

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ**

**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ**  
Α.Ε.Μ. 4039

**ΤΣΙΚΡΑΣ ΛΕΑΝΔΡΟΣ**  
Α.Ε.Μ. 4068



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**Τσούρλος Παναγιώτης**  
**Επίκουρος Καθηγητής**  
**Τομέα Γεωφυσικής**  
**Τμήματος Γεωλογίας**  
**Α.Π.Θ**

***Θεσσαλονίκη 2009***

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                             | Σελίδα    |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Εισαγωγή .....                                                              | 3         |
| <b>Κεφάλαιο 1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>                                     |           |
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                           | 5         |
| 1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ...                                | 5         |
| 1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....                                      | 8         |
| 1.4 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....                                              | 13        |
| 1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ<br>ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....                | 17        |
| <b>Κεφάλαιο 2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ<br/>ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ</b>       |           |
| 2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ .....                                                 | 23        |
| 2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ .....                                         | 23        |
| 2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ .....                                         | 25        |
| 2.4 ΜΕΝΟΥ ΔΙΑΛΟΓΟΥ .....                                                    | 27        |
| 2.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ .....                                 | 29        |
| 2.5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ POLE-POLE .....                                               | 29        |
| 2.5.2 ΔΙΑΤΑΞΗ POLE-DIPOLE .....                                             | 31        |
| 2.5.3 ΔΙΑΤΑΞΗ POLE-DIPOLE(forward and reverse )                             | 33        |
| 2.5.4 ΔΙΑΤΑΞΗ GRADIENT .....                                                | 35        |
| 2.5.5 ΔΙΑΤΑΞΗ DIPOLE-DIPOLE .....                                           | 37        |
| <b>Κεφάλαιο 3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΛΗΨΗ<br/>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> |           |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                           | 40        |
| 3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....                                   | 42        |
| 3.2.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΙΠΟΛΟΥ-<br>ΔΙΠΟΛΟΥ .....            | 43        |
| 3.2.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΟΛΟΥ-<br>ΔΙΠΟΛΟΥ.....               | 45        |
| 3.2.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΟΛΟΥ-<br>ΠΟΛΟΥ .....                | 47        |
| 3.2.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ GRADIENT<br>.....                    | 49        |
| 3.2.5 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΙΠΟΛΟΥ-<br>ΔΙΠΟΛΟΥ .....             | 51        |
| <b>Κεφάλαιο 4 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>                     |           |
| <b>Βιβλιογραφία .....</b>                                                   | <b>55</b> |

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας αυτής , είναι η δημιουργία ενός λογισμικού το οποίο σχεδιάζει διατάξεις μέτρησης ηλεκτρικών διασκοπήσεων για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης γεωλογικής δομής του υπεδάφους μιας περιοχής .

Η αναγκαιότητα τέτοιου είδους διασκοπήσεων είναι προφανής καθώς δίνουν τη δυνατότητα λιθολογικού χαρακτηρισμού του υπεδάφους χωρίς τη χρήση γεωτρήσεων. Ο τυχόν εντοπισμός στην περιοχή μελέτης έντονης λιθολογικής ανομοιογένειας σε συνδυασμό με την αξιολόγηση τεκτονικών, υδρογεωλογικών ή και άλλων στοιχείων αποτελεί πολύτιμη πληροφορία για το σχεδιασμό τεχνικών έργων, π.χ. τη θεμελίωση ενός κτιρίου.

Μια ακόμα εφαρμογή αυτού του λογισμικού θα μπορούσε να είναι και ο εντοπισμός πιθανών αρχαιολογικών λειψάνων στο υπέδαφος χωρίς την ανάγκη ανασκαφής .

Η ιδιαιτερότητα της γεωφυσικής διάταξης που ακολουθήθηκε έγκειται στο ότι σε σύγκριση με τις τυπικές τεχνικές δισδιάστατης γεωηλεκτρικής απεικόνισης η παρούσα διάταξη επιτρέπει την πλήρως τρισδιάστατη απεικόνιση του υπεδάφους χωρίς να χρειάζεται να επεκταθεί η διάταξη μέτρησης (π.χ. τα καλώδια και τα ηλεκτρόδια) πέρα από τα στενά όρια της περιοχής μελέτης . Αυτό είναι ιδιαίτερης πρακτικής σημασίας καθώς συχνά είναι δύσκολη έως και αδύνατη η επέκταση της διάταξης μέτρησης σε αστικά περιβάλλοντα λόγω φυσικών εμποδίων.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας περιγράφονται οι γενικές αρχές της ηλεκτρικής τομογραφίας. Παρατίθενται οι βασικότερες χρησιμοποιούμενες διατάξεις των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού

και γίνεται μια εκτενής αναφορά στη μέθοδο της ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το λογισμικό δημιουργίας του τρισδιάστατου πρωτοκόλλου με αναφορά στο πώς λειτουργεί το λογισμικό αυτό, με παρουσίαση του αλγόριθμου και του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη. Επίσης περιγράφονται οι διατάξεις μέτρησης που συμπεριλαμβάνει το λογισμικό.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται η διαδικασία λήψης μετρήσεων στη περιοχή του τείχους της Θεσσαλονίκης στην πλατεία σιντριβανιού. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων και η ερμηνεία τους.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανακεφαλαίωση αι τα συμπεράσματα της διπλωματικής.

Την επίβλεψη κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μας είχε οι κ. Τσούρλος Παναγιώτης, Επίκουρος καθηγητής του Α.Π.Θ., ο οποίος με τις υποδείξεις του, την καθοδήγηση και την υπομονή του συνέβαλλε τα μέγιστα. Επίσης στη διπλωματική συνέβαλε και επισκέπτης Καθηγητής Prof. Jung-Ho Kim (KIGAM, Korea) ο οποίος μας παραχώρησε το λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων. Τους ευχαριστούμε θερμά για τη βοήθειά τους.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

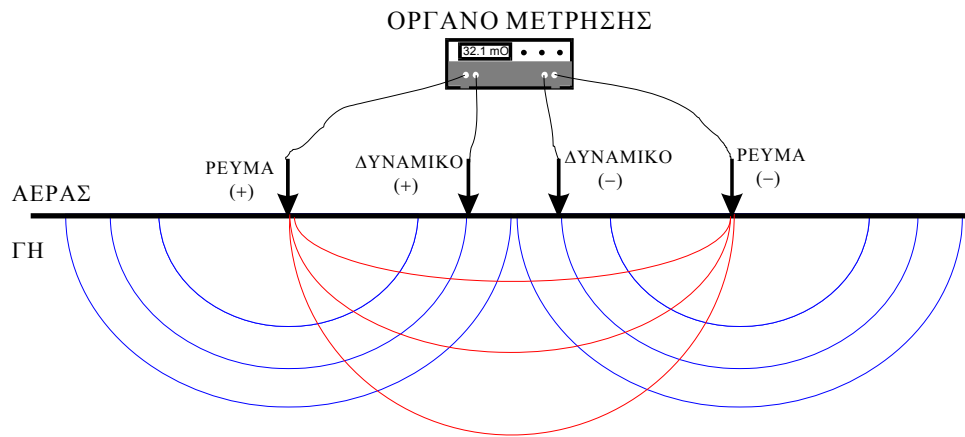
### 1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης και ειδικότερα της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία είναι και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Παρατίθενται οι γενικές αρχές της θεωρίας των ηλεκτρικών διασκοπήσεων καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Επίσης, περιγράφεται η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στη Γη και ο υπολογισμός της διαφοράς δυναμικού που προκαλείται για την εξαγωγή της φαινόμενης αντίστασης του υπεδάφους και γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της θεωρίας που χρησιμοποιείται για την ερμηνεία των μετρήσεων.

### 1.2 Βασικές Αρχές Ηλεκτρικών Διασκοπήσεων.

Οι μέθοδοι που θα εφαρμόσουμε ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων (Σχήμα 1.1). Σε ένα δεύτερο ζεύγος μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ηλεκτρική αντίσταση που υπολογίζεται σαν πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης  $\rho$ .

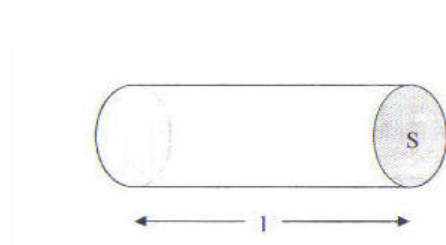


**Σχήμα 1.1.** Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$  ενός στερεού σώματος κυλινδρικού σχήματος, διατομής  $S$  και μήκους  $l$ , που έχει ηλεκτρική αντίσταση  $R$  (Σχήμα 1.2), ορίζεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}$$

Οι μονάδες μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι το 1 Ohm·m.



