

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

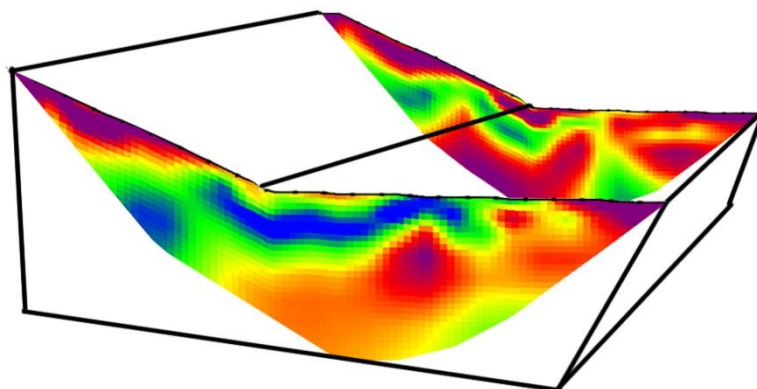


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μετρήσεις Ηλεκτρικής Τομογραφίας για τον
εντοπισμό ρύπανσης στο Δερβένι
Θεσσαλονίκης»**

Χριστοφορίδου Άννα

ΑΕΜ: 4727



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Τσούρλος Παναγιώτης (Αναπ. Καθ. ΑΠΘ)

Θεσσαλονίκη 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

<i>Εισαγωγή</i>	3
1.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5
1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	7
1.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	11
1.3 ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	15
2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ	20
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	25
3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	29
3.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	31
3.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	33
3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42

Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος θέσης επιφανειακής εκφόρτισης διασταλλαζόντων στον Αναμορφωμένο Χώρο Ταφής Απορριμμάτων Δερβενίου , έπειτα από επεμβατικές διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν, για την επίλυση προβλημάτων που ενδεχομένως θα είχαν αντίκτυπο στο περιβάλλον της εγγύτερης περιοχής.

Τον Δεκέμβριο του 2012 και τον Ιανουάριο του 2013, στον χώρο ανάπλασης, έλαβε χώρα υδρογεωλογική- υδροχημική έρευνα που στόχευε στον εντοπισμό των πηγών τροφοδοσίας του ΑΧΤΑ Δερβενίου και συνεπώς στον περιορισμό της παραγωγής επιβαρυμένου ύδατος και διασταλλαζόντων. Τα αποτελέσματα της έρευνας κατέδειξαν τοπική επιφανειακή διαρροή υγρών εμποτισμένων με διασταλλάζοντα. Ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία η παρακολούθηση της θέσης μέσω γεωφυσικών μετρήσεων, που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της εργασίας.

Στο αρχικό κεφάλαιο, παρατίθενται πληροφορίες για την περιοχή μελέτης όσον αφορά τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές παραμέτρους καθώς επίσης και για τα χημικά στοιχεία που προκύπτουν από μετρήσεις υδάτων.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναφέρονται οι βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται η ηλεκτρική τομογραφία και εν συντομία παραδείγματα εφαρμογών της.

Τέλος περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων, η ερμηνεία των ηλεκτρικών τομογραφιών και τα συμπεράσματα που εξάγονται.

Ευχαριστίες

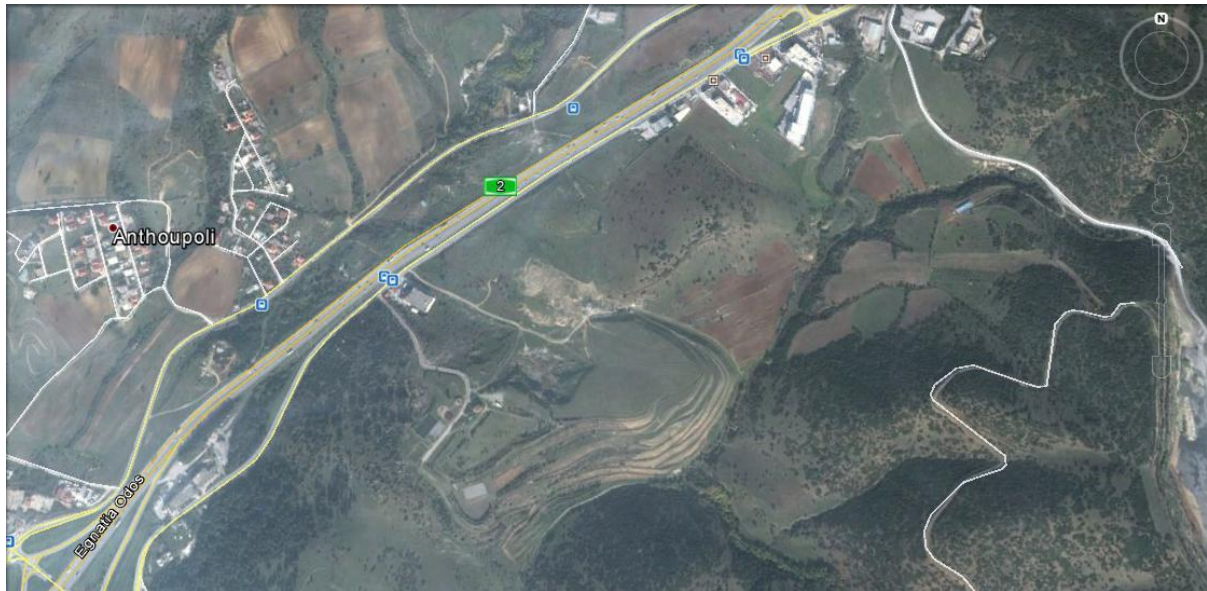
Οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Παναγιώτη Τσούρλο για την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου προσέφερε για την διακπεραίωση αυτής της διπλωματικής όπως επίσης για την υπομονή που επέδειξε στην εξήγηση της βασικής δομής της εργασίας και ασφαλώς για τις πολύτιμες συμβουλές σταδιοδρομίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Ηλία Φίκο για τον χρόνο που αφιέρωσε και την μεγάλη βοήθεια που παρείχε για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων, καθώς η συμβολή του υπήρξε καταλυτικής σημασίας για την συγγραφή της διπλωματικής. Ακόμα, ευχαριστώ την φοιτήτρια Ιωάννα Καφετζή για τη βοήθειά της στη λήψη των γεωφυσικών δεδομένων.

Τέλος, ευχαριστώ την Χριστίνα Χάσκη που η συνεισφορά της ήταν καθοριστική σε κάθε τομέα.

1.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παλιά χωματερή του Δερβενίου βρίσκεται σε απόσταση περί τα 8.5 km από την Θεσσαλονίκη.



Σχήμα 1.1 : Απεικόνιση της θέσης του αναμορφωμένου χώρου ταφής σε χάρτη Google Earth.

Λειτουργήσε από το 1974-1984 και έχει έκταση 120 στρέμματα. Από το 2006 ο χώρος έχει μετατραπεί σε περιβαλλοντικό πάρκο. Για την υλοποίηση αυτής της αποκατάστασης έγιναν οι παρακάτω διεργασίες:

- Επί των σκουπιδιών κατασκευάστηκε τελική επικάλυψη
- Στα πρανή έγιναν αναβαθμοί ώστε να συγκρατηθούν τα χώματα από την έκπλυση και την δημιουργία νεροφαγώματος .
- Στο νέο αυτό ανάγλυφο δόθηκαν οι απαραίτητες κλίσεις για την αποστράγγιση των όμβριων υδάτων, έγινε μόνωση με άργιλο και κατασκευάστηκαν φρεάτια για εκτόνωση του βιοαερίου καθώς και δίκτυο συλλογής διασταλαζόντων .
- Παράλληλα έγινε καθαρισμός του ρέματος σε όλο του το μήκος ενώ στη βάση του πρανούς έγιναν έργα αντιστήριξης και προστασίας.
- Η ανάπλαση του χώρου περιλάμβανε την κατασκευή αδρευτικού και υδρευτικού δικτύου με γεώτρηση και δεξαμενή και την φύτευση κατάλληλων φυτών και δένδρων στο πλατό και στα πρανή
- Ένας κύριος δρόμος πλάτους 6 m εξυπηρετεί τις ανάγκες του χώρου. Κατασκευάστηκε ακόμη εσωτερικό δίκτυο δρόμων και πεζοδρόμων και μονοπατιών.

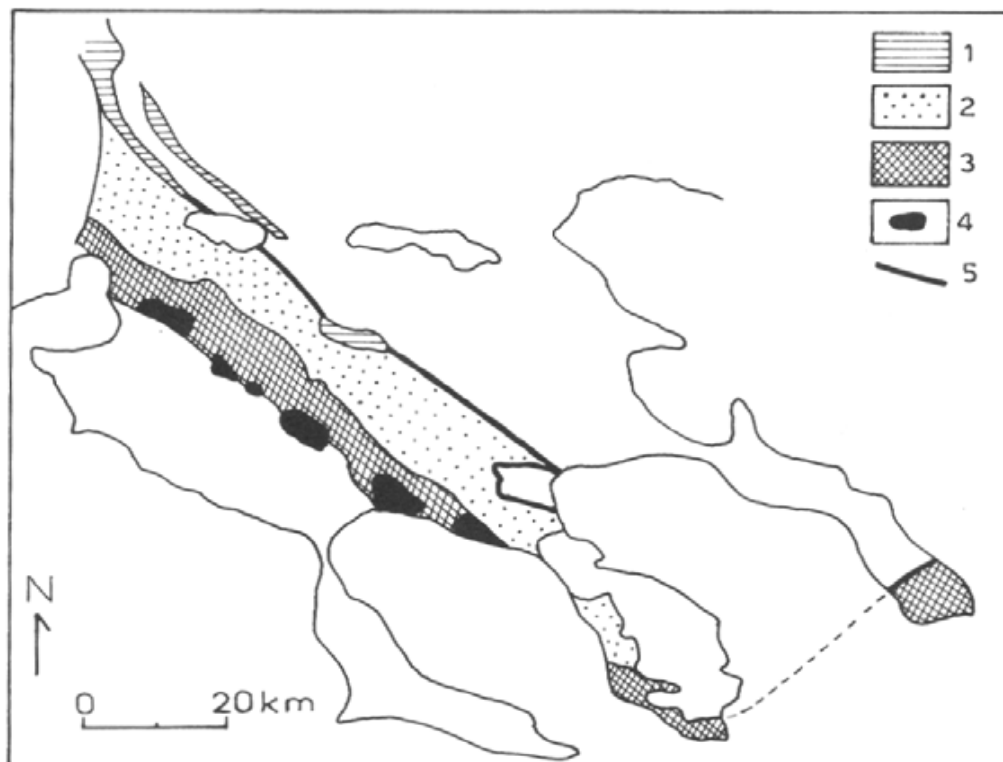
- Τρεις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις παρακολουθούν την ποιότητα των υπόγειων νερών.



Σχήμα 1.2 και 1.3 : Σημερινή εικόνα του αποκατεστημένου χώρου ταφής απορριμμάτων.

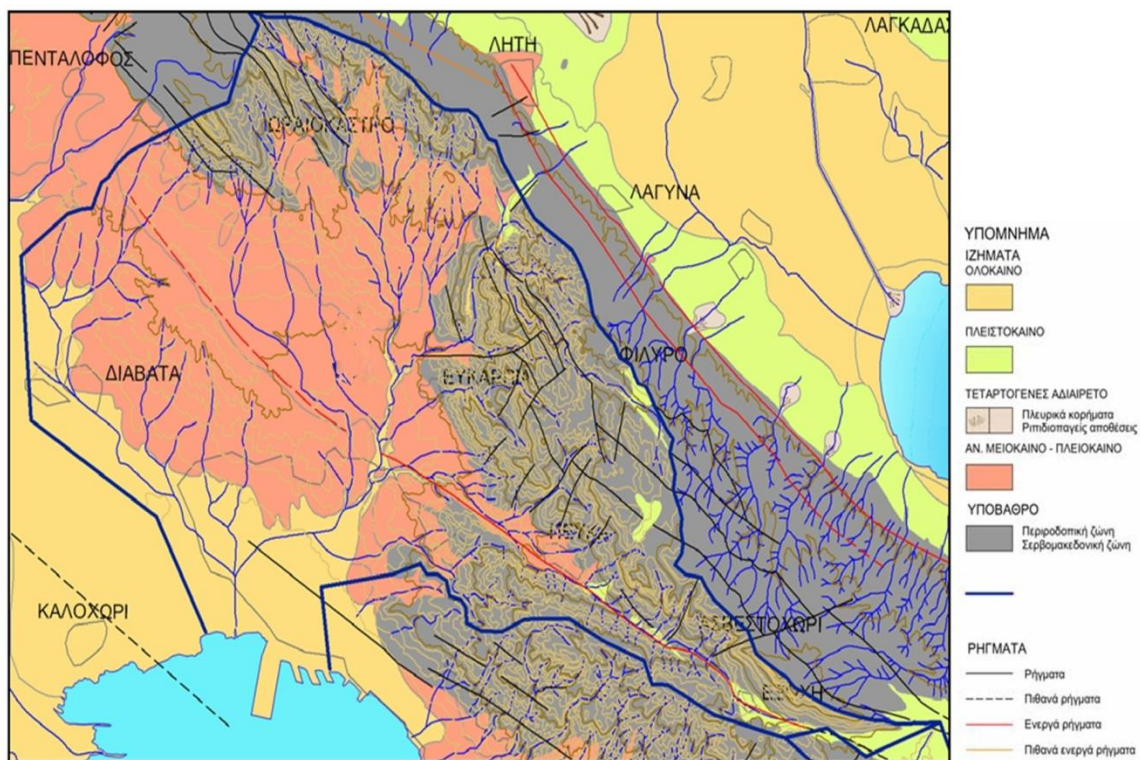
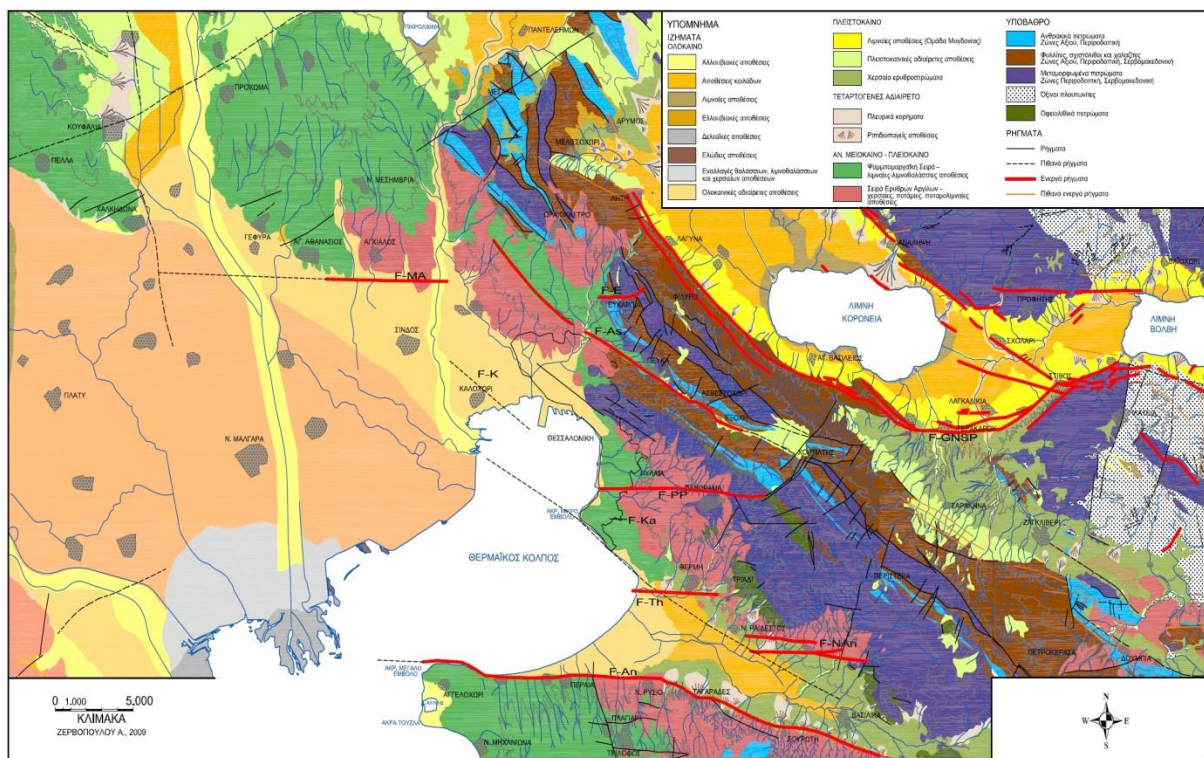
1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη και πιο συγκεκριμένα στην ενότητα Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη. Η θέση της ενότητας τοποθετείται παράλληλα με την ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα, αποτελώντας μια λωρίδα με πλάτος 4- 8 km η οποία εκτείνεται από το Χορτιάτη ως το νότιο άκρο της Σιθωνίας, όπου και κάμπτεται και αποκτά ΑΒΑ κατεύθυνση μέχρι το άκρο του Αγίου Όρους. Η ενότητα χαρακτηρίζεται από μια ευγεωσυγκλινική ανάπτυξη κατά την διάρκεια του Κάτω- Μέσο Ιουρασικού.



