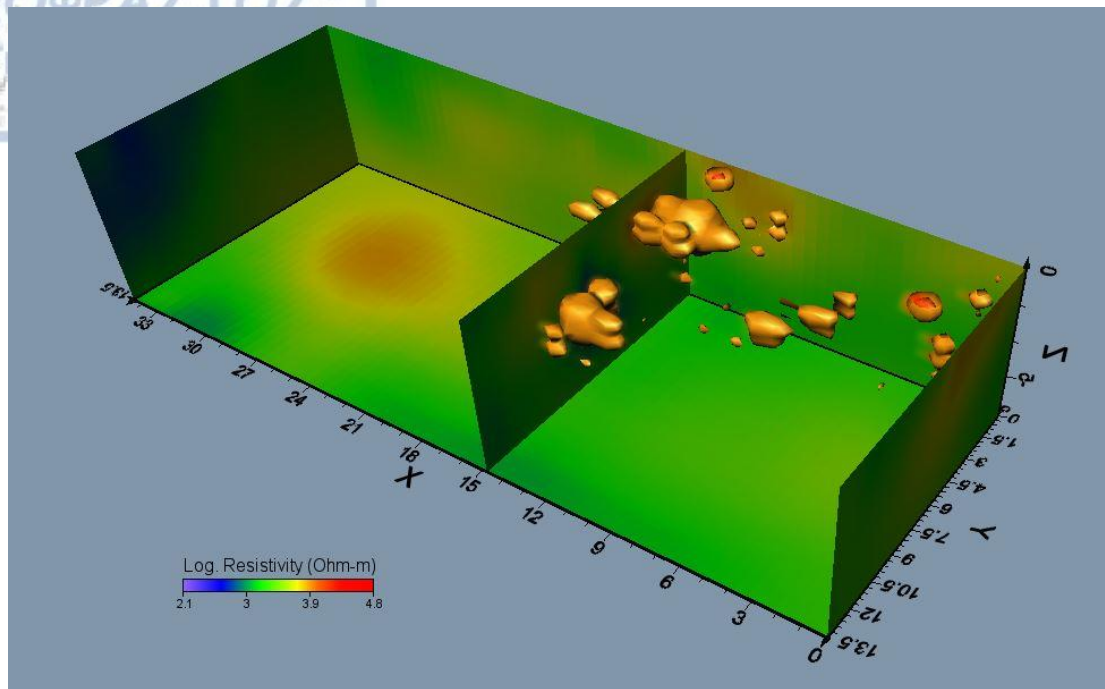
- Βάθη 3,7m, 4,7m, 6,2m και 7,7m



Σε βάθος από 3,7m έως 7,7m παρατηρούμε ότι οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έχουν επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα με μικρές βέβαια διαφοροποιήσεις οι οποίες είναι φυσιολογικές στα πλαίσια της αναμενόμενης διαφοροποίησης που παρουσιάζουν τα πετρώματα κυρίως λόγω της ανομοιογένειας των πετρωμάτων.

Πέρα από τις οριζοντιογραφίες που μας δίνουν εικόνα για συγκεκριμένο βάθος η καθεμία μπορούμε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του υποβάθρου της περιοχής και με μια τρισδιάστατη απεικόνιση(Εικόνες 21,22&23) που προκύπτει από τις οριζοντιογραφίες και την περαιτέρω ανάλυση τους, έτσι προκύπτουν τα παρακάτω τρισδιάστατα γραφήματα.