**Σχήμα 1.2.** Γεωμετρική απεικόνιση του ορισμού της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από 10-6 Ohm·m σε ορισμένα ορυκτά, όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι 1015 Ohm·m σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Καλοί αγωγοί θεωρούνται τα πετρώματα και ορυκτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10-6 και 10-1 Ohm·m και κακοί αγωγοί αυτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 108 και 1015 Ohm·m.

Η συμπεριφορά της Γης στη διέλευση του ρεύματος περιγράφεται και από έναν άλλο όρο, την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα  $\sigma$ , η οποία είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και αντικατοπτρίζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος. Δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το siemens ανά μέτρο (S/m).

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους κατά κύριο λόγο εξαρτάται από την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα, δηλαδή το ρεύμα διαρρέει τους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσω των ιόντων που είναι διαλυμένα στο νερό που βρίσκεται στους πόρους τους. Ειδικότερα εξαρτάται από:

- Τις υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες
- Τη χημική σύσταση του νερού
- Το μέγεθος των πόρων(πορώδες) των σχηματισμών
- Τις πιθανές διαρρήξεις-διακλάσεις-ρήγματα των σχηματισμών

- Τη θερμοκρασία και την πίεση

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά πετρώματα και το εύρος τιμών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που έχουν.

| ΥΛΙΚΟ          | ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ                             |
|----------------|---------------------------------------|
| ΑΕΡΑΣ          | 0 0                                   |
| 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 - 100                               |
| ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ   | 0.5 - 300                             |
| ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ | 0.2                                   |

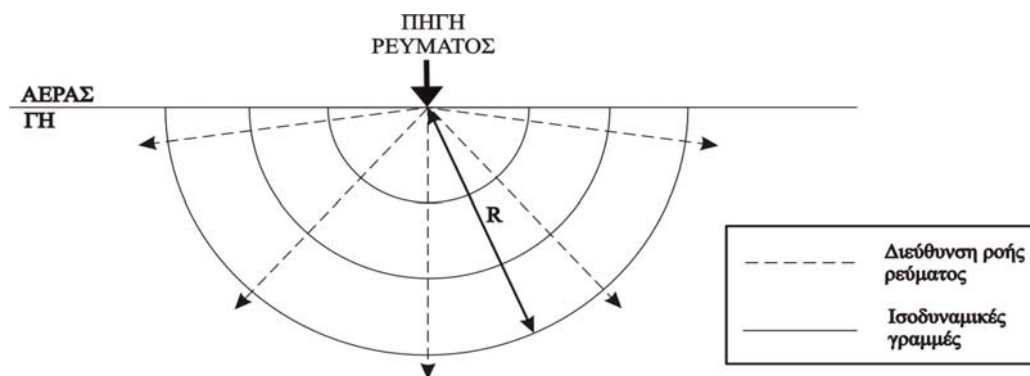
Πίνακας 1.

### 1.3 Φαινόμενη Ηλεκτρική Αντίσταση.

Η Γη και ιδιαίτερα τα ανώτερα στρώματα του φλοιού της είναι ανομοιογενή. Όμως για να κατανοήσουμε τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στα στρώματα αυτά πρέπει πρώτα να μελετήσουμε τη ροή αυτή μέσα σε ομογενές υπέδαφος. (Παπαζάχος, 1986).

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι εισάγουμε θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο (σημειακή πηγή) μέσα στο έδαφος, όπου είναι ομογενές και ισότροπο, τότε θα έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη Γη. Το ρεύμα αυτό ρέει ακτινικά διερχόμενο από ένα ημισφαίριο εμβαδού  $S=2\pi r^2$ , όπου  $r$  είναι η απόσταση της περιφέρειας του ημισφαιρίου από το σημείο εισαγωγής του ρεύματος. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες έχουν

σχήμα ημισφαιρίου και οι γραμμές του ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες (Σχήμα 1.3). Επειδή μάλιστα ο αέρας έχει πολύ υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση (πρακτικά άπειρη σε σχέση με το έδαφος), μπορούμε να θεωρήσουμε χωρίς κίνδυνο σφάλματος, ότι το ρεύμα διαδίδεται μόνο στο έδαφος κάτω από το ηλεκτρόδιο σχηματίζοντας ένα συνεχώς διογκούμενο ημισφαίριο με κέντρο το ηλεκτρόδιο.



**Σχήμα 1.3.** Οι ισοδυναμικές γραμμές και η κατεύθυνση του ρεύματος για μια σημειακή πηγή.

Η πυκνότητα  $J$  του ρεύματος που διαρρέει κάθετα το ημισφαίριο δίνεται από τη σχέση:

$$J = \frac{i}{S}$$

όπου  $J$  = πυκνότητα ρεύματος

$i$  = ένταση ρεύματος

$S$  = εμβαδόν ημισφαιρίου

Σύμφωνα με τον γενικευμένο νόμο του Ohm, η πυκνότητα του ρεύματος συνδέεται με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με την σχέση:

$$J = -\rho \cdot E$$

όπου  $J$  = πυκνότητα ρεύματος

$E$  = ένταση ηλεκτρικού πεδίου

$\rho$  = ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Όμως ισχύει ότι:

$$E = \frac{dV}{dr}$$

όπου  $E$  = ένταση ηλεκτρικού πεδίου

$V$  = δυναμικό στην επιφάνεια του ημισφαιρίου

$r$  = ακτίνα ημισφαιρίου

Συνεπώς η πυκνότητα ρεύματος σε απόσταση  $r$  από το ηλεκτρόδιο δίνεται από τη σχέση:

$$J = -\rho \frac{dV}{dr}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν

$$dV = -\frac{\rho \cdot i}{S} \cdot dr \quad \text{και} \quad V = -\rho \cdot i \int_{\infty}^r \frac{dr}{S}$$

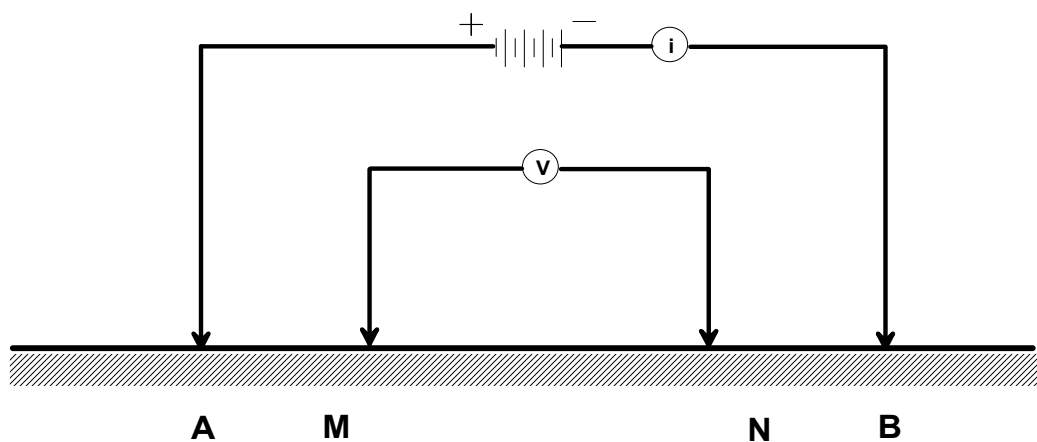
Βάζοντας το εμβαδόν της μισής σφαίρας  $S=2\pi r^2$  στην τελευταία σχέση και ολοκληρώνοντας βρίσκουμε το δυναμικό σε τυχαία απόσταση  $r$  από το ηλεκτρόδιο και δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{\rho \cdot i}{2\pi r}$$

Όταν ο πόλος δεν βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης αλλά μέσα στο ομογενές έδαφος τότε η διάδοση του ρεύματος γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις (σφαιρικά) και το δυναμικό δίνεται από τη σχέση

$$V = \frac{\rho \cdot i}{4\pi r}$$

Στην πράξη χρειάζονται τέσσερα ηλεκτρόδια για να γίνει μέτρηση της αντίστασης ενός ημιχώρου. Τα δύο από αυτά χρησιμεύουν στην εισαγωγή και κυκλοφορία του ρεύματος και τα ονομάζουμε A και B, ενώ με τη βοήθεια των άλλων μετράμε τη διαφορά δυναμικού στα αντίστοιχα σημεία και τα ονομάζουμε M και N. Έστω ότι AM είναι η απόσταση του M από το θετικό ηλεκτρόδιο A, BM από το αρνητικό B και AN και BN οι αντίστοιχες αποστάσεις του N από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος (Σχήμα 1.4).