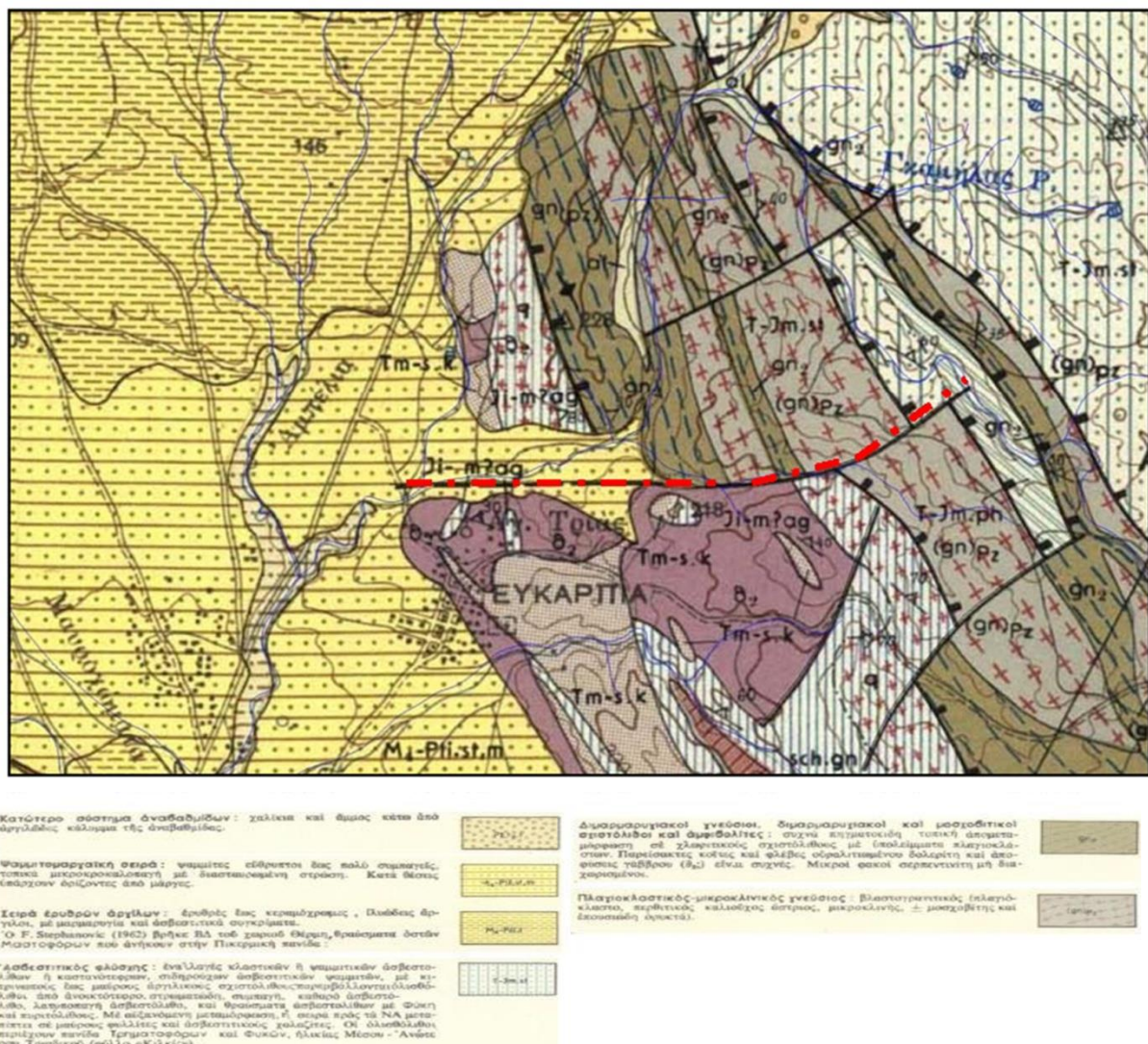
Σχήμα 1.4 : Ενότητες Περιοδοπικής Ζώνης.

- 1) Ντεβέ Κοράν- Δουμπιά
- 2) Μελισσοχωρίου – Χολομώντα
- 3) Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη
- 4) Σημαντικότερες οφειολιθικές εμφανίσεις.



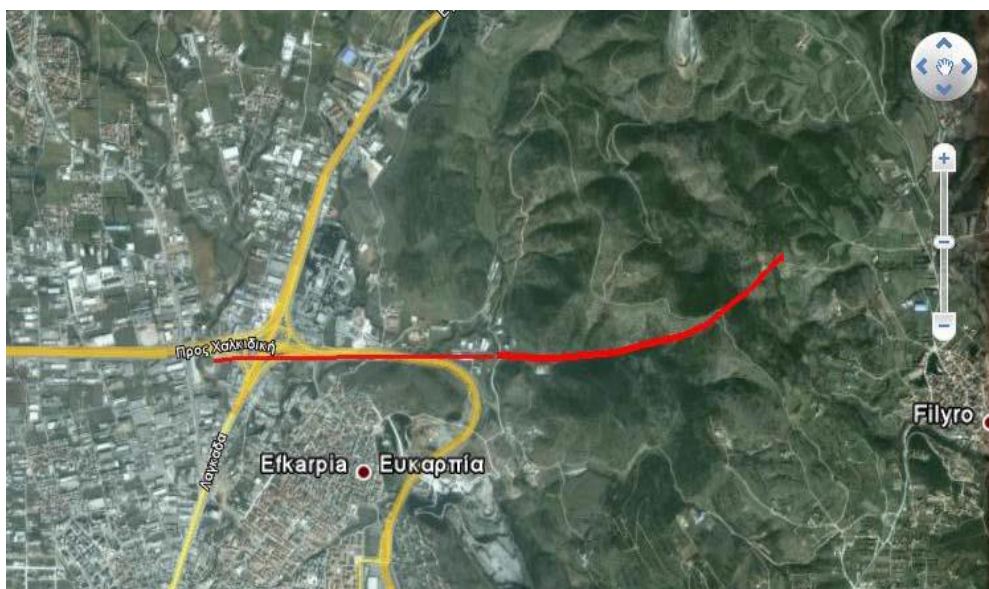
Σχήμα 1.5 και 1.6: Συνοπτικοί Γεωλογικοί χάρτες της ευρύτερης περιοχής. (Ζερβοπούλου, 2010)

Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Περμο- Τριαδικής ηλικίας μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα ανάλογα με της ενότητας Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα αυτά παρεμβάλλονται συχνά οφιολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Επίσης μέσα σ' αυτόν τον ορίζοντα παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης. Αυτά τα μεταπυριγενή πετρώματα ονομάζονται Μαγματική Σειρά Χορτιάτη και εναλλάσσονται με τα μεταϊζήματα, φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίνες, χλωριτικούς – επιδοτιτικούς σχιστολίθους. (Μουντράκης, 2010)

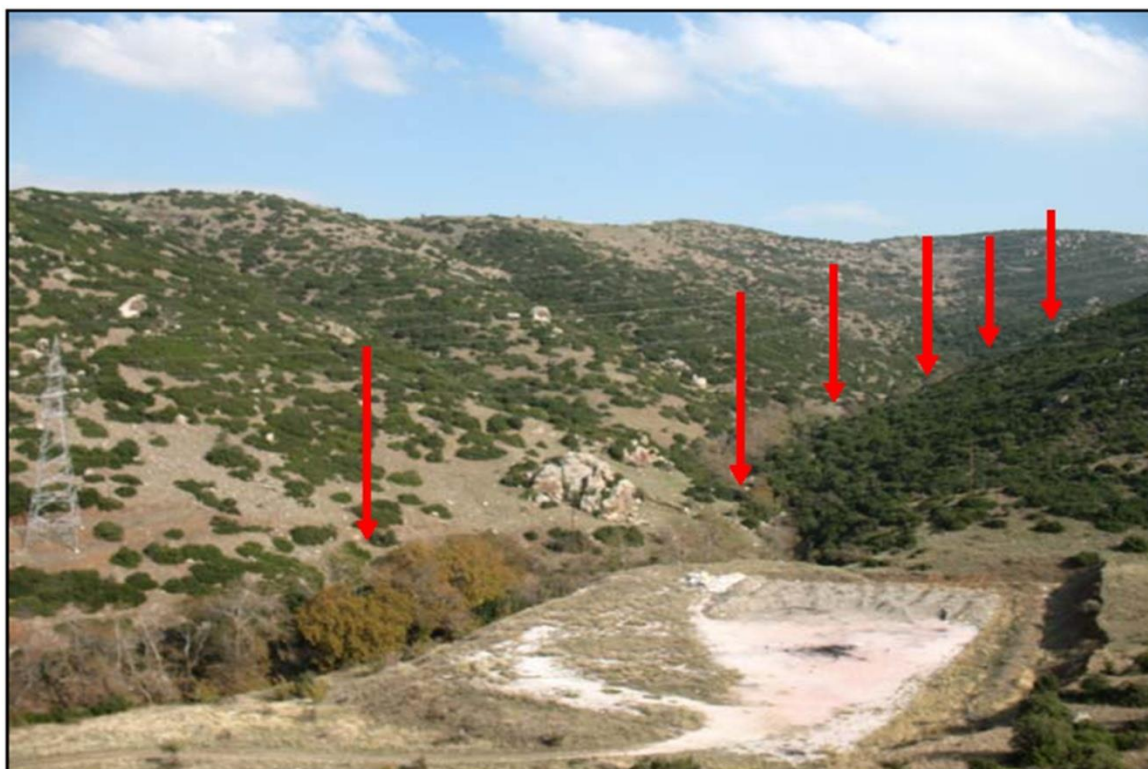


Σχήμα 1.7 : Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. όπου με στικτή κόκκινη γραμμή τονίζεται το ρήγμα της Ευκαρπίας.

Το ρήγμα της Ευκαρπίας βρίσκεται βόρεια της πόλης της Θεσσαλονίκης στην περιοχή της Ευκαρπίας και απέχει από το κέντρο της πόλης 6km . Χωρίζεται σε 2 τμήματα (segments). Το πρώτο έχει διεύθυνση Α-Δ, παράταξη $B90^{\circ}$ και μετάπτωση προς Β, οριοθετεί τα πρόσφατα ιζήματα κλάδου του Δενδροποτάμου με το αλπικό υπόβαθρο. Το δεύτερο τμήμα έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, παράταξη $B55^{\circ}$ και μετάπτωση προς Β, βρίσκεται μέσα στο υπόβαθρο και θεωρείται ανενεργό. (Ζερβοπούλου, 2010)



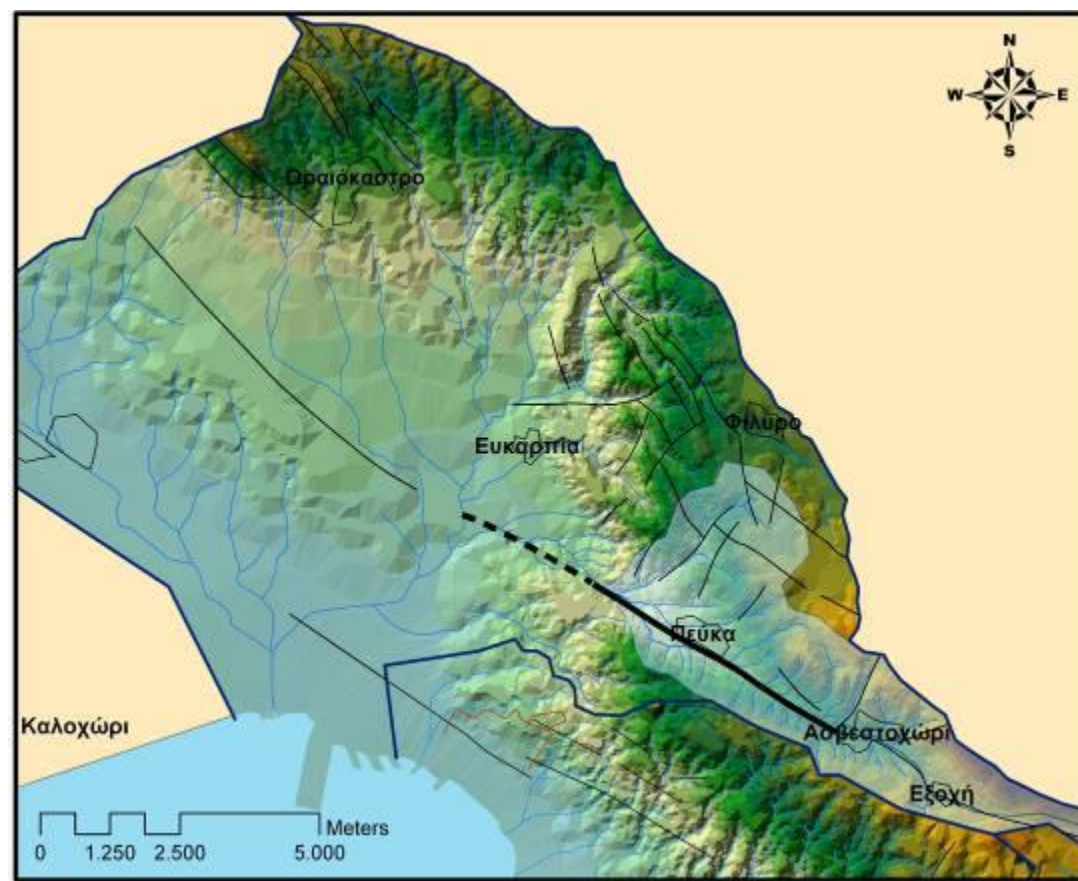
Σχήμα 1.8 : Απεικόνιση του ρήγματος σε χάρτη Google Earth.



