

**ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ
« ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ- ΚΡΗΠΙΣ»**



ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ
Έργο ΠΕΦΥΚΑ: Περιβάλλον και Φυσικές Καταστροφές:
Νέες μέθοδοι για τη μέτρηση και βελτίωση της ποιότητας
του περιβάλλοντος και για την αντιμετώπιση φυσικών
καταστροφών

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π3.10.3.1

Τίτλος: Πεδίο υπαίθριων δοκιμών.

Υπεύθυνος Φορέας/Ινστιτούτο: ΙΜΣ

Ονόματα συμμετεχόντων: Στέλλα Κίρκου, Νίκος Παπαδόπουλος

Ημερομηνία: 30/09/2015



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων
Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης - Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ),
στο πλαίσιο του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ II) και των Π.Ε.Π. Αττικής, Π.Ε.Π. Μακεδονίας - Θράκης

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1.Πρόλογος..... | 2 |
| 2. Γενικά στοιχεία για την μέθοδο της Ηλεκτρικής Τομογραφίας | 3 |
| 3. Προτεινόμενο πεδίο δοκιμών..... | 7 |
| 4. Αναμενόμενα αποτελέσματα..... | 9 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - Τομές και Κατόψεις του Υπαίθριου Πεδίου Δοκιμών | 10 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ - Χάρτες..... | 19 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ - Φωτογραφίες | 22 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 36 |



1.Πρόλογος

Στο πλαίσιο του προγράμματος «ΠΕΦΥΚΑ: Περιβάλλον και Φυσικές Καταστροφές: Νέες μέθοδοι για τη μέτρηση και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών» το Εργαστήριο Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης & Αρχαιοπεριβάλλοντος του ΙΜΣ-ΙΤΕ συμμετέχει στην Ενότητα Εργασίας 3: «Νέες τεχνικές μελέτης & βελτίωσης ποιότητας εδαφών & υδατικών συστημάτων» και συντονίζει την δράση 3.10: «Τεχνικές τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση της ρύπανσης εδάφους». Στο πλαίσιο της Δράσης 3.10 έχει προβλεφθεί η δημιουργία ενός ελεγχόμενου υπαίθριου πεδίου δοκιμών για την επιτόπια αξιολόγηση της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας σε προβλήματα που αφορούν στην μόλυνση και στη ροή ρύπων στο υπεδάφους. Ο συνολικός προϋπολογισμός που έχει δεσμευτεί για τον σχεδιασμό και κατασκευή του πεδίου δοκιμών είναι 10.000 €.

Γενικότερος στόχος της Δράσης 3.10 είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα εντοπισμού περιοχών διάθεσης αποβλήτων ελαιοτριβείων μέσω της επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων σε μία ευρύτερη κλίμακα που θα καλύπτει την περιοχή της Κρήτης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής θα επιβεβαιωθούν από την επί τόπου παρατήρηση επιλεγμένων θέσεων. Στη συνέχεια θα επιλεγεί μία αντιπροσωπευτική περιοχή διάθεσης αποβλήτων για την πιλοτική εφαρμογή συνδυαστικών τεχνικών γεωφυσικής διασκόπησης με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και της μαγνητικής επιδεκτικότητας για ένα διάστημα 6-9 μηνών με σκοπό την διαχρονική παρακολούθηση των αποβλήτων στο υπεδάφος. Θα εξεταστεί η δυνατότητα διατύπωσης ποιοτικών και ποσοτικών σχέσεων συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που θα προκύψει από την ανάλυση των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας και της μαγνητικής επιδεκτικότητας των εδαφικών δειγμάτων. Επίσης θα σχεδιαστεί και θα κατασκευαστεί ένα ελεγχόμενο υπαίθριο πεδίο δοκιμών για την άμεση και επιτόπια αξιολόγηση της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας σε προβλήματα που αφορούν στην μόλυνση και στη ροή ρύπων στο υπεδάφους

Μία από τις διακριτές δράσεις του προγράμματος αποτελεί η εφαρμογή διαχρονικών τομογραφικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης (ηλεκτρική τομογραφία) για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους (ειδική ηλεκτρική αντίσταση, φορτιστικότητα ή επαγόμενη πόλωση) πραγματοποιώντας μετρήσεις είτε στην επιφάνεια του εδάφους, είτε μέσα ή/και μεταξύ γεωτρήσεων πολλαπλασιάζοντας και συμπληρώνοντας την σημειακή πληροφορία που λαμβάνεται από τις γεωτρήσεις. Η συστηματική και διαχρονική παρακολούθηση της μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ή αγωγιμότητας) και της φορτιστικότητας του υπεδάφους συνεισφέρει στον καθορισμό της μεταβολής των υπεδάφινων συνθηκών, καθιστώντας με τον τρόπο αυτό δυνατό τον εντοπισμό γραμμών ροής μεταφοράς και μετανάστευσης ρυπαντών, προβλέποντας παράλληλα την έκταση της υπεδάφιας περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

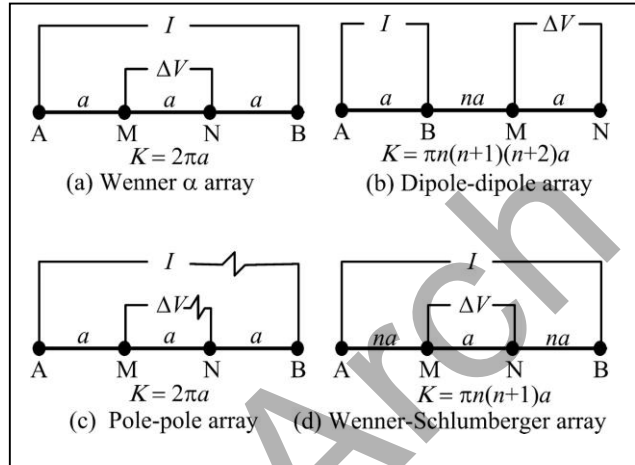
Για να μελετηθούν σε βάθος τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας για την διαχρονική παρακολούθηση της μόλυνσης σε περιοχές απόθεσης αποβλήτων ελαιοτριβείων θεωρείται απαραίτητη η δημιουργία ενός πεδίου δοκιμών για την διεξαγωγή ελεγχόμενων πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες. Προτείνεται αυτό το πεδίο δοκιμών να οργανωθεί σε μία υπαίθρια έκταση (~ 30 m²) στην περιοχή των εγκαταστάσεων του ΙΤΕ στο Ηράκλειο, το οποίο θα διασφαλίζει συγκεκριμένες παροχές (ηλεκτρικό ρεύμα, πρόσβαση σε ενσύρματη ή ασύρματη δικτύωση, προστασία κλπ) οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για την επιτυχία των πειραμάτων.



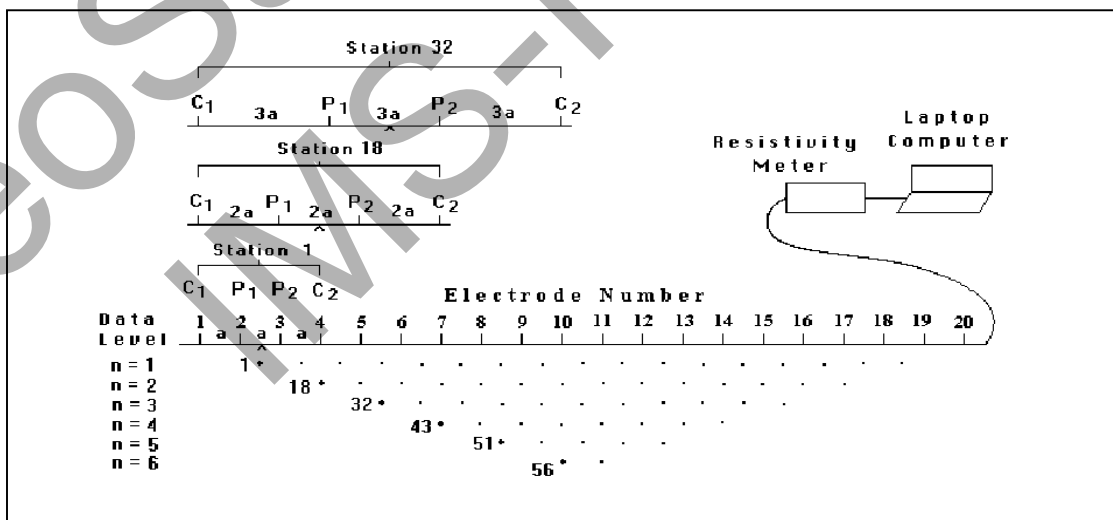
2. Γενικά στοιχεία για την μέθοδο της Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποτελεί μια από τις σημαντικότερες σύγχρονες τεχνικές εφαρμοσμένης γεωφυσικής, όπως φαίνεται και από τη συνεχώς αυξανόμενη χρήση της στην επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τη γεωλογία, την υδρογεωλογία, την τεχνική γεωλογία, την κοιτασματολογία, τη φυσική γεωγραφία, το περιβάλλον, την εδαφολογία και την αρχαιολογία. Σκοπός της μεθόδου είναι να καθοριστεί η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους μέσα από την επεξεργασία πλήθους γεωηλεκτρικών μετρήσεων που λαμβάνονται με μη-καταστροφικό τρόπο, εισάγοντας ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος και μετρώντας τη διαφορά δυναμικού που προκαλείται από την ροή του ρεύματος. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μια ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Για την μέτρηση της αντίστασης του εδάφους χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια, δύο για την εισαγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στην γη (ηλεκτρόδια ρεύματος A και B) και δύο για την μέτρηση της διαφοράς δυναμικού (ηλεκτρόδια δυναμικού M, N), που θα προκληθεί από την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος (Σχ. 1).

