

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Εφαρμογές της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας στην μελέτη χώρων  
απόθεσης απορριμμάτων**

**ΤΡΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:  
ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Αν. Καθηγητής  
ΤΣΟΥΡΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, Καθηγητής

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2016**



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον κύριο Βαργεμέζη Γεώργιο και τον κύριο Τσούρλο Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές κατά την διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης στον κύριο Ηλία Φίκο καθώς και στους μεταπτυχιακούς φοιτητές του τομέα γεωφυσικής Α.Π.Θ για την συμμετοχή και την βοήθεια κατά την διάρκεια λήψης των υπαίθριων μετρήσεων.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα το οποίο εμφανίζεται πολύ συχνά σε μια πρώην χωματερή και απαιτεί άμεση αντιμετώπιση είναι η δημιουργία διασταλαζόντων, τα οποία επιμολύνουν κυρίως τα υπόγεια νερά αλλά και την ευρύτερη περιοχή.

Παρόμοιο πρόβλημα εμφανίστηκε και στον Χ.Τ.Α Δερβενίου μετά την αποκατάσταση του χώρου το 2006. Το θέμα λοιπόν στο οποίο επικεντρώνεται η συγκεκριμένη πτυχιακή, αφορά την χρήση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης με σκοπό να εντοπιστεί η αιτία δημιουργίας των διασταλαζόντων και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα με τον πιο κατάλληλο τρόπο.

Στην περιοχή έρευνας εκτελέστηκαν από τον τομέα γεωφυσικής του Α.Π.Θ υδρογεωλογικές μελέτες καθώς και γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής. Έτσι, βασιζόμενοι στην υδρογεωλογία και στην τεκτονική της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης, και πιο συγκεκριμένα η διάταξη διπόλου-διπόλου με σκοπό την μελέτη των υπεδάφινων δομών.

Τα τελικά συμπεράσματα, προκύπτουν με βάση την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών τομών καθώς και με τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές πληροφορίες οι οποίες είναι άμεσα διαθέσιμες.

## Κατάλογος περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ.....	9
2	ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΑΦΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ .....	10
2.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	10
2.2	ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	10
2.3	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΡΩΝ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	12
2.3.1	ΣΤΟΧΟΣ.....	12
2.4	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΧΤΑ ΔΕΡΒΕΝΙΟΥ.....	13
2.4.1	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΔΕΡΒΕΝΙΟΥ ..	15
3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	18
4	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	20
5	ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	23
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
5.2	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....	25
5.3	ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	26
5.3.1	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	26
5.3.2	ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	27
5.3.3	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	34
5.3.4	ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	38
5.3.5	Όργανο μέτρησης ηλεκτρικών αντιστάσεων.....	39
5.3.6	Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ.....	41
6	ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	44
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	44
6.2	ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	45
7	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	47
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	53

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Κατασκευή Χ.Υ.Τ.Α. στον Δήμο Μεσολογγίου ( <a href="http://www.agrinioeculture.gr">www.agrinioeculture.gr</a> ).....	11
Εικόνα 2: Τοποθεσία του Χ.Τ.Α Δερβενίου (από google earth).....	13
Εικόνα 3: Πανοραμική απεικόνιση και οριοθέτηση του Χ.Τ.Α Δερβενίου (από google earth).....	14
Εικόνα 4: Αποκατεστημένος Χ.Τ.Α Δερβενίου. (από Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013).....	15
Εικόνα 5: Δίκτυο συλλογής διασταλλαζόντων περιμετρικά του Χ.Τ.Α που εκφορτίζει στο ρέμα..	17
Εικόνα 6: Αγωγός εκφόρτισης διασταλλαζόντων. ( Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013 ).....	17
Εικόνα 7: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής, κλίμακα 1: 2000 (Βαργεμέζης Γ, Τρανός Μ. , 1997)...	19
Εικόνα 8: Ερευνητικές γεωτρήσεις στον χώρο μελέτης. ( Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013).....	20
Εικόνα 9: Πεδία άντλησης στην ευρύτερη περιοχή (Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013).....	21
Εικόνα 10: Πιεζομετρικός χάρτης στον χώρο του Χ.Τ.Α Δερβενίου (Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013).....	22
Εικόνα 11: Γεωφυσική διασκόπηση από τους αδερφούς Schlumberger το 1912 (από <a href="http://www.oilpro.com">www.oilpro.com</a> ).....	26
Εικόνα 12: Διατάξεις ηλεκτροδίων ρεύματος (C1,C2) και τάσης (P1,P2).....	27
Εικόνα 13: Διάταξη ηλεκτροδίων σε μια μονοδιάστατη γεωφυσική διασκόπηση ( <a href="http://www.landviser.net">www.landviser.net</a> ).....	29
Εικόνα 14: a) διάγραμμα ρα- AB/2 b) διάγραμμα ρ- βάθους (Cristina Pomposiello et al.,2009).....	30
Εικόνα 15: Λήψη υπαίθριων μετρήσεων για την υλοποίηση ηλεκτρικής τομογραφίας.....	31
Εικόνα 16: Ηλεκτρική τομογραφία από χώρο απόθεσης απορριμμάτων. (από <a href="http://www.geogasch.com">www.geogasch.com</a> ).....	32
Εικόνα 17: Τρισδιάστατη απεικόνιση των αντιστατικών τιμών του υπεδάφους( <a href="http://archaeology.tau.ac.il">archaeology.tau.ac.il</a> ).....	33
Εικόνα 18: Ακολουθία των ηλεκτροδίων για την υλοποίηση μιας ψευδοτομής προς ερμηνεία (Dr. M.H.Loke , 1999) .....	34
Εικόνα 19: Περιοχές ευαισθησίας σε μια μέτρηση με την διάταξη Wenner (Dr. M.H.Loke , 1999).....	35
Εικόνα 20: Αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων στην διάταξη διπόλου- διπόλου.....	36
Εικόνα 21: Περιοχές ευαισθησίας σε μια μέτρηση με την διάταξη διπόλου- διπόλου (Dr. M.H.Loke , 1999).....	36
Εικόνα 22: Βάθος διεϊσδυσης σε μια δισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία (Bernard et al, IRIS instruments).....	38
Εικόνα 23: Όργανο μέτρησης αντιστάσεων της εταιρείας SYSCAL Pro .....	39
Εικόνα 24: Μέγιστο βάθος στο οποίο φτάνει το ρεύμα καθώς αυξάνει η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος A,B .....	41
Εικόνα 25: Διαίρεση του υπεδάφους σε ορθογώνια τεμάχια από το λογισμικό DC2dPRO (Dr. M.H.Loke, 1999).....	42
Εικόνα 26: Ψευδοτομή φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Dr. M.H.Loke , 1999).....	43
Εικόνα 27: Ψευδοτομή πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων μετά από αντιστροφή των δεδομένων του μοντέλου στην Εικόνα 26 (Dr. M.H.Loke, 1999).....	43
Εικόνα 28: Διασταλλάζοντα χωματερής που επηρεάζουν το υπόγειο νερό και εκφορτίζουν και στην επιφάνεια (Muhammad Syukri, 2013).....	44
Εικόνα 29: Ηλεκτρικές τομογραφίες N1 και N2 στον κύριο χώρο μελέτης.....	45
Εικόνα 30: Γεωηλεκτρική τομή N1 μετά την αντιστροφή με το πρόγραμμα DC2dPRO.....	47
Εικόνα 31: Γεωηλεκτρική τομή EPT9 μετά από την αντιστροφή των γεωφυσικών δεδομένων.....	48
Εικόνα 32: Συνδυασμός των γεωηλεκτρικών τομών EPT9 και N1.....	49

Εικόνα 33: Γεωηλεκτρική τομή N2 μετά από αντιστροφή των γεωφυσικών δεδομένων.....	50
Εικόνα 34:Γεωηλεκτρικές τομές N1, N2 και M1, M2, M3, M4.....	51
Εικόνα 35: Γεωηλεκτρική τομή M4.....	52
Εικόνα 36: Γεώτρηση Γ1 στην βορειοανατολική πλευρά του Χ.Τ.Α.....	53



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η γεωφυσική διασκόπηση στον Αναπλασμένο Χώρο Ταφής Απορριμμάτων (ΑΧΤΑ) Δερβενίου.

Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης, οι οποίες αφορούν την ανάλυση της διάδοσης του ρεύματος μέσα στη γη και την αποτύπωση του υπεδάφους σε χώρους διαφορετικής αγωγιμότητας, παρήχθησαν δύο ηλεκτρικές τομογραφίες από τον ΑΧΤΑ Δερβενίου.

Μετά από την υπαίθρια διαδικασία λήψης των γεωφυσικών μετρήσεων, η ερμηνεία των ηλεκτρικών τομογραφιών που προκύπτουν επικεντρώνεται σε δύο στόχους:

- Την μελέτη της δομής του αναπλασμένου χώρου ταφής απορριμμάτων, δηλαδή την κατανομή του όγκου των απορριμμάτων, που βρίσκονται πλέον κάτω από τα εδαφικά υλικά με τα οποία καλύφθηκε η πρώην χωματερή.
- Τον εντοπισμό πιθανού υδροφόρου σχηματισμού στην βορειοανατολική πλευρά του Χ.Τ.Α.. Ελέγχεται η πιθανότητα εμπλουτισμού του όγκου των απορριμμάτων από υπόγειο νερό το οποίο επιμολύνεται και αποτελεί την αιτία της συνεχούς εκροής διασταλαζόντων στο πρηνές που βρίσκεται σε πλευρική επαφή με το ρέμα της Ευκαρπίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν την διαχείριση των παλαιών χώρων απόθεσης απορριμμάτων και ειδικότερα του ΑΧΤΑ Δερβενίου.

Περιγράφεται η γεωφυσική μέθοδος που υιοθετήθηκε στη παρούσα έρευνα και τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ερμηνείας και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει η παρούσα έρευνα.

## 2 ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΑΦΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ως στερεά απόβλητα τα οποία καταλήγουν σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων, ορίζονται τα στερεά υλικά τα οποία δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν άλλο από τον άνθρωπο και επιθυμεί να απαλλαγεί από αυτά (Γαβριλάκης Κ.- , 2000). Τεράστιες ποσότητες στερεών αποβλήτων παράγονται καθημερινά, από τις αστικές κοινωνίες, τις δραστηριότητες μεγάλων βιομηχανιών και την γεωργία.

Η ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων στο περιβάλλον, ήταν η ιδανική λύση για να απαλλαγούν από αυτά οι κοινωνίες εδώ και πολλά χρόνια. Η ίδια η φύση φρόντιζε για αυτό, αφού ήταν σε θέση να δεχτεί τα απόβλητα και να τα διαχειριστεί κατάλληλα από μόνη της, χωρίς να εμφανίζονται επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Εντούτοις, τα τελευταία πενήντα περίπου χρόνια, η αύξηση του πληθυσμού της γης και η ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας προκειμένου να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες, έχουν αλλάξει δραματικά τις συνθήκες. Οι ποσότητες των στερεών αποβλήτων που παράγονται είναι πολύ μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα η φύση να μην μπορεί πλέον να αυτοδιαχειριστεί την κατάσταση της ανεξέλεγκτης απόθεσης αυτών.

### 2.2 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

(Γαβριλάκης Κ. , 2000)

#### 1) Ανεξέλεγκτη διάθεση

- Απόρριψη αποβλήτων από δήμους χωρίς να λαμβάνεται κανένα μέτρο προστασίας.
- Ανεξέλεγκτη καύση απορριμμάτων προκειμένου να μειωθεί ο όγκος τους και να αυξηθεί η χωρητικότητα του χώρου.
- Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων, ιδιαίτερα βλαβερών για το περιβάλλον.
- Απορρίμματα που προέρχονται από τους εκδρομείς.

## 2) Ημιελεγχόμενη διάθεση

- Πρόκειται για χώρους διάθεσης απορριμμάτων με χαρακτηριστικά ανεξέλεγκτης αλλά και ελεγχόμενης διάθεσης.
- Εξακολουθούν να εμφανίζονται προβλήματα παρόμοια με την ανεξέλεγκτη διάθεση αλλά σε μικρότερο βαθμό.
- Λαμβάνονται μέτρα προστασίας από τους αρμόδιους, όχι όμως ικανά να επιλύσουν τα σημαντικά προβλήματα του χώρου.

Τέλος, η δημιουργία των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια και πρόκειται για έναν χώρο ελεγχόμενης διάθεσης απορριμμάτων. Οι ΧΥΤΑ (Εικόνα 1) δίνουν λύση σε πολλά σημαντικά προβλήματα μιας χωματερής, όπως είναι τα διασταλλάζοντα που αναφέρθηκε παραπάνω. Σημαντικό είναι ότι δεν υποβαθμίζουν ποιοτικά το περιβάλλον σε σχέση με τις δύο άλλες μεθόδους διάθεσης.



Εικόνα 1: Κατασκευή Χ.Υ.Τ.Α. στον Δήμο Μεσολογγίου ([www.agrinioeculture.gr](http://www.agrinioeculture.gr)).

## 2.3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΡΩΝ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

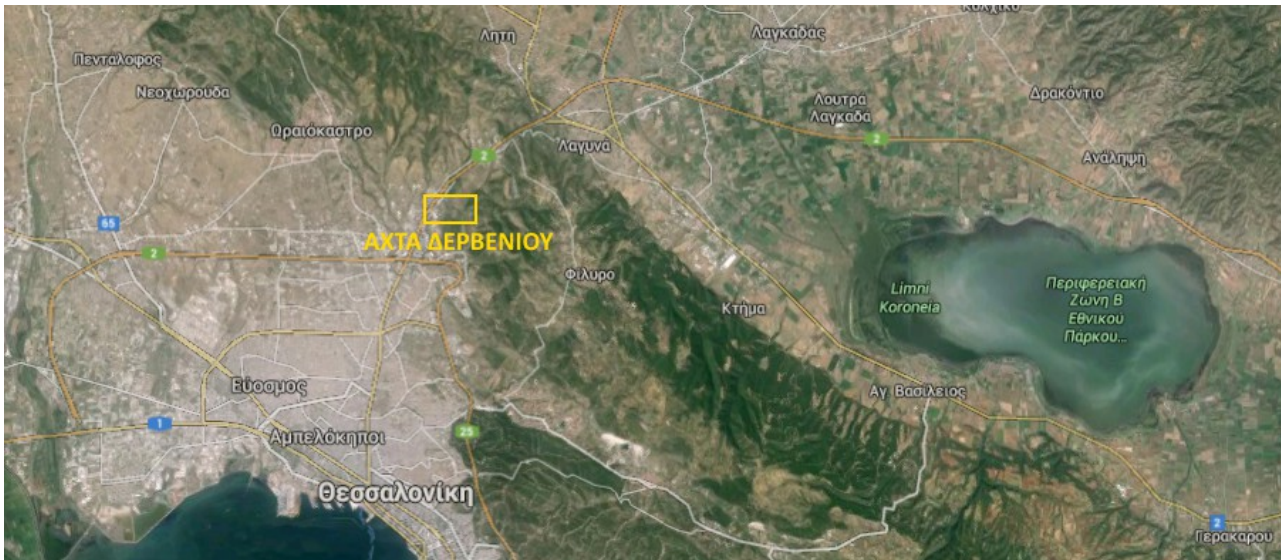
### 2.3.1 ΣΤΟΧΟΣ

Κύριος στόχος της αποκατάστασης μιας πρώην χωματερής, είναι να εκμηδενισθούν όλες οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να συνεχίσει να προκαλεί μετά το πέρας της λειτουργίας της. Τελικός σκοπός, η επανένταξη του χώρου στην γύρω περιοχή .

*Πίνακας 1: Προτεινόμενα έργα αποκατάστασης. (Φραντζής κ.α 2000)*

ΕΡΓΟ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΔΡΑΣΗΣ
Επικαλύψεις-διαμορφώσεις	Δημιουργία νέου ανάγλυφου Αισθητική αναβάθμιση του χώρου
Συλλογή του βιοαερίου	Έλεγχος οσμών Προστασία νέων φυτεύσεων
Διαχείριση στραγγισμάτων	Έλεγχος ρύπανσης υπόγειων υδάτων Προστασία επιφανειακών υδάτων
Τελική κάλυψη	Παρεμπόδιση εισόδου υδάτων στα απορρίμματα Διαμόρφωση εδάφους για φυτεύσεις
Αποστραγγιστικό σύστημα	Έλεγχος όμβριων υδάτων Προστασία χώρου ταφής
Φυτεύσεις	Αισθητική αναβάθμιση Διαμόρφωση νέων χρήσεων

## 2.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΧΤΑ ΔΕΡΒΕΝΙΟΥ



Εικόνα 2: Τοποθεσία του Χ.Τ.Α Δερβενίου (από google earth).