Σχήμα 1.9 : Το ρήγμα που ακολουθεί την διεύθυνση του ρέματος Δενδροποτάμου. (Ζερβοπούλου, 2010)

1.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή ανήκει στην υδρολογική λεκάνη του Δενδροποτάμου η οποία και αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη λεκάνη του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης. Έχει έκταση 140.4 km και ανάπτυξη κατά πρώτο λόγο ΒΔ-ΝΑ και κατά δεύτερο Β-Ν.



Σχήμα 1.10 : Υδρολογική λεκάνη Δενδροποτάμου. (Ζερβοπούλου, 2010)

Με βάση την υδρογεωλογική έρευνα που πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2012 προέκυψε ότι η ροή του υπόγειου νερού ακολουθεί ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση στο ανατολικό τμήμα και ΒΒΑ-ΝΝΔ στο δυτικό, ενώ στον χώρο ταφής παρατηρείται σύγκλιση σε ΒΑ-ΝΔ προς το νότο. Ο χώρος τροφοδοτείται από το νερά υπόγειων πηγών που ανέρχονται διαμέσω ρηγμάτων. Επιπλέον, μετρήσεις στο ρέμα του Φιλύρου, έδειξαν ότι η ποσότητα των επιβαρυμένων υγρών αντιπροσωπεύει περίπου το 10% της ποσότητας των υδάτων. (Τσούρλος κ.α., 2013).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ					ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ		
Βάθος σε μέτρα	Υδροφ. στρώματα	Παροχή m ³ /h	Υδροστ. στάθμη	Στάθμη αντλήσεως	Βάθος σε μέτρα	Συνθηματ. παράστασης	Είδος πετρώματος
		55 m ³ /h					πυλός χαλίκας
10			15m	17.5m	10		χαλίκας (υδροφόρο)
20					20		πυλός χαλίκας (υδροφόρο)
30					30		αργίλος με χαλίκας
40					40		αμμος λεπτόκοκκη (υδροφόρο)
50					50		κροκάλες (υδροφόρο)
60					60		αργίλος με χαλίκας
70					70		αργίλος
80					80		χαλίκας (υδροφόρο)
90					90		αργίλος με χαλίκας
100					100		αργίλος

Σχήμα 1.11 : Στοιχεία από Υδρογεώτρηση που έγινε στην περιοχή Λεμπέτ της Ευκαρπίας.

Στο σχήμα 1.11 παρατηρείται μέσω υδρογεωτρήσεων που έγιναν στην περιοχή, ότι η στάθμη του υδροφόρου βρίσκεται στα 15 m ενώ υδροφόρα στρώματα αποτελούν κυρίως αποθέσεις χαλίκων, κροκάλων, άμμων και η παροχή κατά τους μήνες Ιούνιο- Ιούλιο που έγιναν οι μετρήσεις είναι 55 m³/h .

1.3 ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

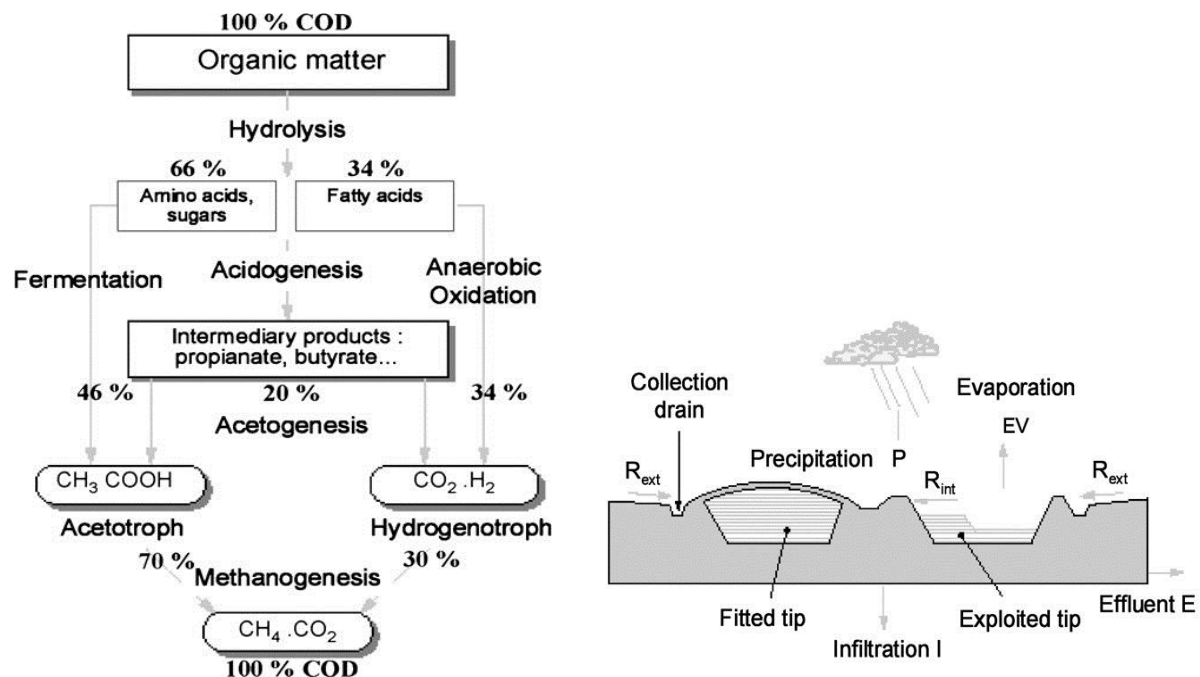
Οι δύο παράγοντες που καθορίζουν τα στραγγίσματα, είναι η τιμή της παροχής και η σύστασή τους. Η παροχή συσχετίζεται άμεσα με τα κατακρημνίσματα, την επιφανειακή απορροή και την κατείσδυση ή την διείσδυση των υπόγειων νερών στο χώρο ταφής των απορριμμάτων. (S.Repou et al , 2007)

Η τεχνική σύμφωνα με την οποία έχει κατασκευαστεί ο χώρος, διαδραματίζει τον σπουδαιότερο ρόλο στον έλεγχο της ποσότητας των νερών που εισέρχονται και στην μείωση της μόλυνσης εξαιτίας αυτού. Τα κλίμα επίσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή των στραγγισμάτων επειδή επηρεάζει το ποσοστό των κατακρημνισμάτων και τις απώλειες διαμέσου της εξάτμισης. Τέλος, η ποσότητα των παραγόμενων διασταλλαζόντων εξαρτάται από την φύση των απορριμμάτων, ειδικότερα από την περιεκτικότητά τους σε νερό και από το βαθμό συμπύκνωσης τους, μεγαλύτερη συμπύκνωση συνεπάγεται μικρότερη κατείσδυση.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που διαμορφώνουν την ποιότητα των διασταλλαζόντων υγρών όπως η ηλικία, οι εποχιακές καιρικές μεταβολές και ο τύπος των απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η σύσταση των διασταλλαζόντων ποικίλει σημαντικά σε σχέση με την ηλικία του χώρου ταφής. Σε καινούριους χώρους, που περιέχουν μεγάλα ποσοστά βιοδιασπώμενου οργανικού υλικού, λαμβάνει χώρα με γρήγορο ρυθμό αναερόβια ζύμωση, η οποία οδηγεί σε παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων. Η ζύμωση των οξέων ενισχύεται από το υψηλό ποσοστό υγρασίας ή την μεγάλη περιεκτικότητα των απορριμμάτων σε νερό. Αυτή η φάση στο χρόνο ζωής του χώρου ταφής απορριμμάτων καλείται οξυγενές στάδιο και καταλήγει στην απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ελεύθερων πτητικών λιπαρών οξέων (VFA), περίπου 95% του οργανικού περιεχομένου. Το επόμενο στάδιο είναι η φάση μεθανογένεσης, όπου τα πτητικά λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε βιοαέριο ($CH_4 - CO_2$). Το οργανικό κλάσμα των διασταλλαζόντων, αποτελείται κυρίως από δυσδιάλυτες χημικές ενώσεις όπως οι χουμικές ενώσεις.

Τα χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων αντιπροσωπεύονται κυρίως από τις βασικές παραμέτρους COD και BOD, την αναλογία BOD/COD, pH, υπολειμματικά στερεά σε αιώρηση, αμμωνιακό άζωτο, ολικό άζωτο Kjeldahl και βαρέα μέταλλα. Η σύσταση των διασταλλαζόντων μεταξύ των διαφόρων χώρων ταφής απορριμμάτων παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση. Αυτά τα δεδομένα καταδεικνύουν ότι η ηλικία του Χ.Τ.Α. και επομένως ο βαθμός σταθεροποίησης των στερεών απορριμμάτων, έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά του νερού. Οι τιμές του COD κυμαίνονται από 70900 mgL^{-1} σε δείγμα που παρατηρήθηκε στην Θεσσαλονίκη μέχρι 100 mgL^{-1} σε δείγμα που λήφθηκε από Χ.Τ.Α. με ηλικία άνω των 10 ετών στη Μασσαλία.

Με ελάχιστες εξαιρέσεις, το pH των διασταλαζόντων βρίσκεται μεταξύ 5,8-8,5, το οποίο οφείλεται στις βιολογικές διεργασίες. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η πλειονότητα του TKN είναι αμμωνία, η οποία κυμαίνεται από 0,2- 13000 mgL⁻¹ N. Η αναλογία BOD/COD από 0,7-0,04, μειώνεται ταχύτατα με την αύξηση της ηλικίας των Χ.Τ.Α., εξαιτίας της απελευθέρωσης πολλών αδιάσπαστων μορίων από τα στερεά απόβλητα. Συνεπώς τα διασταλλάζοντα ενός παλαιού Χ.Τ.Α. χαρακτηρίζονται από χαμηλή αναλογία BOD/COD και υψηλή NH₃-N .



Σχήμα 1.12 και 1.13 : COD Ισοζύγιο και ο κύκλος του νερού σε έναν χώρο υγειονομικής ταφής. (S.Renou, 2007)

Σήμερα, έπειτα από χρήση συμβατικών μεθόδων που αποδείχτηκαν ανεπαρκείς σύμφωνα με τις προδιαγραφές της νομοθεσίας, οι πιο αποτελεσματικοί τρόποι αντιμετώπισης των διασταλαζόντων είναι η εφαρμογή μεμβρανών και αντίστροφης όσμωσης. (S.Renou, 2007)

Στον αναμορφωμένο χώρο ταφής απορριμμάτων βάσει της έρευνας που έγινε τον Δεκέμβριο 2012 – Ιανουάριο 2013, προέκυψε ότι το ρέμα Φιλύρου είναι επιβαρυνόμενο στην θέση όπου εκφορτίζονται τα υγρά με τα διασταλλάζοντα εξαιτίας της ανάμειξής τους, ωστόσο λόγω της μικρής αναλογίας τους σχετικά με τον όγκο των υδάτων του ρέματος, στην έξοδο του η ποιότητα βελτιώνεται. (Τσούρλος κ.α., 2013)

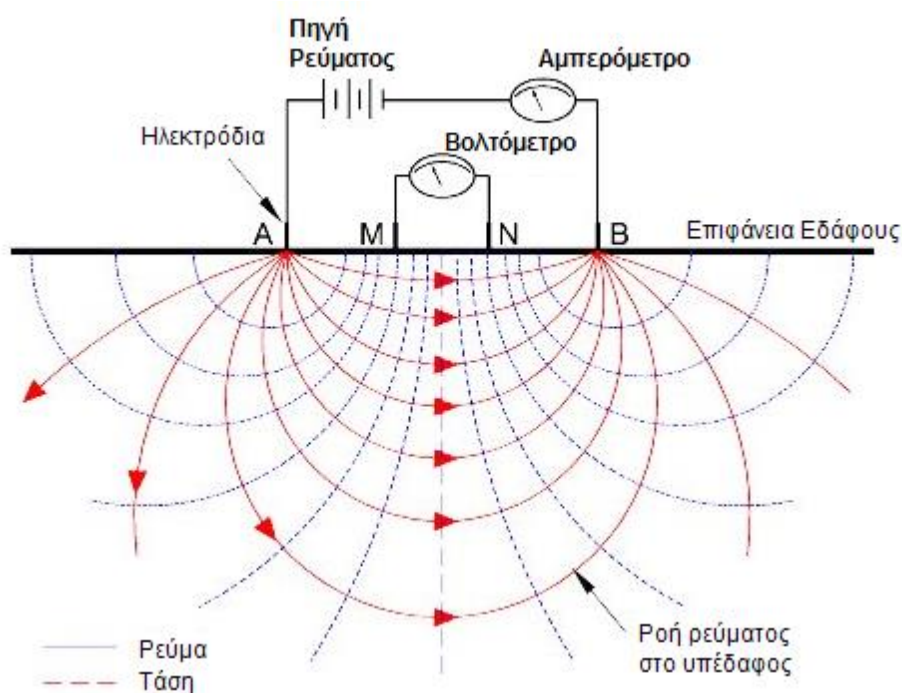
Όπως γίνεται κατανοητό και από τον πίνακα η αγωγιμότητα που παρουσιάζουν τα νερά του ρέματος είναι γενικά υψηλή με την τιμή της να αυξάνεται ακόμα περισσότερο μετά την ανάμειξη.

	Ρέμα Φιλόρου Έξοδος Ευκαρπίας	Ρέμα Φιλόρου μετά την ανάμειξη	Αγωγός εκφόρτισης εσωτερικός	Αγωγός εκφόρτισης εξωτερικός	Ρέμα Φιλόρου
Αρ. Δείγμ. / Παράμετρος	1	2	3	4	5
pH	8,05	7,75	7,35	8,05	8,1
Αγωγιμότητα [μS/cm]	1.271	1.331	2.130	2.600	946
HCO ₃ ⁻ [mg/L]	342	427	635	909	385
Cl ⁻ [mg/L]	220	192	359	430	110
TOC [mg/L]	7,6	12,7	39,2	57,7	1,4
SO ₄ ⁻² [mg/L]	60	59	15	5	65
NO ₂ ⁻ [mg/L]	0,06	1,2	1,76	8	<0,0 1
NH ₄ ⁺ [mg/L]	ND	13	48	100	0,25
PO ₄ ³⁻ [mg/L]	0,25	0,1	0,4	0,2	0,1
As [μg/L]	2	4	8	33	1
Na [mg/L]	96	90	178	186	66
K [mg/L]	9,3	13	37	64	2,4
Ca [mg/L]	119	117	132	149	111
Mg [mg/L]	38	38	52	58	30
Fe [mg/L]	<0,1	0,4	1,2	1,1	0,13
Mn [mg/L]	<0,05	0,5	1,2	4,0	0,05
Cu [μg/L]	<50	<50	<50	<50	<50
Cr [μg/L]	<50	<50	65	81	<50
Ni [μg/L]	<50	<50	<50	<50	<50
SiO ₂ [mg/L]	10,5	7,3	10,5	18,6	15,4

Σχήμα 1.14 : Πίνακας με τις συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων όπως προκύπτει από την έρευνα που έγινε τον Ιανουάριο 2013. (Τσούρλος κ.α., 2013)

2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η γεωφυσική μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης επιτυγχάνεται με τη δημιουργία τεχνητού ηλεκτρικού πεδίου με ρεύμα που διαβιβάζεται μέσω ηλεκτροδίων και αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σύστασης του υπεδάφους, το οποίο αποτελείται από επίπεδα με διαφορετικές αντιστάσεις, ως αποτέλεσμα της ανομοιογένειας του.