Η **γεωηλεκτρική τομογραφία** αποτελεί την συλλογή δεδομένων θεωρώντας πολλαπλές οδεύσεις μετρήσεων με αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων έτσι, ώστε να αποκτηθούν πληροφορίες για τη μεταβολή της υπεδάφιας ηλεκτρικής αντίστασης της περιοχής ενδιαφέροντος τόσο σε μήκος όσο και σε βάθος (δισδιάστατη διασκόπηση). Η καθημιά μέτρηση δεν παρέχει απευθείας την ηλεκτρική αντίσταση σε ένα συγκεκριμένο σημείο του υπεδάφους, αλλά είναι συνολικό αποτέλεσμα των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Πρόδρομος της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτέλεσε η μέθοδος της “ψευδοτομής” όπου τα δεδομένα απεικονίζονταν σαν κατακόρυφες τομές του εδάφους με την μορφή καμπυλών ίσης φαινόμενης αντίστασης (Σχ. 2).



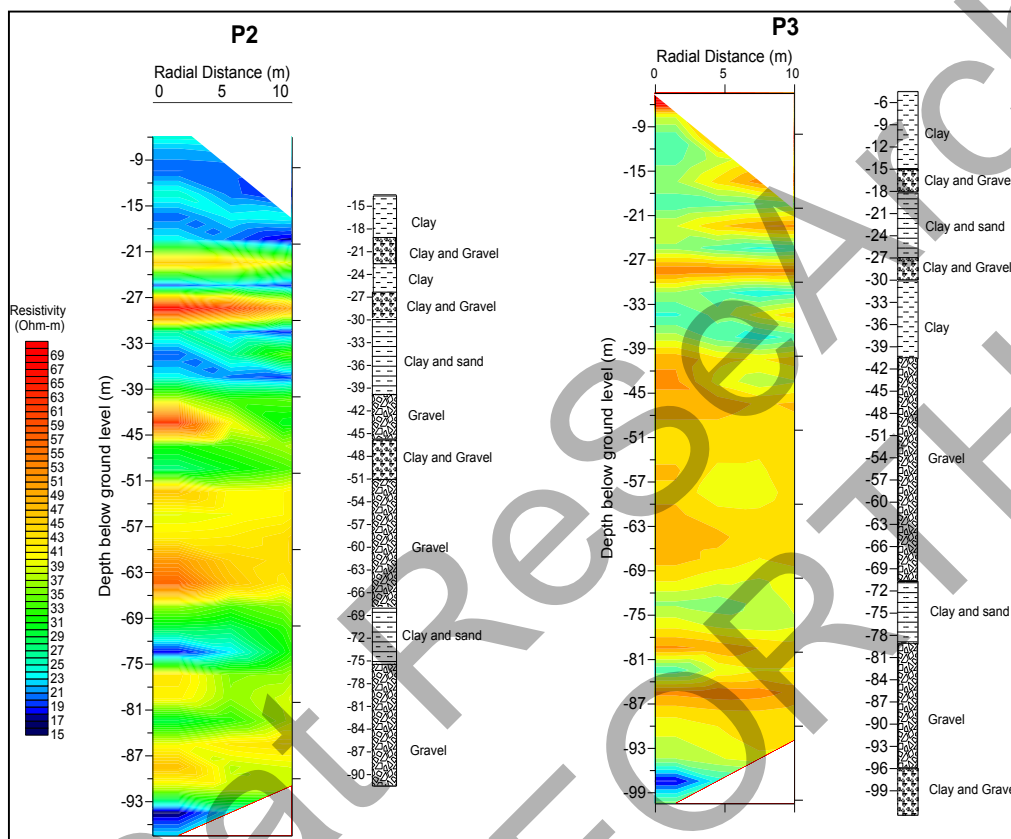
Σχήμα 1: Σχεδιαγράμματα τεσσάρων τρόπων σύνδεσης των ηλεκτροδίων για την πραγματοποίηση της ηλεκτρικής διασκόπησης. Τα ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους A,B είναι τα ηλεκτρόδια ρεύματος ενώ τα M,N είναι ηλεκτρόδια διαφοράς δυναμικού.



Σχήμα 2: Γραφική αναπαράσταση της θέσης των μετρήσεων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ώστε να κατασκευαστεί η “ψευδοτομή” των φαινόμενων αντιστάσεων.

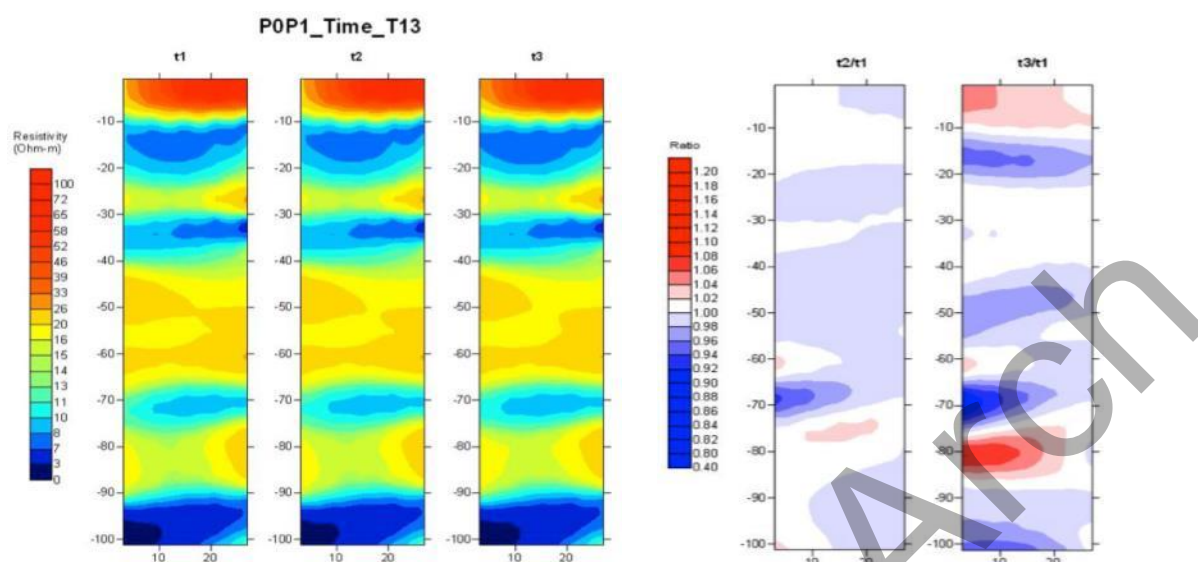
Η ψευδοτομή μπορεί να δώσει μόνο ποιοτικές πληροφορίες για την μεταβολή των αντιστάσεων του υπεδάφους. Μόνο η επεξεργασία των δεδομένων με ημι-αυτοματοποιημένους ή πλήρως

αυτοματοποιημένους αλγόριθμους, που στηρίζονται στην επίλυση του ευθέως γεωηλεκτρικού προβλήματος και στην θεωρία της αντιστροφής, μπορούν να βοηθήσουν στην εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων που αφορούν την κατανομή της πραγματικής αντίστασης του υπεδάφους. Η τεχνική της ηλεκτρικής τομογραφίας θεωρείται τα τελευταία χρόνια ως ένα από τα σημαντικότερα γεωφυσικά εργαλεία απεικόνισης του υπεδάφους. Η εφαρμογή της τεχνικής είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη χαρτογράφηση και στον έλεγχο ποιότητας των υπογείων νερών, στη μελέτη φαινομένων διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους υδροφόρους, σε περιβαλλοντικό έλεγχο και σε διαδικασίες ροής ρυπαντών σε ευαίσθητα υδροφόρα στρώματα (Σχ. 3).



Σχήμα 3: Γεωηλεκτρικές εικόνες αντιστροφής των πραγματικών μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας με χρήση ηλεκτροδίων σε γεωτρήσεις για την εισπίεση νερού στον υδροφόρο ορίζοντα στην περιοχή της Σίνδου Θεσ/νίκης (Σιμορδάνης 2009).

Ειδικότερα η **διαχρονική παρακολούθηση** του υπεδάφους με τη χρήση της ηλεκτρικής τομογραφίας, η οποία απαιτεί τη χρήση μόνιμα εγκατεστημένων ηλεκτροδίων, έχει καταφέρει σε πολλές περιπτώσεις να παρέχει εικόνες μεγαλύτερης ογκομετρικής κλίμακας, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές χημικές αναλύσεις που πραγματοποιούνται σε δείγματα που πάρθηκαν με σημειακή δειγματοληψία από γεωτρήσεις, συμβάλλοντας έτσι στην αναγνώριση και τον διαχωρισμό των μηχανισμών μεταφοράς των ρύπων (Σχ. 4). Επίσης με τις τεχνικές αυτές είναι δυνατό, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, να ληφθούν ικανοποιητικά ακριβείς τιμές για χαρακτηριστικές υδρογεωλογικές παραμέτρους του υδροφόρου ορίζοντα. Όλα τα παραπάνω αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο στην παρακολούθηση, διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων και ταυτόχρονα την παρακολούθηση της υπεδάφιας μόλυνσης.