**Σχήμα 1.4.** Διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων για τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού.

Τότε σύμφωνα με τη σχέση  $V = \frac{\rho \cdot i}{2\pi r}$ , η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων Α και Β για έναν ομογενή ημιχώρο με αντίσταση  $\rho$  και για μια διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι:

$$\Delta V = \frac{\rho \cdot i}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται για τη μελέτη των διαφόρων διατάξεων. Επομένως η αντίσταση του ημιχώρου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\rho = \frac{2\pi}{K} \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

όπου  $K$  είναι ο παράγοντας  $\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$ , ο οποίος λέγεται γεωμετρικός παράγοντας και εξαρτάται από τη διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Στην περίπτωση ομογενούς και ισότροπου εδάφους και για οποιαδήποτε διάταξη ηλεκτροδίου, όταν ο γεωμετρικός παράγοντας πολλαπλασιάζεται με τη μετρούμενη αντίσταση, το αποτέλεσμα είναι η πραγματική αντίσταση του εδάφους.

Στην περίπτωση μη ομογενούς και ισότροπου χώρου η σχέση:

$$\rho = \frac{2\pi}{K} \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

ορίζει μια παράμετρο που ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση του ημιχώρου  $\rho_a$ . Η παράμετρος αυτή εισάγεται για να ληφθεί υπόψη η γεωμετρία της μέτρησης, οι θέσεις δηλαδή των

ηλεκτροδίων. Η φαινόμενη αντίσταση δεν είναι η πραγματική αντίσταση του υπεδάφους, αλλά μια φαινόμενη τιμή η οποία είναι η αντίσταση που θα είχε το έδαφος αν ήταν γεωηλεκτρικά ομογενές. Η τιμή αυτή ταυτίζεται με την πραγματική αντίσταση όταν πρόκειται για ομογενή Γη.

Στην πράξη η φαινόμενη αντίσταση  $\rho_a$  αποτελεί ένα είδος μέσου όρου των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Επομένως δεν δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια «παραμορφωμένη εικόνα» της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.

Για το λόγο αυτό η απευθείας χρήση των μετρήσεων φαινόμενης αντίστασης για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι παρακινδυνευμένη. Η πραγματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Ο καθορισμός της πραγματικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης αντίστασης είναι η λύση του αντίστροφου προβλήματος.

#### **1.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ**

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατά τους οποίους διατάσσονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού. Οι πιο γνωστές από τις διατάξεις αυτές φαίνονται στο (σχήμα 1.5) και είναι η «διάταξη Wenner», η «διάταξη Schlumberger», η «διάταξη διπόλου-διπόλου», η «διάταξη πόλου-διπόλου» και η «διάταξη πόλου-πόλου». Το κύριο χαρακτηριστικό μιας διάταξης είναι ο γεωμετρικός παράγοντας, ο οποίος σχετίζεται μονοσήμαντα με τις σχετικές αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων (Tsourlos, 1995).

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους διαφέρουν ως προς τη

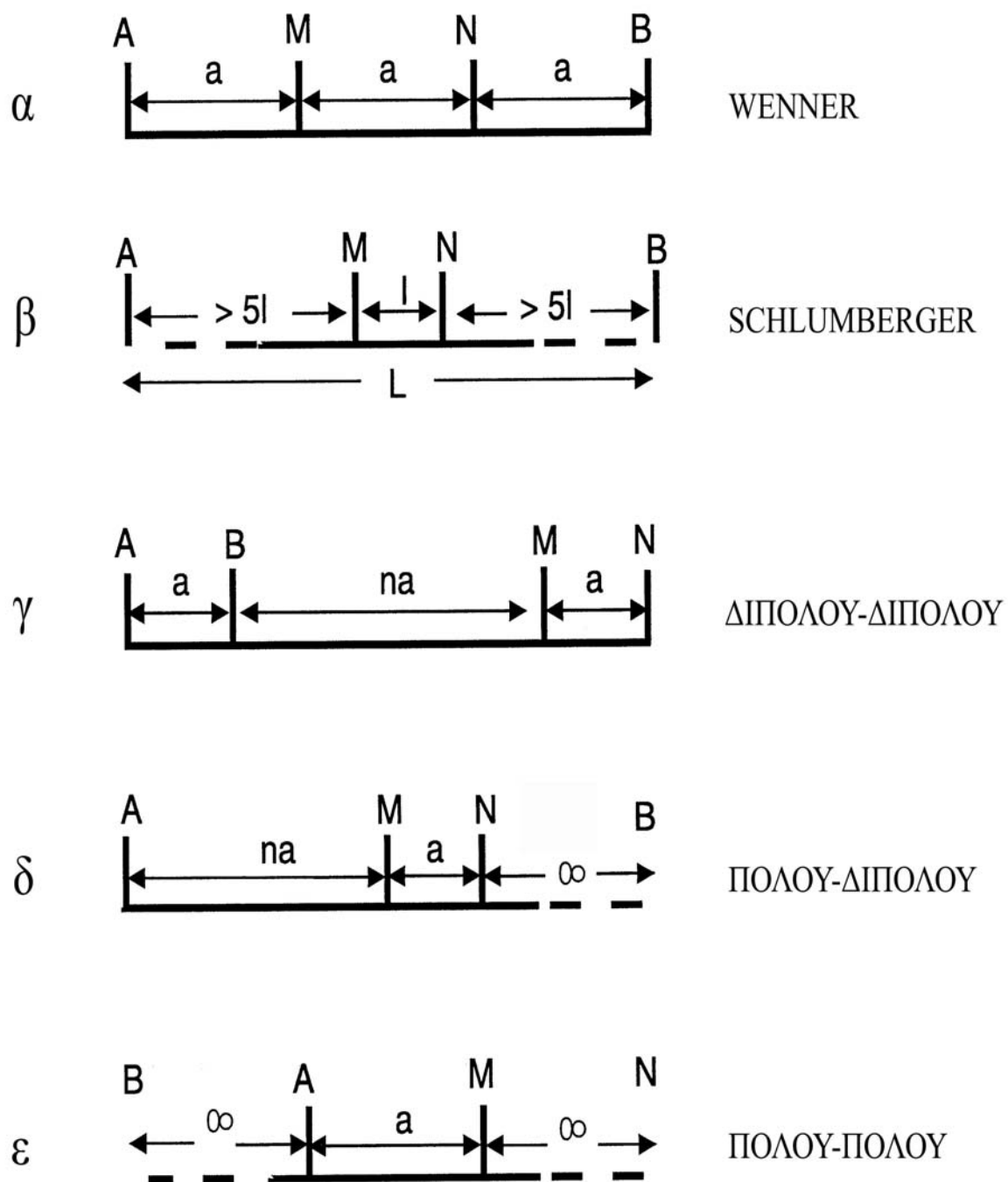
γεωμετρία τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η κάθε μια από αυτές να έχει διαφορετικές δυνατότητες ανίχνευσης μεταβολών της αντίστασης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Έτσι, λόγου χάρη, οι διατάξεις Wenner και Schlumberger είναι περισσότερο ευαίσθητες μεταβολές της αντίστασης με το βάθος και συνεπώς είναι πιο χρήσιμες σε προβλήματα στρωματογραφίας. Από την άλλη, οι διατάξεις διπόλου-διπόλου και πόλου-διπόλου είναι περισσότερο ευαίσθητες σε πλευρικές μεταβολές της αντίστασης.

Επιπλέον, οι διατάξεις Wenner και Schlumberger έχουν μικρότερο βάθος διείσδυσης, αλλά και σαφώς μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο σε σύγκριση με τις διατάξεις διπόλου-διπόλου και πόλου-διπόλου. Επίσης, η διάταξη Wenner καλύπτει μια πολύ μικρή περιοχή έρευνας σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις. Η διάταξη πόλου-πόλου έχει το μεγαλύτερο βάθος διείσδυσης και καλύπτει τη μεγαλύτερη περιοχή έρευνας σε σύγκριση με τις προηγούμενες διατάξεις, αλλά έχει πολύ μικρό λόγο σήματος προς θόρυβο. Στη συνέχεια φαίνεται ένας ενδεικτικός πίνακας (πίνακας 1.4) αξιολόγησης κάποιων διατάξεων.