Ο ΑΧΤΑ Δερβενίου (Εικόνα 2) βρίσκεται σε απόσταση οκτώμισι χιλιομέτρων από την Θεσσαλονίκη. Από το 1974 έως και το 1984 αποτελούσε τον κύριο χώρο ταφής απορριμμάτων όλου του νομού Θεσσαλονίκης (Βαργεμέζης Γ., Τσούρλος Π., 2013). Το 1984 αποφασίστηκε η διακοπή λειτουργίας της χωματερής, ωστόσο οι κάτοικοι της γύρω περιοχής συνέχισαν να την χρησιμοποιούν ως χώρο διάθεσης απορριμμάτων. Η λειτουργία της χωματερής σταμάτησε επισήμως το 1989. Στον χώρο, υπολογίζεται ότι βρίσκονται σήμερα θαμμένα περίπου 600.000 κυβικά μέτρα απορριμμάτων.

Επισημαίνεται ότι ο χώρος δεν λειτουργούσε με προδιαγραφές Χ.Υ.Τ.Α. και η ποσότητα του χώματος επικάλυψης των απορριμμάτων ήταν περιορισμένη, με αποτέλεσμα τα 600.000 κυβικά μέτρα απορριμμάτων που βρίσκονται σήμερα θαμμένα να αποτελούν μια μεγάλη ενιαία μάζα, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα, όπως είναι η παραγωγή διασταλλαζόντων.

**Τα διασταλλάζοντα** είναι υγρά που δημιουργούνται από την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων και από την κατείδυση στον κύριο όγκο τους του βρόχινου νερού, που αναμειγνύεται με αυτά. Κατά την πορεία των υγρών μέσα από τη μάζα των απορριμμάτων διαλύονται και παρασύρονται διάφοροι ρύποι. Αν τα στραγγίσματα διαφύγουν στο περιβάλλον μπορούν να μολύνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά. Οι ρυπαντές που απελευθερώνονται από τα απορρίμματα με διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές

διαδικασίες περνούν μέσα στο νερό και το επιβαρύνουν με οργανικά και ανόργανα υλικά.

Παράλληλα, κατά την αποσύνθεση των οργανικών υλικών στο χώρο ταφής, απουσία οξυγόνου, εκλύονται διάφορα αέρια που χαρακτηρίζονται συνολικά ως **βιοαέριο**. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο σε ίσες περίπου αναλογίες, ενώ σε μικρές ποσότητες περιλαμβάνει αμμωνία, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, υδρόθειο, άζωτο και οξυγόνο. Η ανεξέλεγκτη παραγωγή βιοαερίου μπορεί να προκαλέσει έκρηξη και πυρκαγιά, ενώ το μεθάνιο συνεισφέρει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αντίθετα, αν συγκεντρωθεί με κατάλληλα συστήματα, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας από τα απορρίμματα.



Εικόνα 3: Πανοραμική απεικόνιση και οριοθέτηση του Χ.Τ.Α Δερβενίου (από google earth).

## 2.4.1 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΔΕΡΒΕΝΙΟΥ

Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί, έχει αποδειχθεί πως οι πρώην χώροι ταφής απορριμμάτων παραμένουν χρόνια ενεργοί. Ακόμα και μετά την παύση λειτουργίας τους, ο κύριος όγκος των απορριμμάτων συνεχίζει να παράγει ποσότητα διασταλλάζοντων, σαφώς περιορισμένη συγκριτικά με την περίοδο που λειτουργούσε η χωματερή. Επίσης, παρατηρείται τάση απελευθέρωσης του βιοαερίου, ειδικά σε περιπτώσεις που η άνοδος του δεν παρεμποδίζεται από την κατείσδυση των επιφανειακών νερών στον όγκο των απορριμμάτων.

Επειδή λοιπόν, το θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος είναι υψίστης σημασίας, καθίσταται απαραίτητη η παρακολούθηση και μεταφροντίδα ενός πρώην χώρου ταφής απορριμμάτων ακόμα και μετά την παύση λειτουργίας του.

Οι μελέτες στον ΑΧΤΑ Δερβενίου, (Βαργεμέζης Γ.-&-, Τσούρλος Π., 2013) ξεκίνησαν αμέσως μετά την διακοπή λειτουργίας του το 1989, ενώ ο αναπλασμένος χώρος (Εικόνα 4) εγκαινιάστηκε το 2006.



Εικόνα 4: Αποκατεστημένος Χ.Τ.Α Δερβενίου. (από Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013)

**Η ανάπλαση του χώρου είχε δύο κύριους στόχους:**

- Την αντιμετώπιση των προβλημάτων σε μια πρώην ανεξέλεγκτη χωματερή, όπως είναι τα διασταλλάζοντα.
- Την ανάπλαση του χώρου για να αποτελέσει ένα επισκέψιμο περιβαλλοντικό πάρκο.

**Τα έργα της αποκατάστασης περιέλαβαν:**

- Τελική επικάλυψη του κύριου όγκου των απορριμμάτων με αργιλικό υλικό. Η άργιλος είναι λεπτόκοκκο αδιαπέρατο υλικό, το οποίο εμποδίζει την κατείσδυση των επιφανειακών νερών στα κατώτερα στρώματα που βρίσκονται τα απορρίμματα, έτσι ώστε να μην αυξάνεται η παραγωγή των διασταλαζόντων.
- Κατασκευή αγωγών εκτόνωσης του βιοαερίου.
- Κατασκευή ενός αγωγού, ο οποίος συλλέγει τα διασταλλάζοντα που προέρχονται μέσα από το κύριο σώμα της πρώην χωματερής, τμήμα των οποίων παλαιότερα διοχετευόταν στο ρέμα της Ευκαρπίας (Εικόνα 6).
- Δημιουργία αναβαθμών στα πρανή, έτσι ώστε να συγκρατούνται τα υλικά από την έκπλυση.
- Κυπαρίσσια, τούγιες, πεύκα, ιτιές, σφενδάμη, ακακίες, πυράκανθοι, δενδρόλιβανο, σπάρτα, τριανταφυλλιές και διάφορα εποχικά, είναι κάποια από τα δέντρα και θάμνους που επιστρατεύθηκαν για να αλλάξουν την περιοχή.

Έτσι, σήμερα ο πρώην χώρος ταφής απορριμμάτων Δερβενίου αποτελεί το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πάρκο της Βορείου Ελλάδος. Έχει έκταση 130 στρεμμάτων. Βρίσκεται σε έναν λόφο με πανοραμική θέα του Θερμαϊκού κόλπου και του Δέλτα του Αξιού, την εξωτερική περιφερειακή και το Ωραιόκαστρο. Επίσης υπάρχουν σε αυτό μονοπάτια περιπάτου, άθλησης και ορεινής ποδηλασίας, παιδική χαρά, καθώς και γήπεδα ποδοσφαίρου, μπάσκετ και τέννις.





Εικόνα 5: Δίκτυο συλλογής διασταλαζόντων περιμετρικά του Χ.Τ.Α που εκφορτίζει στο ρέμα.



Εικόνα 6: Αγωγός εκφόρτισης διασταλαζόντων. ( Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013 )

### 3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο ΑΧΤΑ Δερβενίου βρίσκεται στα όρια της Παιονίας με την Σερβομακεδονική. Η Σερβομακεδονική καθώς και η Παιονία, (Μουντράκης Δ. , 2010) η οποία αποτελεί την ανατολική υπο-ζώνη της ζώνης Αξιού ανήκουν στις Εσωτερικές Ελληνίδες οι οποίες είναι έντονα επηρεασμένες και από τις δύο φάσεις της Αλπικής ορογένεσης.

Η πρώτη φάση της Αλπικής ορογένεσης σημειώθηκε στο Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό, δηλαδή πριν από περίπου εκατόν τριάντα εκατομμύρια χρόνια και προκλήθηκε από το κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου του Αξιού επηρεάζοντας έντονα τις Εσωτερικές Ελληνίδες.

Η δεύτερη φάση της Αλπικής ορογένεσης σημειώθηκε κατά το Τριτογενές, δηλαδή πριν από περίπου πενήντα πέντε εκατομμύρια χρόνια και προκλήθηκε από το κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της Πίνδου και την τελική σύγκρουση της Απουλίας πλάκας με τις Εσωτερικές Ελληνίδες και την Ευρασία.

Επομένως, ο ΑΧΤΑ Δερβενίου βρίσκεται σε μια θέση με κύριο γεωλογικό χαρακτηριστικό τον έντονο τεκτονισμό των πετρωμάτων.

**Πιο συγκεκριμένα η γεωλογική σύσταση της υπό μελέτη περιοχής από τους παλαιότερους σχηματισμούς προς τους νεότερους διαμορφώνεται ως εξής: (Βαργεμέζης Γ.- , Τρανός Μ.- , 1997)**

- Στο νοτιοανατολικό τμήμα του ΑΧΤΑ που είναι και το μεγαλύτερο τμήμα του σε έκταση βρίσκονται οι γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες, πετρώματα Παλαιοζωϊκής ηλικίας που αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής.
- Στο βορειοδυτικό κομμάτι βρίσκεται ασβεστιτικός φλύσχης ηλικίας Τριαδικού-Μέσου Ιουρασικού.

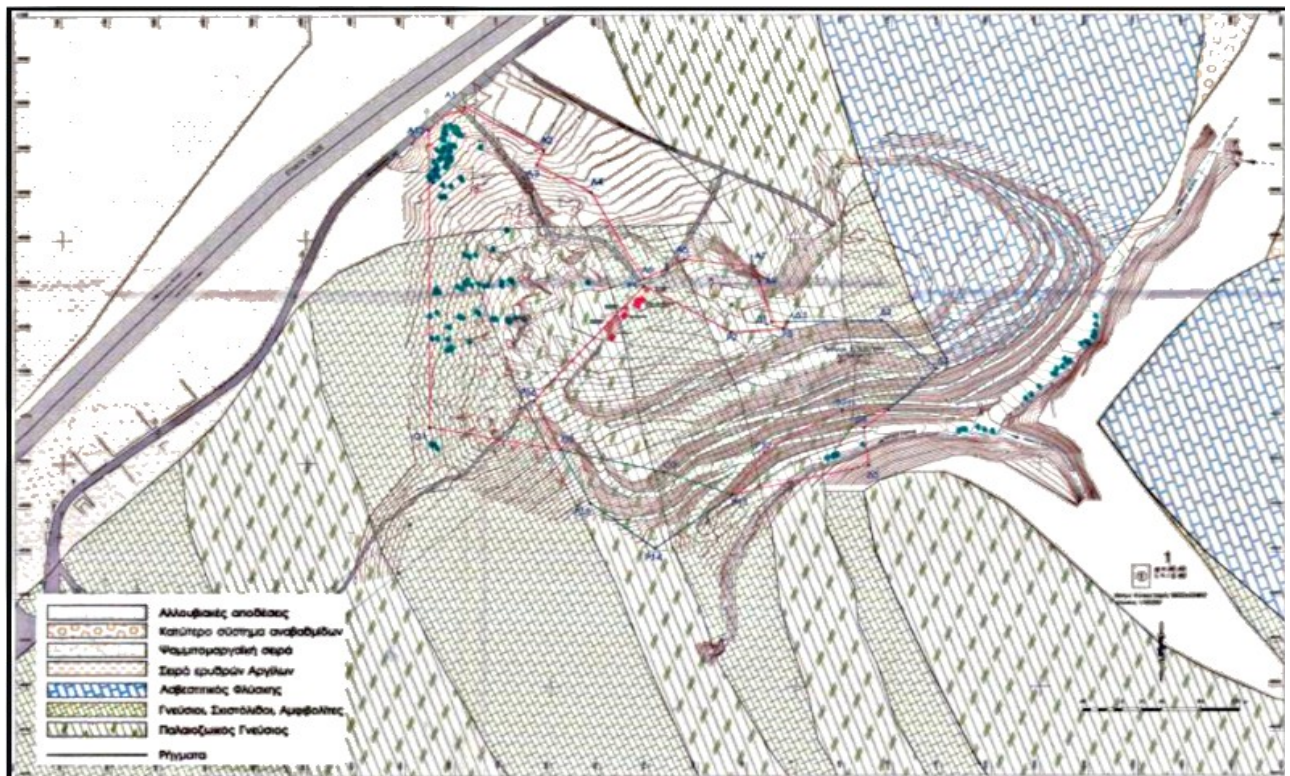
Ακόμη, σε ένα μικρό κομμάτι του ΑΧΤΑ στο βόρειο τμήμα του εντοπίζονται νεογενείς και τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις. Αυτές αποτελούνται από τις νεότερες προς τις παλαιότερες από:

- Αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας όπως κροκάλες, άμμοι, χαλίκια και άργιλος που εντοπίζονται στις κοίτες των χειμάρρων.
- Χερσαίες και ποτάμιες αναβαθμίδες με υλικά Πλειστοκαινικής ηλικίας, όπως χαλίκια, άμμοι και άργιλοι.

- Ένα στρώμα από χαλαρούς έως συμπαγείς ψαμμίτες, άμμους και μάργες ηλικίας Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειόκαινο.
- Μια σειρά από ερυθρές αργίλους και ιλυώδεις αργίλους ηλικίας Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειόκαινο.

Τέλος, η χαρτογράφηση της περιοχής έδειξε ότι ο ΑΧΤΑ Δερβενίου είναι τοποθετημένος πάνω στην τομή κανονικών ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ, Β-Ν, ΒΒΑ-ΝΝΔ. Επίσης, βρίσκεται πάνω στην τεκτονική επαφή του ασβεστιτικού φλύσχη με τους γνευσίους (Εικόνα 7).

Γίνεται αντιληπτό, πως η θέση στην οποία βρίσκεται ο ΑΧΤΑ Δερβενίου είναι αρκετά ακατάλληλη από γεωλογικής άποψης για την ύπαρξη και λειτουργία μιας χωματερής, η οποία μάλιστα δεχόταν για περίπου δέκα χρόνια και ανεξέλεγκτα τεράστιες ποσότητες απορριμμάτων από όλο τον νομό Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 7: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής, κλίμακα 1: 2000 (Βαργεμέζης Γ, Τρανός Μ. , 1997)

## 4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

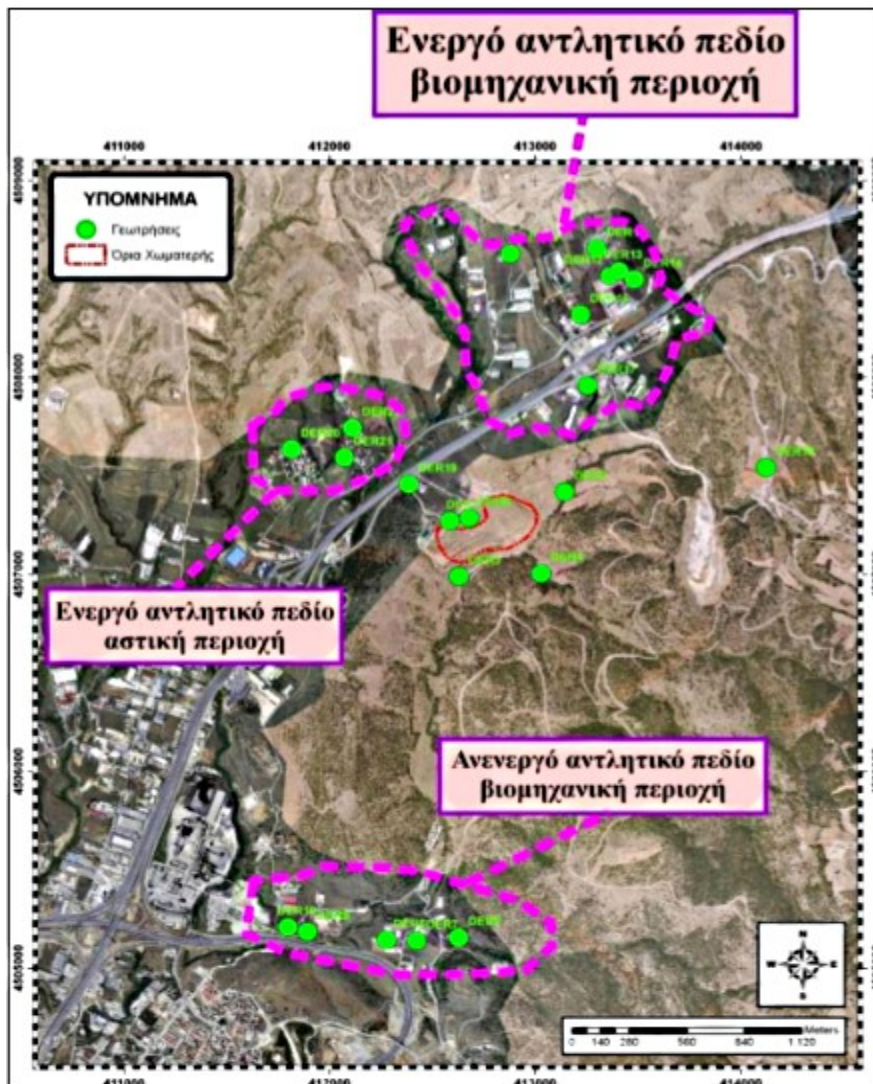
Στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Α.Π.Θ με στόχο την μελέτη του ΑΧΤΑ Δερβενίου, υλοποιήθηκε υδρογεωλογική μελέτη, με σκοπό την τελική υδρογεωλογική διαμόρφωση της περιοχής.