Σχήμα 2.1 : Διάταξη μέτρησης ειδικής αντίστασης.

Η ηλεκτρική αντίσταση ρ , αποτυπώνει την ευκολία ενός υλικού να επιβραδύνει την κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος κατά την ροή του στο εσωτερικό του και υπολογίζεται απο την σχέση

$$\rho = \frac{RS}{I} \quad (2.1)$$

R : η ηλεκτρική αντίσταση κυλινδρικού δείγματος πετρώματος που υπολογίζεται από τον νόμο του Ohm $R = \frac{V}{I}$

S : διατομή του κυλίνδρου

I : το μήκος του κυλίνδρου

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι το Ωm . Το αντίστροφο μέγεθος είναι $\sigma = 1/\rho$ και ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα με μονάδα μέτρησης το siemens/m.

Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις ποικίλουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων υλικών. Επί παραδείγματι, η αντίσταση ενός καλού αγωγού όπως ο χαλκός είναι της τάξης του $10^{-8} \Omega \text{m}$, η αντίσταση ενός μέτριου αγωγού όπως του στεγνού εδάφους είναι $10 \Omega \text{m}$ ενώ η αντίσταση των κακών αγωγών όπως των ψαμμιτών είναι $\sim 10^8 \Omega \text{m}$. Εξαιτίας αυτού του μεγάλου εύρους τιμών, ο υπολογισμός της αντίστασης ενός αγνώστου υλικού, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον καθορισμό του και σε συνδυασμό με τα ήδη γνωστά γεωλογικά δεδομένα μιας περιοχής, συμβάλλει στην ευκολότερη αποσαφήνιση της δομής του υπεδάφους.

Οι παράγοντες οι οποίοι έχουν καθοριστική σημασία στην διαμόρφωση της αντίστασης των πετρωμάτων είναι η γεωλογική τους ηλικία που επηρεάζει τον βαθμό συνοχής των πετρωμάτων, επιπλέον η θερμοκρασία η οποία μεταβάλλει το ιξώδες, το δευτερογενές πορώδες σε κρυσταλλικά πετρώματα που επηρεάζει τον όγκο νερού και η περιεκτικότητα σε χλωριόντα ή ελεύθερα ιόντα του υπόγειου ύδατος. Αναλυτικότερα:

Μέγεθος και διάταξη κόκκων

Το μέγεθος καθώς και η διάταξη των κόκκων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η ύπαρξη καλά διαβαθμισμένου μεγέθους κόκκων συντελεί στην πλήρωση των κενών με πιο λεπτόκοκκο υλικό, συνεπώς στη μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Θερμοκρασία και πίεση

Δεδομένου ότι η ηλεκτρική αντίσταση ενός υλικού εξαρτάται από τις συνεχείς συγκρούσεις των ηλεκτρονίων και ότι η ειδική αντίσταση του νερού έχει μεγάλο θερμικό συντελεστή, η αντίσταση αναμένεται να μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε περίπτωση μάλιστα που η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 0°C τότε η ειδική αντίσταση θα αυξηθεί κατά πολύ. Οι παραπάνω παραδοχές βασίζονται στην εξίσωση:

$$\rho_\theta = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha_\theta (\theta - 18)} \quad (2.2)$$

ρ_{θ} : η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία θ °C

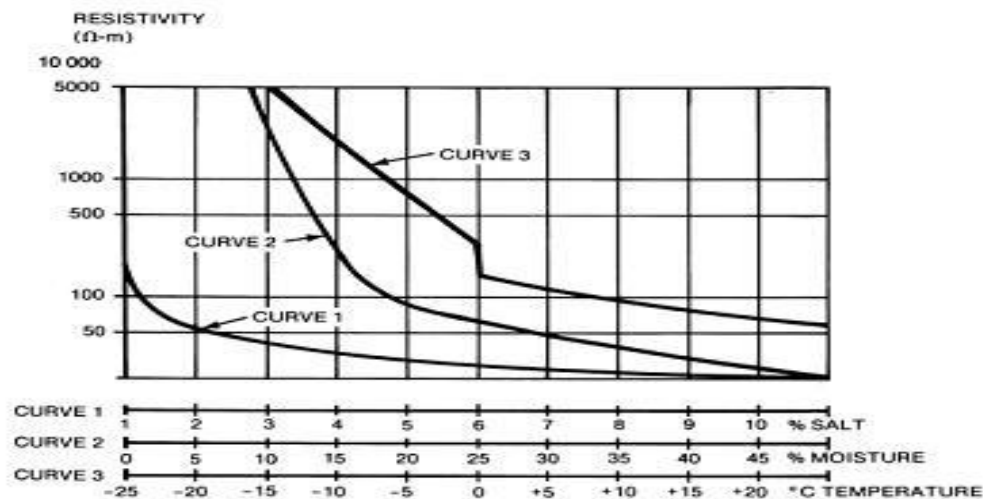
ρ_{18} : η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία 18°C

α_{θ} : ο θερμικός συντελεστής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (για τους περισσότερους ηλεκτρολύτες $\alpha_{\theta} = 0,025$ /°C).

Θερμοκρασία (° C)	Ειδική Αντίσταση (Ohm m)
20	72
10	99
0 (νερό)	138
0 (πάγος)	300
-5	790
-15	3300

Πίνακας 2.1 : Μεταβολή της ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την θερμοκρασία

Όσον αφορά την επίδραση της πίεσης, με την αύξηση της αυξάνεται και η συνοχή των πετρωμάτων επομένως και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση λόγω ύπαρξης πιο συμπαγών δομών που δυσχεραίνουν την κυκλοφορία νερού εντός της μάζας τους.



Σχήμα 2.2 : Μεταβολή της αντίστασης σε συνάρτηση με την αλατότητα (CURVE 1), την υγρασία (CURVE 2), την θερμοκρασία (CURVE 3).

Περιεκτικότητα των διαλυμένων αλάτων σε νερό

Είναι αξιοσημείωτη η μείωση της ειδικής αντίστασης του νερού με προσθήκη έστω και μικρού ποσοστού αλάτων. Επιπροσθέτως, η τιμή της ειδικής αντίστασης εξαρτάται και από το είδος του άλατος.

<u>Προστιθέμενα άλατα</u> <u>Επί τις εκατό δια βάρος υγρασίας</u>	<u>Ειδική Αντίσταση (Ohm m)</u>
0,0	107
0,1	18
1,0	4,6
5,0	1,9
10,0	1,3
20,0	1

Πίνακας 2.2 : Μεταβολή ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε άλατα

Με βάση τα παραπάνω συνάγεται ότι τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα πετρώματα κατά κανόνα εμφανίζουν μεγαλύτερες αντιστάσεις σε σχέση με τα ιζηματογενή. Η ακόλουθη σχέση συνδέει την ειδική αντίσταση ρ των ιζηματογενών πετρωμάτων με το πορώδες ϕ :

$$\rho = \alpha \rho_v \phi^{-m} \quad (2.3)$$

ρ_v : η ειδική αντίσταση του νερού που περιέχεται στους πόρους του πετρώματος

ϕ : ο λόγος του όγκου των πόρων προς τον ολικό όγκο του πετρώματος (πορώδες)

α, m : σταθερές (με τιμές κατά προσέγγιση 0,5-2,5 για το α και 1,3-2,5 για το m (Telford et al 1976, Grant and West 1965, Παπαζάχος 1986).

Η σχέση αυτή γνωστή και ως νόμος του Archie, δείχνει ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αυξάνει όταν ελαττώνεται το πορώδες του πετρώματος.

Ενδεικτικά, στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι αντιστάσεις των κυριότερων πετρωμάτων που συναντώνται.

ΤΥΠΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	R (Ohm m)
ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	$5 \cdot 10^3 - 10^6$
ΒΑΣΑΛΤΗΣ	$10^3 - 10^6$
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	$6 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^7$
ΜΑΡΜΑΡΟ	$10^2 - 2.5 \cdot 10^8$
ΧΑΛΑΖΙΤΗΣ	$10^2 - 2 \cdot 10^5$
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	
ΨΑΜΜΙΤΕΣ	$8 - 4 \cdot 10^3$
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	$50 - 4 \cdot 10^2$
ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΝΕΡΟ	
ΑΡΓΙΛΟΙ	1- 100
ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	10-800
ΓΛΥΚΟ ΝΕΡΟ	10-100
ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΝΕΡΟ	0.2

Πίνακας 2.3: Ειδική αντίσταση πετρωμάτων.

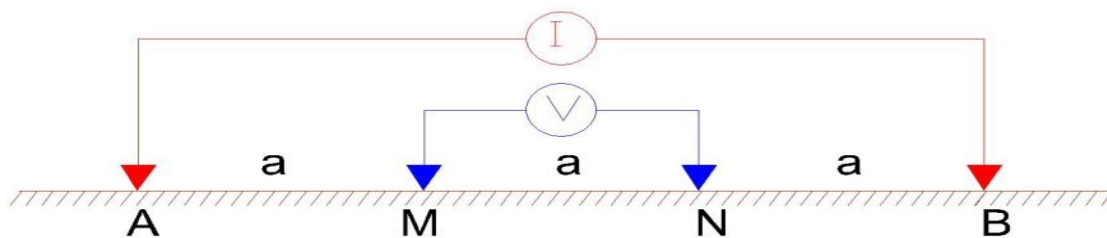
2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Η αντίσταση η οποία υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση προέκυψε με την παραδοχή ότι όλοι οι σχηματισμοί που συναντώνται θεωρούνται ομοιογενείς και ισότροποι, γεγονός το οποίο δεν αποτελεί πραγματικότητα και γι' αυτό ονομάζεται **φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση**.

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση των ηλεκτρικών αντιστάσεων είναι κυρίως η «διαταξη Wenner», η διάταξη Schlumberger» και η «διάταξη διπόλου διπόλου».

Διάταξη Wenner

Κατά τη διάταξη Wenner, η απόσταση των ηλεκτροδίων είναι $AM = MN = NB = a$. Στην κατακόρυφη ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται συμμετρικά ως προς ένα συγκεκριμένο κέντρο, με καθορισμένη a απόσταση και σε βάθος b (όχι μεγαλύτερο από $0,1 a$), ενώ κατά την οριζοντια διασκόπηση η απόσταση a παραμένει σταθερή και τα ηλεκτρόδια κινούνται κατά μήκος ορισμένης τομής. Η έγχυση του ρεύματος γίνεται στα καλώδια (A) και (B) ενώ η τάση μετράται στα καλώδια (M) και (N).



Σχήμα 2.4 : Διάταξη ηλεκτροδίων Wenner.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\rho = \frac{4\pi\alpha R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2a}{\sqrt{(4a^2 + 4b^2)}}} = \frac{4\pi\alpha R}{n} \quad (2.4)$$

Όπου το n εξαρτάται από το λόγο b/a και παίρνει τιμές μεταξύ του 1 και 2

Στην περίπτωση όπου $a \ll b$ τότε :

$$\rho = 4\pi\alpha R \quad (2.5)$$

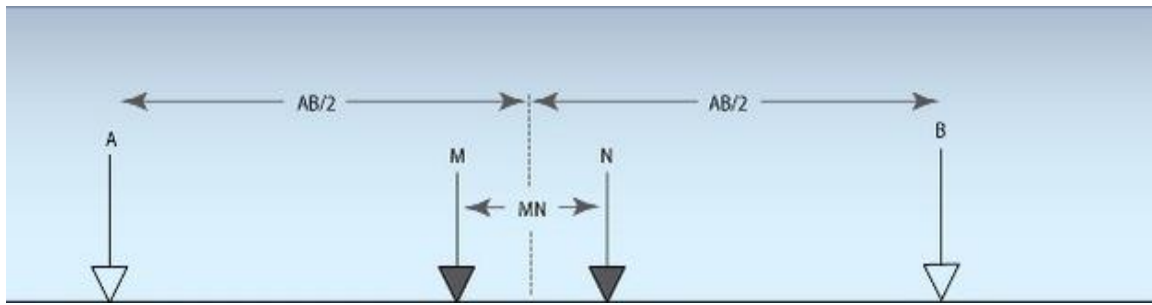
Ενώ αν $b \ll a$ τότε η εξίσωση τροποποιείται σε :

$$\rho = 2\pi\alpha R \quad (2.6)$$

$$\text{Δηλαδή σε αυτήν την περίπτωση ο γεωμετρικός παράγοντας είναι } K = 2\pi\alpha \quad (2.7)$$

Διάταξη Schlumberger

Κατά τη διάταξη Schlumberger τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα συνευθειακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης αλλά η απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων δυναμικού (M) και (N) είναι πολύ μικρότερη της απόστασης ηλεκτροδίων ρεύματος (A) και (B) .



Σχήμα 2.3 : Διάταξη ηλεκτροδίων Schlumberger.

Ορίζοντας $\alpha = MN/2$ και $b = AB/2$, το δυναμικό στο σημείο M υπολογίζεται από τη σχέση :

$$V_M = \frac{2\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{b-a} - \frac{1}{b+a} \right] \quad (2.8)$$

Λόγω της προαναφερθείσας συμμετρίας η παραπάνω σχέση μετασχηματίζεται σε :

$$V_{MN} = \frac{2\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{b-a} - \frac{1}{b+a} \right] = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{4\alpha}{b^2 - a^2} \right] \quad (2.9)$$

Και επειδή $R=V/I$ προκύπτει:

$$R = \frac{\rho}{2\pi\alpha} \left[\frac{4}{\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 1} \right] \quad (2.10)$$

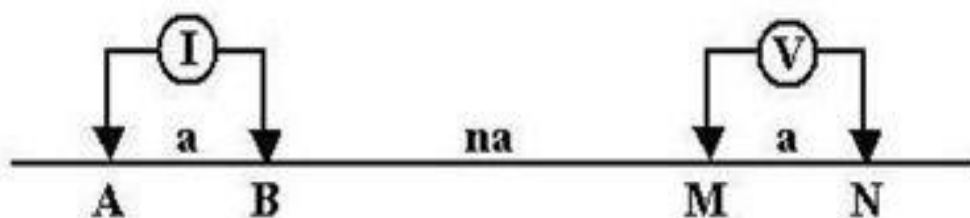
Θέτοντας $b/a = A$:

$$\rho = 2\pi\alpha R \left[\frac{A^2 - 1}{4} \right] \quad (2.11)$$

Η διάταξη Schlumberger εφαρμόζεται περισσότερο από τις άλλες διατάξεις διότι πλεονεκτεί στο γεγονός ότι μεταβάλεται η απόσταση μόνο των δύο ηλεκτροδίων κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση και εμφανίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις γεωλογικές πλευρικές ασυνέχειες εξαιτίας του σταθερού διπόλου τάσης.