Πίνακας 1.4. Αξιολόγηση διατάξεων μέτρησης της αντίστασης (κατά Ward, 1990).

|                                 |   |   |   |
|---------------------------------|---|---|---|
| Pole-Dipole                     | 4 | 3 | 2 |
| Gradient                        | 3 | 1 | 5 |
| Κωδικός : 1=βέλτιστη 5=χείριστη |   |   |   |

| Τύπος διάταξης | Λόγος Σήματος / Θόρυβο | Ανίχνευση πλευρικών μεταβολών | Ανίχνευση εις βάθος μεταβολών |
|----------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Wenner         | 1                      | 5                             | 1                             |
| Schlumberger   | 2                      | 4                             | 1                             |
| Dipole-Dipole  | 5                      | 2                             | 2                             |



**Σχήμα 1.5.** Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες διατάξεις ηλεκτροδίων (Tsourlos,1995).

## ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ:

Ακολουθεί μια πιο λεπτομερής παρουσίαση της διάταξης διπόλου-διπόλου καθώς παραλλαγή της χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή. Στη διάταξη διπόλου-διπόλου τα ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται σε μικρή απόσταση,  $AB=a$ , μεταξύ τους, αλλά είναι απομακρυσμένα από τα ηλεκτρόδια δυναμικού, δηλαδή, απέχουν από αυτά σημαντική απόσταση,  $BN=na$ , ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού απέχουν, συνήθως, την ίδια μικρή απόσταση,  $MN=a$ . (Σχήμα 1.5.(γ)). Η φαινόμενη αντίσταση για αυτή την διάταξη είναι:

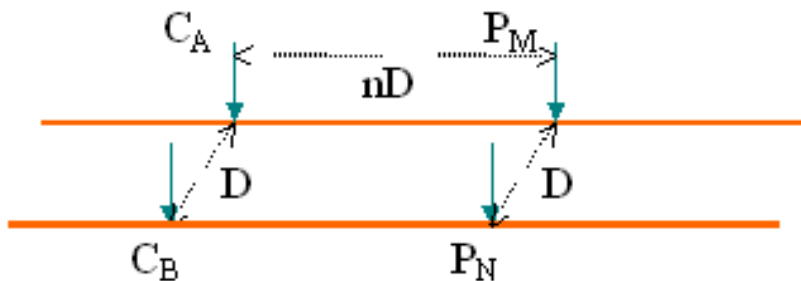
$$\rho_{\alpha} = -\pi \cdot n \cdot (n+1) \cdot (n+2)a \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

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

## ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η τρισδιάστατη διάταξη διπόλου-διπόλου η οποία είναι μια μη γραμμική διάταξη δηλαδή τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού δεν βρίσκονται όλα στην ίδια ευθεία αλλά όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.6. τα ηλεκτρόδια A, M, B και N βρίσκονται σε παράλληλες ευθείες.

Κατά την λήψη των μετρήσεων το μήκος ( $D$ ) του διπόλου ρεύματος ( $AB$ ) και του διπόλου δυναμικού ( $MN$ ) παραμένει σταθερό ενώ η απόσταση μεταξύ των διπόλων είναι  $n \cdot D$  (ο  $n$  είναι ακέραιος). Η μέγιστη απόσταση  $n_{\max} \cdot \alpha$  εξαρτάται από τη μέγιστη ένταση που μπορεί να δώσει η πηγή μας και από τη γεωλογία (γεωηλεκτρικές αντιστάσεις) της περιοχής σε συνάρτηση με το επιθυμητό βάθος έρευνας.



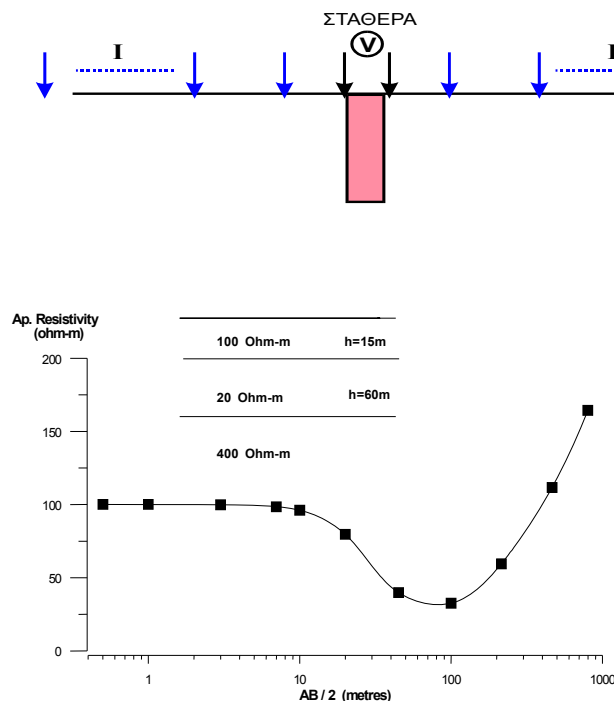
**Σχήμα 1.6.** Η τρισδιάστατη διάταξη μέτρησης διπόλου-διπόλου.

## 1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.

Τρεις μέθοδοι έρευνας χρησιμοποιούνται συνήθως για τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η βυθοσκόπηση, η όδευση-οριζοντιογραφία και η δισδιάστατη διασκόπηση-ηλεκτρική τομογραφία.

Με τη μέθοδο της βυθοσκόπησης (sounding) λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με συνεχώς αυξανόμενες τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος, ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού είναι σταθερά.

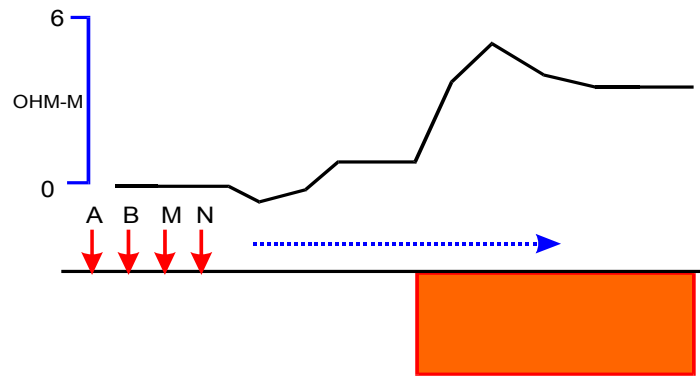
Με τη συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος. Επίσης με την αύξηση του βάθους μειώνεται η διακριτική ικανότητα. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η διάταξη μέτρησης Schlumberger. Κλασσικό πεδίο εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό των υδροφόρων σχηματισμών ( Σχήμα 1.7 ).



**Σχήμα 1.7.** Μέθοδος Βυθοσκόπησης.

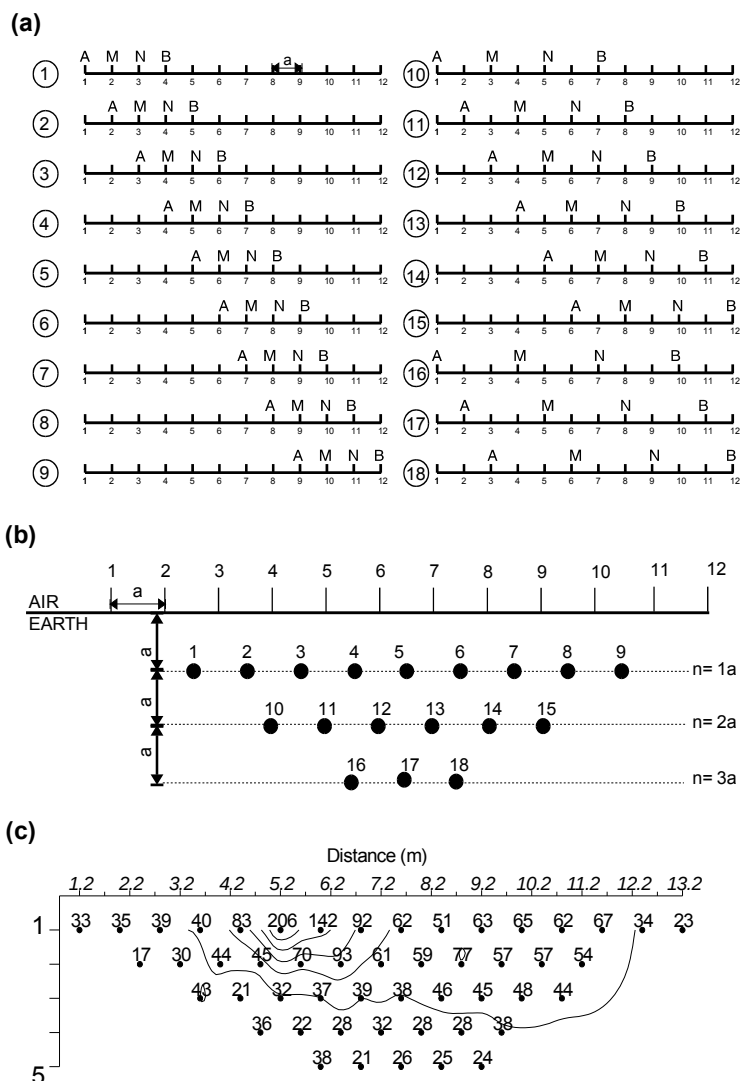
Η μέθοδος της όδευσης-οριζοντιογραφίας (profiling) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πλευρικών μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίθετα με τη βυθοσκόπηση, οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με πλευρική μετακίνηση της διάταξης των ηλεκτροδίων με σταθερό βήμα. Έτσι χαρτογραφούνται οι μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σταθερό βάθος σε μια έκταση ή ευθεία και εντοπίζονται οι δομές που παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση με το

περιβάλλον τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως οι διατάξεις Wenner, διπόλου-διπόλου και πόλου-διπόλου. Στη Γεωλογία χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ρηγμάτων και αποτελεί κλασσική μέθοδο στην Αρχαιομετρία ( Σχήμα 1.8 ).