Στο στάδιο της έρευνας, έγινε η απογραφή πέντε γεωτρήσεων, που βρίσκονται περιμετρικά στον χώρο του ΑΧΤΑ (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Ερευνητικές γεωτρήσεις στον χώρο μελέτης. ( Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013)

Εκτός όμως από την απογραφή των γεωτρήσεων του ΑΧΤΑ, εκτελέστηκε παρόμοια διαδικασία σε υδρογεωτρήσεις που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, εκτελέστηκε απογραφή υδρογεωτρήσεων σε μία αστική περιοχή δυτικά του ΑΧΤΑ με ενεργό αντλητικό πεδίο καθώς και σε μία βιομηχανική περιοχή βόρεια αυτού (Εικόνα 9).

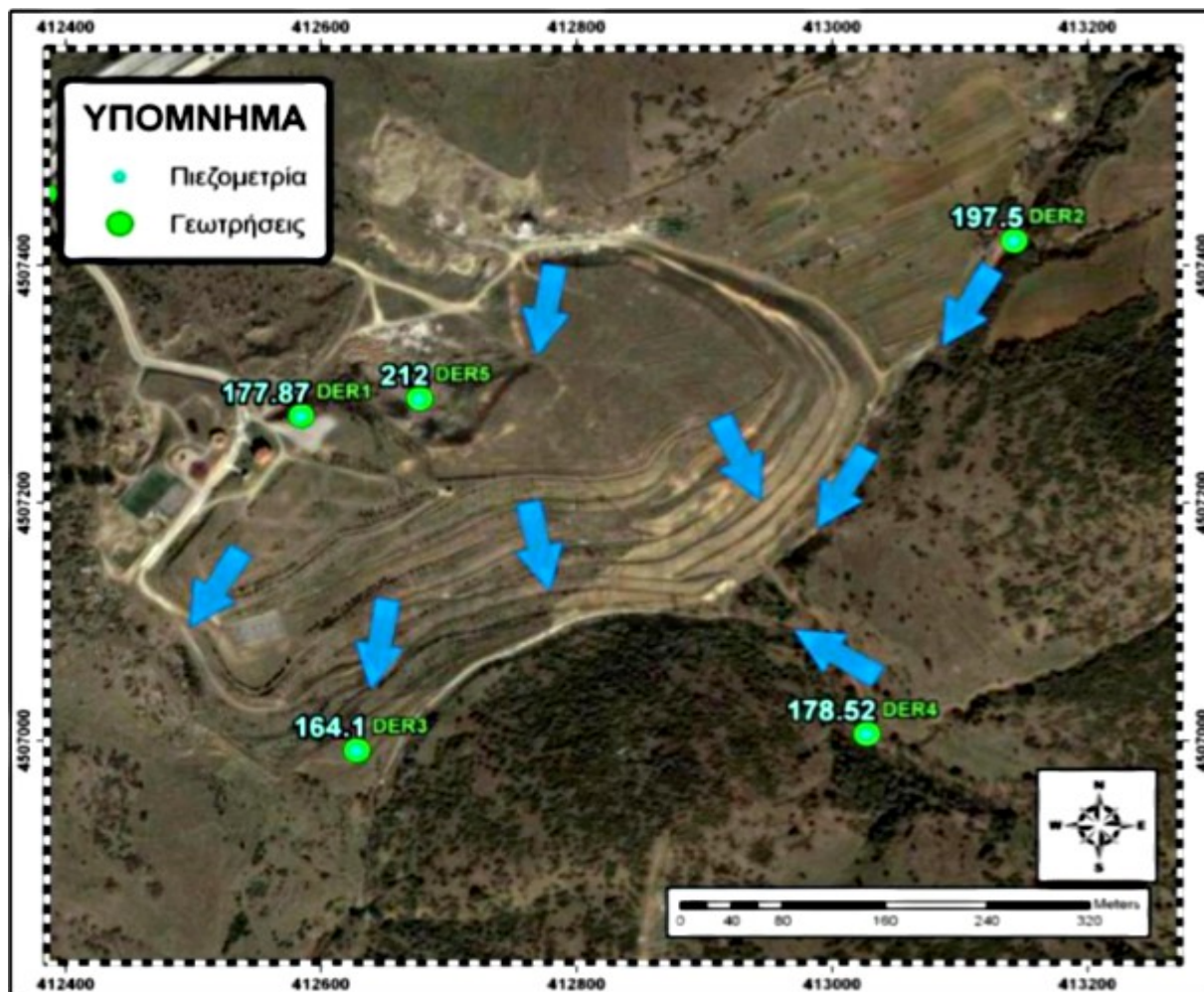


Εικόνα 9: Πεδία άντλησης στην ευρύτερη περιοχή (Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. , 2013).

Τελικός στόχος της υδρογεωλογικής μελέτης, ήταν η δημιουργία ενός πιεζομετρικού χάρτη, που θα αποτύπωνε την διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού, κυρίως στην περιοχή στην οποία βρίσκεται ο ΑΧΤΑ Δερβενίου.

Με βάση τις μετρήσεις που έγιναν, συμπεραίνεται πως η διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού είναι ΒΑ-ΝΔ στο ανατολικό τμήμα, ΒΒΑ-ΝΝΔ στο δυτικό τμήμα. Τελικά οι ροές συγκλίνουν στον χώρο του ΑΧΤΑ, πιθανότατα λόγω της τεκτονικής επαφής του ασβεστιτικού φλύσχη με τον γνεύσιο, με αποτέλεσμα η διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού να διαμορφώνεται ως ΒΑ-ΝΔ

προς τον νότο (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Πιεζομετρικός χάρτης στον χώρο του Χ.Τ.Α Δερβενίου (Βαργεμέζης Γ., Τσούρλος Π., 2013).

## 5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως Γεωφυσική διασκόπηση, ορίζεται η επιστημονική μελέτη των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, που είναι αδύνατο να μελετηθούν με τις κλασικές γεωλογικές μεθόδους. Αυτό επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας θεμελιώδεις νόμους της φυσικής, των μαθηματικών και της γεωλογίας, καθώς και μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών.

Τελικός στόχος μιας γεωφυσικής διασκόπησης, είναι ο εντοπισμός γεωλογικών δομών οικονομικού ενδιαφέροντος. Ως δομές οικονομικού ενδιαφέροντος, ορίζονται εκείνες που ευνοούν τον σχηματισμό στερεών, υγρών και αέριων κοιτασμάτων, όπως είναι τα μεταλλεύματα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αντίστοιχα.

Τα τελευταία χρόνια οι γεωφυσικές διασκοπήσεις χρησιμοποιούνται ευρέως και στην τεχνική γεωλογία, για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους θεμελίωσης τεχνικών έργων, καθώς και για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων, γεωθερμικών πεδίων αλλά και σε πληθώρα περιβαλλοντικών μελετών.

Τα μετρούμενα μεγέθη της γεωφυσικής διασκόπησης χρησιμοποιούνται στη συνέχεια, για τον υπολογισμό των φυσικών μεγεθών, τα οποία αντικατοπτρίζουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Πρέπει να σημειωθεί, ότι τελικά αυτό που λαμβάνεται υπόψη στην τελική ερμηνεία των μετρήσεων, δεν είναι οι τιμές των υπολογίσιμων φυσικών μεγεθών, αλλά οι μεταβολές αυτών, που οφείλονται στις ανωμαλίες που δημιουργούνται στον φλοιό της Γης, από τις αντίστοιχες υπεδάφειες γεωλογικές δομές που δεν παρατηρούνται άμεσα στην επιφάνεια.

**Οι βασικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης που βρίσκονται σήμερα σε εφαρμογή είναι (Παπαζάχος Β., 1986 ):**

- Σεισμικές μέθοδοι: Εφαρμόζονται κυρίως στον εντοπισμό δομών οι οποίες παρουσιάζουν γεωλογικό ενδιαφέρον, με βασική εφαρμογή σε έρευνα κοιτασμάτων πετρελαίου.
- Βαρυτομετρικές μέθοδοι: Άμεσος σκοπός είναι ο καθορισμός της οριζόντιας μεταβολής της

πυκνότητας των επιφανειακών στρωμάτων της γης. Οι ανωμαλίες της πυκνότητας, μπορεί να συνδέονται με γεωλογικές συνθήκες που ευνοούν τον σχηματισμό πετρελαίου και λοιπών κοιτασμάτων.

- Μαγνητικές μέθοδοι: Οι μαγνητικές μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως για τον εντοπισμό των μεταλλευμάτων. Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται, τα μαγνητόμετρα, στοχεύουν στον εντοπισμό μεταλλευμάτων με μαγνητικές ιδιότητες ή στον εντοπισμό γεωλογικών δομών με μαγνητικές ιδιότητες οι οποίες συνυπάρχουν με μη μαγνητικά υλικά οικονομικού ενδιαφέροντος.
- Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι: Χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση υπεδάφίων σωμάτων, τα οποία είναι αγώγιμα, και για το λόγο αυτό βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή στον εντοπισμό μεταλλευμάτων.
- Ηλεκτρικές μέθοδοι: Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη της περιοχής του ΑΧΤΑ Δερβενίου και αναλύονται παρακάτω, στο αντίστοιχο κεφάλαιο.



## 5.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Μια γεωφυσική διασκόπηση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την γεωλογική μελέτη σε σχέση με άλλες μεθόδους.

( [www.eegs.org](http://www.eegs.org) )

- Ανήκει στις μη καταστρεπτικές μεθόδους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι πολλές γεωφυσικές έρευνες διεξάγονται μέσα σε μεγάλες πόλεις, με αποτέλεσμα να προκύπτουν διάφορα τεχνικά προβλήματα, τα οποία επιλύονται εύκολα μέσω των γεωφυσικών διασκοπήσεων. Η χρησιμότητά τους είναι εξίσου σημαντική και στην αρχαιολογία, όπου μια περιοχή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος μπορεί να μελετηθεί χωρίς να επηρεαστεί.
- Αποδοτικότητα, καθώς δίνει την δυνατότητα της υπεδάφιας απεικόνισης μιας μεγάλης περιοχής γρήγορα και με μεγάλη ανάλυση.
- Δυνατότητα συνδυασμού διάφορων γεωφυσικών μεθόδων, προκειμένου να βρεθεί η λύση σε ένα σύνθετο πρόβλημα.
- Μικρό κόστος. Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις, βασίζονται μόνο σε επιφανειακές μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών, χωρίς να χρειαστεί η διαδικασία διάνοιξης μιας γεώτρησης, η οποία αυξάνει αισθητά το κόστος της μελέτης.

## 5.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

### 5.3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφευρέθηκαν τον εικοστό αιώνα από τους αδερφούς Conrad και Marcel Schlumberger (Reed J., 2015). Τα δύο αδέρφια, μεγάλωσαν στην γαλλική περιοχή της Αλσατίας και από πολύ νωρίς έδειξαν το πάθος τους για τις επιστήμες. Ο Conrad απέκτησε το 1900, το πτυχίο φυσικής από το Ecole Polytechnique, ενώ ο Marcel Schlumberger απέκτησε το 1907, πτυχίο μηχανικής από το *Ecole Centrale*.

*Την περίοδο 1911-1914, ο Conrad ανέπτυξε την πρώτη εφαρμογή της ηλεκτρικής μεθόδου γεωφυσικής διασκόπησης. Πιο συγκεκριμένα, “περνούσε” ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο έδαφος και στην συνέχεια, μετρούσε επιφανειακά τις διακυμάνσεις των αντιστάσεων που προέρχονταν από τις διαφορετικές υπεδάφειες γεωλογικές δομές. Έτσι, δημιούργησε τον πρώτο χάρτη ισοδυναμικών γραμμών, στην πόλη Καέν της Βόρειας Γαλλίας.*

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης χρησιμοποιήθηκαν αργότερα και χρησιμοποιούνται ευρέως και σήμερα στον εντοπισμό μεταλλευμάτων και δομών παγίδευσης πετρελαίου .



*Εικόνα 11: Γεωφυσική διασκόπηση από τους αδερφούς Schlumberger το 1912 (από [www.oilpro.com](http://www.oilpro.com)).*

### 5.3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Βασικός σκοπός των ηλεκτρικών διασκοπήσεων είναι ο εντοπισμός της υπεδάφιας κατανομής των αντιστάσεων από επιφανειακές μετρήσεις. Οι μετρούμενες αντιστάσεις καθορίζονται από διάφορες γεωλογικές παραμέτρους, όπως είναι:

(Dr. M. H. Loke, 1999)

- Το είδος του πετρώματος.
- Ο βαθμός αποσάθρωσης του.
- Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό καθώς και η αλατότητα του νερού.
- Το πορώδες.
- Η θερμοκρασία και η πίεση.

Τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή πετρώματα, έχουν γενικά μεγάλες αντιστάσεις. Οι τιμές των αντιστάσεων σε αυτά καθορίζονται από τον βαθμό διάρρηξής τους. Σε περίπτωση που στις διαρρήξεις των πετρωμάτων έχει διεισδύσει νερό, η αντίστασή τους μειώνεται. Τα ιζηματογενή πετρώματα, έχουν αρκετά μεγάλο πορώδες, επομένως και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό και για τον λόγο αυτό εμφανίζουν χαμηλότερες αντιστάσεις από τα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Τα υγρά εδάφη και το υπόγειο νερό εμφανίζουν ακόμα πιο χαμηλές αντιστάσεις. Τέλος, τα αργιλικά υλικά έχουν χαμηλότερες αντιστάσεις από τα αμμώδη υλικά.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης, εφαρμόζονται ευρέως στην υδρογεωλογία, στον εντοπισμό μεταλλευμάτων, την τεχνική γεωλογία ενώ τα τελευταία χρόνια βρίσκουν εφαρμογή και στην περιβαλλοντική γεωλογία.

Η διαδικασία των μετρήσεων γίνεται ως εξής: Ηλεκτρικό ρεύμα έντασης ( $I$ ) διαπερνά το έδαφος μέσω δύο ηλεκτροδίων  $C1$  και  $C2$ . Στην συνέχεια, γίνεται η μέτρηση της διαφοράς τάσης από άλλα δύο ηλεκτρόδια  $P1$  και  $P2$ . Τέλος, από το ρεύμα έντασης ( $I$ ) και την τάση ( $V$ ) υπολογίζεται η φαινόμενη αντίσταση  $\rho_a = k \cdot (V/I)$ . Η παράμετρος  $k$  αναφέρεται ως γεωμετρικός παράγοντας και η τιμή του εξαρτάται από τον τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων.



Εικόνα 12: Διατάξεις ηλεκτροδίων ρεύματος ( $C1, C2$ ) και τάσης ( $P1, P2$ ).

Πρέπει να τονιστεί, πως το μέγεθος  $\rho_a$  όπως προαναφέρθηκε δεν είναι η πραγματική αντίσταση του υπεδάφους, αλλά η φαινόμενη αντίσταση ενός ομογενούς εδάφους το οποίο θα δώσει την ίδια τιμή  $\rho_a$  για την ίδια διάταξη των ηλεκτροδίων. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η εφαρμογή της μεθόδου της αντιστροφής μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, προκειμένου να υπολογιστεί η πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$ .

Όπως προαναφέρθηκε, διαφορετικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν και διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις (Πίνακας 2). Έτσι, γνωρίζοντας την γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την γεωλογική δομή του υπεδάφους.

Πίνακας 2: Αντιστατικές τιμές των υλικών σε (Ohm-m).