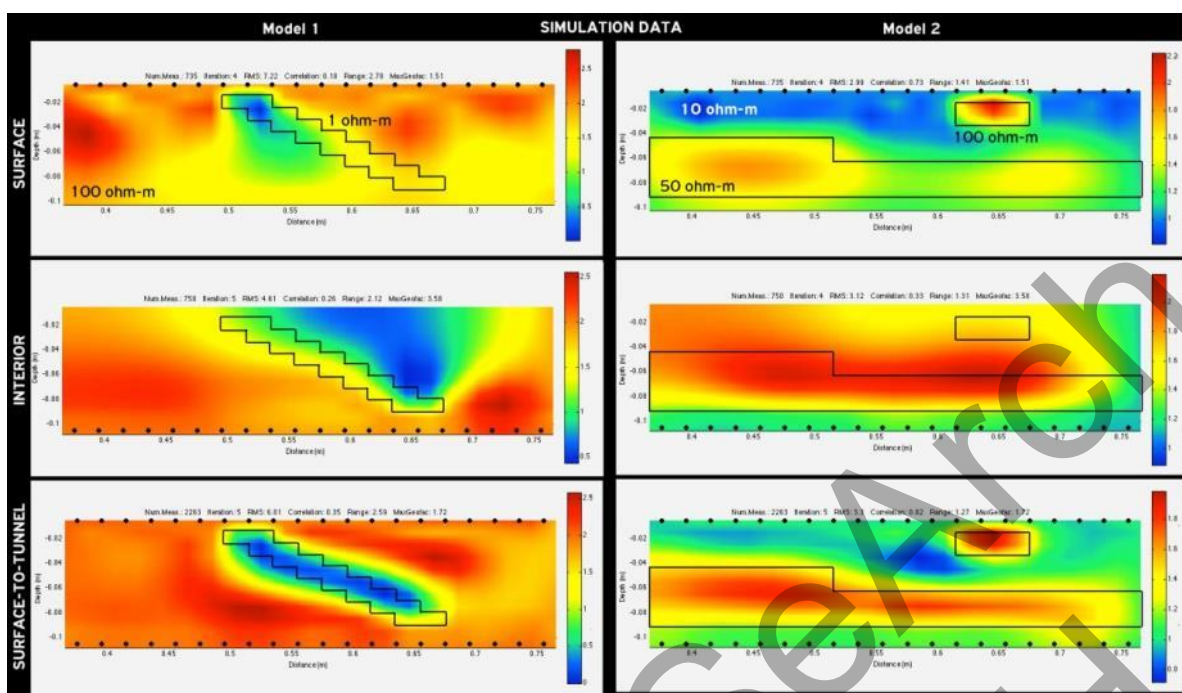


Σχήμα 4: Οι τρεις αριστερές εικόνες δείχνουν την γεωηλεκτρική εικόνα του υπεδάφους όπως προέκυψε από τη συλλογή και επεξεργασία τομογραφικών γεωηλεκτρικών δεδομένων (σε κατακόρυφες γεωτρήσεις) σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Αντίστοιχα οι δύο δεξιές εικόνες αποτυπώνουν την μεταβολή των αντιστάσεων του υπεδάφους στις χρονικές στιγμές t_2 και t_3 σε σχέση με την φάση αναφοράς t_1 (Σιμυρόδης 2009).

Εν τούτοις, όπως συμβαίνει με όλες τις επιφανειακές γεωφυσικές μεθόδους, η χωρική διακριτική ικανότητα της ηλεκτρικής τομογραφίας μειώνεται με την αύξηση του βάθους διασκόπησης γεγονός που εμποδίζει την ανίχνευση μικρής κλίμακας στόχων όπως θύλακες ρύπων ή μεταβολές στον υδροφόρο. Αυτός ο περιορισμός μπορεί εν μέρει να αρθεί με τη χρήση ηλεκτροδίων κυρίως σε κατακόρυφες γεωτρήσεις ή εναλλακτικά με την χρήση οριζόντιων γεωτρήσεων εσωτερικά της δεξαμενής για καλύτερη παρακολούθηση του στόχου. Σε αυτή την περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατάξεις μέτρησης που συνδυάζουν επιφανειακά ηλεκτρόδια με ηλεκτρόδια που βρίσκονται τόσο στις κατακόρυφες όσο και στις οριζόντιες γεωτρήσεις. Πλήθος επιτυχών εφαρμογών της ηλεκτρικής τομογραφίας σε γεωτρήσεις έχουν αναφερθεί σε σχετική βιβλιογραφία σε διάφορα πεδία έρευνας, όπως καταγραφή περιβαλλοντικών και υδρογεωλογικών προβλημάτων. Ένας από τους περιορισμούς στη διαμόρφωση μετρήσεων μεταξύ γεωτρήσεων είναι ότι δεν μπορούν να ληφθούν αξιόπιστες μετρήσεις στην περίπτωση που η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων είναι μεγάλη.

Ένας νέος τρόπος συλλογής δεδομένων αποτελούν οι μετρήσεις μεταξύ ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του εδάφους και αισθητήρων που έχουν τοποθετηθεί σε οριζόντιες γεωτρήσεις μέσα στο υπεδάφος. Η χρησιμότητα της μεθοδολογίας αυτής έγκειται στο γεγονός ότι δίνετε στον ερευνητή η δυνατότητα να παρακάμψει τις πιθανές απώλειες της διακριτικής ικανότητας που θα έχει από τη χρήση μόνο επιφανειακών οδεύσεων ή επιφάνειας – γεωτρήσεων ή μόνο γεωτρήσεων και να λάβει ένα καλύτερο αποτέλεσμα μεταξύ επιφάνειας και εσωτερικών διατάξεων ώστε να είναι περισσότερο διακριτός σε αυτόν ο στόχος τον οποίο θέλει να ερευνήσει. Στο Σχήμα 5 μπορεί να γίνει ακόμα πιο κατανοητή η αναγκαιότητα χρήσης τέτοιων συνδυασμών μετρήσεων που προκύπτουν από ανάλυση συνθετικών δεδομένων.

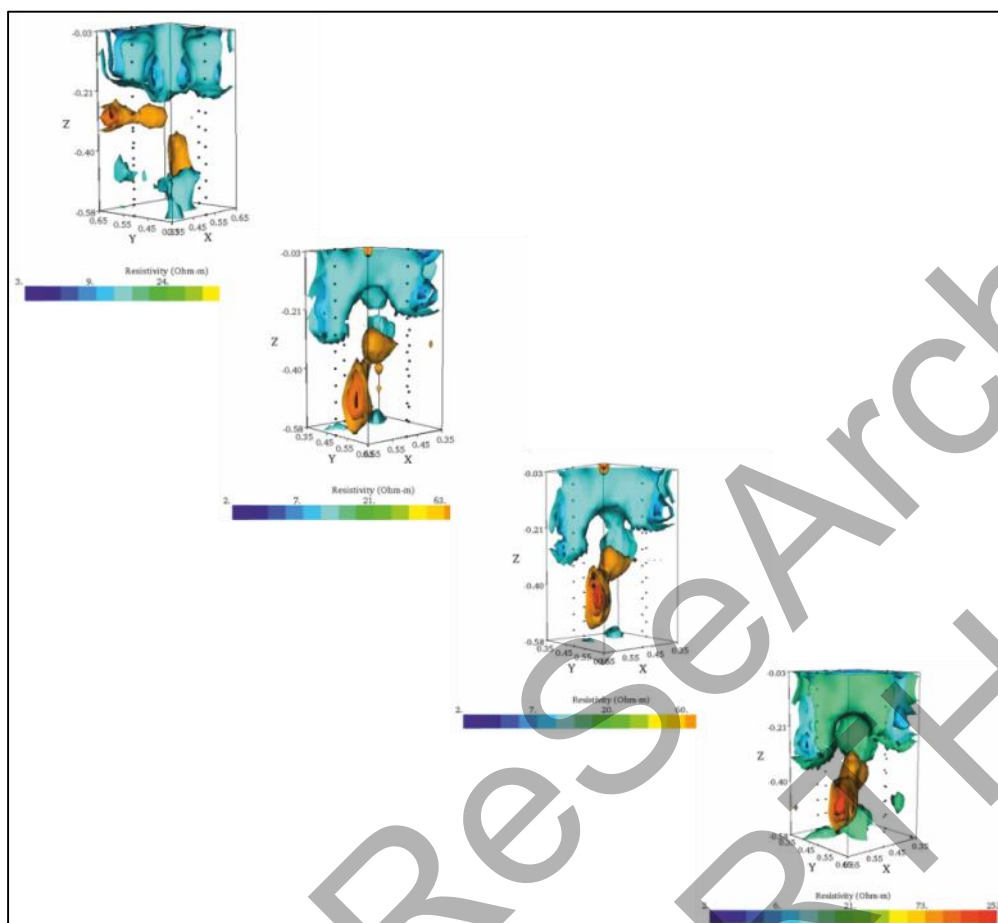
Λαμβάνοντας υπόψη τη σπουδαιότητα των μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας μεταξύ γεωτρήσεων και επιφάνειας – κατακόρυφων/οριζόντιων γεωτρήσεων θα γίνει χρήση τέτοιων τεχνικών ηλεκτρικής τομογραφίας με τη χρήση διαχρονικών μετρήσεων, για σκοπούς περιβαλλοντικής παρακολούθησης της ροής των ρύπων από την επιφάνεια του εδάφους προς τα υπόγεια ύδατα.



Σχήμα 5: Στην 1^η σειρά με επιφανειακές μετρήσεις (surface) διακρίνεται μόνο το πάνω μέρος του στόχου κοντά στην επιφάνεια. Στην 2^η σειρά μετρήσεων (interior) (μόνο θαμμένα ηλεκτρόδια) εντοπίζεται μόνο το κατώτερο τμήμα του στόχου. Ενώ στην 3^η σειρά σε μετρήσεις επιφάνειας – οριζόντιες διατάξεις σε βάθος (surface to tunnel) ο στόχος ανακατασκευάζεται σε ολόκληρη την έκτασή του (Σιμυρδάνης 2009).

Συγκεκριμένα θα πραγματοποιηθεί εξέλιξη της τεχνικής της ηλεκτρικής τομογραφίας σε μετρήσεις μεταξύ επιφάνειας και κατακόρυφων/οριζόντιων γεωτρήσεων η οποία περιλαμβάνει:

1. Ανάπτυξη αλγορίθμων προ-επεξεργασίας για την διαχείριση και φιλτράρισμα των διαχρονικών τομογραφικών δεδομένων. Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων που θα συλλεχθούν είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός πλήρως αυτοματοποιημένου τρόπου συλλογής των δεδομένων, ενσύρματης ή ασύρματης μεταφοράς και αποθήκευσής τους σε κεντρικό server και προ-επεξεργασίας.
2. Ανάπτυξη αλγορίθμων για τη λήψη βέλτιστων μετρήσεων. Δεδομένου του μεγάλου πιθανού συνδυασμού μετρήσεων σε τέτοιου τύπου διατάξεις και της ανάγκης για τη σχετικά γρήγορη καταγραφή των αλλαγών των ιδιοτήτων του υπεδάφους κρίνεται αναγκαία η δημιουργία πρωτοκόλλων μέτρησης ώστε να προκύψει η καλύτερη δυνατή εικόνα με το μικρότερο δυνατό αριθμό μετρήσεων, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ταχύτητα συλλογής των δεδομένων και την περαιτέρω ανάλυση των τελικών εικόνων του υπεδάφους.
3. Συλλογή δεδομένων ηλεκτρικής αντίστασης σε τρεις διαστάσεις (Σχ. 6).
4. Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων σε πλήθος συνθετικών δεδομένων που προσομοιώνουν μοντέλα πραγματικών συνθηκών.
5. Έλεγχος ολόκληρης της διαδικασίας σε πραγματική κλίμακα χρησιμοποιώντας δεδομένα που θα ληφθούν από το πεδίο δοκιμών που θα κατασκευαστεί στο ΙΤΕ. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των ηλεκτρικών τομογραφιών θα ελεγχθεί με τη χρήση πληροφοριών που προέρχονται από χημικές αναλύσεις, υδρογεωλογικές και άλλες γεωφυσικές τεχνικές.