**Σχήμα 1.8.** Μέθοδος όδευσης-οριζοντιογραφίας.

Η μέθοδος της διδιάστατης διασκόπησης-ηλεκτρικής τομογραφίας είναι ένας συνδυασμός των μεθόδων της βυθοσκόπησης και της όδευσης και είναι δυνατόν να πάρουμε πληροφορίες τόσο για την πλευρική όσο και για την εις βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό γίνεται με διαδοχικές οριζοντιογραφίες ή συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις επάνω από την ίδια περιοχή με συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε μια διδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής ( Σχήμα 1.9 ).



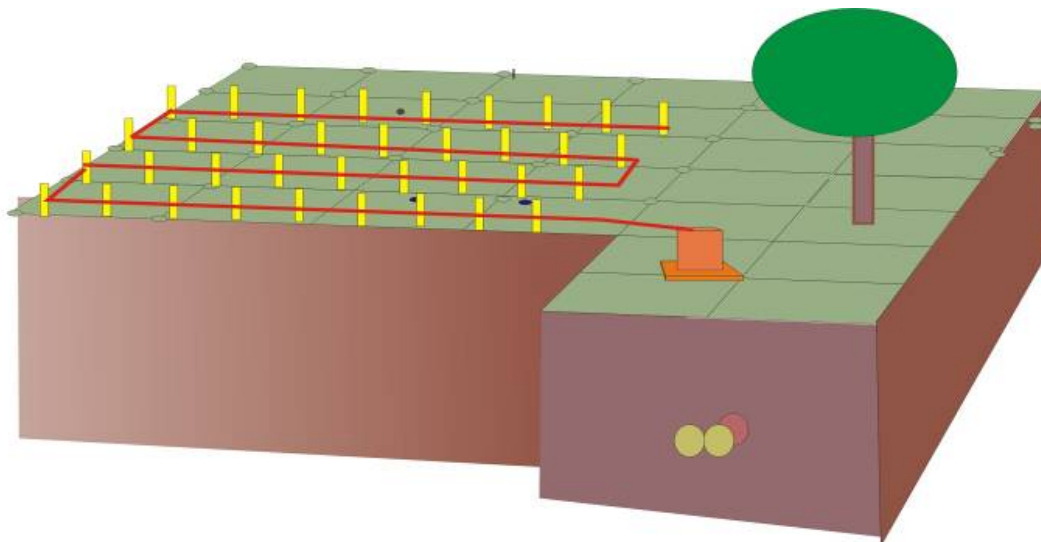
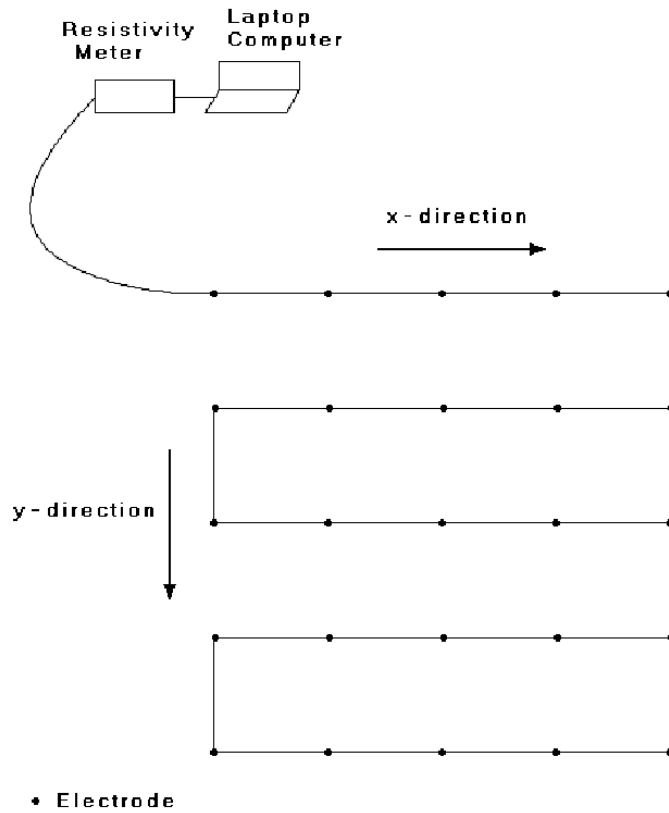
**Σχήμα 1.9.** Μέθοδος διδιάστατης διασκόπησης.

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

Πρόδρομος της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι η μέθοδος της «ψευδοτομής». Στην διαδικασία της «ψευδοτομής» μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων όπως διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου. Η ηλεκτρική τομογραφία όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις.

## ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Τα τελευταία χρόνια, με την κατασκευή ειδικών οργάνων μέτρησης της αντίστασης σε συνδυασμό με την ανάπτυξη προγραμμάτων τρισδιάστατης ερμηνείας των ηλεκτρικών δεδομένων είναι δυνατή η πλήρης τρισδιάστατη καταγραφή των αντιστάσεων του υπεδάφους. Η τρισδιάστατη διασκόπηση προϋποθέτει την ανάπτυξη των ηλεκτροδίων σε όλη την περιοχή μελέτης (και όχι μόνο σε γραμμές) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.10 καθώς επίσης και τη χρήση ειδικών διατάξεων μέτρησης όπως η τρισδιάστατη διάταξη μέτρησης διπόλου-διπόλου που περιγράφηκε στην ενότητα 1.4.



**Σχήμα 1.10.** Δίκτυο Ηλεκτροδίων τρισδιάστατης τομογραφίας (σε επίπεδη και τρισδιάστατη απεικόνιση).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ**

#### **2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ**

Όπως ήδη έχουμε αναφερθεί στο εισαγωγικό κεφάλαιο σκοπός αυτής της διπλωματικής ήταν η δημιουργία ενός λογισμικού για την παραγωγή πρωτοκόλλων γεωηλεκτρικών μετρήσεων, με το οποίο θα μπορούν να λαμβάνονται τρισδιάστατες μετρήσεις ηλεκτρικής διασκόπησης.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στον αλγόριθμο που έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του λογισμικού, στον τρόπο χρήσης του λογισμικού καθώς και στις διατάξεις που μπορούν να δημιουργηθούν.

#### **2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ**

Για την καλύτερη λειτουργία και κατανόηση των διατάξεων μέτρησης από τον χρήστη αλλά και για προγραμματιστικούς λόγους υπάρχει η ανάγκη να δημιουργηθεί ένας πίνακας ο οποίος αριθμεί και τοποθετεί τα ηλεκτρόδια στη σειρά κατά αύξοντα αριθμό. Αυτό γίνεται για να γνωρίζει ο χρήστης κάθε στιγμή σε πιο ηλεκτρόδιο υπάρχει ρεύμα και σε πιο μετρείται δυναμικό. Έτσι, πριν από τα τμήματα του κώδικα που υλοποιούν τις διατάξεις μέτρησης υπάρχει ένα τμήμα το οποίο, ανάλογα με το πόσα ηλεκτρόδια διαθέτει ο χρήστης και τον τρόπο με τον οποίο επιθυμεί να τα τοποθετήσει, υπολογίζει τον αριθμό των ηλεκτροδίων και τα αριθμεί κατά αύξοντα αριθμό.

Ο τρόπος που το πραγματοποιεί αυτό, είναι σύμφωνα με το καλώδιο σύνδεσης των ηλεκτροδίων με το όργανο λήψης των μετρήσεων. Το καλώδιο θα πρέπει να συνδέει τα ηλεκτρόδια με τη σειρά και να σχηματίζει τη μορφή 'φιδιού' ( σχήμα 2.1 ) έτσι ώστε να υπάρχει οικονομία καλωδίου και να μην χρειάζεται μεγάλης απόστασης καλώδιο για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων.