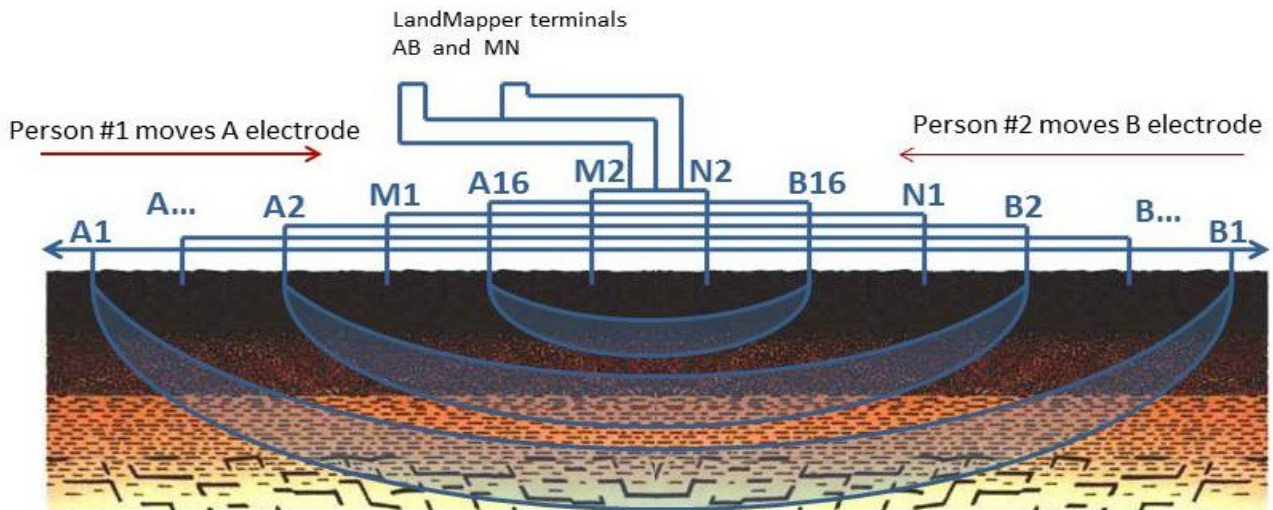
ΥΛΙΚΟ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm-m)
ΑΕΡΑΣ	$\infty$
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	$3 \times 10^{-1}$
ΓΑΛΗΝΙΤΗΣ	$2 \times 10^{-3}$
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	$100 - 1 \times 10^6$
ΓΑΒΡΟΣ	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	$50 - 1 \times 10^7$
ΨΑΜΜΙΤΗΣ	$1 - 1 \times 10^8$
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ	$20 - 2 \times 10^3$
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	$100 - 10^4$
ΑΜΜΟΣ	$1 - 1.000$
ΑΡΓΙΛΟΣ	$1 - 10^2$
ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	$0,5 - 300$
ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	$0,2$

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, αυτές διακρίνονται σε μονοδιάστατες (1D), διδιάστατες (2D) και τρισδιάστατες (3D). Η πολυπλοκότητα του προβλήματος, η ύπαρξη του κατάλληλου γεωφυσικού εξοπλισμού, καθώς και το κόστος της έρευνας είναι ορισμένοι από τους λόγους που καθορίζουν την επιλογή του κατάλληλου είδους της

διασκόπησης.

## ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

### ● Μονοδιάστατη ηλεκτρική διασκόπηση (1D)

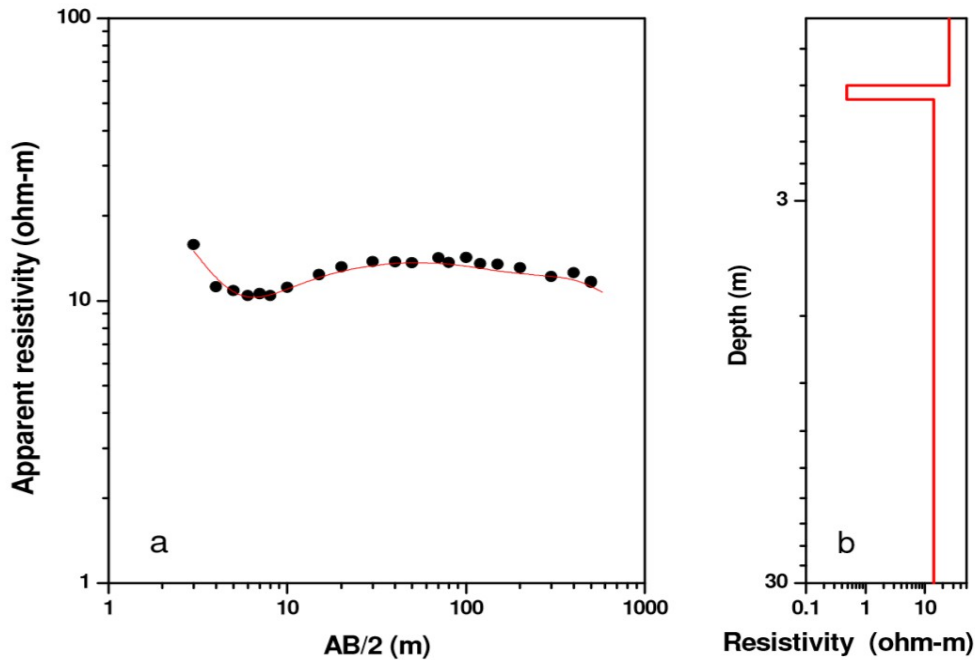


Εικόνα 13: Διάταξη ηλεκτροδίων σε μια μονοδιάστατη γεωφυσική διασκόπηση ([www.landviser.net](http://www.landviser.net)).

Στην μονοδιάστατη ηλεκτρική διασκόπηση, οι μετρήσεις γίνονται αυξάνοντας συνεχώς τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B) από τα ηλεκτρόδια τάσης (M, N) που βρίσκονται συνεχώς σταθερά στο κέντρο της διάταξης (Εικόνα 13). Με τον τρόπο αυτό μετράται η διαφορά της τάσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια (M, N), ενώ το βάθος των μετρήσεων αυξάνει, όσο αυξάνει η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B).

Στην συνέχεια υπολογίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho_a$ . Έπειτα, σχεδιάζεται ένα διάγραμμα με κατακόρυφο άξονα ( $\rho_a$ ) και οριζόντιο άξονα το μισό της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B). Από το διάγραμμα αυτό, υπολογίζεται το πάχος και οι αντιστάσεις των υπεδάφινων στρωμάτων (Εικόνα 14α), χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό.

Τέλος, μέσω του διαγράμματος βάθους- $\rho$ , μελετάται η μεταβολή της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης  $\rho$  σε συνάρτηση με το βάθος (Εικόνα 14b).



Εικόνα 14: a) διάγραμμα  $p$ -  $AB/2$  b) διάγραμμα  $p$ - βάθους (Cristina Pomposiello et al., 2009)

Η μέθοδος της μονοδιάστατης γεωφυσικής διασκόπησης έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια με επιτυχία, για την μελέτη των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, πριν την επινόηση των δισδιάστατων και τρισδιάστατων διασκοπήσεων. Η έρευνα φτάνει σε βάθος ορισμένων εκατοντάδων μέτρων και είναι κατάλληλη για εντοπισμό υπόγειου νερού και περιβαλλοντικών μελετών. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ορίων ανάμεσα σε αργιλώδη-αμμώδη στρώματα, περιοχών με πρόβλημα θαλάσσιας διείσδυσης και εντοπισμό επιμολυσμένων διασταλαζόντων. (Cristina Pomposiello et al., 2009)

## ● Δισδιάσταση ηλεκτρική διασκόπηση (2D)



*Εικόνα 15: Λήψη υπαίθριων μετρήσεων για την υλοποίηση ηλεκτρικής τομογραφίας.*

Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη στην τεχνολογία και η ανάπτυξη ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων, υπήρξε καθοριστική για τον τομέα της εφαρμοσμένης γεωφυσικής και την εφεύρεση νέων συστημάτων μέτρησης αντιστάσεων.

Τα νέα συστήματα αποτελούνται από έναν μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων, συνδεδεμένα μέσω ενός πολυκάναλου καλωδίου σε έναν κεντρικό υπολογιστή, τοποθετημένα κατά μήκος μιας γραμμής την ίδια στιγμή και εκτελείται αυτόματη μεταγωγή αυτών, έτσι ώστε να προκύψει η τελική ηλεκτρική τομογραφία από την περιοχή μελέτης.

Πρέπει να σημειωθεί, πως οι δισδιάστατες μέθοδοι ηλεκτρικής διασκόπησης είναι μία από τις πρακτικότερες εφαρμογές για την απόκτηση έγκυρων αποτελεσμάτων με σχετικά χαμηλό κόστος. Οι μετρήσεις γίνονται πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με τις μονοδιάστατες ηλεκτρικές διασκοπήσεις. Όσον αφορά το υπαίθριο στάδιο της εκτέλεσης των μετρήσεων, ο περισσότερος χρόνος απαιτείται για την τοποθέτηση των καλωδίων και των ηλεκτροδίων, ενώ οι μετρήσεις εκτελούνται αυτόματα με την κατάλληλη ρύθμιση που έχει προηγηθεί και αποθηκεύονται στην μνήμη του υπολογιστή. (Di. M.H.Loke, 1999)

Η δισδιάστατη ηλεκτρική διασκόπηση εφαρμόζεται στην γεωλογία, υδρογεωλογία και

περιβαλλοντική γεωλογία.

Πιο συγκεκριμένα εφαρμόζεται για τον εντοπισμό:

(Cristina Pomposiello et al.)

- Του βάθους και πάχους των γεωλογικών στρωμάτων.
- Πλευρικών μεταβολών και ανώμαλων γεωλογικών δομών.
- Θαμμένων απορριμμάτων σε πρώην χωματερές.
- Υπόγειας μετανάστευσης των διασταλαζόντων σε αποκατεστημένες χωματερές.
- Προβλημάτων θαλάσσιας διείσδυσης.

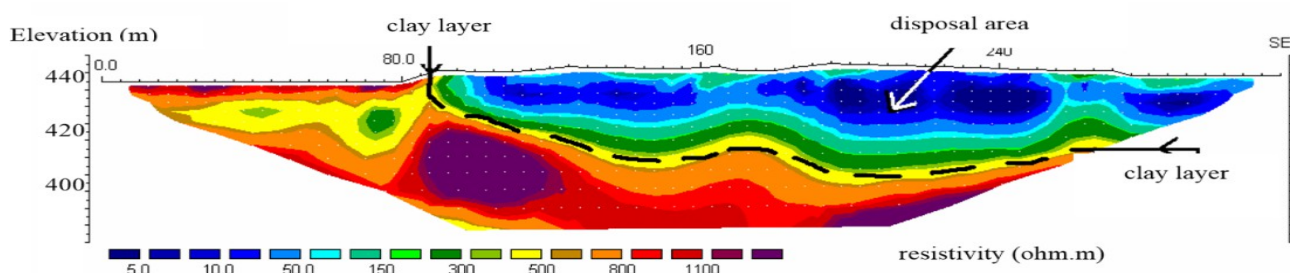
Αναλυτικά, η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας ακολουθεί τα εξής βήματα:

➔ Δημιουργία της ακολουθίας μετρήσεων με τη βοήθεια ενός υπολογιστή. Η ακολουθία των μετρήσεων εξαρτάται από τον αριθμό των ηλεκτροδίων που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και την μεταξύ τους απόσταση, την διάταξη των ηλεκτροδίων και το επιθυμητό βάθος της έρευνας.

➔ Στάδιο των μετρήσεων, αφού όλα τα ηλεκτρόδια έχουν τοποθετηθεί μέσα στο έδαφος σύμφωνα με την διάταξη επιλογής.

➔ Μεταφορά των δεδομένων από τις υπαίθριες μετρήσεις σε έναν υπολογιστή. Ακολουθεί η τοπογραφική διόρθωση των μετρήσεων, δηλαδή η απαλλαγή από τον "θόρυβο" που οφείλεται στην τοπογραφία της γύρω περιοχής και επηρεάζει τις μετρήσεις.

➔ Αντιστροφή των δεδομένων με την βοήθεια ενός ειδικού λογισμικού. Έπειτα από συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων, δίνονται οι προς ερμηνεία αντιστάσεις και τα βάθη μεταβολής αυτών (Εικόνα 17).

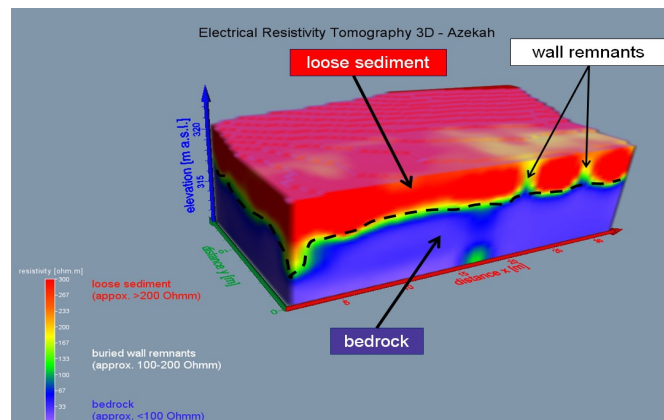


Εικόνα 16: Ηλεκτρική τομογραφία από χώρο απόθεσης απορριμμάτων. (από [www.geogasch.com](http://www.geogasch.com))



Κατά την εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας, υπάρχουν διάφορες διατάξεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διάταξη των ηλεκτροδίων είναι ένα θέμα που εξαρτάται από την φύση και την πολυπλοκότητα του προβλήματος προς επίλυση. Όμως, ακόμα ένας παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή της διάταξης των ηλεκτροδίων είναι το κατά πόσο διευκολύνεται ο γεωλόγος. Σε περιπτώσεις που του δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε δύο ή τρία είδη διατάξεων, επιλέγει πάντοτε εκείνο που του δίνει έγκυρα αποτελέσματα, με μεγάλη ταχύτητα, χωρίς να χρειάζεται η συνεχής μετακίνηση των ηλεκτροδίων και καλωδίων.

### ● Τρισδιάστατη ηλεκτρική διασκόπηση (3D)



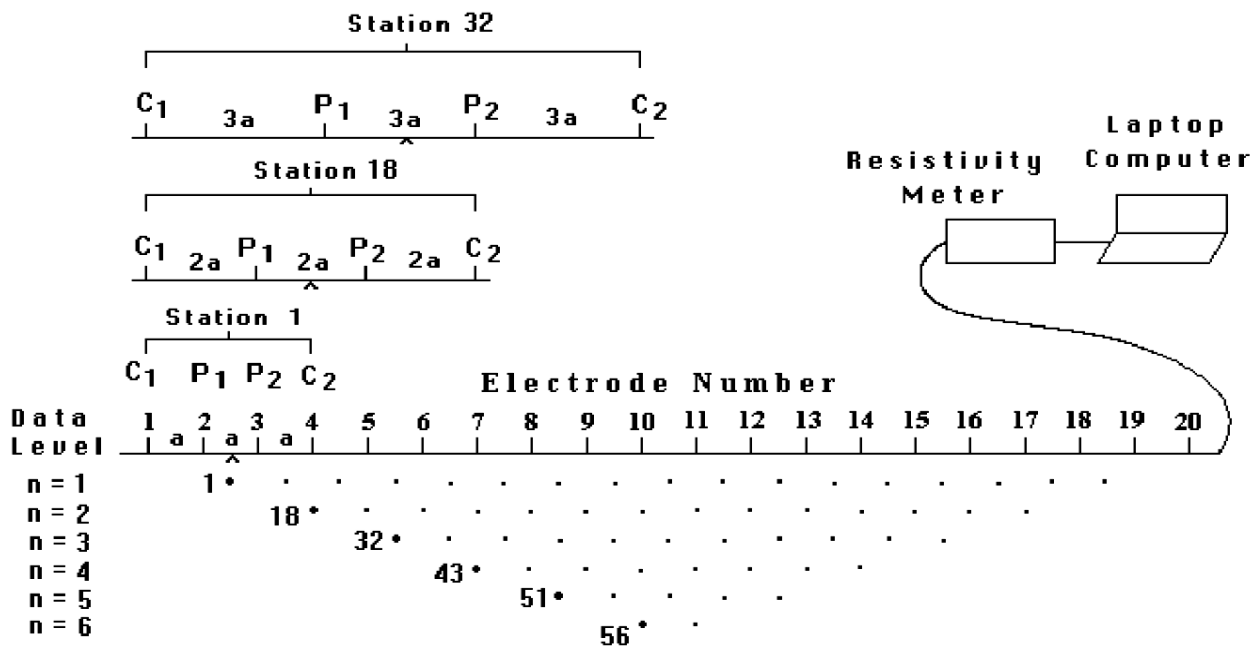
Εικόνα 17: Τρισδιάστατη απεικόνιση των αντιστατικών τιμών του υπεδάφους ([archaeology.tau.ac.il](http://archaeology.tau.ac.il))

Θεωρητικά, ένα τρισδιάστατο μοντέλο αντιστάσεων προς ερμηνεία θα είναι πολύ πιο ακριβές. Οι τρισδιάστατες γεωφυσικές διασκοπήσεις περιλαμβάνουν εκτέλεση αρκετών χιλιάδων μετρήσεων. Ωστόσο, το γεγονός πως το κόστος τους αυξάνει, κάνει τις διςδιάστατες ηλεκτρικές διασκοπήσεις την πιο οικονομική και πρακτικά εφαρμόσιμη λύση.