Διάταξη διπόλου – διπόλου

Σε αυτήν την διάταξη τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού είναι τοποθετημένα σε μία απόσταση $AB = a$ και $MN = a$, ενώ η απόσταση μεταξύ των ζευγών ρεύματος και δυναμικού είναι na .



Σχήμα 2.4 : Διάταξη ηλεκτροδίων Διπόλου-Διπόλου.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\rho = \pi a \frac{\Delta V}{I} n(n+1)(n+2) \quad (2.12)$$

Το πλεονέκτημα της διάταξης αυτής είναι ότι επιτρέπει τις γεωφυσικές διασκοπήσεις μεγάλων αποστάσεων οι οποίες περιορίζονται μόνο από τον εδαφικό θόρυβο και την ικανότητα των οργάνων να καταγράψουν την τάση. (Β.Παπαζάχος-Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική,1996)

Διαταξη Lee

Κατά την μέθοδο Lee χρησιμοποιούνται πέντε ηλεκτροδια. Το ρεύμα διαβιβάζεται στο έδαφος διαμέσου των εξωτερικών ηλεκτροδίων ενώ το δυναμικό μετράται στα ηλεκτρόδια A και B στην πρώτη περίπτωση ενώ στη δεύτερη στα ηλεκτρόδια B και C.

Το δυναμικό υπολογίζεται από τον τύπο

$$V_{AB} = \frac{I_P}{2\pi} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} \right) \quad (2.13)$$

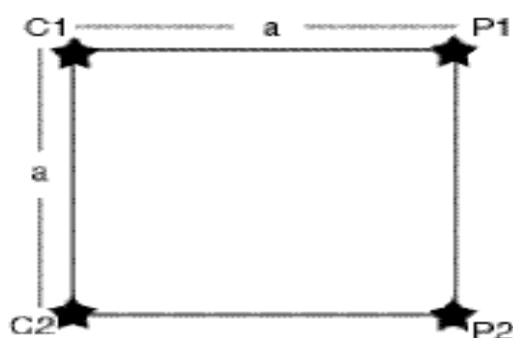
Αν η μετρούμενη αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων Α και Β είναι R_{AB} είναι V_{AB}/I τότε η ειδική αντίσταση υπολογίζεται από τον τύπο

$$\rho = 4\pi\alpha R_{AB} \quad (2.14)$$

Ομοίως υπολογίζεται η αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων Β και C.

Τετραγωνική διάταξη

Κατά την διάταξη αυτή τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στις κορυφές ενός τετραγώνου και δίνουν τη δυνατότητα της εξομάλυνσης των τιμών από αζιμουθιακές μεταβολές της ειδικής αντίστασης.



Σχήμα 2.5 : Τετραγωνική διάταξη ηλεκτροδίων.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση :

$$\rho_{\alpha} = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \frac{a}{2 - \sqrt{2}} \quad (2.15)$$

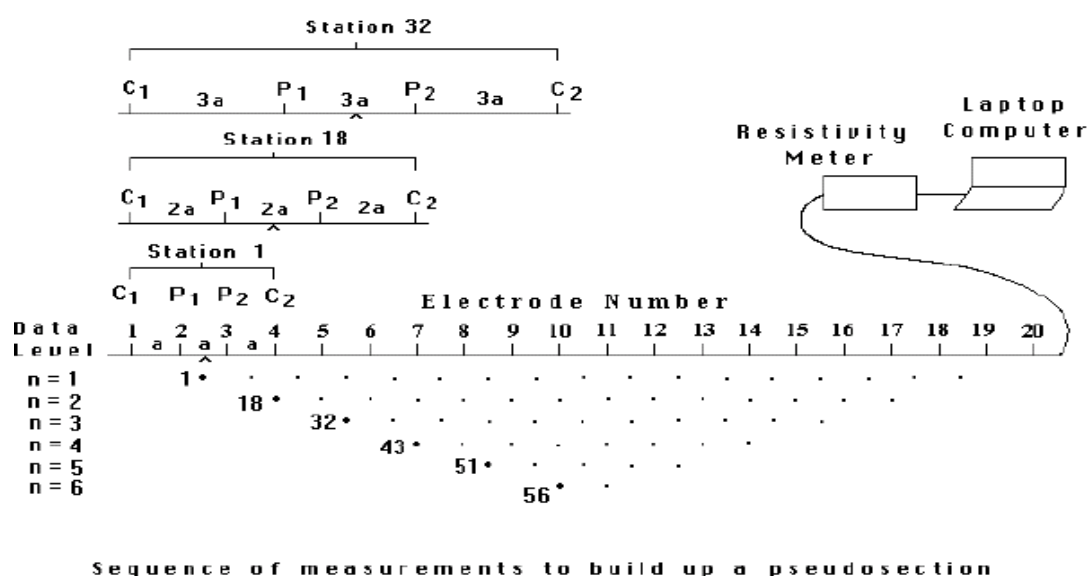
Όπου α είναι το μήκος της πλευράς του τετραγώνου.

2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η ηλεκτρική τομογραφία είναι η απεικόνιση της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους όπως αυτή προκύπτει από διαδοχικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος μίας γραμμής.

Το πλεονέκτημα της ηλεκτρικής τομογραφίας, είναι ότι δίνει την δυνατότητα κατανόησης σύνθετων γεωλογικών δομών. Η αποτύπωση της ηλεκτρικής αντίστασης γίνεται είτε με διδιάστατη είτε με τρισδιάστατη ερμηνεία .

Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται αρχικά, έχουν την μορφή ψευδοτομής που αντιπροσωπεύει τις τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Στην συνέχεια θα υποστούν αντιστροφή για να αποδοθούν οι πραγματικές τιμές ειδικής αντίστασης.



Σχήμα 2.6 : Διάταξη των ηλεκτροδίων για την δημιουργία ψευδοτομής. (Loke, 2003)

Η ηλεκτρική τομογραφία έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που περιλαμβάνει υδρογεωλογικές και τεχνικές μελέτες, τον προσδιορισμό των γεωλογικών δομών αλλά και ως επί το πλείστον, χρησιμοποιείται για περιβαλλοντική έρευνα ανιχνεύοντας τη μόλυνση που προκαλείται εξαιτίας της μη λήψης των απαραίτητων μέτρων.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου για περιβαλλοντικούς σκοπούς έγκειται στο γεγονός ότι ελαχιστοποιεί τη διαταραχή του εδάφους. Μία κατηγορία στην οποία η ηλεκτρική τομογραφία έχει αποδειχτεί ιδιαίτερος χρήσιμη, είναι οι χώροι ταφής απορριμμάτων είτε για εύρεση της κατάλληλης θέσης είτε για έλεγχο της κατάστασης του υπεδάφους μετά την λειτουργία τους.

Αν και στην πλειονότητά τους οι σύγχρονοι χώροι ταφής απορριμμάτων, πληρούν τις περιβαλλοντικές προϋποθέσεις, υπάρχουν ακόμα χώροι οι οποίοι δημιουργήθηκαν πριν γίνουν τελείως κατανοητοί οι κίνδυνοι της ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων.

Οι περισσότερες μελέτες γίνονται με διδιάστατες τομογραφίες, ωστόσο δεδομένου της μεγάλης ετερογένειας, οι τρισδιάστατες τομογραφίες είναι προτιμότερες.

Παρακάτω αναφέρονται εν συντομία παραδείγματα χρήσης της μεθόδου σε χώρους ταφής όπως έχουν καταγραφεί.

Η μέθοδος ηλεκτρικής τομογραφίας εφαρμοσμένης σε γεωλογικές, υδρογεωλογικές και μηχανικές έρευνες σε παλαιό χώρο απόθεσης απορριμμάτων

Η μέθοδος εφαρμόστηκε στο Midland Valley της Σκωτίας σε χώρο ταφής απορριμμάτων που στο παρελθόν λειτουργούσε ως λατομείο. Στόχος της μελέτης ήταν ο καθορισμός των δυτικών ορίων και του βάθους του χώρου ταφής και επιπλέον ο εντοπισμός των πιθανών διόδων της μόλυνσης. (J. E. Chambers, 2006)

Τα πετρώματα από τα οποία αποτελείται η περιοχή ήταν δολεριτικός χαλαζιακός σχιστόλιθος που είχε διεισδύσει μέσα στους υπερκείμενους ασβεστολίθους μέσα στον οποίο υπήρχαν σε εναλλαγές ψαμμίτες, ιλυόλιθοι και ζώνες ανθράκων. Το βόρειο τμήμα του χώρου, διακόπτεται από ένα ρήγμα που εκτείνεται μέχρι και το νότιο τμήμα. Ο υδροφόρος είναι ρηχός, περίπου 3 μέτρα κάτω από την επιφάνεια και ακολουθεί την τοπογραφία.

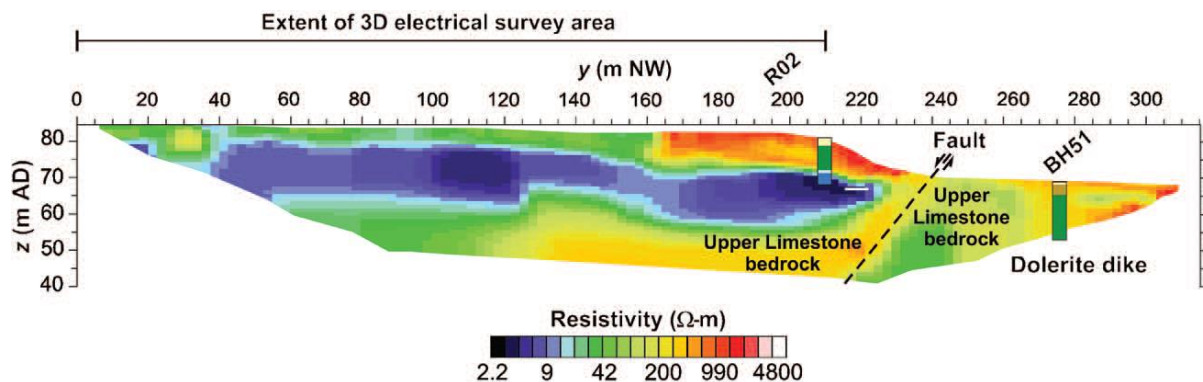
Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις περιλαμβάνουν

- Τον σχιστόλιθο που παρουσιάζει υψηλές αντιστάσεις, της τάξης των δεκάδων Ωm m, τιμές που εξαρτώνται από την ποσότητα της υγρασίας και την αποσάθρωση
- Τον υπερκείμενο ασβεστολιθικό σχηματισμό, οι αντιστάσεις του οποίου αυξάνονται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων και μειώνονται με το περιεχόμενο σε αυτόν νερό, οι τιμές είναι της τάξης των δεκάδων Ωm m.
- Τις τεταρτογενείς άμμους με μέτριες αντιστάσεις

- Τα απορρίμματα που είναι υψηλής αγωγιμότητας με αντιστάσεις λιγότερες των 20 Ohm m.
- Το αργιλικό υλικό επικάλυψης που επίσης χαρακτηρίζεται από χαμηλές αντιστάσεις λιγότερο από 35 Ohm m.

Το πάχος της ζώνης του σχιστολίθου υπολογίστηκε στα 10-15 m από τα γεωτρητικά δεδομένα, ωστόσο υπήρξε αδυναμία προσδιορισμού της βάσης του σχιστολίθου από τις διασκοπήσεις εξαιτίας του πολύ αγώγιμου καλύμματος.

Όσον αφορά τη ζώνη υψηλής αγωγιμότητας, παρατηρήθηκαν μικρές διακυμάνσεις στις μετρήσεις, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ανάμειξη των διασταλλαζόντων που τείνουν να ομογενοποιούν τις αντιστάσεις των κορεσμένων απορριμμάτων.



Σχήμα 2.7 : Απεικόνιση χαμηλών αντιστάσεων που συνεχίζουν βαθύτερα στα ΒΔ της τομής.

Η ανωμαλία χαμηλών αντιστάσεων στο ΒΔ όριο, εκτείνεται και κάτω από το βάθος του χώρου ταφής, συνεπώς συμπεραίνεται ότι υπάρχει διαρροή διασταλλαζόντων. Ο ψαμμίτης πιθανόν να συντέλεσε στην διασπορά των διασταλλαζόντων. Τέλος δεν είναι γνωστό αν το ρήγμα λειτουργεί ως δίοδος ή ως φράγμα στην υπόγεια ροή.

Παρατήρηση του υπεδάφους ενός εγκατελλειμένου χώρου ταφής απορριμμάτων στο Norman, Oklahoma

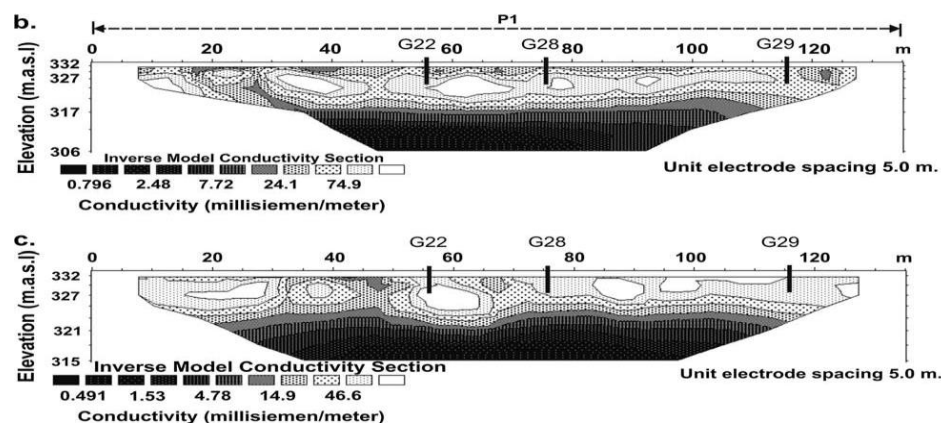
Σε αυτήν την περίπτωση, η θέση βρίσκεται σε αλλουβιακό πλημμυρικό πεδίο. Τα απορρίμματα εναποτίθονταν ανεξέλεγκτα από το 1920- 1983 όπου ξεκίνησε η διαδικασία για τη διαμόρφωση σε χώρο υγειονομικής ταφής. (J. T. Zume, 2006)

Η περιοχή αποτελείται από υδροπερατές αλλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς, πάχους 10 – 13 m. Το ύψος στάθμης του υδροφόρου βρίσκεται στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ κατά τους θερινούς μήνες κατέρχεται 4 m.

Κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις εδράζεται ασβεστόλιθος πάχους 60 m με εναλλαγές ψαμμίτη.