Επίσης, για την καλύτερη κατανόηση και χρήση του λογισμικού, δημιουργήθηκε και ένα παράθυρο διαλόγου (menu) στο οποίο ο χρήστης ορίζει τις αρχικές παραμέτρους, χωρίς να χρειάζεται έτσι να παρεμβαίνει κάθε φορά στον κώδικα για αλλαγές, και για το οποίο θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στη συνέχεια.



**Σχήμα 2.1** Θέσεις ηλεκτροδίων και καλωδίωση.

## 2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Ο κώδικας του λογισμικού έχει γραφτεί στη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB (version R2007b) και αποτελείται από ξεχωριστά μικρότερα υποπρογράμματα. Παρακάτω ακολουθεί παρουσίαση του αλγορίθμου. Η δομή του αλγορίθμου ακολουθεί μια συγκεκριμένη σειρά με την οποία αρχικά θα πρέπει να γνωρίζουμε τον αριθμό και την λειτουργία των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν για την λειτουργία του αλγορίθμου (σχήμα 2.2 ).

```
x=8;
y=6;
num_elec=x*y;
stepx=5;
stepy=5;

choice=5;
k=0;
% current
mean_rho=10;
volt_meter=800;
contact_res=2000;
revma=volt_meter/contact_res;
stathera=revma*mean_rho;
```

**Σχήμα 2.2** Τμήμα κώδικα εισαγωγής μεταβλητών.

Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις τιμές των μεταβλητών που έχει δώσει ο χρήστης, ο αλγόριθμος δημιουργεί τον πίνακα τιμών (σχήμα 2.3 ) και τέλος, ανάλογα με την διάταξη που έχει επιλέξει ο χρήστης, το λογισμικό εκτελεί το τμήμα του κώδικα που αναφέρεται στη διάταξη αυτή. Για τις διατάξεις που υποστηρίζει ο αλγόριθμος θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

```
%pinakas
ii=0;
num=0
num2=0
for i=1:2:y
    ycoord=(i-1)*stepy;
    ii=ii+1;
```

```

for j=1:1:x

    k=k+1;
    xcoord=(j-1)*stepx;
    map(j,ii)=k;
    ex(k)=xcoord
    ey(k)=ycoord
end
    ycoord=(i)*stepy;
    ii=ii+1;
    zr=0;
    for j=x:-1:1

        k=k+1;
        xcoord=(j-1)*stepx;
        map(j,ii)=k;
        ex(k)=xcoord
        ey(k)=ycoord

    end
end
num_electrodes=k

```

**Σχήμα 2.3** Τμήμα κώδικα για τον πίνακα

Επίσης ο αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει μέσα από επαναληπτικές διαδικασίες τον γεωμετρικό παράγοντα των παραγόμενων μετρήσεων και τον χρησιμοποιεί ως κριτήριο (κατώφλι) για το αν μπορεί ή όχι να γίνει μέτρηση με ικανοποιητικά αποτελέσματα (σχήμα 2.4 ).

```

% test geometrical factor
for k=1:1:num_meas
    if choice==1

        ia=a(k);
        im=m(k);
        in=0;
        ib=0;
        dam(k)=1/sqrt( ((ex(ia)-ex(im))*(ex(ia)-ex(im)))+(ey(ia)-ey(im))*(ey(ia)-ey(im))) );
        dan(k)=0;
        dbm(k)=0;
        dbn(k)=0;
        geofac(k)=(2*3.14)/(dam(k)-dbm(k)-dan(k)+dbn(k));
        mflag(k)=0;
        if ((stathera/abs(geofac(k)))>=0.001)
            mflag(k)=1;
        end
    end
end

```

**Σχήμα 2.4** Τμήμα κώδικα για τον γεωμετρικό παράγοντα.

Με την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της διάταξης, που επιλέχτηκε από τον χρήστη το λογισμικό έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τα δεδομένα των μετρήσεων σε κάποιο αρχείο (dat) το όνομα του οποίου είναι επιλογή του χρήστη (σχήμα 2.5 ).

```
% save file
fid=fopen('c:\temp\gr.dat','w');
fprintf(fid,'#   X   Y   Z \n');
for i=1:1:num_electrodes

    fprintf(fid,'%d   %f %f %f \n',i,ex(i),ey(i),0);
end
fprintf(fid,'#   A   B   M   N\n');

mm=0;
for i=1:1:num_meas
    %if mflag(i)==1
        mm=mm+1;
        fprintf(fid,'%d   %d %d %d %d %d %f\n',mm,a(i),b(i),m(i),n(i),
mflag(i),stathera/geofac(i));
    %end
end
fclose(fid)
```

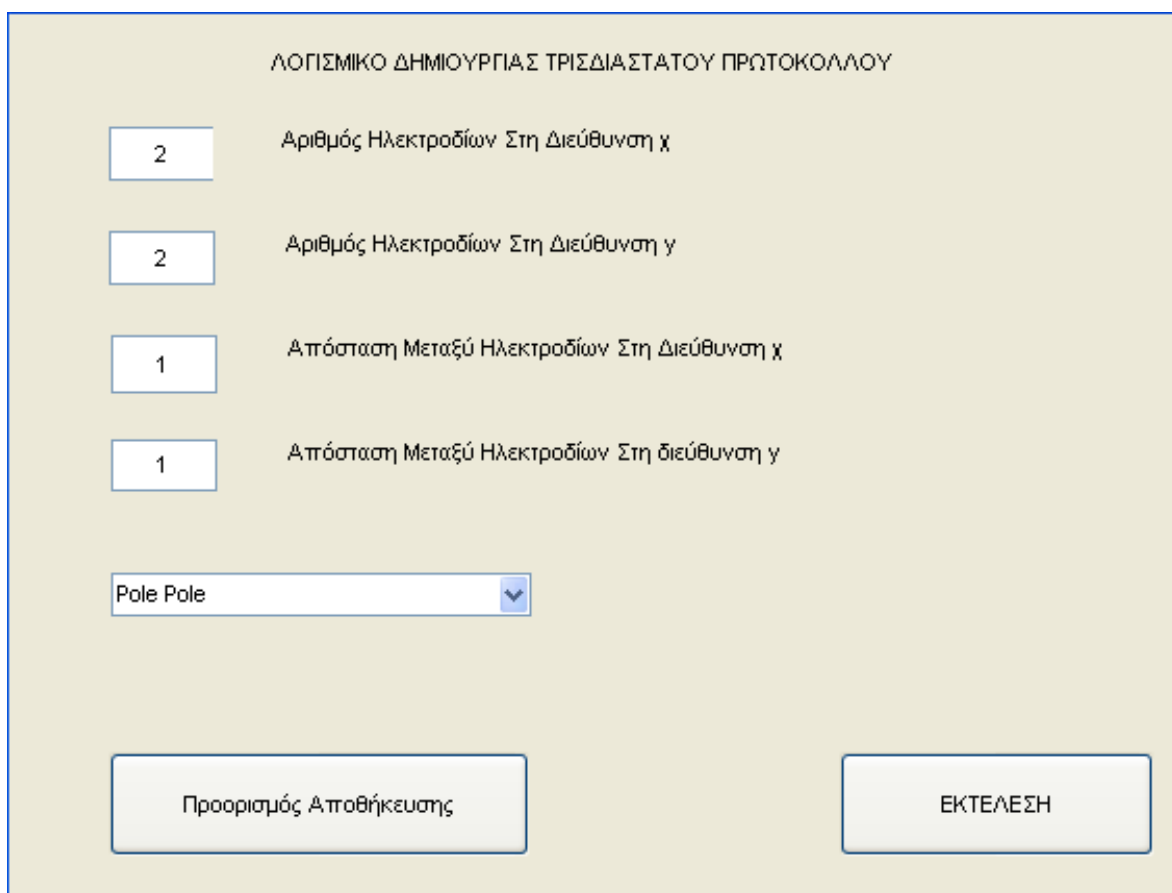
**Σχήμα 2.5** Τμήμα κώδικα για την αποθήκευση των δεδομένων.

Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για τις μεταβλητές είναι ενδεικτικές και αλλάζουν ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

## 2.4 ΜΕΝΟΥ ΔΙΑΛΟΓΟΥ

Με το άνοιγμα του λογισμικού εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου (σχήμα 2.6 ) στο οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δώσει συγκεκριμένες τιμές παραμέτρων της μέτρησης. Οι τιμές αυτές αφορούν τον αριθμό των ηλεκτροδίων στην διεύθυνση ως προς άξονα χ και ως προς άξονα γ, όπως και την απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους στην διεύθυνση ως προς άξονα χ και ως προς άξονα γ.