Σχήμα 6: Διαχρονική παρακολούθηση της αντίστασης του υπεδάφους σε τρεις διαστάσεις με την χρήση δεδομένων που έχουν ληφθεί μεταξύ κατακόρυφων γεωτρήσεων (Seferou 2011).

3. Προτεινόμενο πεδίο δοκιμών

Για την αξιολόγηση των γεωφυσικών μεθόδων σε περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν την διαρροή ρύπων στο υπέδαφος προερχόμενοι από απόβλητα ελαιοτριβείων αλλά και την πρακτική εφαρμογή των τομογραφικών αλγορίθμων αντιστροφής που θα αναπτυχθούν για την επεξεργασία των μετρήσεων, προτείνεται ο σχεδιασμός και η δημιουργία ενός ελεγχόμενου πεδίου δοκιμών. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι δίνεται το σχεδιάγραμμα αυτού του πεδίου δοκιμών με τη μορφή κατακόρυφων τομών και οριζοντιογραφιών.

Η ολοκλήρωση του πεδίου δοκιμών προτείνεται να πραγματοποιηθεί τμηματικά. Ο σχεδιασμός του πεδίου δοκιμών θα ολοκληρωθεί από την ερευνητική ομάδα και η κατασκευή θα πραγματοποιηθεί σε συνεργασία με την Τεχνική Υπηρεσία του ΙΤΕ. Για το συγκεκριμένο θέμα έχει γίνει μία πρώτη συνάντηση ερευνητών του έργου (Παπαδόπουλος Νίκος) με την Τεχνική Υπηρεσία (Καλαϊτζάκης Νίκος). Οι προμήθειες υλικών και παροχή υπηρεσιών που θα απαιτηθούν για την επιτυχημένη ολοκλήρωση του πεδίου δοκιμών προτείνεται να γίνονται σταδιακά και ανάλογα με τις συνθήκες που θα επικρατούν τις δεδομένες χρονικές στιγμές. Η διαδικασία αυτή θα παράσχει μία σχετική αυτονομία κινήσεων λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πειρατικές συνθήκες κατασκευής του πεδίου δοκιμών.

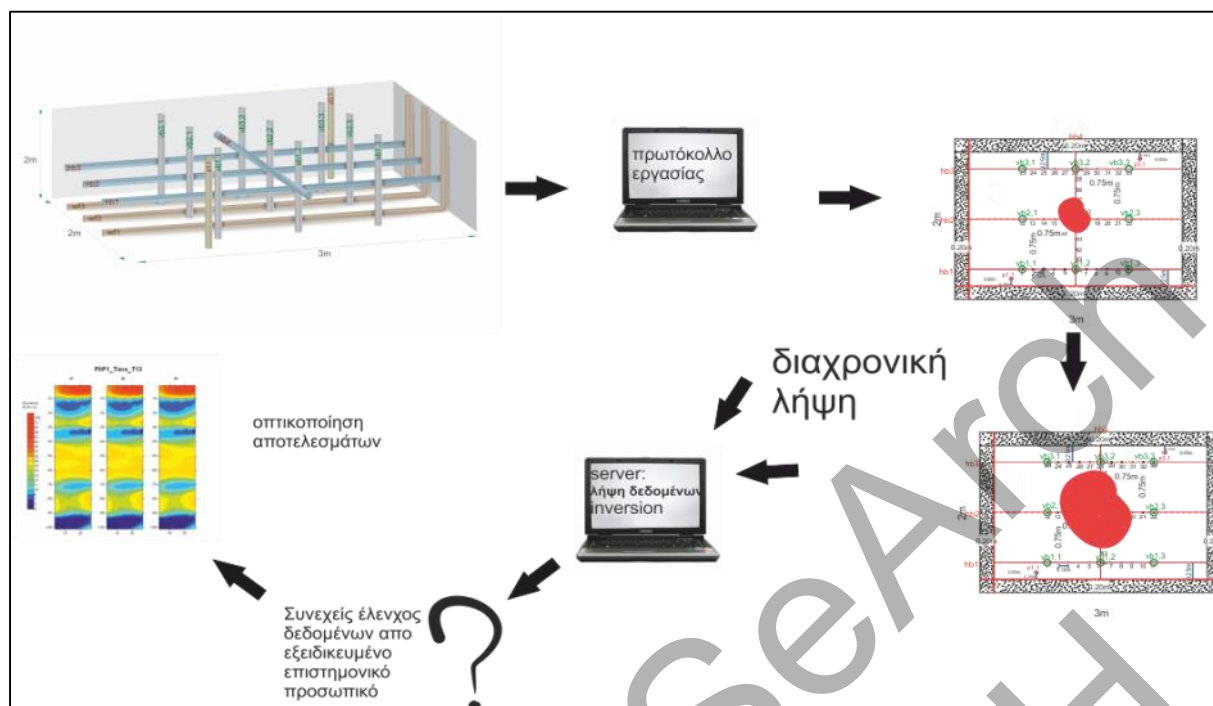
Για την δημιουργία αυτού του πεδίου δοκιμών κρίνεται αναγκαία η παραχώρηση εκ μέρους του ΙΤΕ μιας υπαίθριας ανοικτής έκτασης, της τάξης των 30 m² στην ευρύτερη περιοχή των εγκαταστάσεων του ΙΤΕ στο Ηράκλειο. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ φαίνεται ο τοπογραφικός χάρτης της έκτασης του ΙΤΕ και οι προτεινόμενες ενδεικτικές θέσεις πραγματοποίησης αυτού του έργου, το οποίο θα εγγυάται την ασφάλεια και την προστασία του ερευνητικού εξοπλισμού που θα εγκατασταθεί στο πεδίο δοκιμών. Στα βασικά χαρακτηριστικά της έκτασης αυτής θεωρείται απαραίτητη η επίπεδη μορφολογία.

Μέσα στην περιοχή θα δημιουργηθεί μία υπαίθρια υδραυλική δεξαμενή (σκάμμα) με εκσκαφέα η οποία θα έχει μέγιστες διαστάσεις $3 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$. Μέσα στην δεξαμενή θα τοποθετηθούν τέσσερις (4) πλαστικοί σωλήνες, που θα προσομοιώνουν τις κατακόρυφες γεωτρήσεις και θα διαταχθούν στις γωνίες ενός τετραγώνου. Δύο οριζόντιοι πλαστικοί σωλήνες θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση οριζόντιων γεωτρήσεων. Στο εξωτερικό τοίχωμα κάθε σωλήνα θα τοποθετηθεί συγκεκριμένος αριθμός μεταλλικών δαχτυλιδιών ή καρφιών (π.χ. χάλκινα) σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, που θα αποτελέσουν τα ηλεκτρόδια εισαγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και μέτρησης των δυναμικών στα πειράματα της ηλεκτρικής τομογραφίας. Για την μέτρηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα μέσα στο σκάμμα θα χρησιμοποιηθούν είτε υφιστάμενες γεωτρήσεις είτε θα εγκατασταθούν επιπλέον δύο πλαστικοί κατακόρυφοι σωλήνες. Η δεξαμενή θα γεμίσει με εδαφικά υλικά, μέχρι ύψος ενός μέτρου όπου και θα τοποθετηθούν οριζόντιοι σωλήνες οι οποίοι θα προσομοιώσουν τις οριζόντιες γεωτρήσεις και στη συνέχεια η δεξαμενή θα γεμίσει ως την επιφάνεια με εδαφικά υλικά τα οποία θα προσομοιώνουν πραγματικές εδαφικές συνθήκες και θα έχουν γνωστές φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες. Επιπλέον, εκτός των ηλεκτροδίων που θα τοποθετηθούν μέσα στις γεωτρήσεις θα χρησιμοποιηθούν και ηλεκτρόδια τα οποία θα τοποθετηθούν στην επιφάνεια του εδάφους με τη χρήση μεταλλικών καρφιών.

Τα όργανα των μετρήσεων [Syscal Pro (Iris)] και ο εξοπλισμός τους θα μεταφέρονται από τους επιστήμονες και θα τοποθετούνται σε προστατευμένο χώρο ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη τους από καιρικά φαινόμενα. Για να είναι οι συνθήκες του πειράματος όσο το δυνατό πιο ελεγχόμενες το σκάμμα θα σκεπάζεται με ένα προστατευτικό κάλυμμα για να μην επηρεάζεται από εξωτερικές συνθήκες (π.χ. βροχόπτωση).