Προκειμένου να ελεγχθεί η κατάσταση του υπεδάφους, εγκαταστάθηκαν γεωτρήσεις σε 4000 m² και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με χρήση τριών διατάξεων ηλεκτροδίων, διπόλου διπόλου, Wenner, Wenner Schlumberger. Οι ηλεκτρικές τομογραφίες έδειξαν ανωμαλίες χαμηλών αντιστάσεων που παρατηρούνται στο στρώμα άμμων με φακούς αργίλου. Σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που παρείχαν οι διαγραφίες, συμπεραίνεται πως οι ανωμαλίες προκαλούνται από τη διασπορά διασταλλάζοντων. Η συγκέντρωσή τους εντός αυτού του σχηματισμού, οφείλεται στο γεγονός ότι στο συγκεκριμένο βάθος, τα διασταλλάζοντα αναδύονται από τον χώρο ταφής.

Η πιο διακριτή, μεταξύ των άλλων, ζώνη υψηλής αγωγιμότητας εντοπίζεται στα 60 m από την αρχή της τομογραφίας, ορίζοντας κατ'αυτόν τον τρόπο διόδους επιλεκτικής διείσδυσης.

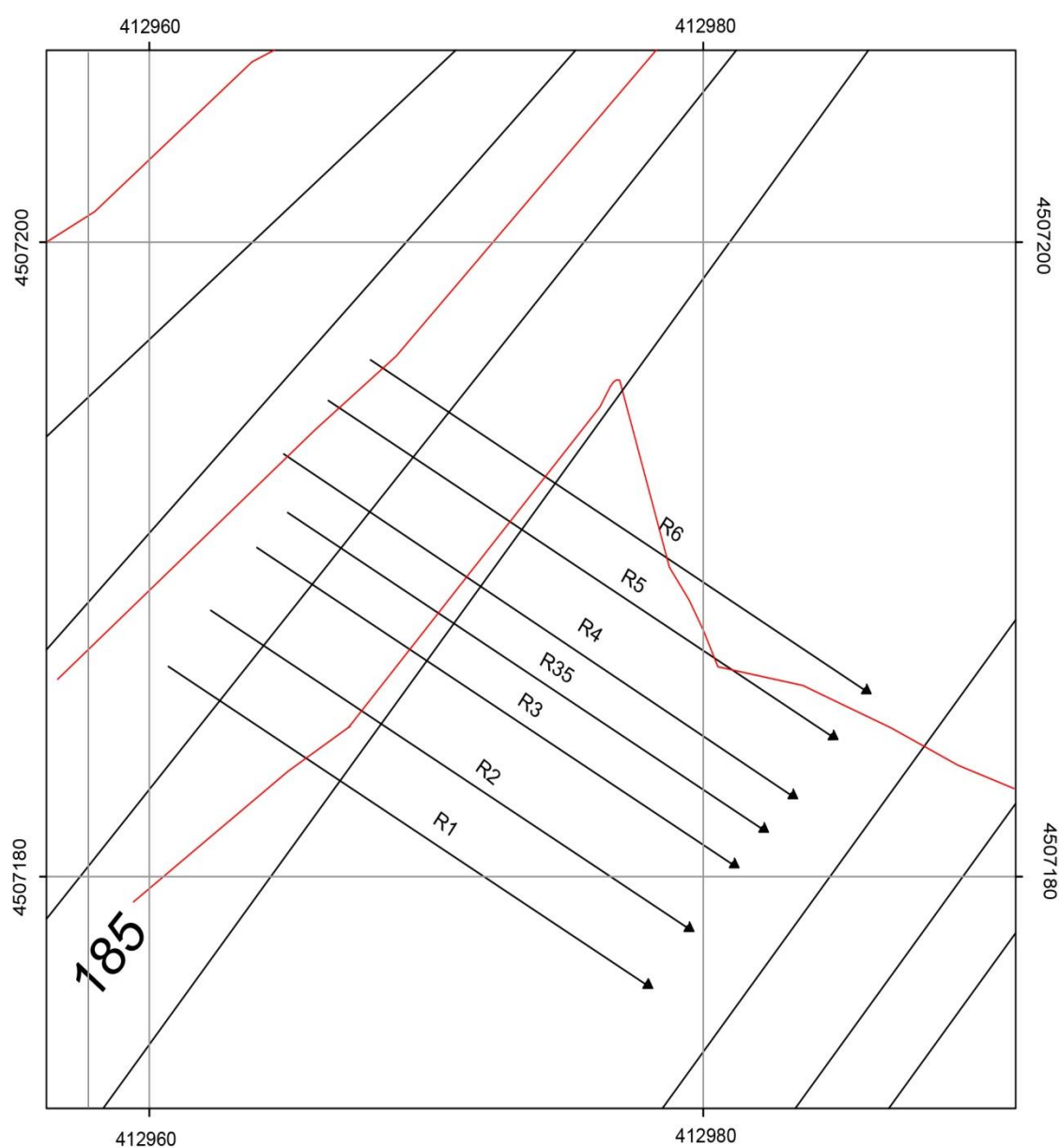


Σχήμα 2.8: Ηλεκτρικές τομογραφίες του Χ.Υ.Τ.Α. με έμφαση στις ζώνες υψηλής αγωγιμότητας.

Με βάση την δεύτερη ηλεκτρική τομογραφία, 130 m ΝΔ της πρώτης, είναι ορατές δύο ζώνες υψηλής αγωγιμότητας (στα 60-80 m και 100-110 m). Το βάθος στο οποίο παρατηρούνται καταδεικνύει ότι είναι αποτέλεσμα της σύγκλισης της υπόγειας ροής. Συγκρίνοντας τις εικόνες που δίνουν οι τομογραφίες, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα διασταλλάζοντα κινούνται σε βαθύτερους ορίζοντες ακολουθώντας την μορφολογία και ζώνες ασυνέχειας και ότι η απόσταση μέχρι την οποία εκτείνεται η διασπορά τους είναι 200 m από τον χώρο ταφής απορριμμάτων.

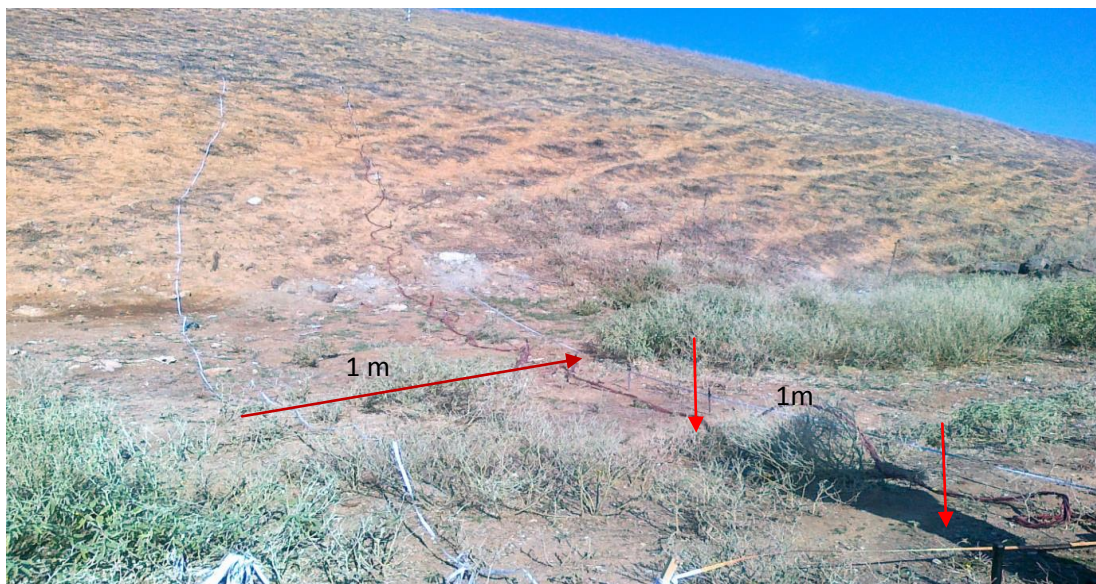
3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι γεωφυσικές μετρήσεις που εκτελέστηκαν αποτέλεσαν στο σύνολο επτά παράλληλες ηλεκτρικές τομογραφίες , κάθετες στην ανάπτυξη του ρέματος, η χωροθέτηση των οποίων αποτυπώνεται στο σχήμα 3.1. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ήταν 1 m.



Σχήμα 3.1: Χωροθέτηση ηλεκτρικών τομογραφιών

Η λήψη των μετρήσεων έγινε με εφαρμογή της διάταξης διπόλου- διπόλου και χρήση 24 ηλεκτροδίων. Η διάταξη αυτή επιλέχτηκε εξαιτίας της υψηλής διακριτικής ικανότητας που παρέχει σε μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης εις βάθος. Αντιθέτως, ένα μειονέκτημα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη διάταξη είναι η μειωμένη ισχύς για μεγάλες τιμές του παράγοντα n . Η τάση είναι αντιστρόφως ανάλογη του κύβου του παράγοντα n , γεγονός που σημαίνει ότι το μέτρο της ηλεκτρικής αντίστασης μειώνεται κατά 200 φορές όταν ο παράγοντας n αυξάνεται από το 1 στο 6. Εξαιτίας αυτού χρησιμοποιήθηκε απόσταση ηλεκτροδίων 1 m.



Σχήματα 3.2 και 3.3 : Διάταξη ηλεκτροδίων ανα 1 m.

Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το όργανο Syscal Pro της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής περιλαμβάνουν την ύπαρξη 10 καναλιών διαφοράς δυναμικού, μειώνοντας κατ'αυτόν τον τρόπο το χρόνο που απαιτεί η διαδικασία, και 1 μV ευκρίνεια, με αποτέλεσμα να επιτρέπει την καταγραφή ακριβών μετρήσεων. Η παροχή ρεύματος επιτυγχάνεται από δύο εσωτερικές μπαταρίες 12 V ειδήλλως από μία εξωτερική 12V, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε εξωτερική μπαταρία. Η μέγιστη τάση που επιτυγχάνεται είναι 800 V ενώ η διάρκεια παλμού είναι 250 msec. Οι μετρήσεις έγιναν με παράγοντα ποιότητας <1 % ενώ η μέγιστη τιμή που εισήχθει ήταν >5%.



Σχήμα 3.4 : Όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των μετρήσεων.

3.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι μέθοδοι αντιστροφής χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν ένα μοντέλο του οποίου η απόκριση συμφωνεί με τα μετρούμενα δεδομένα. (Loke, 1999). Το όνομα της προέκυψε λόγω του ότι για τον υπολογισμό των γεωφυσικών παραμέτρων απαιτείται η εύρεση του αντίστροφου του πίνακα των συντελεστών ενός γραμμικού συστήματος εξισώσεων.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αντιστροφής είναι απαραίτητη η συσχέτιση των μετρούμενων τιμών με τις επιθυμητές τιμές μέσω μίας συνάρτησης καθώς επίσης και των σφαλμάτων των μετρήσεων. Για τον καθορισμό αυτής της συνάρτησης χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και η παραδοχή κάποιων σταθερών παραμέτρων.

Η διαδικασία αντιστροφής στην συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιείται μέσω της εξομάλυνσης της μεθόδου Occam. Ο Constable εισήγαγε αυτή τη μέθοδο για μαγνητοτελλουρικές μελέτες και δεδομένα βυθοσκοπήσεων.

Η φιλοσοφία πάνω στην οποία βασίζεται, είναι η προσέγγιση του πιο "εξομαλυσμένου" μοντέλου το οποίο μαθηματικά μπορεί να μεταφραστεί σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης μιας περιορισμένης συνάρτησης. (Constable, 1986)

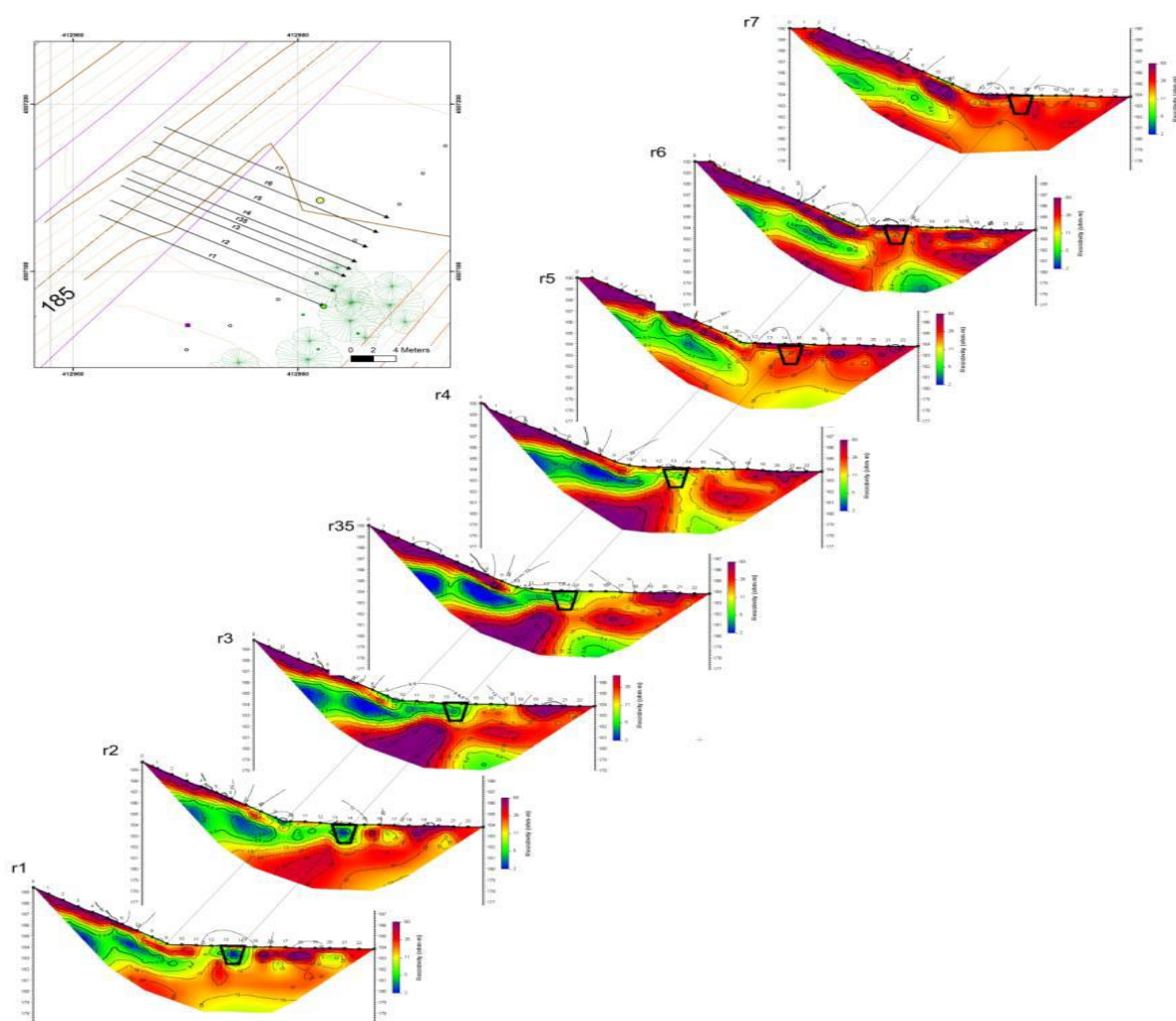
Η αντιστροφή των δεδομένων και η μετατροπή τους σε διδιάστατη μορφή έγινε με το πρόγραμμα DC2DPRO (Yi και Kim, 2010). Το πρόγραμμα αυτό διακριτοποιεί το υπέδαφος σε παραλληλόγραμμα, θέτοντας μία ορισμένη τιμή για την πραγματική αντίσταση την οποία θεωρεί σταθερή. Έπειτα, συνθέτει ένα μοντέλο υπολογίζοντας τις τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης και τις συγκρίνει με αυτές που λήφθηκαν. Η διαδικασία σύγκρισης των πραγματικών και συνθετικών δεδομένων επαναλαμβάνεται, με σταδιακή σύγκλιση των τιμών και στο τέλος επιλέγεται το μοντέλο με το μικρότερο σφάλμα.