Επίσης μπορεί να επιλέξει τη διάταξη που επιθυμεί από τις διαθέσιμες καθώς και το όνομα του αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτεί το πρωτόκολλο μετρήσεων. Αφού εισαχθούν οι παραπάνω παράμετροι ο χρήστης θα πρέπει να πατήσει το κουμπί 'ΕΚΤΕΛΕΣΗ' ώστε να εκτελεστεί το πρόγραμμα.



ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

2 Αριθμός Ηλεκτροδίων Στη Διεύθυνση x

2 Αριθμός Ηλεκτροδίων Στη Διεύθυνση y

1 Απόσταση Μεταξύ Ηλεκτροδίων Στη Διεύθυνση x

1 Απόσταση Μεταξύ Ηλεκτροδίων Στη διεύθυνση y

Pole Pole

Προορισμός Αποθήκευσης

ΕΚΤΕΛΕΣΗ

**Σχήμα 2.6** Παράθυρο διαλόγου.

## 2.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικότερα κάθε ένα από τα τμήματα του αλγορίθμου που αναφέρονται στις διατάξεις που έχουν δημιουργηθεί ενδεικτικά σε αυτό το λογισμικό για την λείψει τον μετρήσεων.

### 2.5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ POLE-POLE

Μια από τις διατάξεις μέτρησης που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι η pole-pole (σχήμα 2.7 ), η συγκεκριμένη μέθοδος χρειάζεται 4 ηλεκτρόδια από τα οποία τα ηλεκτρόδια B και N βρίσκονται πολύ μεγάλη απόσταση (θεωρητικά άπειρη) και είναι σταθερά οπότε πρακτικά αγνοούνται από τον κώδικα, ενώ οι μετρήσεις λαμβάνονται μόνο με τα ενεργά (κινούμενα) ηλεκτρόδια A και M.

Με βάση αυτά ο κώδικας υλοποιεί και εφαρμόζει τη διάταξη pole-pole . Στον κώδικα αυτόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όσα ηλεκτρόδια επιθυμεί ο χρήστης τοποθετημένα με οποιονδήποτε τρόπο στο χώρο. Η λειτουργία του κώδικα χρησιμοποιεί δυο βασικούς βρόχους επανάληψης (loop) με τους οποίους αλλάζει η θέση του ρεύματος και η θέση του δυναμικού.

Ο βρόχος επανάληψης του δυναμικού βρίσκεται εντός του βρόχου επανάληψης του ρεύματος με αποτέλεσμα για κάθε θέση ρεύματος να μετρούμε δυναμικό σε όλα τα ηλεκτρόδια της διάταξης εκτός από το ηλεκτρόδιο του ρεύματος. Το ηλεκτρόδιο ρεύματος θα μετακινηθεί στην επόμενη θέση εφόσον ολοκληρωθεί η επαναληπτική διαδικασία του δυναμικού. Από την στιγμή που θα μετακινηθεί το ηλεκτρόδιο του ρεύματος στην επόμενη θέση , τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται πριν από αυτό δε λαμβάνουν μέρος στις μετρήσεις. Η διαδικασία αυτή θα

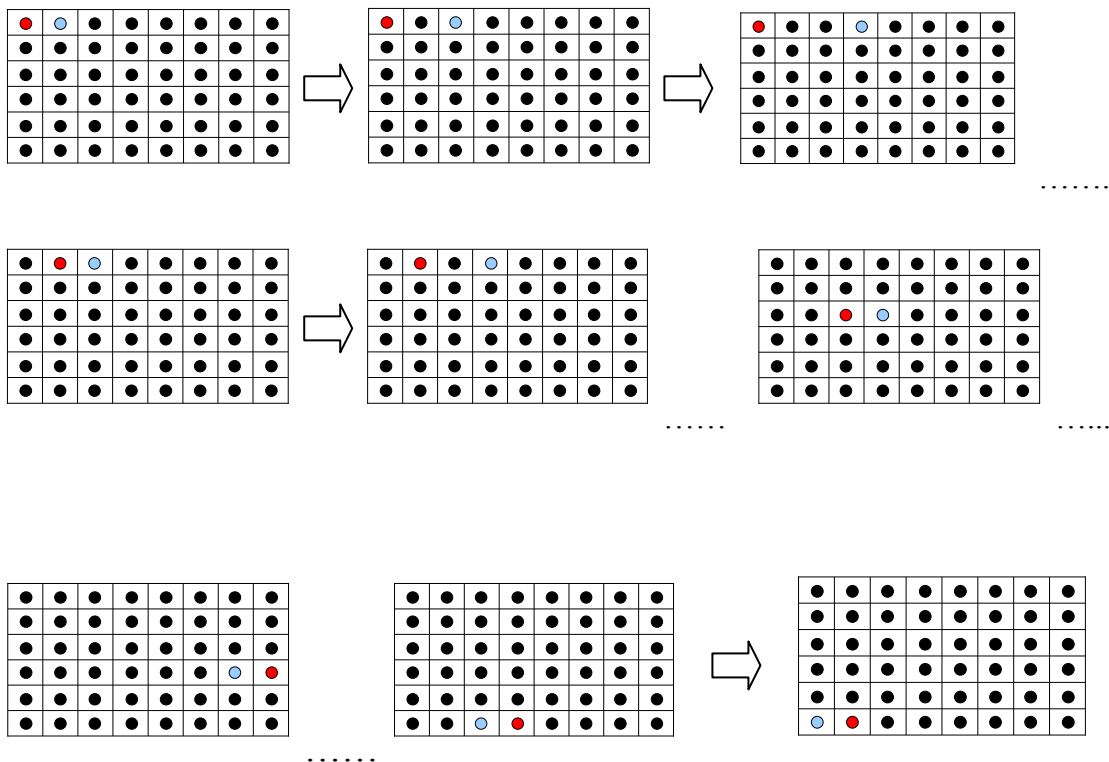
ολοκληρωθεί μέχρις ότου το ηλεκτρόδιο του ρεύματος τοποθετηθεί μία θέση πριν το τελευταίο ηλεκτρόδιο της διάταξης (σχήμα 2.8 ).

```
% 3D pole pole data set
if choice==1;
    k=0;
    for(i=1:1:num_electrodes-1)

        for(j=i+1:1:num_electrodes)
            k=k+1;
            a(k)=i;
            m(k)=j;
            b(k)=0;
            n(k)=0;

        end
    end
    num_meas=k;
end
```

**Σχήμα 2.7** Τμήμα κώδικα διάταξης πόλου-πόλου.



|                      |                                                                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ  |  |
| ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ |  |
| ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  |  |

**Σχήμα 2.8** Σχηματική απεικόνιση όδευσης πόλου-πόλου.

## 2.5.2 ΔΙΑΤΑΞΗ POLE-DIPOLE

Η δεύτερη δυνατή διάταξη που μπορεί να πραγματοποιήσει ο κώδικας είναι η pole-dipole (σχήμα 2.9 ). Μία επιπλέον δυνατότητα που προσφέρει ο κώδικας αυτός είναι ότι μπορεί να εκτελέσει τη διάταξη pole-dipole με κανονική σειρά, δηλαδή από το πρώτο ηλεκτρόδιο ως το τελευταίο (forward) καθώς επίσης και με αντίστροφη σειρά, δηλαδή από το τελευταίο ηλεκτρόδιο ως το πρώτο (forward and reverse). Αυτή η δυνατότητα δίνει την ευχέρεια στον χρήστη να εκτελέσει την ίδια διάταξη με δύο τρόπους.

Η μέθοδος pole-dipole χρειάζεται 4 ηλεκτρόδια από τα οποία τα 3 χρησιμοποιούνται για τη λήψη των μετρήσεων. Στην pole-dipole το ηλεκτρόδιο Β στο οποίο εφαρμόζεται ρεύμα, βρίσκεται σε θεωρητικά άπειρη απόσταση από το Α και γι' αυτόν τον λόγο δεν λαμβάνει μέρος στις μετρήσεις. Έτσι τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται είναι το Α (ρεύματος) και τα Μ , Ν (δυναμικού). Ο κώδικας μπορεί να υλοποιεί και να εφαρμόζει τη διάταξη pole-dipole (forward) καθώς και την αντίστροφη (reverse).