### 5.3.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

#### ◆ Διάταξη Wenner

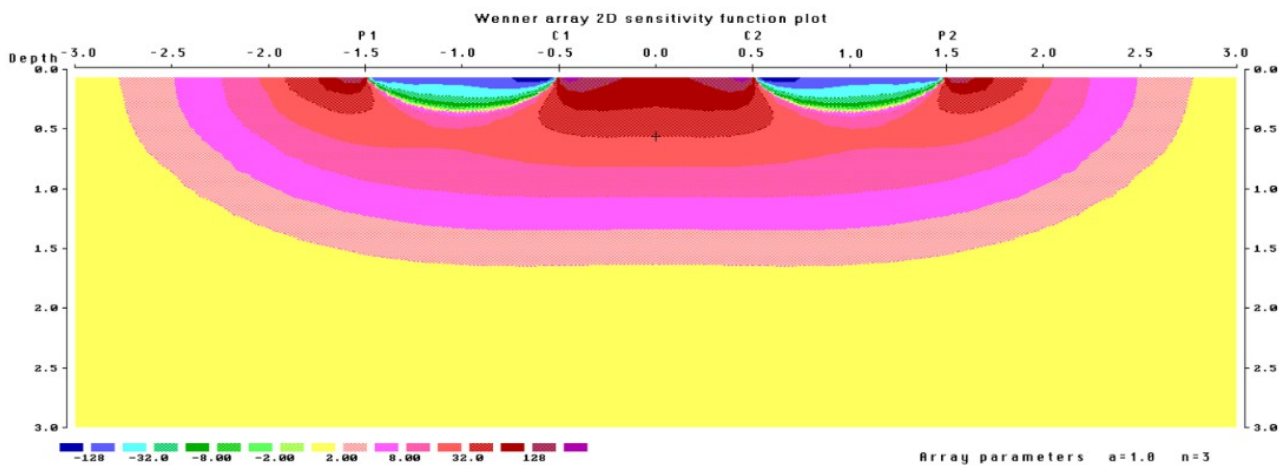
Η διάταξη Wenner χρησιμοποιήθηκε αρκετά κατά τη διάρκεια των πρώτων χρόνων εφαρμογής της δισδιάστατης ηλεκτρικής γεωφυσικής διασκόπησης. Διαδόθηκε από το τμήμα ερευνών του πανεπιστημίου Μπέρμιγγαμ.



Εικόνα 18: Ακολουθία των ηλεκτροδίων για την υλοποίηση μιας ψευδοτομής προς ερμηνεία (Dr. M.H.Loke, 1999)

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνεται μια διάταξη Wenner, η οποία αποτελείται από 20 ηλεκτρόδια. Για την δημιουργία μιας δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας, χρησιμοποιούνται κάθε φορά τέσσερα ηλεκτρόδια. Τα δύο ηλεκτρόδια τάσης (P1, P2) περικλείονται από τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (C1, C2). Αρχικά, χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρόδια 1, 2, 3, 4. Ως ηλεκτρόδια ρεύματος τα 1, 4 και ως ηλεκτρόδια τάσης τα 2, 3 με ίσες αποστάσεις  $a$  μεταξύ τους (Εικόνα 18). Στο επόμενο βήμα η διάταξη μετατοπίζεται πιο δεξιά κατά  $a$ . Σε αυτή την φάση, χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρόδια 2, 3, 4, 5 και αντίστοιχα ως ηλεκτρόδια ρεύματος τα 2, 5 και ως ηλεκτρόδια τάσης τα 3, 4 με ίσες

αποστάσεις  $a$  και πάλι μεταξύ τους. Η διαδικασία συνεχίζεται με απόσταση ηλεκτροδίων  $a$  μέχρι να χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρόδια 17, 18, 19, 20 της διάταξης. Σε μια διάταξη Wenner 20 ηλεκτροδίων, θα χρειαστούν 17 μετρήσεις με αποστάσεις ηλεκτροδίων  $a$  για να επιτευχθεί αυτό. Στη συνέχεια οι μετρήσεις θα ξεκινήσουν και πάλι από την αρχή της διάταξης, αυτή την φορά όμως με αποστάσεις ηλεκτροδίων  $2a$ . Αρχικά, θα χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρόδια 1, 3, 5, 7 και η διαδικασία θα συνεχιστεί, μέχρι οι μετρήσεις να φτάσουν στα ηλεκτρόδια 14, 16, 18, 20 της διάταξης. Στην διάταξη Wenner 20 ηλεκτροδίων θα χρειαστούν 14 μετρήσεις για να επιτευχθεί αυτό. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται για αποστάσεις ηλεκτροδίων  $3a$ ,  $4a$ ,  $5a$ ,  $6a$ . Γίνεται αντιληπτό, πως όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων τόσο λιγότερες μετρήσεις χρειάζονται. Η διάταξη Wenner, απαιτεί τον μικρότερο αριθμό πιθανών μετρήσεων σε σχέση με άλλες μεθόδους δισδιάστατης διασκόπησης. Με τον τρόπο αυτό σχεδιάζεται μια ψευδοτομή με την μέθοδο Wenner.

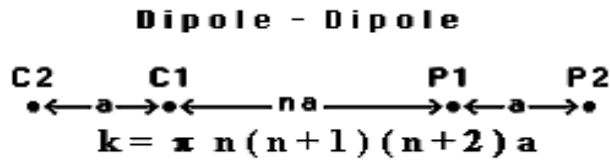


Εικόνα 19: Περιοχές ευαισθησίας σε μια μέτρηση με την διάταξη Wenner (Dr. M.H.Loke , 1999).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 19, παρουσιάζονται οριζόντια περιγράμματα κάτω από το κέντρο της διάταξης. Για τον λόγο αυτό, η διάταξη Wenner, είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό κατακόρυφων υπεδάφιων μεταβολών, ενώ δεν χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό οριζόντιων υπεδάφιων μεταβολών. Ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η μικρή οριζόντια κάλυψη καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων, ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται σε διατάξεις με μικρό αριθμό ηλεκτροδίων.

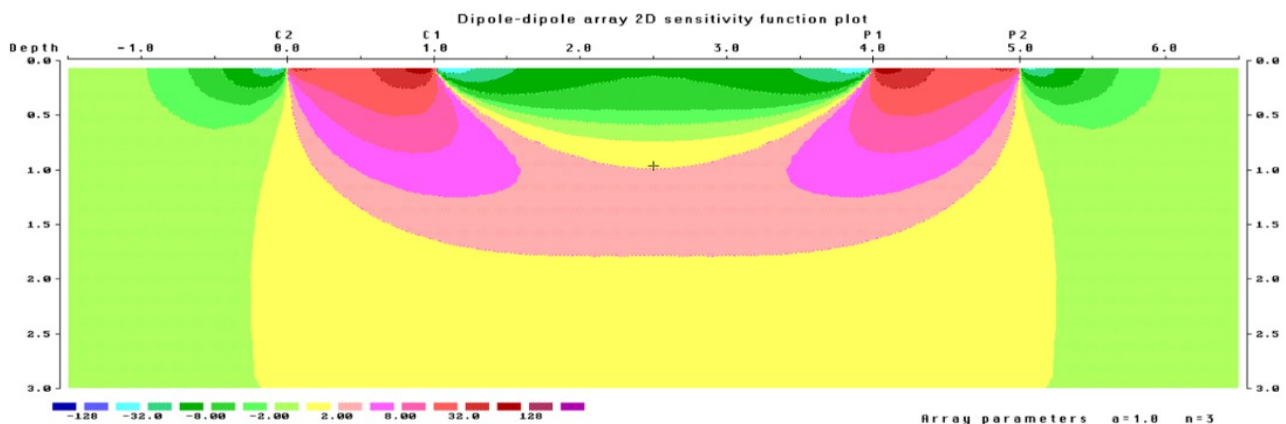
### ◆ Διάταξη διπόλου-διπόλου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διάταξη διπόλου-διπόλου. Χρησιμοποιούνται 4 ηλεκτρόδια, τα δύο από αυτά είναι ρεύματος και τα δύο άλλα είναι ηλεκτρόδια τάσης.



Εικόνα 20: Αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων στην διάταξη διπόλου- διπόλου.

Στην διάταξη αυτή τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (C1, C2) τοποθετούνται στην μια πλευρά της διάταξης, έχοντας απόσταση  $a$  μεταξύ τους. Αντίστοιχα, τα δύο ηλεκτρόδια τάσης (P1, P2) τοποθετούνται στην άλλη πλευρά της διάταξης, έχοντας μεταξύ τους παρόμοια απόσταση  $a$  όπως και τα ηλεκτρόδια ρεύματος (Εικόνα 20). Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψιν είναι η απόσταση που χωρίζει τα ηλεκτρόδια ρεύματος από τα ηλεκτρόδια τάσης, δηλαδή η απόσταση  $C1-P1 = n$ . Για την δημιουργία μιας ηλεκτρικής τομογραφίας με αυτή την διάταξη και χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων, αρχικά η απόσταση  $n$  θα είναι ίση με 1 έως ότου γίνουν οι μετρήσεις από όλα τα ηλεκτρόδια της διάταξης. Στην συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται για αποστάσεις  $n = 2, 3, 4, 5, 6$  προκειμένου να αυξηθεί το βάθος της διασκόπησης από το οποίο αντλούμε την πληροφορία.



Εικόνα 21: Περιοχές ευαισθησίας σε μια μέτρηση με την διάταξη διπόλου- διπόλου (Dr. M.H.Loke , 1999).

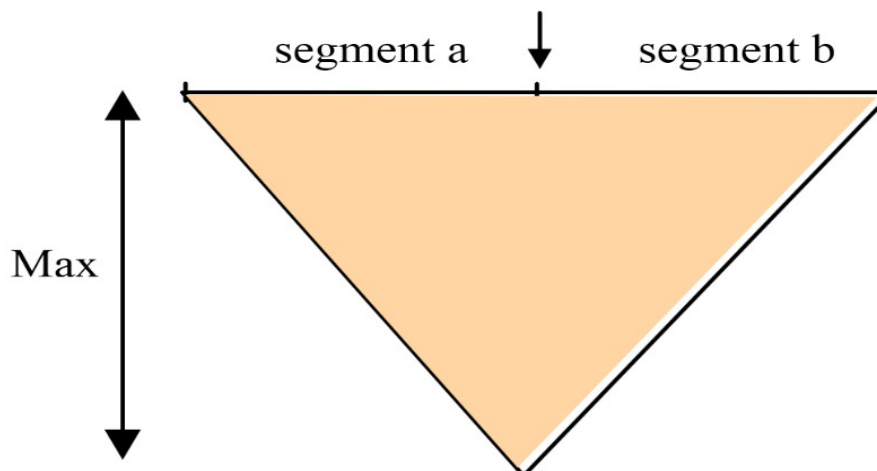
Στην Εικόνα 21, φαίνεται πως η διάταξη διπόλου -διπόλου παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε μεταβολές αντιστάσεων που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τα δύο ζευγάρια ηλεκτροδίων. Επίσης, τα περιγράμματα μεταβολών είναι κατακόρυφα, γεγονός που σημαίνει πως η διάταξη είναι ευαίσθητη στις οριζόντιες μεταβολές της αντίστασης, καθιστώντας την ικανή για τον εντοπισμό κατακόρυφων δομών, όπως είναι οι κοιλότητες των καρστ. Αντιθέτως, η διάταξη διπόλου- διπόλου είναι ακατάλληλη για την έρευνα οριζόντιων δομών, όπως είναι τα ιζηματογενή στρώματα. Η συγκεκριμένη διάταξη δίνει μικρότερο βάθος έρευνας σε σχέση με την διάταξη Wenner.

Το πιο σημαντικό μειονέκτημα της διάταξης διπόλου- διπόλου, είναι η πολύ μικρή ισχύς του σήματος όταν ο παράγοντας  $n$  παίρνει μεγάλες τιμές. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται κάνοντας ορισμένες τροποποιήσεις στην διάταξη. Προκειμένου να μην μειωθεί δραματικά η ισχύς του σήματος, ελαττώνουμε την απόσταση  $n$ , αυξάνοντας κατά την ίδια απόσταση τις αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος (C1, C2) και των ηλεκτροδίων τάσης (P1, P2) αντίστοιχα. (Dr. M.H.Loke , 1999)

### 5.3.4 ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Το βάθος έρευνας στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, είναι ένας παράγοντας που συνδέεται άμεσα και εξαρτάται από το μέγιστο μήκος του προφίλ διασκόπησης, δηλαδή την απόσταση του πρώτου από το τελευταίο ηλεκτρόδιο της διάταξης. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα ηλεκτρικό προφίλ που αποτελείται από 48 ηλεκτρόδια που απέχουν μεταξύ τους 5 μέτρα και το όργανο μέτρησης των αντιστάσεων βρίσκεται στο κέντρο, προκύπτει μία διάταξη με συνολικό μήκος 235 μέτρων.

Μετά από έρευνες που έχουν διεξαχθεί, έχει αποδειχθεί πως για τις διατάξεις Wenner, Schlumberger και διπόλου- διπόλου, το μέγιστο βάθος της έρευνας αντιστοιχεί στο 20% του συνολικού μήκους του καλωδίου (235 μέτρα στο παράδειγμα) και αντιστοιχεί στην κάτω γωνία του τριγώνου της ψευδοτομής (Εικόνα 22) για τα δύο ακραία ηλεκτρόδια της διάταξης (Bernard et al, IRIS Instruments).



Εικόνα 22: Βάθος διείσδυσης σε μια δισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία (Bernard et al, IRIS instruments).

### 5.3.5 Όργανο μέτρησης ηλεκτρικών αντιστάσεων

Η δημιουργία μιας ηλεκτρικής τομογραφίας, απαιτεί μεγάλο αριθμό μετρήσεων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η ισχύς και η τάση εξόδου του εξοπλισμού μέτρησης, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην μείωση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων που απαιτούνται για την απόκτηση δεδομένων της επιθυμητής ποιότητας και επομένως στην μείωση του χρόνου εργασίας στο ύπαιθρο.

Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια, έχουν κατασκευαστεί γεωφυσικά όργανα μέτρησης ηλεκτρικών αντιστάσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια και σε λιγότερο χρόνο.

Στην γεωφυσική έρευνα του Χ.Τ.Α Δερβενίου, για την μέτρηση των ηλεκτρικών αντιστάσεων του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL Pro (Εικόνα 23).



Εικόνα 23: Όργανο μέτρησης αντιστάσεων της εταιρείας SYSCAL Pro

**Το όργανο SYSCAL Pro έχει τα εξής χαρακτηριστικά:**

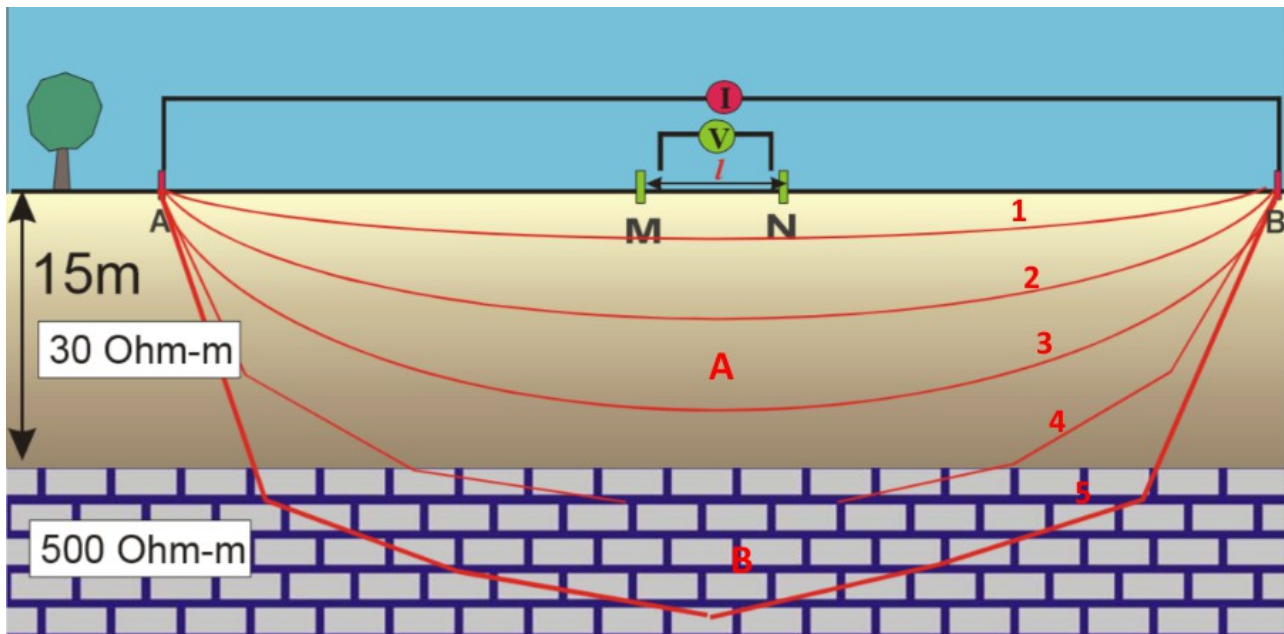
- ◆ Είναι πολυκάναλο όργανο μέτρησης των αντιστάσεων και αποτελείται από έναν πομπό, έναν δέκτη και ένα σύστημα αυτόματης μεταγωγής των ηλεκτροδίων καθώς και από μία μπαταρία τάσης 12 volt.
  