Η διενέργεια των πειραματικών δοκιμών για την διαχρονική παρακολούθηση των φυσικών μεταβολών του υπεδάφους θα βασιστεί σε ένα συγκεκριμένο πρότυπο και η ροή των βασικών εργασιών φαίνεται στο σχήμα 7 και περιγράφεται παρακάτω:

1. Αρχικά θα σχεδιαστεί και θα κατασκευαστεί το υπαίθριο πεδίο δοκιμών (Παράρτημα III).
2. Σχεδιάζεται και κατασκευάζεται το γεωλογικό και υδραυλικό μοντέλο χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εδαφικά υλικά για να γεμίσει η δεξαμενή και για τα οποία είναι γνωστές οι υδραυλικές και φυσικοχημικές τους ιδιότητες.
3. Συνδέονται τα ηλεκτρόδια σε επιθυμητούς συνδυασμούς (επιφανειακά, κατακόρυφες/οριζόντιες γεωτρήσεις) με το καταγραφικό όργανο μέσω ενός πολύκλωνου καλωδίου, καθορίζεται και εισάγεται στο όργανο το κατάλληλο πρωτόκολλο για την συλλογή των πειραματικών μετρήσεων. Λαμβάνεται μία σειρά μετρήσεων για να χρησιμοποιηθούν ως πεδίο αναφοράς.
4. Στη συνέχεια καθορίζεται το χρονικό διάστημα στο οποίο θα λαμβάνονται οι μετρήσεις, πραγματοποιείται η διαρροή του ρύπου στο υπέδαφος και αμέσως ξεκινάει η διαδικασία λήψης των διαχρονικών μετρήσεων της δισδιάστατης/τρισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας.
5. Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων σε κάθε χρονική φάση τα δεδομένα μεταφέρονται ασύρματα (ή ενσύρματα) σε ένα κεντρικό server όπου αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων και πραγματοποιείται μία προ-επεξεργασία μέσω συγκεκριμένων αλγορίθμων.
6. Εν συνεχεία μεταφέρονται σε servers με αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες στους οποίους είναι εγκατεστημένοι οι αλγόριθμοι αντιστροφής για την επεξεργασία των μετρήσεων και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.
7. Σε όλα τα στάδια εξειδικευμένοι ερευνητές θα μπορούν να παρακολουθούν την όλη διαδικασία και να παρεμβαίνουν μεταβάλλοντας συγκεκριμένες παραμέτρους (π.χ πρωτόκολλα μετρήσεων, επεξεργασία κλπ) ανάλογα με τις συνθήκες και τα προβλήματα που θα εντοπίζονται.



Σχήμα 8: Διάγραμμα για την συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικών διασκοπίσεων. Τα δεδομένα συλλέγονται αυτόματα από το πεδίο δοκιμών στο οποίο θα έχουν εγκατασταθεί μόνιμα ηλεκτρόδια στην επιφάνεια και σε γεωτρήσεις (κατακόρυφες και οριζόντιες) και σε κατώτερα στρώματα με τέτοιο τρόπο ώστε να καταγράφεται η μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Εν συνεχεία τα δεδομένα μεταφέρονται στον κεντρικό server παρέχοντας την δυνατότητα επεξεργασίας και τελικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων.

4. Αναμενόμενα αποτελέσματα

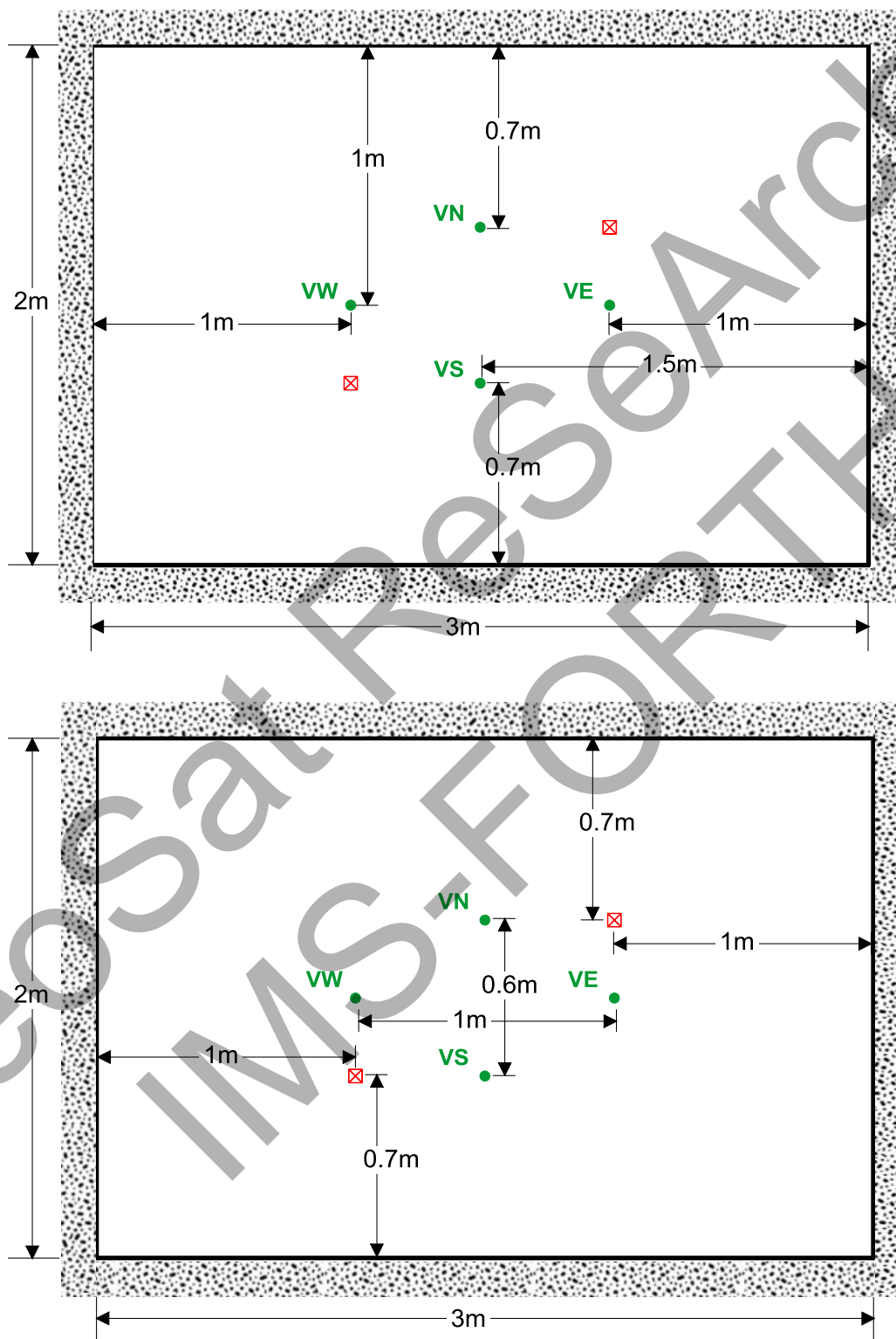
- Βελτίωση των αλγορίθμων επεξεργασίας και ερμηνείας των γεωηλεκτρικών τομογραφικών δεδομένων.
- Διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας για την διαχρονική παρακολούθηση της ρύπανσης στο υπέδαφος.
- Δημιουργία μοντέλων για τον τρόπο διάδοσης των ρύπων.
- Διατύπωση προτάσεων για την λήψη μέτρων πρόληψης και προστασίας του περιβάλλοντος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - Τομές και Κατόψεις του Υπαίθριου Πεδίου Δοκιμών



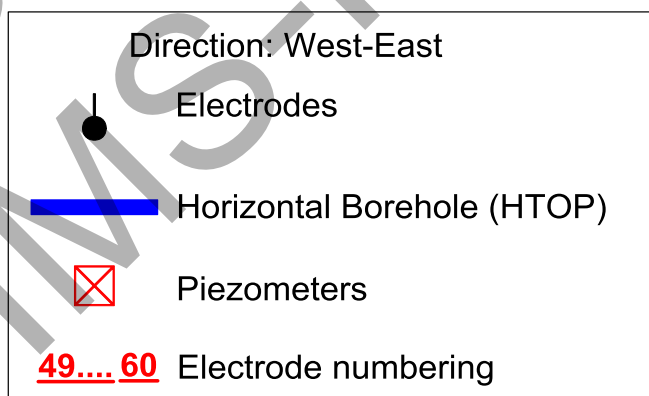
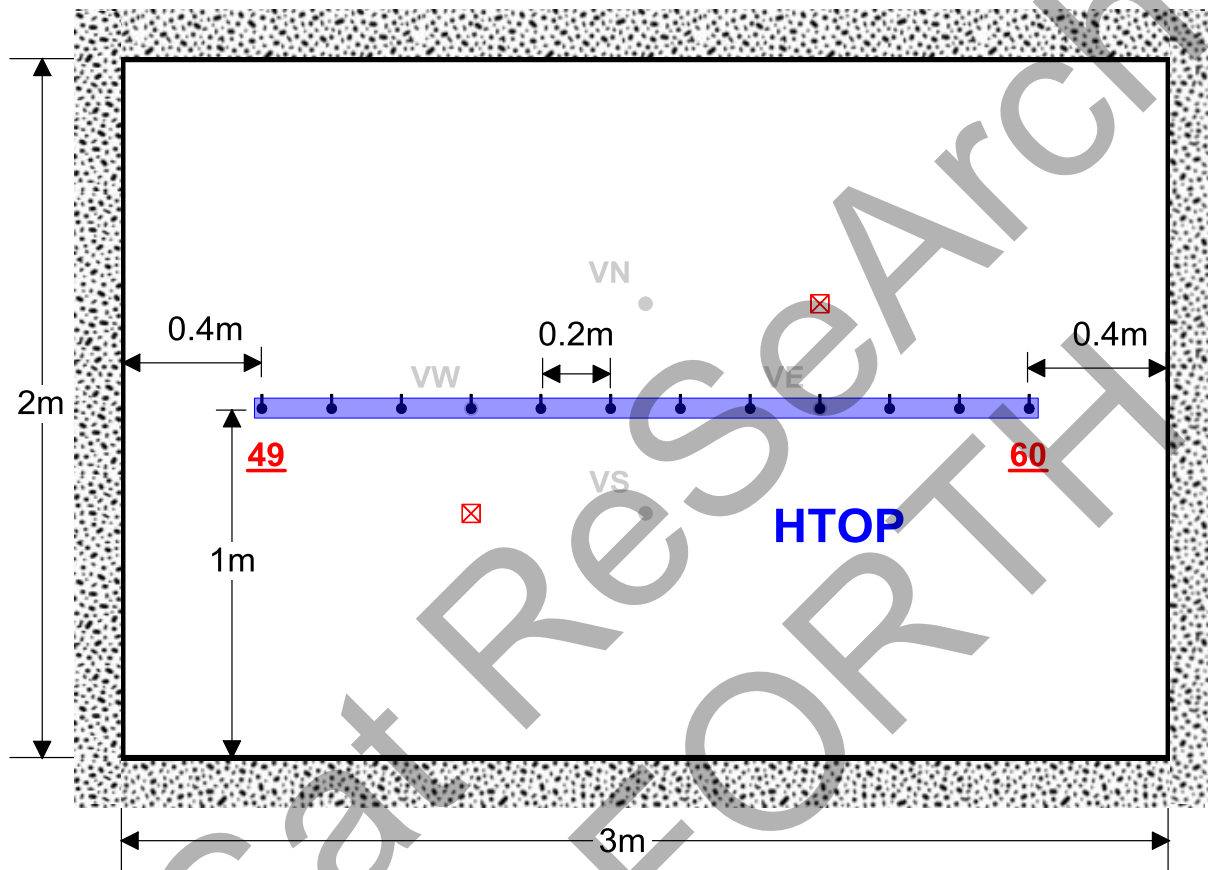
Plane X-Y, Z = -0.1 m