3.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στα πλαίσια της έρευνας που έγινε τον Δεκέμβριο 2012- Ιανουάριο 2013, οι γεωφυσικές μετρήσεις λειτούργησαν ως αρωγός για την απεικόνιση του υπεδάφους, παρέχοντας συμπληρωματικά στοιχεία στα ήδη υπάρχοντα δεδομένα.

Από τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν προέκυψε ότι υπάρχουν δύο ζώνες διάρρηξης, διευθύνσεων ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ οι οποίες είναι επεύθυνες για την τροφοδοσία του ΑΧΤΑ Επιπροσθέτως παρατηρήθηκε επιφανειακή απορροή στη θέση του φρεατίου 9 – 10, η οποία δεν ξεπερνά τα 4 τ.μ.

Με βάση τα παραπάνω πορίσματα, πραγματοποιήθηκαν πυκνές γεωφυσικές μετρήσεις στη θέση της διαρροής που παρείχαν τις παρακάτω εικόνες.



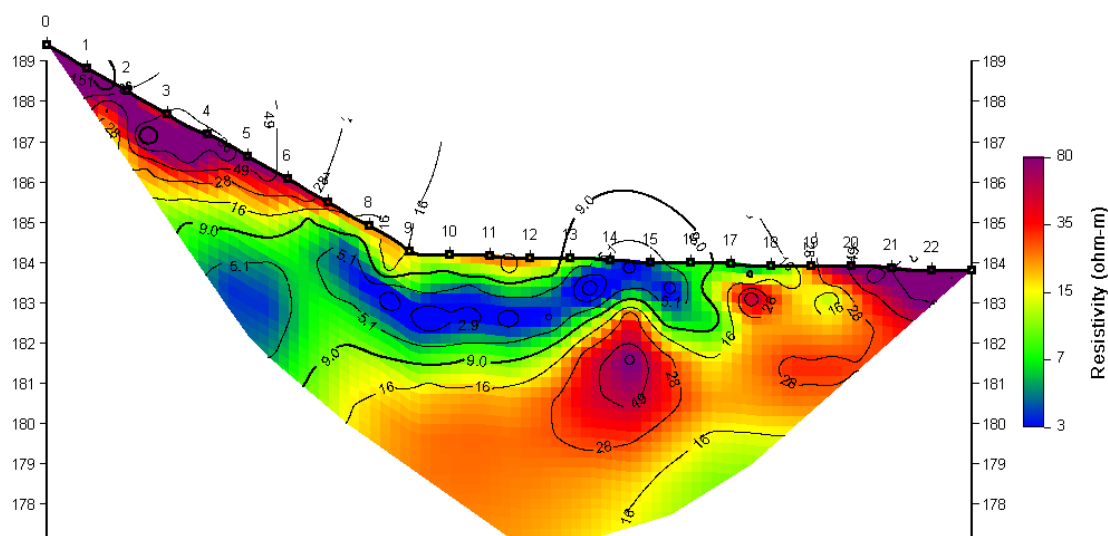
Σχήμα 3.5 : Ηλεκτρικές τομογραφίες από την έρευνα που διεξήχθη τον Δεκέμβριο 2012.(Τσούρλος κ.α., 2013)

Η ερμηνεία των τομών r4-r35-r3-r2-r1 δηλώνει ότι υπάρχει διείσδυση υγρών εμποτισμένων με διασταλλάζοντα μέσα στο εσωτερικό δίκτυο μεταφοράς στο ύψος όπου εμφανίζεται και η επιφανειακή διαρροή ενώ οι τομές r5-r6-r7 καταδεικνύουν πως οι ροές των αγώγιμων υγρών κινούνται βαθύτερα. (Τσούρλος κ.α., 2013)

Οι ηλεκτρικές τομογραφίες που έγιναν για την παρούσα διπλωματική, επαναλήφθηκαν με τις ίδιες συντεταγμένες. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι πληροφορίες που παρείχαν σχετικά με την κατάσταση του υπεδάφους.

ΤΟΜΗ R1

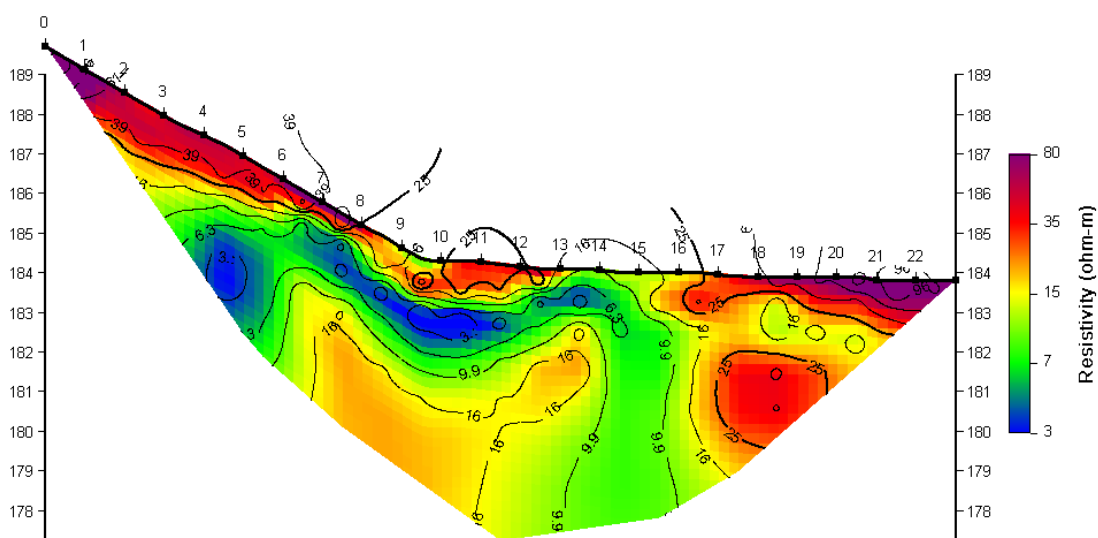
Στην τομή R1, με τα πιο σκούρα μωβ και έντονα κόκκινα χρώματα αποτυπώνεται το υπόβαθρο με διακύμανση και σε πιο ανοιχτούς τόνους ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης του πετρώματος, ενώ στα πρώτα 7 μέτρα, οι υψηλές αντιστάσεις αντιστοιχούν στα υλικά επικάλυψης των απορριμμάτων. Με πολύ χαμηλές αντιστάσεις εμφανίζονται τα εμποτισμένα με διασταλλάζοντα υγρά, τα οποία φτάνουν τα 2-3 μέτρα σε βάθος. Λόγω της ύπαρξης αδιαπέρατης δομής, εμποδίζεται η κατείσδυση τους και κατ'αυτόν τον τρόπο εκφορτίζονται επιφανειακά. Τέλος με μέτριες αντιστάσεις απεικονίζονται ποταμοχειμάρριες αποθέσεις μεγάλου πορώδους.



Σχήμα 3.6: Τομή R1

TOMH R2

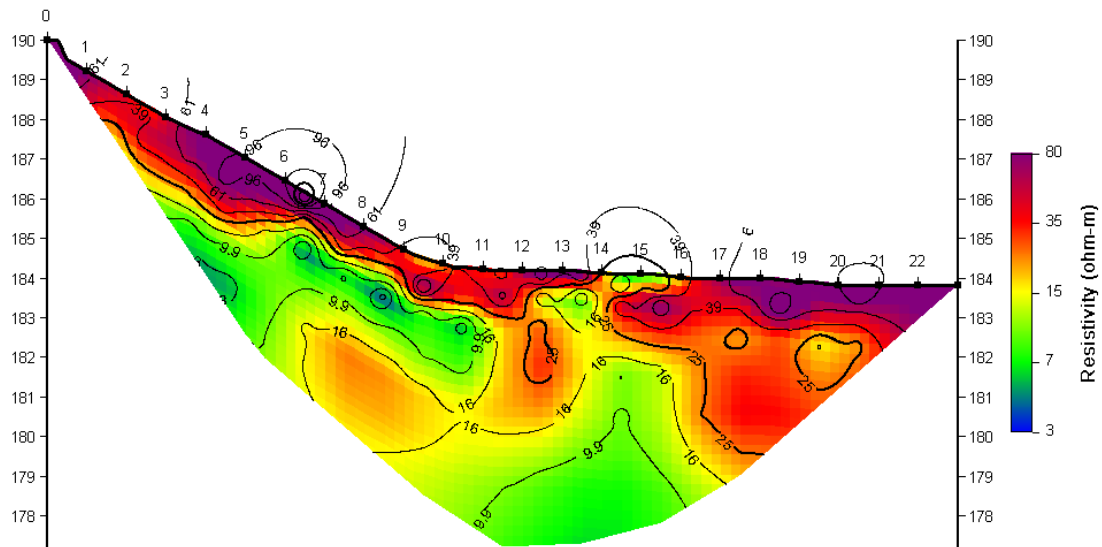
Στην τομή R2, αποτυπώνονται με παρόμοιο τρόπο ο αντιστατικός σχηματισμός του υποβάθρου και της τεχνητής επικάλυψης. Στα 14 -16 m γίνεται εμφανής μία ζώνη χαμηλότερων αντιστάσεων που διακόπτει τα γνευσιακά πετρώματα, δημιουργώντας μια υδροπερατή δίοδο που διευκολύνει την κίνηση των διασταλαζόντων προς βαθύτερα στρώματα.



Σχήμα 3.7 : Τομή R2

TOMH R3

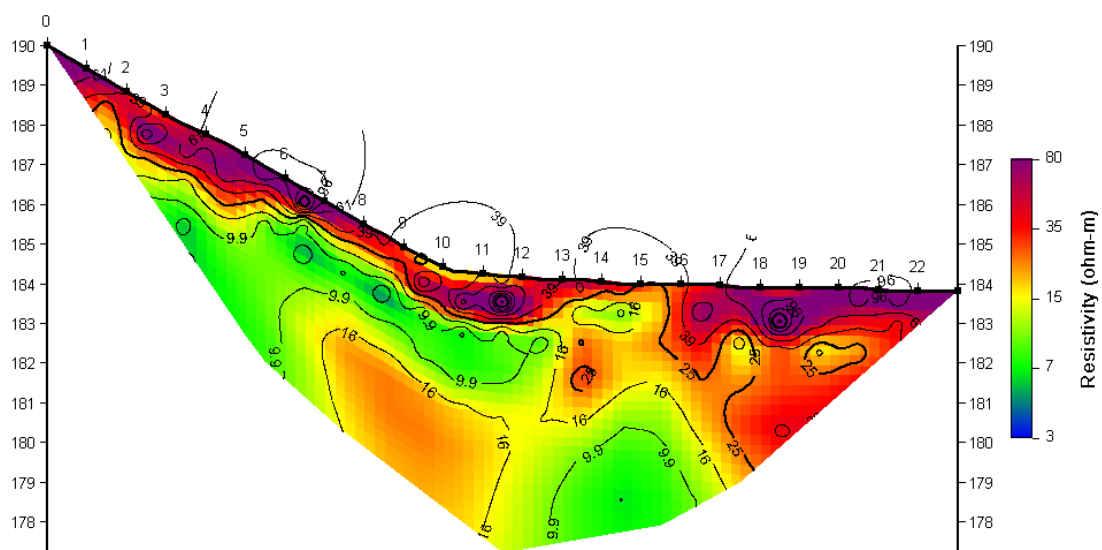
Στην τομή R3, η ζώνη των χαμηλότερων αντιστάσεων στα 14-16 m γίνεται πιο διακριτή και αποδίδεται πιθανώς σε ρήγμα. Τα διασταλλάζοντα ακολουθούν καθοδική πορεία, παρουσιάζοντας μικρότερη αγωγιμότητα.



Σχήμα 3.8 : Τομή R3

TOMEΣ R35 ΚΑΙ R4

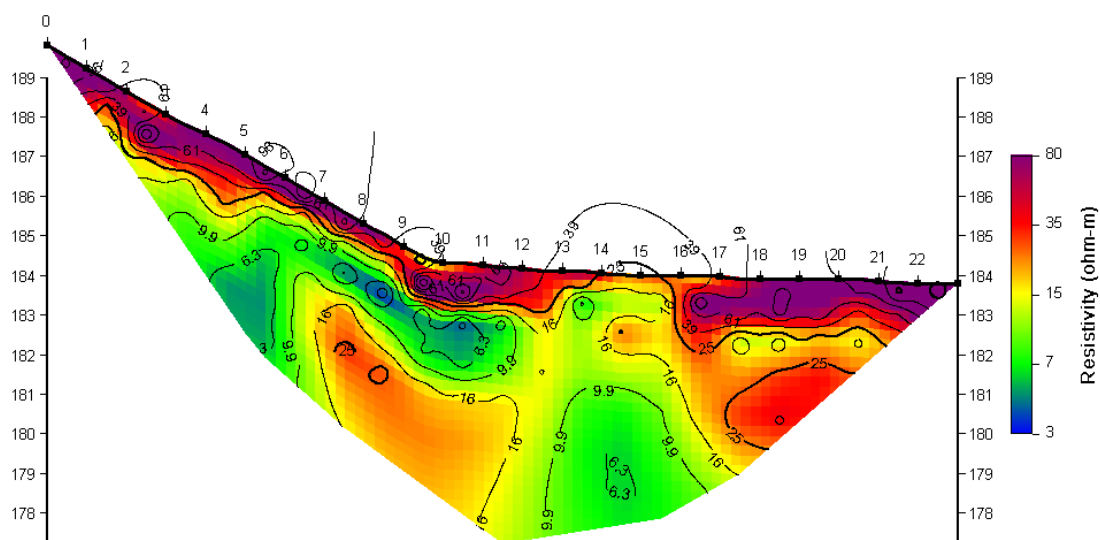
Η τομή R35, λόγω του ότι πραγματοποιήθηκε στην θέση της εκσκαφής που έγινε ως επεμβατικό μέτρο για την διαρροή, απείχε απόσταση 0,5 m από την τομή R3 και R4. Η έκταση των επιβαρυμένων υγρών είναι περιορισμένη, ωστόσο, διακρίνεται στην τομή R4 ότι η παρουσία τους επιδρά στην αντίσταση του υποκείμενου σχηματισμού μειώνοντάς την, εξαιτίας της αυξημένης περατότητας του που οφείλεται στην αποσάθρωση που υπέστη σε εκείνο το σημείο.