- ◆ Διαθέτει σύστημα αυτόματης μέτρησης που αποθηκεύεται στην εσωτερική μνήμη του οργάνου, αφού τεθούν από τον χρήστη οι οριακές τιμές.
  
- ◆ Χρησιμοποιεί καλώδιο πολλαπλού πυρήνα προκειμένου να συνδεθεί με όλα τα ηλεκτρόδια της διάταξης.
  
- ◆ Τέλος ένα σημαντικό πλεονέκτημα του οργάνου, είναι πως μπορεί να λειτουργήσει με καλώδια τοποθετημένα μέσα σε γεωτρήσεις.



### 5.3.6 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.3.2, τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προκύπτουν από μία γεωφυσική διασκόπηση, αφορούν την φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho_a$  και όχι την πραγματική αντίσταση του υπεδάφους.

Στην Εικόνα 24 διακρίνεται η διαδρομή που ακολουθεί το ρεύμα καθώς “φεύγει” από τα ηλεκτρόδια ρεύματος A, B. Το πρόβλημα που προκύπτει, είναι πως τα ηλεκτρόδια τάσης M, N στο κέντρο της διάταξης θα υπολογίζουν την τάση του ρεύματος όχι μόνο του κατώτερου στρώματος B στο οποίο φτάνει το ρεύμα (καμπύλη 5) όταν αυξηθεί αρκετά η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος μεταξύ τους, αλλά συνολικά των στρωμάτων A και B μέσα από τα οποία περνάει και μάλιστα θα επηρεάζεται περισσότερο από το στρώμα μέσα στο οποίο παραμένει πιο πολύ χρόνο κατά το πέρασμά του (καμπύλες 1-3).

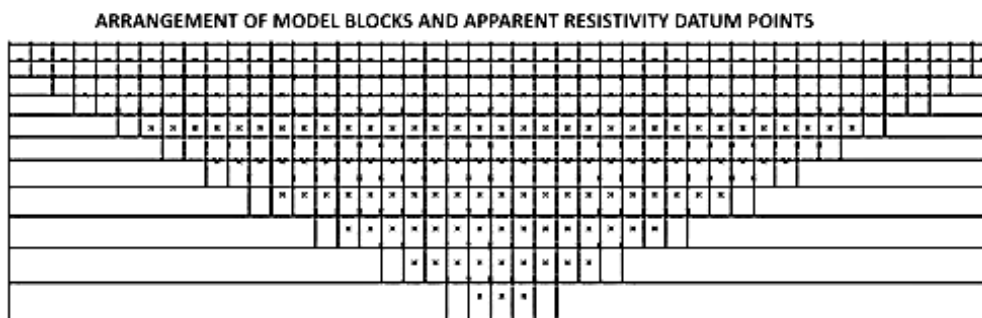


Εικόνα 24: Μέγιστο βάθος στο οποίο φτάνει το ρεύμα καθώς αυξάνει η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος A,B .

Έτσι λοιπόν, θεωρητικά όταν το ρεύμα φτάσει στο στρώμα του υποβάθρου (καμπύλη 5), το οποίο έχει αντιστατική τιμή 500 Ohm-m, θα πρέπει να εμφανίζεται η ίδια τιμή και στην οθόνη του γεωφυσικού οργάνου Syscal Pro. Αντιθέτως, η αντιστατική τιμή που θα εμφανιστεί στην οθόνη του οργάνου θα είναι γύρω στα 35 Ohm-m για τον απλό λόγο ότι επηρεάζεται πολύ περισσότερο από το στρώμα A το οποίο παρουσιάζει αντιστατική τιμή 30 Ohm-m. Καθώς όμως αυξάνεται η

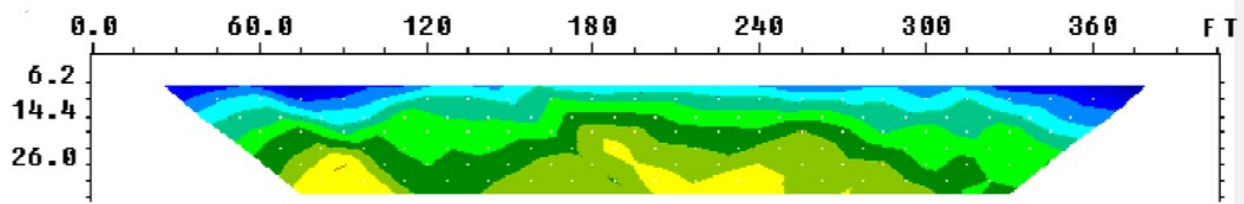
απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος A, B μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος στο οποίο φτάνει το κύμα ρεύματος, άρα τόσο μεγαλύτερες οι τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που θα υπολογίζονται. Επειδή λοιπόν, μέσω της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δεν καθίσταται δυνατή η γεωλογική ερμηνεία, είναι απαραίτητη η εφαρμογή της μεθόδου αντιστροφής των δεδομένων για να προκύψει μια σαφή εικόνα των υπεδάφινων γεωλογικών δομών.

Στην μελέτη του ΑΧΤΑ Δερβενίου για την αντιστροφή των μετρούμενων αντιστάσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DC2dPRO. Το λογισμικό αυτό χωρίζει τον υπεδάφιο χώρο της περιοχής ενδιαφέροντος σε μικρά ορθογώνια σχήματα (Εικόνα 25) και για κάθε ένα από αυτά υπολογίζει μια φαινόμενη αντιστατική τιμή (Kim J-H, 2010). Στην συνέχεια, το πρόγραμμα αφού λάβει υπόψιν την διάταξη των ηλεκτροδίων και τις τιμές των φαινόμενων ηλεκτρικών αντιστάσεων που μετρήθηκαν, αυτόματα υπολογίζει και θέτει στο κάθε κελί που χώρισε στην αρχή την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

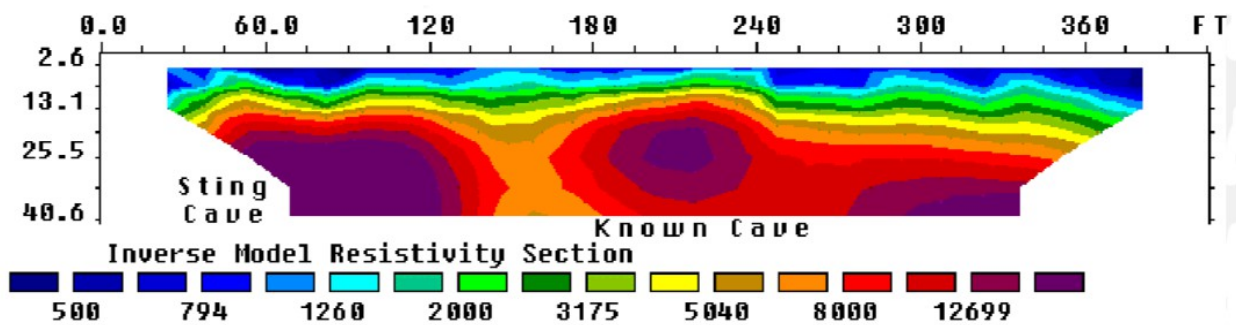


Εικόνα 25: Διαίρεση του υπεδάφους σε ορθογώνια τεμάχια από το λογισμικό DC2dPRO (Dr. M.H.Loke, 1999).

Ωστόσο, η μέθοδος της αντιστροφής είναι μια ιδιαίτερα μαθηματικά πολύπλοκη διαδικασία και δεν είναι πλήρως κατανοητή από όλους τους επαγγελματίες που εκτελούν ηλεκτρικές τομογραφίες. Για τον λόγο αυτό, το πρόγραμμα DC2dPRO στις περισσότερες περιπτώσεις, λειτουργεί αυτόματα με ελάχιστη εισαγωγή δεδομένων από τον χρήστη κάνοντας την μέθοδο της αντιστροφής να φαίνεται σχετικά απλή.



Εικόνα 26: Ψευδοτομή φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Dr. M.H.Loke , 1999).

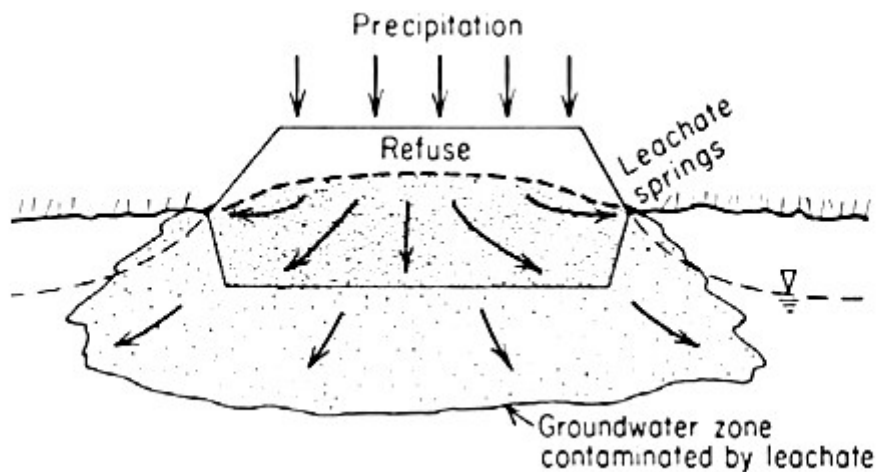


Εικόνα 27: Ψευδοτομή πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων μετά από αντιστροφή των δεδομένων του μοντέλου στην Εικόνα 26 (Dr. M.H.Loke, 1999).

## 6 ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υπόγεια αποθέματα νερού αποτελούν μια πολύ σημαντική πηγή για τον άνθρωπο. Ωστόσο, χιλιάδες χωματερές που βρίσκονται πάνω από υπόγειους υδροφορείς λειτουργούν χωρίς προδιαγραφές και χωρίς καμία μέριμνα για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγιεινή. Τα διασταλλάζοντα που δημιουργούνται λόγω του νερού της βροχής που διεισδύει στον όγκο απορριμμάτων της χωματεράς αποτελούν την μεγαλύτερη απειλή τόσο για το υπόγειο αλλά και για το επιφανειακό νερό (Εικόνα 28). Η ποσότητα των διασταλλαζόντων εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που κατεισδύει στον κύριο όγκο της χωματεράς αλλά και από τα εδαφικά υλικά στα οποία είναι τοποθετημένη η χωματερή και επιτρέπουν την κίνηση αυτών.

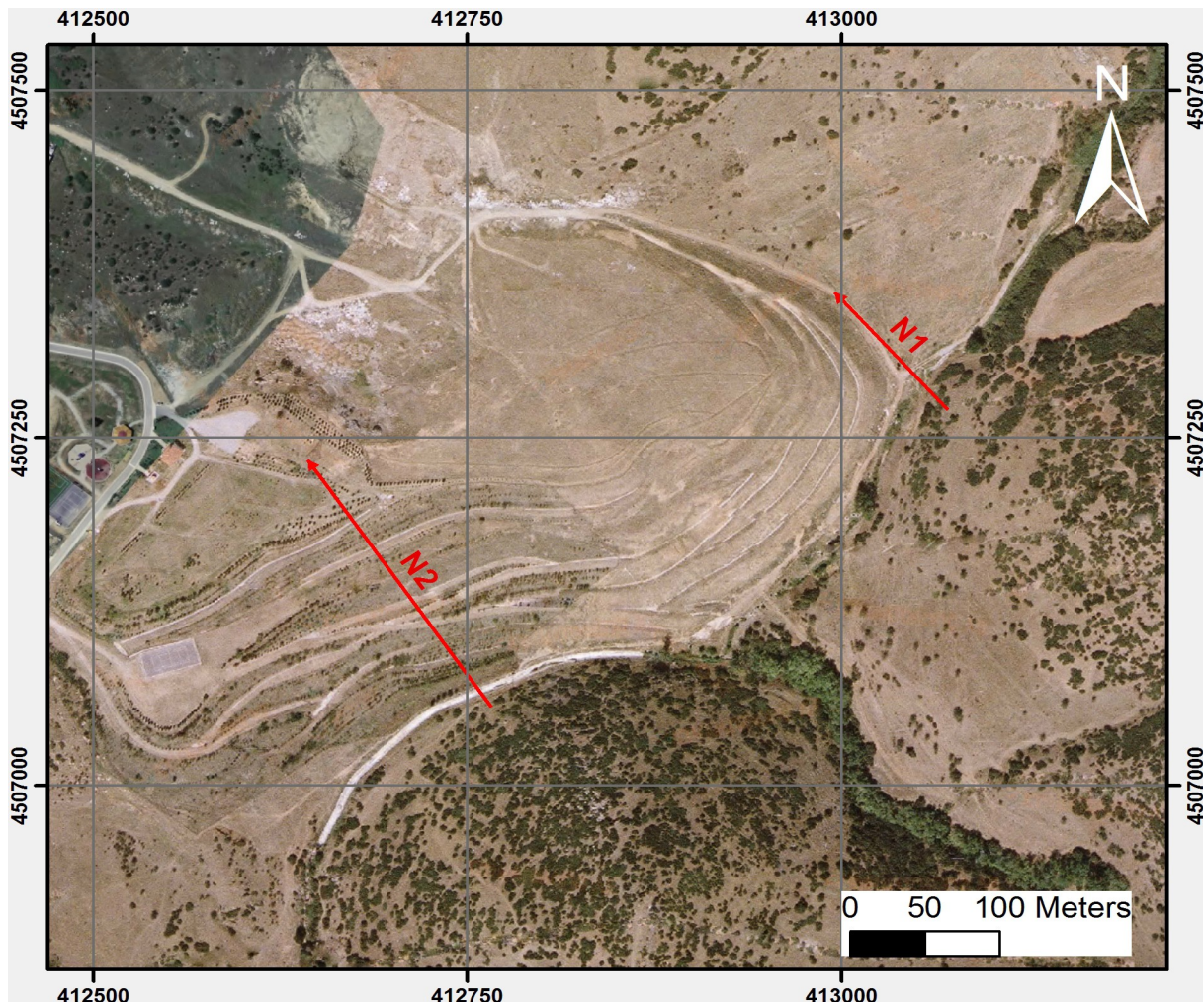


Εικόνα 28: Διασταλλάζοντα χωματεράς που επηρεάζουν το υπόγειο νερό και εκφορτίζουν και στην επιφάνεια (Muhammad Syukri, 2013).

Παρόμοιο πρόβλημα αντιμετωπίζεται και στον Α.Χ.Τ.Α Δερβενίου, καθώς εντοπίζεται συνεχής εκροή διασταλλαζόντων. Χαρακτηριστικό στοιχείο των διασταλλαζόντων είναι ότι παρουσιάζουν πολύ υψηλή αγωγιμότητα, κάνοντας τις ηλεκτρικές μεθόδους την ιδανικότερη μέθοδο για την μελέτη χώρων απόθεσης απορριμμάτων, αφού μπορούν πολύ εύκολα να εντοπίσουν την ύπαρξη και την διεύθυνση κίνησης αυτών.

## 6.2 ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την μελέτη του Α.Χ.Τ.Α Δερβενίου και για να επιτευχθεί ο στόχος της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, κατά το στάδιο της υπαίθριας εργασίας εκτελέστηκαν δύο ηλεκτρικές τομογραφίες N1 και N2 με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Ηλεκτρικές τομογραφίες N1 και N2 στον κύριο χώρο μελέτης.

Η διάταξη των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο ηλεκτρικές τομογραφίες είναι η διπόλου-διπόλου με 24 ηλεκτρόδια. Όσον αφορά τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων, στην τομή N1 τα ηλεκτρόδια διατάχθηκαν έχοντας απόσταση 5 μέτρων μεταξύ τους, ενώ στην τομή N2 τα ηλεκτρόδια ισαπέχον μεταξύ τους 10 μέτρα. Μπορεί να γίνει αντιληπτό, πως η τομή N2 λόγω

του μεγαλύτερου μήκους της, σύμφωνα και με το υποκεφάλαιο 5.3.4 φτάνει σε μεγαλύτερα βάθη έρευνας.