- Vertical Boreholes
- ⊠ Piezometers



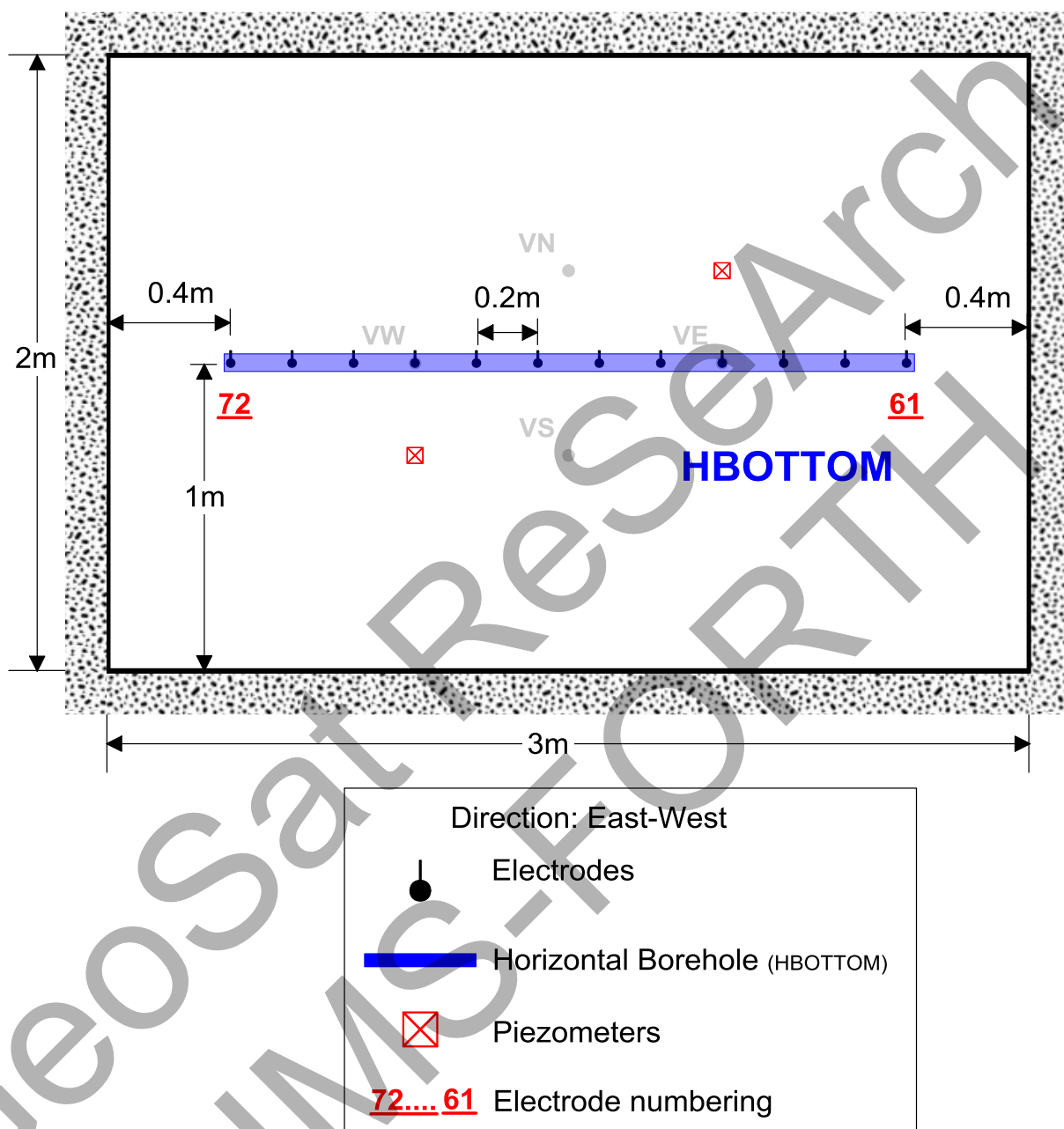
Σχέδιο I.1: Κάτοψη σκάμματος σε βάθος z = -0.1m.

Plane X-Y, Z = - 0.55 m West-East



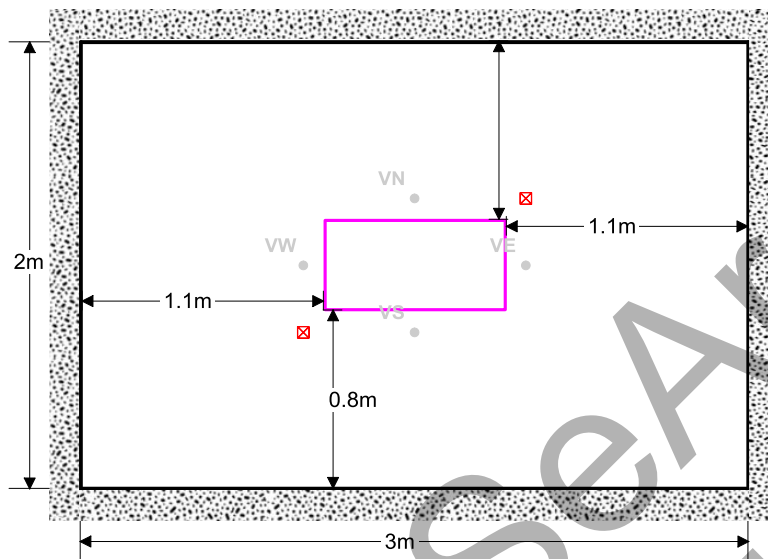
Σχέδιο I.2: Κάτοψη σκάμματος σε βάθος $z = 0.55\text{m}$.

Plane X-Y, Z = - 0.95 m West-East

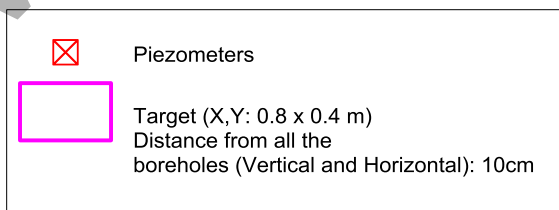
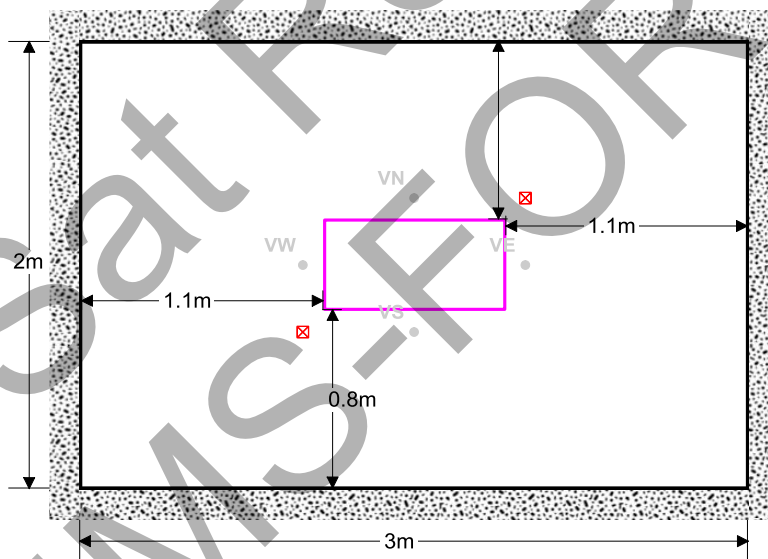


Σχέδιο I.3: Κάτοψη σκάμματος σε βάθος z = 0.95m.