Σχήμα 3.9: Τομή R35



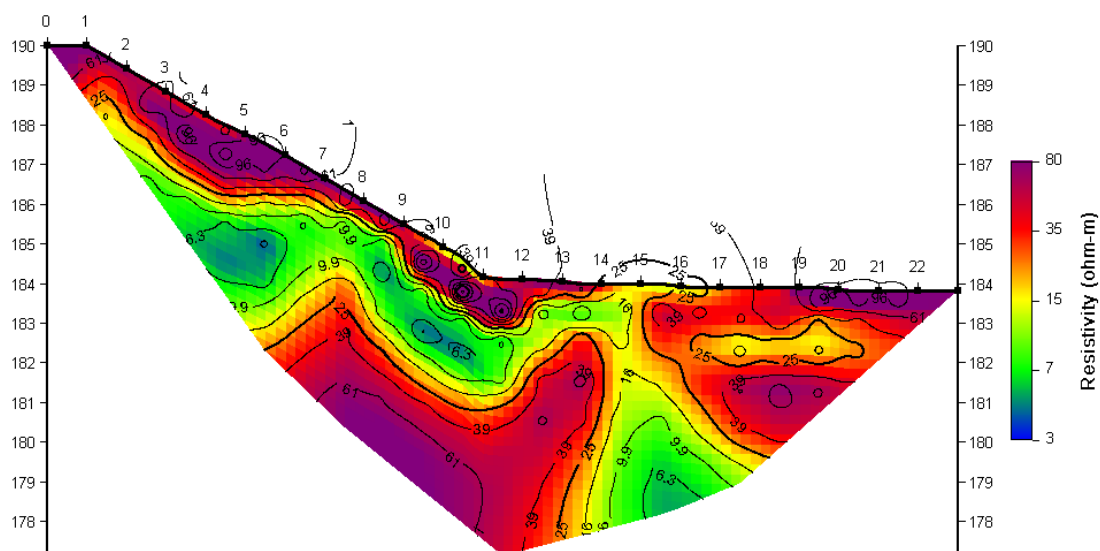
Σχήμα 3.10 : Εικόνα του φρεατίου 9 και θέση εκσκαφής.



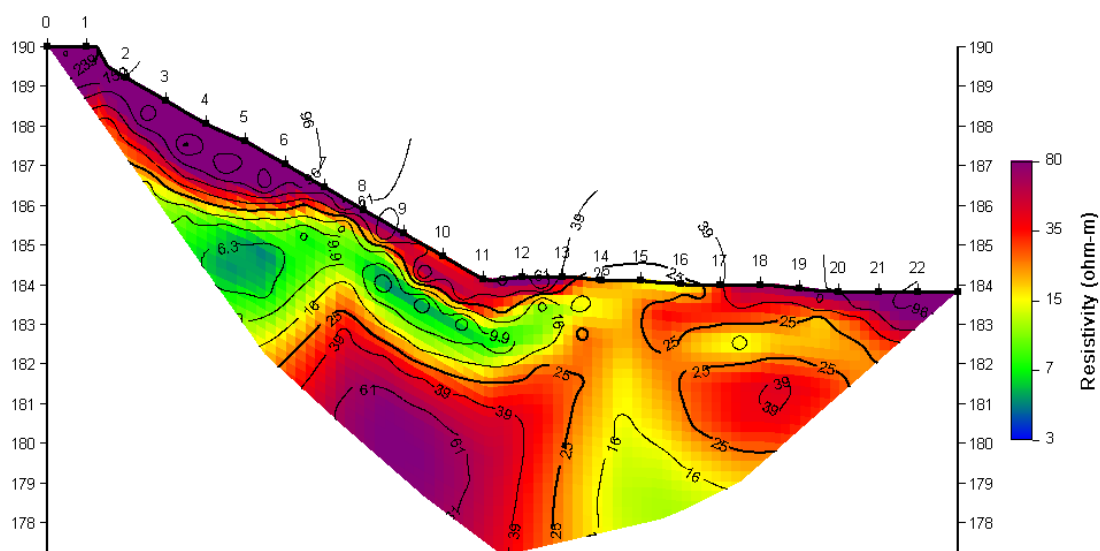
Σχήμα 3.11 : Τομή R4

TOMEΣ R5 ΚΑΙ R6

Παραπλήσιες πληροφορίες παρέχουν οι τομές R5 και R6, στις οποίες το γνευσιακό υπόβαθρο που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος, εντοπίζεται με υψηλότερες αντιστάσεις συγκριτικά με τις προηγούμενες τομές. Το γεγονός αυτό έγκειται στην εμφάνιση υγιούς μορφής, αδιαπέρατου πετρώματος. Στην τομή R5, τα αγώγιμα υγρά διακρίνονται μέχρι το βάθος των 5 m εντός της ζώνης του ρήγματος, ενώ αντιθέτως στην τομή R6 δεν είναι ορατά στην περιοχή των 14-16 m, συμπεραίνοντας ότι έχουν κατεισδύσει σε μεγαλύτερο βάθος από αυτό που είχαμε την δυνατότητα να ερμηνεύσουμε.



Σχήμα 3.12: Τομή R5

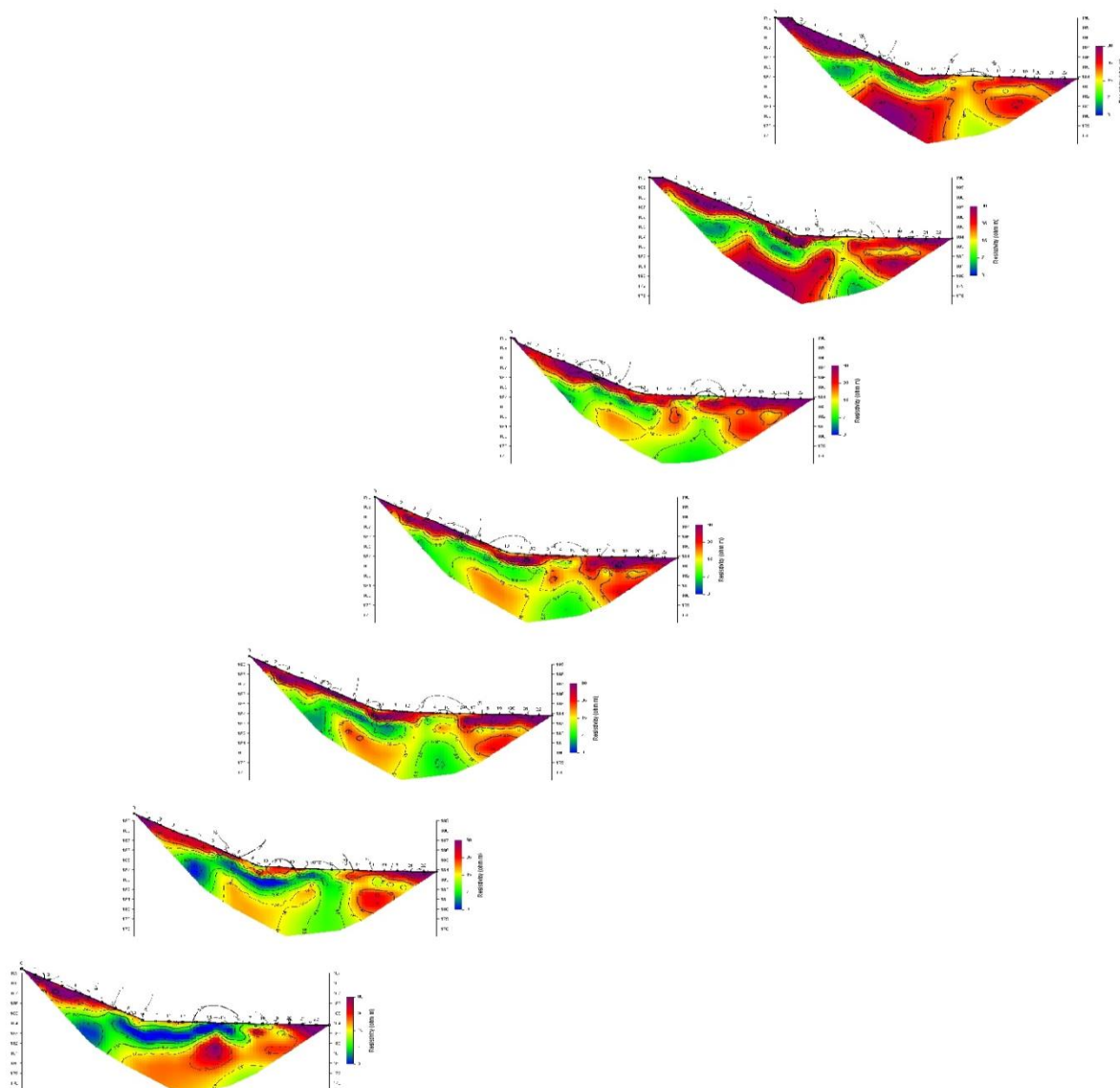


Σχήμα 3.13: Τομή R6

3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γενική εικόνα που προκύπτει βάσει των ηλεκτρικών τομογραφιών είναι η ύπαρξη υψηλών αντιστάσεων που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου, η παρουσία αγωγίμων υγρών, η κίνηση των οποίων όμως κατευθύνεται προς βαθύτερα και μέτριων αντιστάσεων εξαιτίας της περατότητας των ποταμοχειμάρριων υλικών της περιοχής.

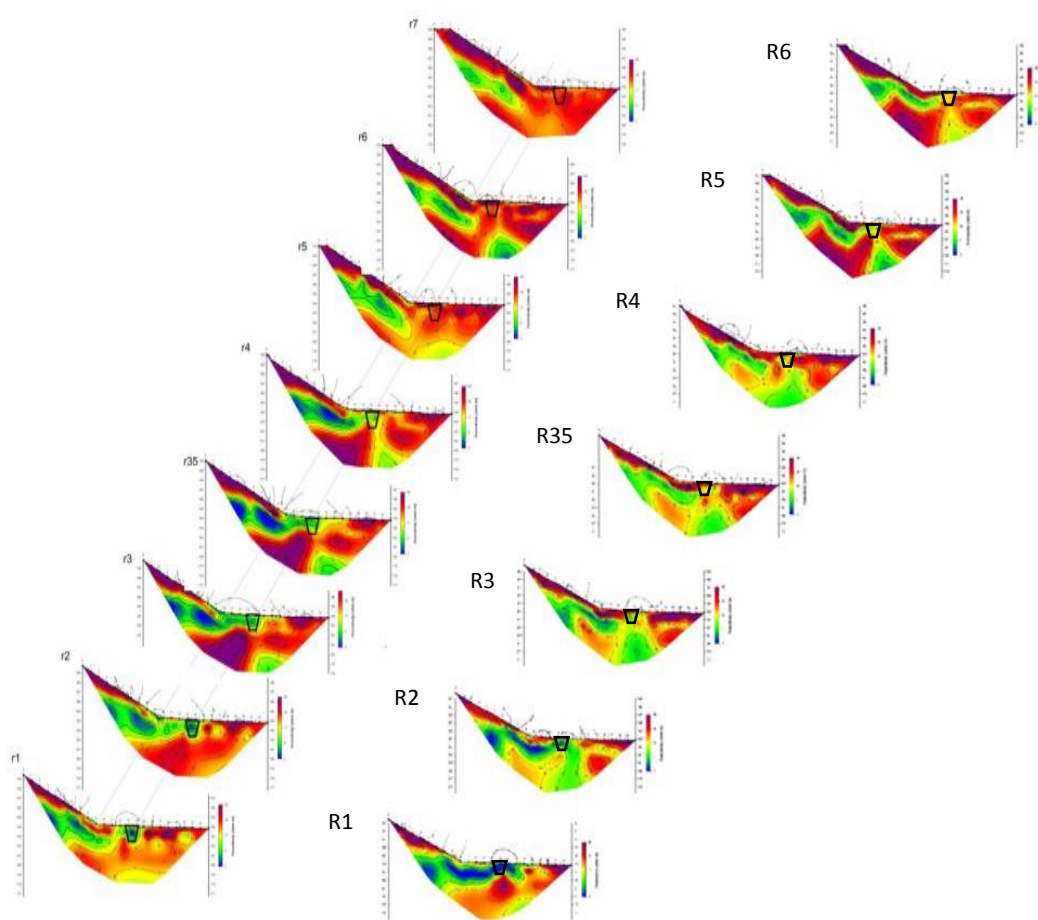
Απο τεκτονικής άποψης, η ζώνη χαμηλών αντιστάσεων μεταξύ των 14-17 m αποδίδεται σε ρήγμα που φέρει σε επαφή τα γνευσιακά πετρώματα με τις αργιλικές αποθέσεις.



Σχήμα 3.: Παράθεση συνολικών ηλεκτρικών τομογραφιών.

Συγκρίνοντας τις τομές που λήφθηκαν από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τον Δεκέμβριο 2012 με τις επαναληπτικές μετρήσεις του Οκτωβρίου 2013, γίνεται αντιληπτό ότι δεν παρατηρούνται δραματικές μεταβολές στην εικόνα του αναμορφωμένου χώρου ταφής απορριμμάτων.

Ωστόσο, είναι εμφανής, ιδιαίτερα στις τομές R3, R35 και R4, η μείωση έως και πλήρης εξάλειψη των υγρών με διασταλλάζοντα σε μικρό βάθος σχετικά με τις αντίστοιχες τομές r3, r35 και r4. Η διευθέτηση της πορείας τους εντός αγωγού μέσω της ανοιχτής εκσκαφής, απέδωσε με αποτέλεσμα να μην απορρέουν πλέον επιφανειακά.



Σχήμα 3.8 : Σύγκριση ηλεκτρικών τομογραφιών που εκτελέστηκαν αριστερά τον Δεκέμβριο 2012 και δεξιά τον Οκτώβριο 2013.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Τσούρλος Π., Βαργεμέζης Γ., Καζάκης Ν. (2013). Γεωφυσική έρευνα στον χώρο του Αναπλάσμένου χώρου ταφής απορριμμάτων Δερβενίου.

M. H. Loke (2000) : Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies,

S. C. Constable , R. L. Parker, C.C. Constable (1986) : Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data.

Παπαζάχος Β. Κ. (1996). Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη Γεωφυσική.

S.Renou, J.G. Givaudan, S.Poulain, F.Dirassouyan, P.Moulin (2007). Landfill leachate treatment : Review and Opportunity.

J.T. Zume, A. Tarhule, S.Christenson (2006). Subsurface Imaging for an Abandoned Solid Waste Landfill site in Norman, Oklahoma.

G. Klefstad, L.V.A. Sendlein, R. C. Palmquist (1975).Limitation of the Electrical Resistivity Method in Landfill Investigations.

J. E. Chambers, O. Kuras, P. I. Meldrum, R. D. Oglivy and J. Hollands (2006). Electrical resistivity tomography applied to geologic, hydrogeologic and engineering investigations at a former waste disposal site.

R. Herman (2001). An introduction to electrical resistivity in geophysics.

Ζερβοπούλου Α.Σ. (2010). Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης.

Μουντράκης Δ. Μ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας.

Μιχαλάκης Ι. (2007). Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρινσης, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη δοκιμή άντλησης στον Οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου.

Βαλαμβάνου Α. (2009). Συμβολή στην μελέτη του ιονισμού του εδάφους.

IRIS INSTRUMENTS (2003), Syscal Pro user's manual

Yi M-J and Kim J-H, 2010. DcDpro - 2D and 3D Inversion of ERT data. User's Manual, KIGAM, KOREA