Η επιλογή των θέσεων στις οποίες εκτελέστηκαν οι γεωφυσικές μετρήσεις δεν ήταν καθόλου τυχαία, αντιθέτως έλαβαν μέρος σε δύο περιοχές μεγάλου ενδιαφέροντος.

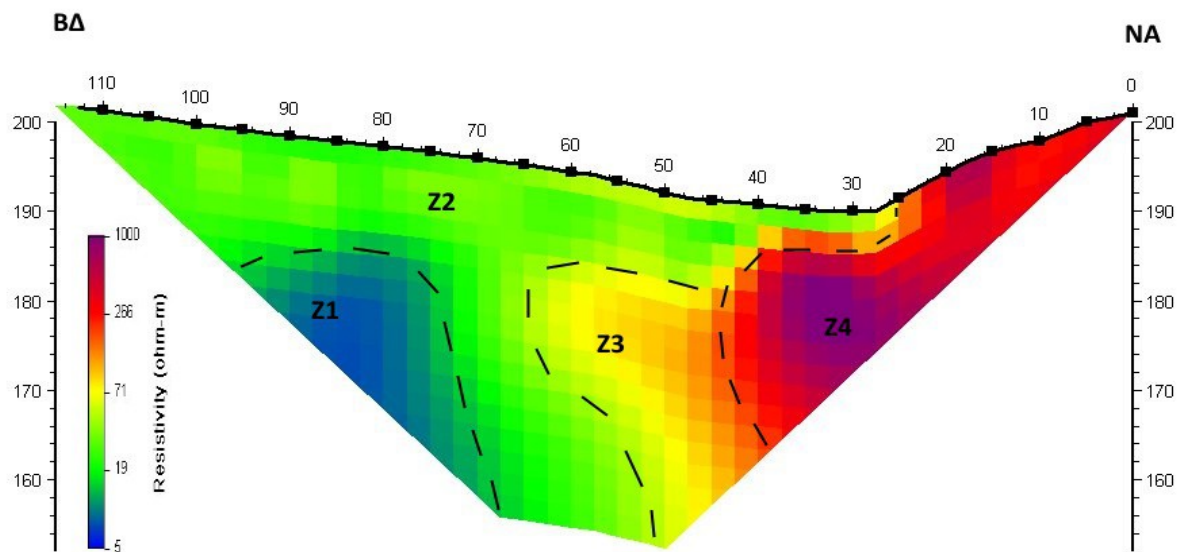
Η τομή N1 εκτελέστηκε στο ΒΑ τμήμα του Α.Χ.Τ.Α και ο κύριος στόχος της ήταν ο εντοπισμός του υδροφόρου σχηματισμού που τροφοδοτεί υπόγεια τον χώρο μελέτης. Γίνεται η υπόθεση πως αυτός ο υδροφόρος σχηματισμός, διέρχεται μέσα από τον όγκο των απορριμμάτων και αφού επιμολυνθεί εκφορτίζεται στην συνέχεια μέσω του αγωγού (Εικόνα 6) με την μορφή διασταλαζόντων.

Από την άλλη, ο στόχος της τομής N2 ήταν πολύ διαφορετικός. Στην Εικόνα 29 γίνεται φανερό πως η τομή αυτή διασχίζει τον κύριο χώρο όπου γινόταν η ταφή των απορριμμάτων. Έτσι λοιπόν, κύριος στόχος της N2 ήταν να δώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την δομή του τεράστιου όγκου απορριμμάτων που βρίσκονται πλέον θαμμένα κάτω από το υλικό επικάλυψης.

Τέλος, έγινε η επεξεργασία των δεδομένων και από τις δύο γεωηλεκτρικές τομές, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα DC2dPRO. Παρακάτω, παρουσιάζεται η τελική ερμηνεία αυτών καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη συνολικά.

## 7 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Η αντιστροφή των γεωηλεκτρικών μετρήσεων με το πρόγραμμα DC2PRO για την τομή N1, η οποία βρίσκεται στο όριο της πρώην χωματερής όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29 έδωσε το παρακάτω προφίλ. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τομή διασχίζει κάθετα το ρέμα της Ευκαρπίας και καταλήγει στα πρανή των λόφων που βρίσκονται στην απότομη όχθη του ρέματος, κάνοντας την ερμηνεία της τομής ιδιαίτερα σημαντική.

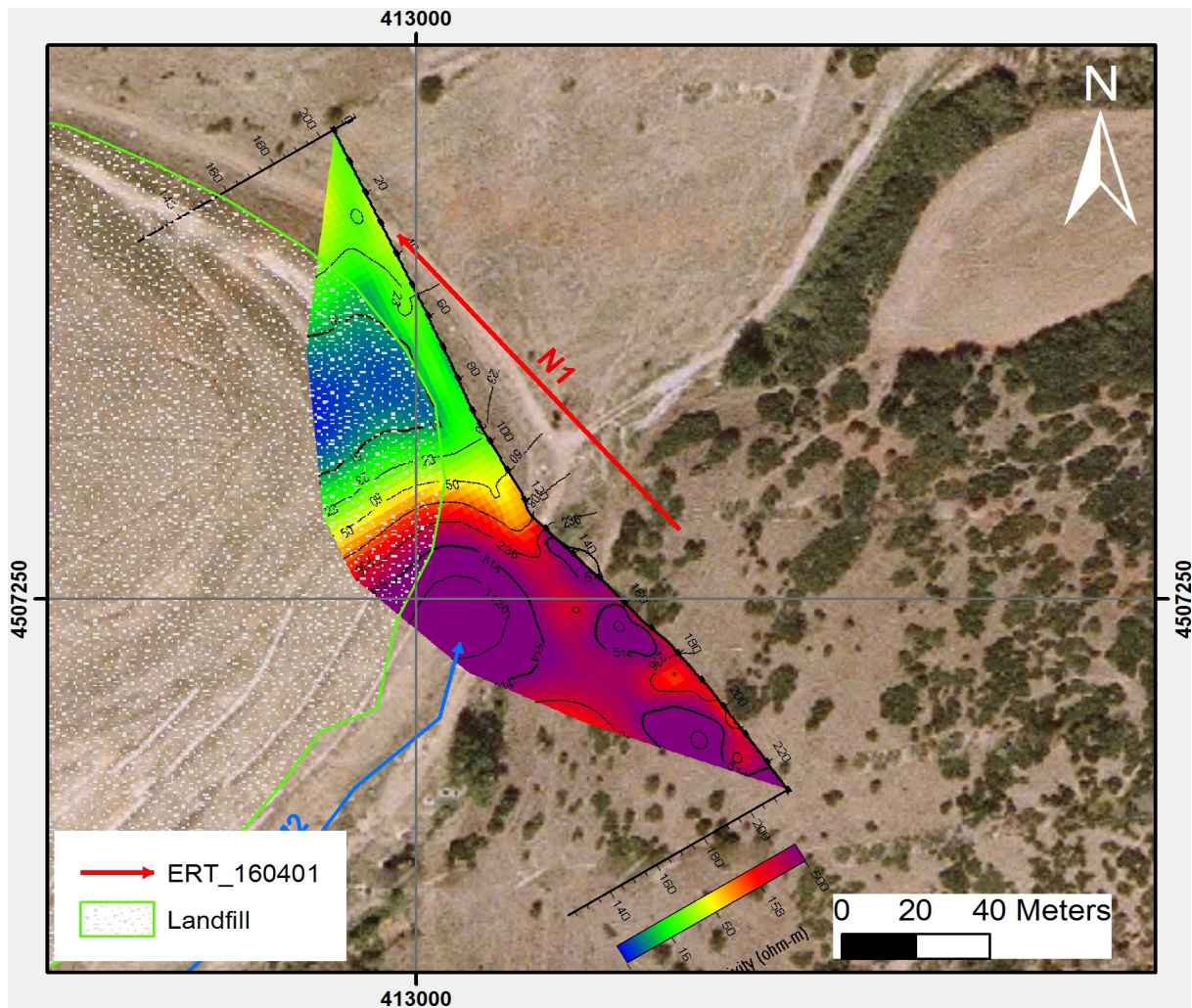


Εικόνα 30: Γεωηλεκτρική τομή N1 μετά την αντιστροφή με το πρόγραμμα DC2dPRO.

Σύμφωνα με την γεωηλεκτρική τομή στην Εικόνα 30, διακρίνονται τέσσερις ζώνες (Z1, Z2, Z3, Z4) με διαφορετικές αντιστατικές τιμές. Από τα 30 μέτρα έως και τα 120 μέτρα κυριαρχεί η ζώνη Z2 με σχετικά χαμηλές αντιστατικές τιμές περίπου στα 12-17 ohm-m φτάνοντας σε μεγάλα βάθη. Στα 40 μέτρα της τομής διακρίνεται η απότομη πλευρική αλλαγή από τους σχηματισμούς της Z2 στους σχηματισμούς της Z4 οι οποίοι έχουν υψηλές αντιστατικές τιμές και αντιστοιχούν στο υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, δηλαδή στον γνεύσιο. Η απότομη πλευρική μετάβαση από την Z2 στην Z4 πιθανότατα οφείλεται στην ύπαρξη ενός γεωλογικού ρήγματος το οποίο έχει φέρει σε επαφή δύο διαφορετικούς σχηματισμούς. Η Z3 μπορεί να χαρακτηριστεί ως η μεταβατική ζώνη μεταξύ της Z2 και Z4 με ενδιάμεσες αντιστατικές τιμές 55-70 ohm-m, η οποία αντιστοιχεί σε έναν αποσπασμένο γνεύσιο έντονα επηρεασμένο από την δράση του ρήγματος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον

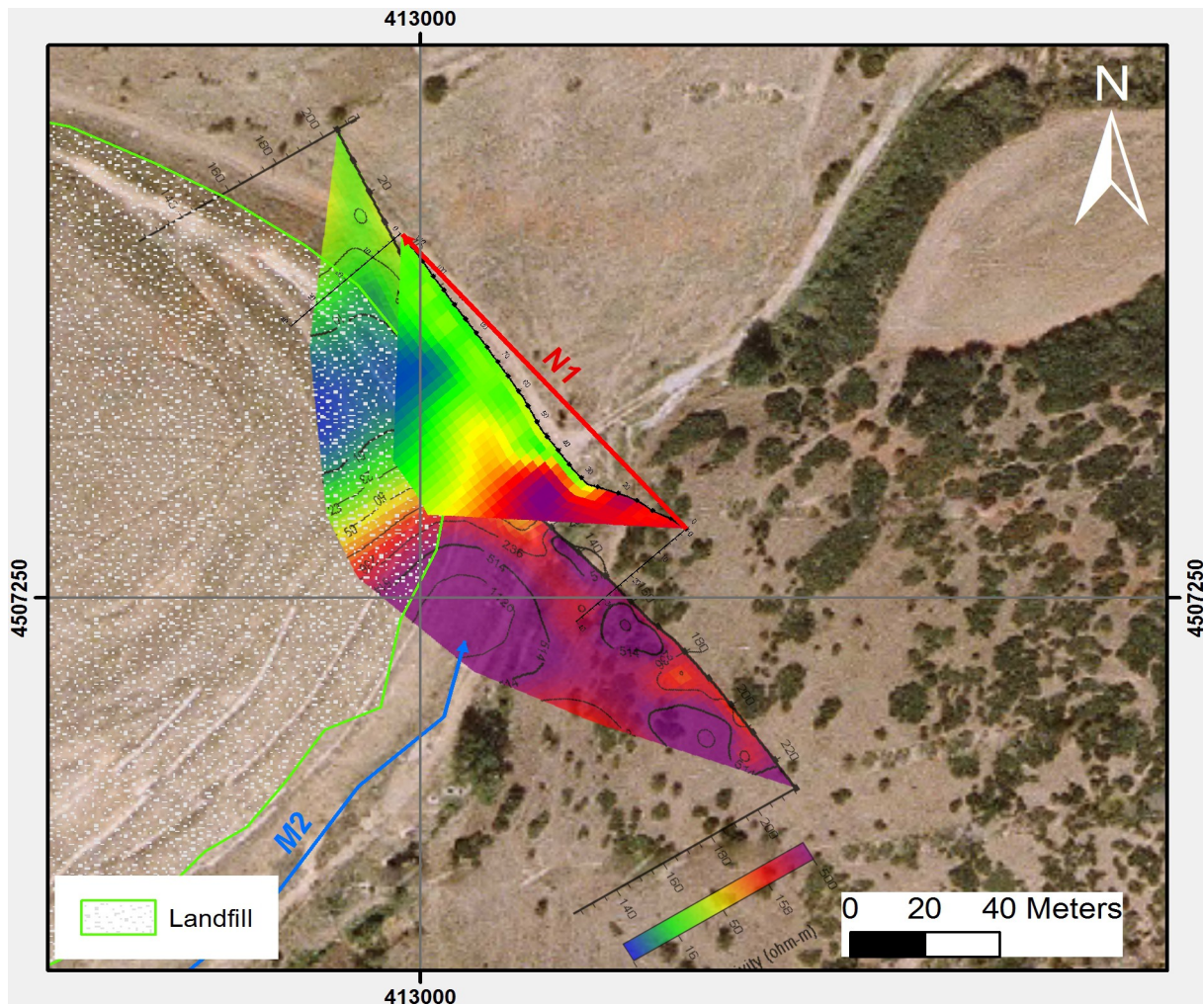
στην ερμηνεία της τομής παρουσιάζει η Ζ1 η οποία έχει ιδιαίτερα χαμηλές αντιστατικές τιμές. Η Ζ1 διακρίνεται από τα 75-90 μέτρα της τομής και σε βάθος περίπου 12 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ αποτελείται από σχηματισμούς με αντιστάσεις 5-10 ohm-m.

Κατά την διάρκεια της μελέτης του Α.Χ.Τ.Α Δερβενίου από τον τομέα γεωφυσικής του Α.Π.Θ είχε γίνει μια γεωηλεκτρική τομή EPT9 στην ίδια θέση με την Ν1, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω και συμφωνούν απολύτως με τα στοιχεία της τομής Ν1.



Εικόνα 31: Γεωηλεκτρική τομή EPT9 μετά από την αντιστροφή των γεωφυσικών δεδομένων.

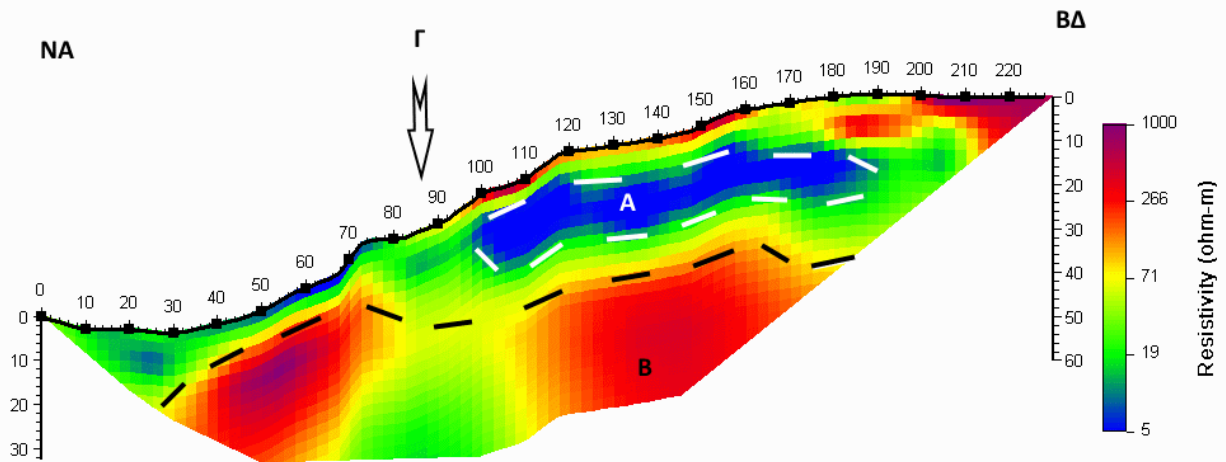




Εικόνα 32: Συνδυασμός των γεωηλεκτρικών τομών EPT9 και N1.

Η Z1 χαρακτηρίζεται ως μια ζώνη με πολύ χαμηλές αντιστατικές τιμές και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εκεί εντοπίζεται το σημείο όπου ο κύριος όγκος των απορριμμάτων του Α.Χ.Τ.Α εμπλουτίζεται από υπόγειο νερό, το οποίο προέρχεται από τον υδροφόρο σχηματισμό ο οποίος βρίσκεται στην βορειοανατολική πλευρά του.