Target Location Plane X-Y, Z = - 0.55 m West-East

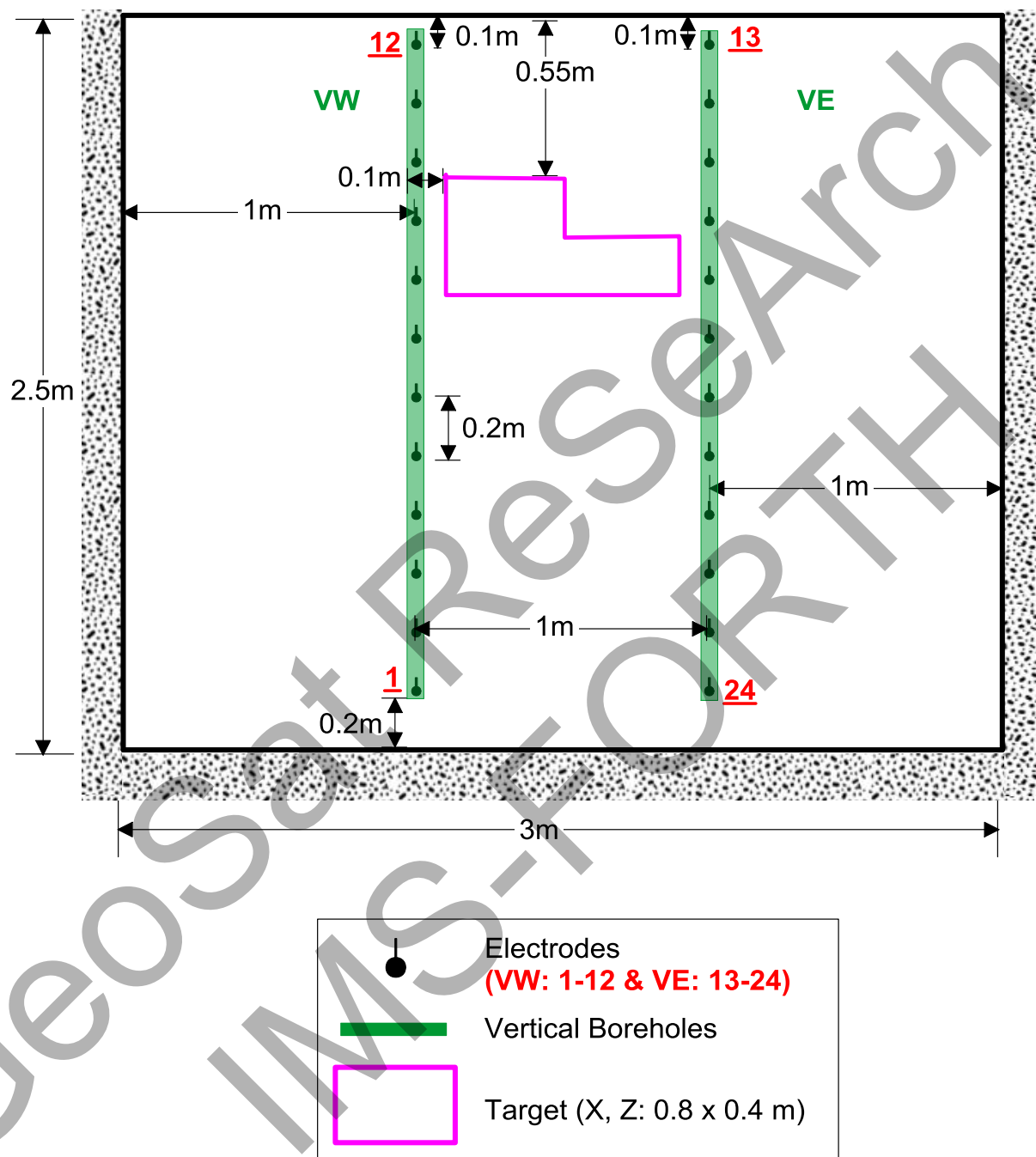


Target Location Plane X-Y, Z = - 0.95 m West-East



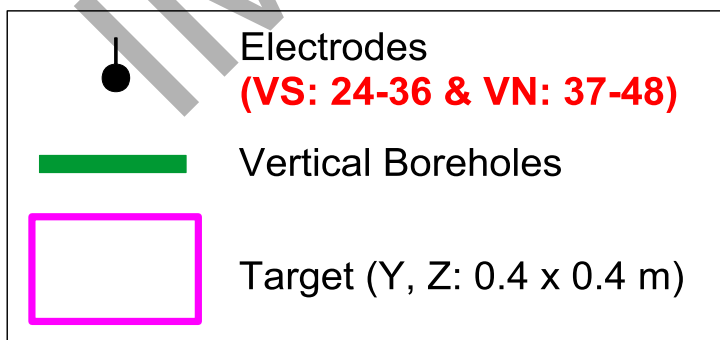
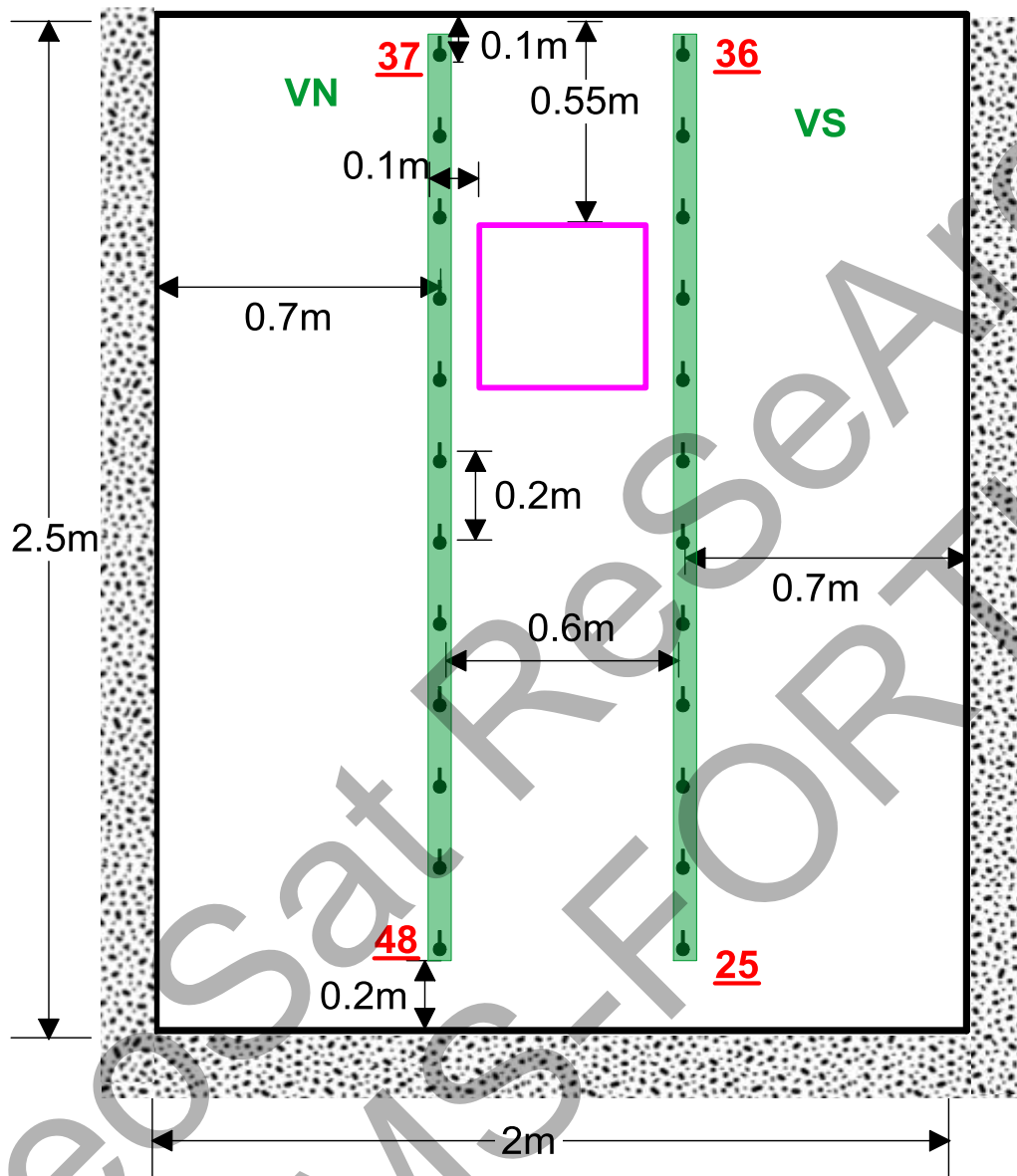
Σχέδιο I.4: Κάτοψη σκάμματος σε βάθος $z = 0.55\text{m}$ και $z = 0.95\text{m}$, όπου φαίνονται η πάνω και κάτω πλευρά του στόχου.

Plane X-Z, Y = 1.0 m View from South



Σχέδιο I.5: Κατακόρυφη τομή σκάμματος (επίπεδο x - z) σε οριζόντια απόσταση y = 1.0m

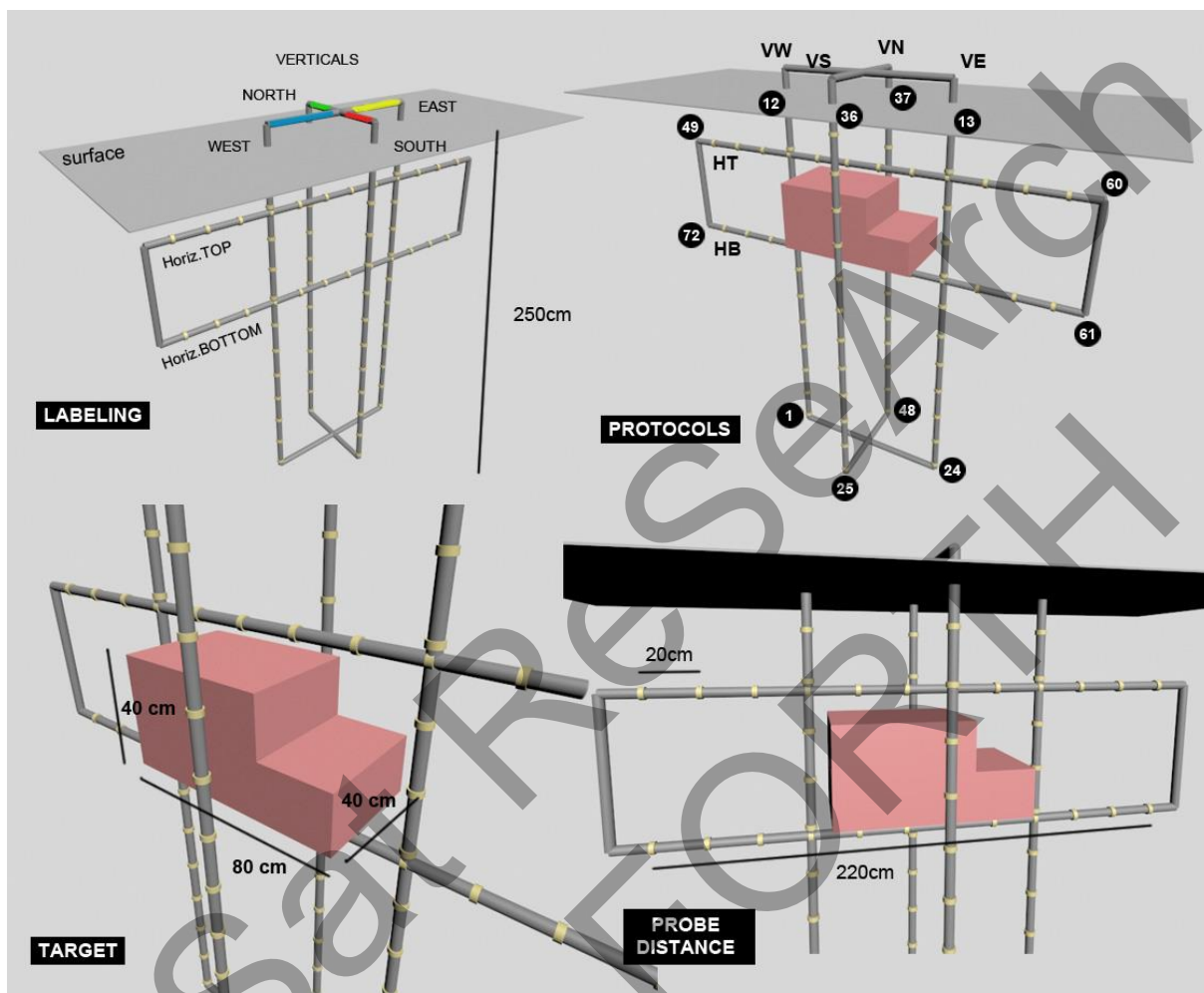
Plane Y-Z, X = 1.5 m View from West



Σχέδιο Ι.6: Κατακόρυφη τομή σκάμματος (επίπεδο y - z) σε οριζόντια απόσταση x = 1.5m