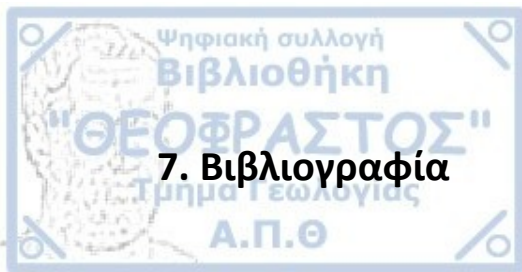
Εικόνες 21,22&23:Τρισδιάστατη απεικόνιση του υποβάθρου της περιοχής

Παρατηρούμε λοιπόν ότι υπάρχουν δύο σημεία με παρουσία μεγάλων τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συνεπώς πρόκειται για έγκοιλα. Τα δύο σημεία αυτά όπως βλέπουμε και στην τελευταία απεικόνιση βρίσκονται στο Βόρειο κομμάτι της περιοχής, εάν το χωρίζουμε σε 2 περιοχές (Βόρεια και Νότια) με τη μία να βρίσκεται με συντεταγμένες $x=12-14m$ από το την αρχή του άξονα x και $y=1,5-3m$ και βάθος από το μισό μέτρο έως τα 2 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η άλλη περιοχή επικυνδυνότητας βρίσκεται σε συντεταγμένες $x=12-15m$, $y=7,5-10m$ και βάθος από το 1m έως και τα 2m.Βέβαια παρατηρούμε και άλλες πιθανές μορφές μικροεγκοίλων αλλά πρόκειται για μικρού μεγέθους και δεν παρουσιάζουν μεγάλη ανησυχία.

6. Συμπεράσματα

Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν, την ανάλυση τους καθώς και την ερμηνεία και αξιολόγηση σύμφωνα με την γεωλογική δομή της περιοχής προκύπτει ότι στην περιοχή έρευνας υπάρχουν δύο σημεία τα οποία εμφανίζουν υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συνεπώς πρόκειται για πιθανές θέσεις εγκοίλων κάτι το οποίο έρχεται σε συμφωνία και με την πρώτη μελέτη της περιοχής (2013). Επιπλέον τα ληφθέντα δεδομένα έδειξαν ότι ο ασβεστόλιθος της περιοχής διακρίνεται από διαφορετικής φύσης μορφές του ασβεστόλιθου ως προς τη δομή και την περιεκτικότητα του σε αργιλικά υλικά καθώς διακρίναμε γενικώς διαφοροποιήσεις στις τιμές των δεδομένων που πήραμε από τις μετρήσεις. Παρόλ' αυτά μπορούμε με μεγάλη ασφάλεια να πούμε ότι μετά το βάθος των 2,7m έως και τα 7m βάθος δεν εμφανίζονται πιθανές θέσεις εγκοίλων και επίσης η μορφή των πετρωμάτων δείχνει να είναι αρκετά ομογενής και με πιο αγώγιμοι με τις τιμές των αντιστάσεων να κινούνται από 2,4-3 Ohm-m σχεδόν σε όλο την περιοχή έρευνας.

Συμπερασματικά από την αξιολόγηση όλων των παραπάνω προκύπτει ότι η περιοχή έρευνας παρουσιάζει δύο σημεία με πιθανή παρουσία εγκοίλων των οποίων η θέση καθώς και το σχετικό τους μέγεθος είναι υπολογίσιμο από τις τρισδιάστατες απεικονίσεις του επεδάφους. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει περαιτέρω αξιολόγηση των δύο αυτών θέσεων από τους μηχανικούς του έργου για το κατά πόσο το μέγεθος καθώς και η θέση τους (εάν είναι υποκείμενα σε σημεία όπου θα δέχονται μεγάλες τάσεις λόγω του βαρους του κτιρίου) είναι σε θέση να επηρεάσει τη στατικότητα του έργου.



7. Βιβλιογραφία

- Μουντράκης, Δ.Μ.: 'Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας', UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη
- Παπαζάχος, Β.Κ.: 'Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική', ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη
- Βουβαλίδης Κ. : "Φυσική Γεωγραφία", Εκδόσεις δισίγμα, Θεσσαλονίκη
- Βαργεμέζης Γ. : Γεωφυσική διασκόπηση για τον εντοπισμό πιθανών εγκοίλων στην περιοχή ανέγερσης της Πανεπιστημιούπολης Δυτικής Μακεδονίας, έκθεση αποτελεσμάτων.(Νοεμβριος 2013, Θεσσαλονίκη)
- *Fikos et al- INVESTIGATION OF SINKHOLE AREAS BY THE USE OF v2*