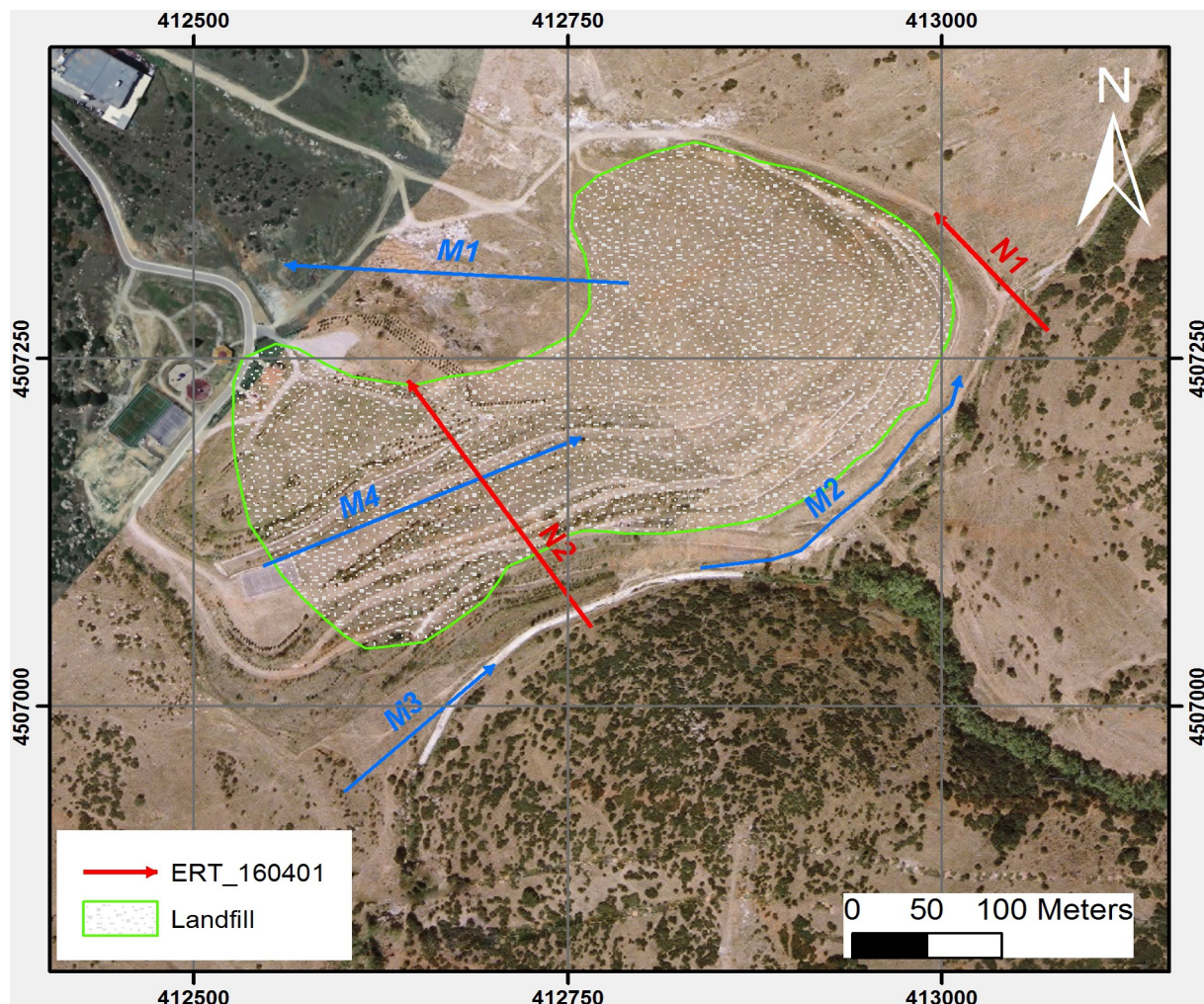
Αντίστοιχα, η γεωηλεκτρική τομή N2 προς ερμηνεία που προέκυψε μετά από αντιστροφή των γεωφυσικών μετρήσεων παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 33: Γεωηλεκτρική τομή N2 μετά από αντιστροφή των γεωφυσικών δεδομένων.

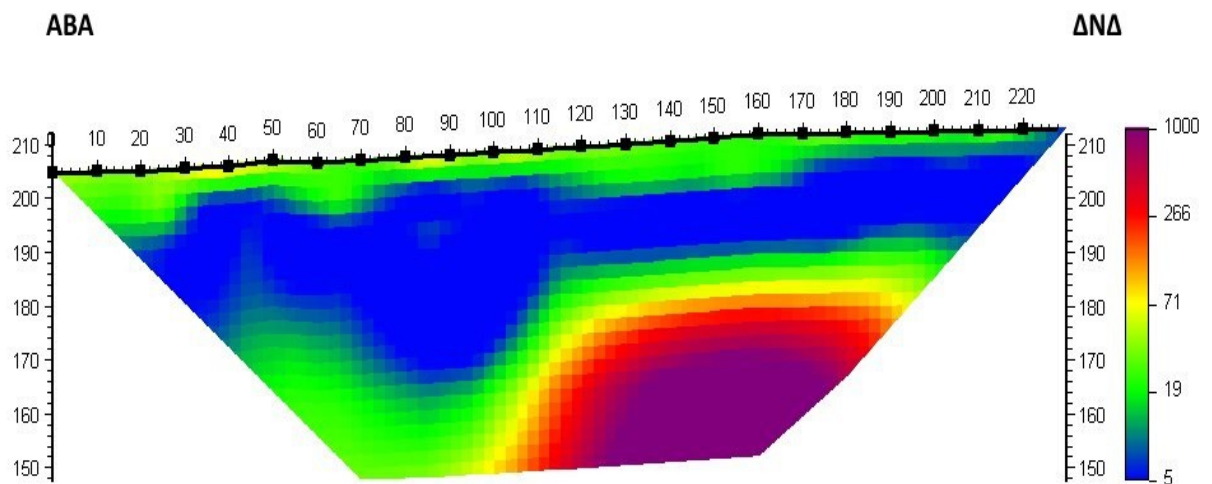
Από τα 80-220 μέτρα της τομής (Εικόνα 33) διακρίνονται υλικά με μέτριες αντιστάσεις 19-25 ohm-m, οι οποίες αντιστοιχούν στα υλικά επίχωσης της πρώην χωματερής και έχουν πάχος περίπου 5 μέτρα. Στα 100-190 μέτρα και από το βάθος των 10-20 μέτρων υπάρχει ένα στρώμα A με πολύ χαμηλές αντιστατικές τιμές που φτάνουν μέχρι τα 5 ohm-m. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29 η τομή N2 περνάει πάνω από τον κύριο χώρο στον οποίο γινόταν η ρίψη των απορριμμάτων πριν το πέρας λειτουργίας της χωματερής. Επομένως, το στρώμα των χαμηλών αντιστάσεων A που εντοπίζεται αντιστοιχεί στον όγκο των απορριμμάτων που βρίσκονται πλέον κάτω από τα υλικά επίχωσης. Πρέπει να σημειωθεί επίσης, πως ο αργιλικός φραγμός τοποθετήθηκε στα όρια με τον όγκο των απορριμμάτων και όχι μέχρι την επιφάνεια των υλικών επίχωσης. Έτσι, λόγω του αργιλικού υλικού, οι αντιστατικές τιμές που περιβάλλουν το στρώμα A είναι αρκετά πιο χαμηλές από εκείνες των υπερκείμενων υλικών επίχωσης. Με την μαύρη διακεκομμένη γραμμή διακρίνεται η επαφή του κύριου όγκου των απορριμμάτων με το υπόβαθρο B. Ωστόσο, στο σημείο Γ της τομής στα 85 μέτρα φαίνεται να παρεμβάλλεται στο υπόβαθρο μία ζώνη με χαμηλότερες αντιστάσεις, η οποία αντιστοιχεί σε μία ζώνη διάρρηξης. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ερμηνεία της τομής παρουσιάζει το επιφανειακό τμήμα από τα 50-70 μέτρα της γεωηλεκτρικής τομής. Στο σημείο αυτό, εντοπίζονται χαμηλές αντιστατικές τιμές 5-10 ohm-m και συνδέονται

άμεσα με το στρώμα Α που βρίσκεται πιο δίπλα. Ο όγκος των απορριμμάτων (στρώμα Α) δημιουργεί στραγγίδια, τα οποία λόγω της απότομης μορφολογικής κλίσης κινούνται προς τα ΝΑ. Ωστόσο, μόλις φτάσουν στα 70 μέτρα της γεωηλεκτρικής τομής, συναντούν τον αδιαπέρατο σχηματισμό του υποβάθρου με αποτέλεσμα να μην μπορούν να κινηθούν άλλο προς τα κάτω, αλλά αντιθέτως αναγκάζονται να κινηθούν προς την επιφάνεια γεγονός που εξηγεί τις πολύ χαμηλές αντιστατικές τιμές στο σημείο εκείνο.



Εικόνα 34: Γεωηλεκτρικές τομές N1, N2 και M1, M2, M3, M4.

Στην Εικόνα 34 φαίνονται οι τομές N1 και N2 που εκτελέστηκαν για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, καθώς και οι τομές M1, M2, M3 και M4 που εκτελέστηκαν από τον τομέα γεωφυσικής του Α.Π.Θ για την μελέτη του χώρου. Γίνεται αντιληπτό, πως η τομή M4 διασχίζει συνεχώς τον κύριο χώρο ταφής απορριμμάτων και τέμνει κάθετα την τομή N2 που ερμηνεύτηκε.



Εικόνα 35: Γεωηλεκτρική τομή M4.

Η τομή M4 (Εικόνα 35) παρουσιάζει σε όλη της την έκταση ένα στρώμα πολύ χαμηλής αντίστασης (μπλε χρώμα) 5-10 ohm-m που αντιστοιχεί στον κύριο όγκο των απορριμμάτων. Τέλος, εφόσον τέμνει κάθετα την τομή N2 επιβεβαιώνει την θεώρηση του στρώματος Α της τομής N2 αντίστοιχα ως το στρώμα των απορριμμάτων.

## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

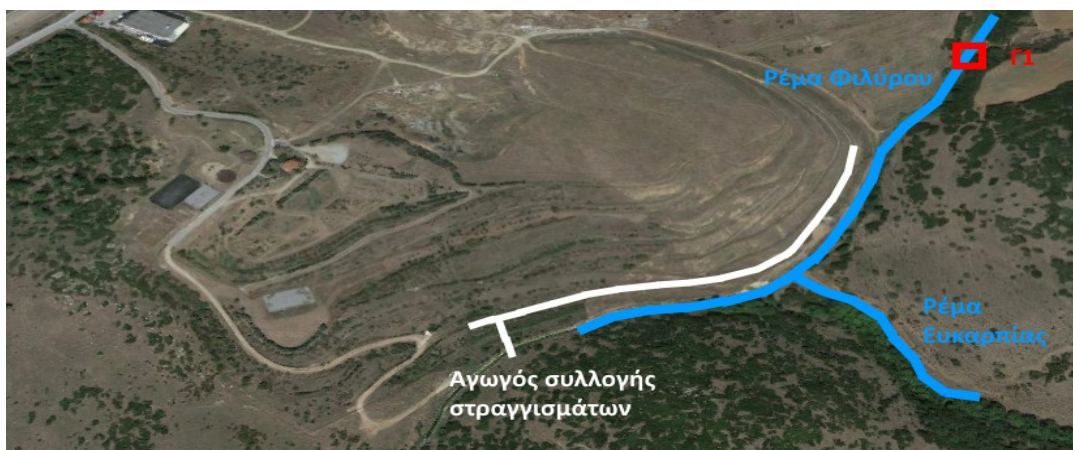
Αρχικά, θεωρήθηκε αδύνατη η δημιουργία διασταλαζόντων μέσα στον χώρο της πρώην χωματερής από κατακρημνίσματα, εφόσον τα έργα αποκατάστασης περιέλαβαν τελική επικάλυψη του χώρου με αργιλικό αδιαπέρατο φραγμό. Επομένως δεν ήταν δυνατή η κατείσδυση του βρόχινου νερού μέσα στον όγκο των απορριμμάτων. Στη συνέχεια, έγινε η υπόθεση ύπαρξης ενός υδροφόρου σχηματισμού στην βορειοανατολική πλευρά του Χ.Τ.Α, ο οποίος τον τροφοδοτεί υπόγεια και δημιουργεί την ποσότητα των στραγγισμάτων που εκφορτίζουν στο ρέμα της Ευκαρπίας.

Πράγματι, η ερμηνεία της γεωηλεκτρικής τομής N1 (Εικόνα 30) επαληθεύει την υπόθεση για τον υπόγειο εμπλουτισμό της πρώην χωματερής από υδροφόρο σχηματισμό που βρίσκεται στα ΒΑ αυτής. Παράλληλα, η ερμηνεία της γεωηλεκτρικής τομής N2 έδειξε πολύ καθαρά την κατανομή του όγκου των απορριμμάτων που βρίσκονται κάτω από τον αποκατεστημένο πλέον χώρο, καθώς και την ύπαρξη και διεύθυνση κίνησης των διασταλαζόντων τα οποία μάλιστα εντοπίζονται και επιφανειακά. Παράλληλα, και οι δύο γεωηλεκτρικές τομές έδειξαν την ύπαρξη ζωνών διάρρηξης (ρήγματα) ικανών να διευκολύνουν την κίνηση του υπόγειου νερού μέσα από τον Χ.Τ.Α.

Τελικό συμπέρασμα, ο Α.Χ.Τ.Α Δερβενίου τροφοδοτείται υπόγεια από υδροφόρο σχηματισμό ο οποίος εντοπίζεται στην ΒΑ πλευρά. Στην συνέχεια, αφού το νερό εισέλθει μέσα στον χώρο της πρώην χωματερής περνάει διαμέσου των ρηγμάτων από τον χώρο όπου βρίσκεται ο κύριος όγκος των απορριμμάτων, επιμολύνεται δημιουργώντας τα διασταλλάζοντα τα οποία συλλέγονται από τον αγωγό και στην συνέχεια εκφορτίζονται στο ρέμα της Ευκαρπίας.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτείνονται δύο λύσεις:

- Λειτουργία της γεώτρησης Γ1 στην ΒΑ πλευρά του Χ.Τ.Α (Εικόνα 36), με σκοπό την άντληση και μείωση της παροχής του νερού που εμπλουτίζει την πρώην χωματερή, έτσι ώστε να μειωθεί η ποσότητα των διασταλαζόντων που εκφορτίζονται.



Εικόνα 36: Γεώτρηση Γ1 στην βορειοανατολική πλευρά του Χ.Τ.Α

- Κατασκευή ενός υπόγειου αδιαπέρατου φραγμού στο σημείο όπου διέρχεται ο υδροφόρος σχηματισμός μέσα στον Χ.Τ.Α, με σκοπό την αλλαγή της πορείας του νερού, έτσι ώστε να καταλήγει απευθείας μέσα στο ρέμα Φιλύρου χωρίς να διέρχεται μέσα από τον Χ.Τ.Α Δερβενίου.

Παράλληλα, θα πρέπει να γίνεται τακτική διαχρονική παρακολούθηση των επιφανειακών και υπόγειων ροών στον χώρο, για την αποφυγή πιθανών προβλημάτων στην ευρύτερη περιοχή.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γαβριλάκης Κ. (2000), Απορρίματα: Προβλήματα και η αντιμετώπισή τους, Σελ. 5, 19, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ.
- Βαργεμέζης Γ. , Τσούρλος Π. (2013), Γεωφυσική έρευνα στον χώρο του αναπλασμένου χώρου ταφής απορριμμάτων Δερβενίου.
- Μουντράκης Δ. (2010), *Γεωλογία και γεωτεκτονικής εξέλιξη της Ελλάδος*, Σελ. 101-102, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις University Studio Press.
- Παπαζάχος Β. (1996), *Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική*, Σελ. 24, 145, 197, 237-238, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS), What is Geophysics. , <http://www.eegs.org/what-is-geophysics->
- Reed J. (2015), Schlumberger: The story of two brothers., <http://oilpro.com/post/669/schlumberger-the-story-of-2-brothers>
- Dr. M. H. Loke (2000), Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.
- Cristina Pomposiello et al. , (2009), Application of geophysical methods to waste disposal studies, Argentina.
- Joseph T. Zume et al, (2006) Subsurface imaging of an abandoned solid waste landfill site in Norman, Ground Water Monitoring & Remediation 26, no. 2, pages 62–69
- Omolayo D. , Fatoba Tope, (2014), 2D electrical imaging surveys for leachate plume migration at an old dump site in Ibadan South Western Nigeria: A case study.
- Kim J-H, (2010). Dc2Dpro - 2D Inversion of ERT data. User's Manual, KIGAM, KOREA