GeoSat ReSeArch
IMS-FORTH





Σχέδιο I.7: Αναπαράσταση της κατασκευής που προσομοιώνει τις 4 κατακόρυφες και τις 2 οριζόντιες γεωτρήσεις (γκρι κύλινδροι) με τα ηλεκτρόδια (κίτρινα δαχτυλίδια) και τον στόχο (κόκκινο παραλληλεπίπεδο).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ - Χάρτες





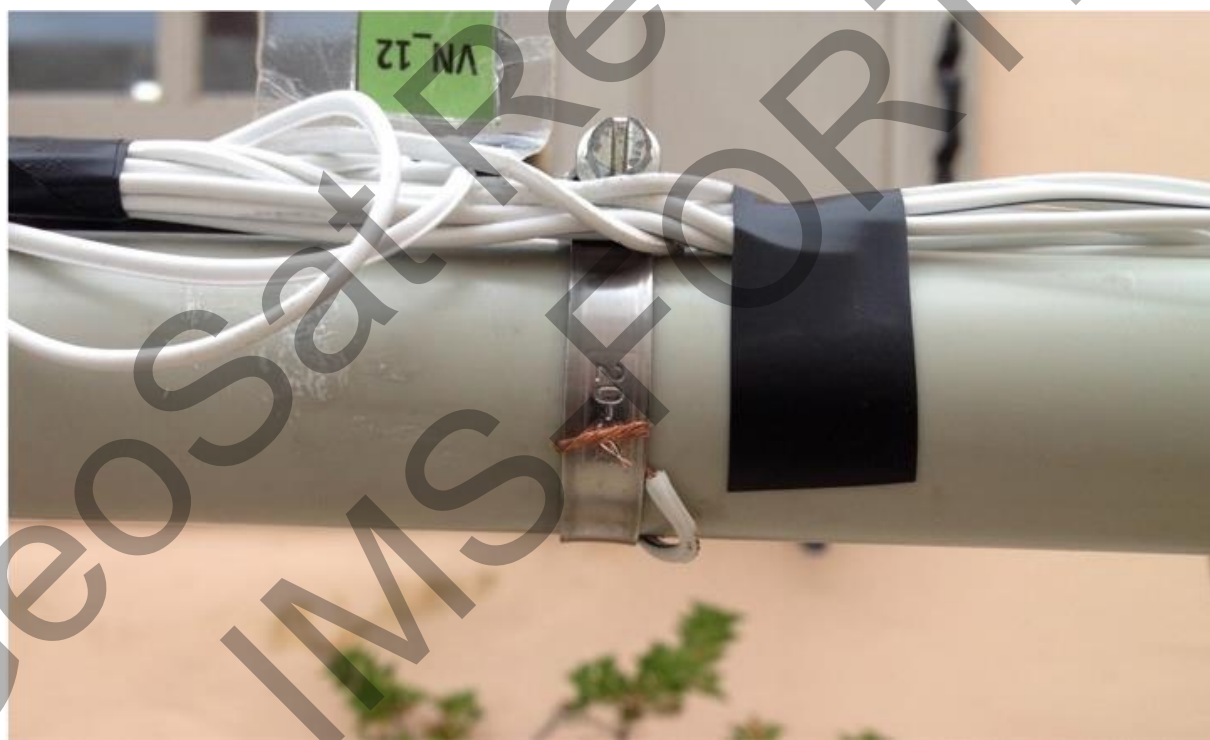
Χάρτης Π.1: Τοπογραφικός χάρτης ευρύτερης έκτασης ΙΤΕ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ - Φωτογραφίες

GeoSat ReSeArch
IMS-FORTH





























ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Asch, T.H., and Morrison, H.F., 1989, Mapping and monitoring electrical resistivity with surface and subsurface electrode arrays: *Geophysics*, 54, 235-244.
- Bevc, D., and Morrison, H.F., 1991, Borehole-to-surface electrical resistivity monitoring of a salt water injection experiment: *Geophysics*, 56, 769-777.
- Chambers, J E, Meldrum P I, Ogilvy R D., 2004. Characterisation of a NAPL-contaminated former quarry site using electrical impedance tomography. *Near Surface Geophysics Journal*, Vol. 3, No 2, 79-90. .
- Daily, W., and Owen, E., 1991, Cross-borehole resistivity tomography: *Geophysics*, 56, 1228-1235.
- Daily, W., Ramirez, A., LaBrecque, D. and Nitao, J., 1992. Electrical resistivity tomography of vadose water movement. *Water Resour. Res.*, 28, 1429-1442.
- Daily, W., Ramirez, A., LaBrecque, D. and Barber, W., 1995. Electrical resistance tomography experiments at the Oregon Graduate Institute. *Journal of Applied Geophysics*, 33, 227-237.
- Goes B.J.M., and Meeke J.A.C., 2004, An effective electrode configuration for the detection of DNAPLs with electrical resistivity tomography: *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 9,127-141.
- Kim J-H (2005). 4-D least-squares inversion of geophysical monitoring data: application to dc resistivity monitoring. *Proceedings of the 112th SEGJ Conference Waseda University, Tokyo, Japan May 9-11, 2005* 211-214.
- Le Masne, D., and Poirmeur, C., 1988, Three-dimensional model results for an electrical hole-to-surface method. Application to the interpretation of a field survey: *Geophysics*, 53, 85-103.
- LaBrecque, D. J. and Yang, X., 2001. Difference inversion of ERT data: a fast inversion method for 3-D in situ monitoring: *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 5, 83-90.
- Loke, M. H., 1999, Time lapse resistivity imaging inversion, *Proceedings of the 5th Meeting of the Environmental and Engineering European, Em1, Budapest, Hungary*.
- Marescot, L., Palma Lopes S., Lagabrielle R., and Chapellier D., 2002, Designing surface-to-borehole electrical resistivity tomography surveys using the Frechet derivative: *Proceedings of the 8th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society –European Section*, 289-292.
- Morelli, G. and LaBrecque, D., 1996, Advances in ERT inverse modeling: *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 1,171-186.
- Ogilvy R.D, Meldrum P.I, Chambers J.E, and Williams G.M., 2002, The use of 3D electrical resistivity tomography to characterise waste and leachate distribution within a closed landfill, UK: *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 7, 11-18.
- Papadopoulos, N.G, P. Tsourlos, C. Papazachos, G.N. Tsokas, A. Sarris and J. H. Kim, 2011. An Algorithm for the Fast 3-D Resistivity Inversion of Surface Electrical Resistivity Data: Application on Imaging Buried Antiquities. *Geophysical Prospection*, 59, 557-575.
- Papadopoulos N. and Chatziathanasiou S., 2011. ERT pollution monitoring in areas of olive oil mills' wastes (OOMW): Preliminary results from a disposal site in Crete (Greece). *1st International Workshop on Geoelectrical Monitoring, GELMON 2011, VIENNA, 30.11.-2.12.2011*
- Park, S, 1998, Fluid migration in the vadose zone from 3-D inversion of resistivity monitoring data: *Geophysics*, v. 63, no. 1, pp. 41-51.
- Slater, L., Binley, A.M., Daily, W., and Johnson, R., 2000, Cross-hole electrical imaging of a controlled saline tracer injection: *Journal of Applied Geophysics*, 44, 85-102.
- Seferou, P., 2011, Characterization of unsaturated flow and transport in porous deposits with hydrogeophysical laboratory methods., *Master Thesis., Georg-August Universitat Gottingen Department of Applied Geology,Hydrogeology and Environment Geosience (HEG)*.



- Tsourlos, P., Ogilvy R.D., Meldrum P.I., and Williams G.M., 2003, Time-lapse monitoring in single boreholes using electrical resistivity tomography: *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 8, 1-14.
- Tsourlos, P., Ogilvy R.D., and Papazachos C., 2004, Borehole-to-surface ERT inversion: In Proceedings 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 6-9th September 2004, Utrecht, The Netherlands.
- Tsourlos, P., Ogilvy R.D., and Meldrum P., 2005a. Time-lapse Monitoring using Borehole-to-Surface Electrical Resistivity Tomography. Proceedings 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 6-9th September 2005, Palermo, Italy.
- Yi, M.-J., Kim, J.-H., and Chung, S.-H., 2003, Enhancing the resolving power of least-squares inversion with active constraint balancing, *Geophysics*, 68, 931-941.
- Wilkinson, P B, Chambers, J E, Meldrum, P I, Ogilvy, R D, and Caunt, S., 2005. Optimization of array configurations and geometries for the detection of abandoned mineshafts by 3D cross-hole electrical resistivity tomography. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, (in press).
- Zhou, B., and Greenhalgh, S.A., 1997, A synthetic study on cross-hole resistivity imaging with different electrode arrays: *Exploration Geophysics*, 28, 1-5.
- Zhou, B., and Greenhalgh, S.A., 2000, Cross-hole resistivity tomography using different electrode configurations: *Geophysical Prospecting*, 48, 887-912
- Σιμυρδάνης Κλεάνθης, 2009, "ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΣΕ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ", Διατριβή Ειδικευσης, ΑΠΘ.
- Σιμυρδάνης Κλεάνθης, 2013, "ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ", Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ.

URL:

<http://jeeg.geoscienceworld.org/content/14/3/145/F3.expansion>

<http://www.earthsound.ie/electrical-resistivity-tomography.html>