Η λειτουργία του κώδικα χρησιμοποιεί δύο επαναληπτικές διαδικασίες οι οποίες αλλάζουν τη θέση του ρεύματος και τη θέση του δυναμικού. Ο βρόχος επανάληψης του ρεύματος είναι εξωτερικός αυτού του δυναμικού, με αποτέλεσμα να αλλάζει θέση το ηλεκτρόδιο ρεύματος μόνο όταν ολοκληρωθεί η όδευση του δίπολου δυναμικού στα υπόλοιπα ηλεκτρόδια. Όταν το ηλεκτρόδιο του ρεύματος αλλάξει

θέση τότε τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται πριν από αυτό δεν λαμβάνουν μέρος στις μετρήσεις. Το ηλεκτρόδιο του ρεύματος μετακινείται κάθε φορά κατά μία θέση και η τελική του θέση είναι δύο θέσεις πριν το τελευταίο ηλεκτρόδιο. Ο βρόχος επανάληψης του δυναμικού βρίσκεται εσωτερικά του βρόχου επανάληψης του ρεύματος με αποτέλεσμα να έχουμε την μετακίνηση του ρεύματος αφού έχει ολοκληρωθεί η επανάληψη του δυναμικού (σχήμα 2.10 ).

```
%forward pole dipole
if choice==2
    k=0;

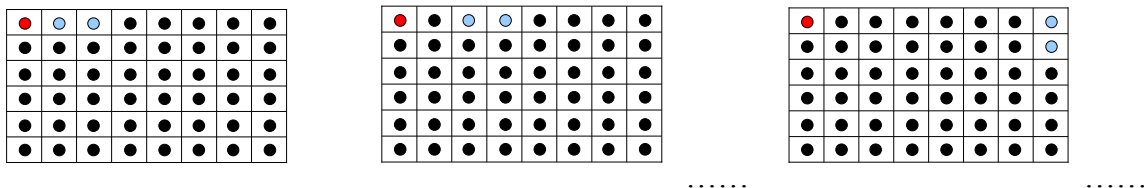
    for(i=1:1:num_electrodes-2)

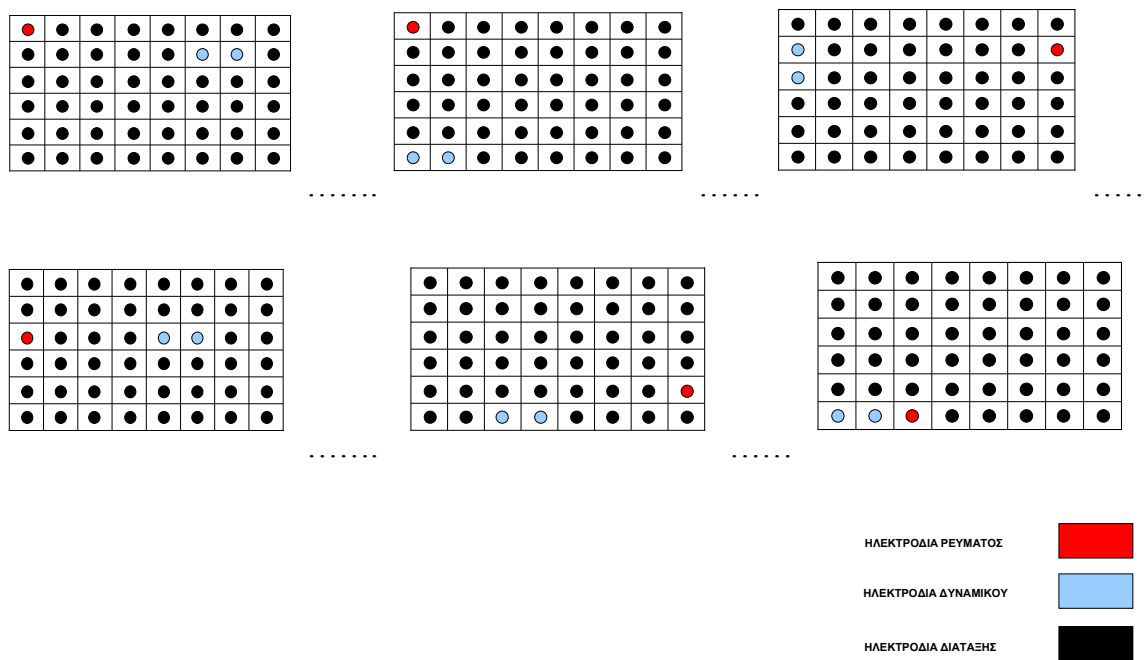
        for(j=i+1:1:num_electrodes-1)
            k=k+1
            a(k)=i;
            m(k)=j;
            n(k)=j+1;
            b(k)=0;

        end
    end
    num_meas=k;

end
```

**Σχήμα 2.9** Τμήμα κώδικα διάταξης πόλου-διπόλου (forward).





**Σχήμα 2.10** Γραφική απεικόνιση όδευσης πόλου-διπόλου (forward).

### 2.5.3 ΔΙΑΤΑΞΗ POLE-DIPOLE (forward and reverse)

Η διάταξη pole-dipole (forward and reverse) (σχήμα 2.11 ) πραγματοποιεί την ίδια διαδικασία με την pole-dipole (forward) με τη μόνη διαφορά ότι σε αυτήν γίνεται η διαδικασία λήψης των μετρήσεων και με την αντίθετη φορά. Δηλαδή η αρχική θέση του ηλεκτροδίου ρεύματος σε αυτήν την περίπτωση θα είναι το τελευταίο ηλεκτρόδιο της διάταξης, και τα δύο ηλεκτρόδια στα οποία μετρείται δυναμικό θα βρίσκονται στις δύο θέσεις πριν το τελευταίο ηλεκτρόδιο. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η όδευση των ηλεκτροδίων δυναμικού μέχρις ότου να τοποθετηθούν στο πρώτο και δεύτερο ηλεκτρόδιο της διάταξης.

Σύμφωνα με τις επαναληπτικές διαδικασίες του κώδικα θα έχουμε και την μετακίνηση του ηλεκτροδίου ρεύματος κατά μία θέση πριν, με κάθε ολοκλήρωση της επαναληπτικής διαδικασίας του δυναμικού, μέχρις ότου το ηλεκτρόδιο ρεύματος να τοποθετηθεί δύο θέσεις από το

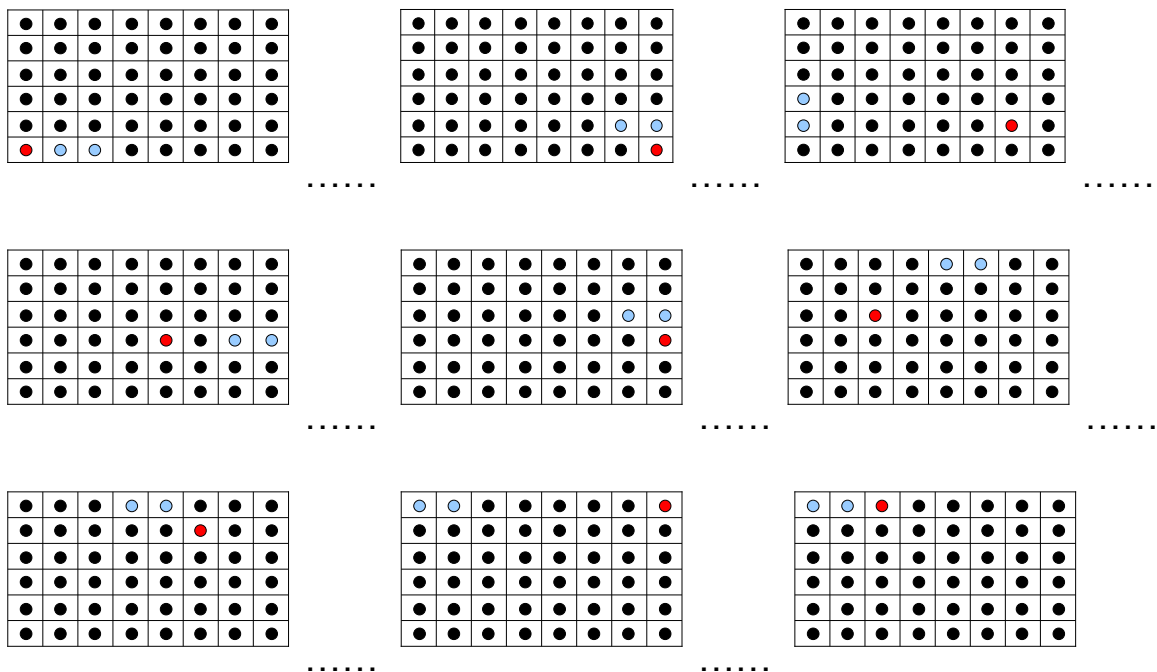
αρχικό ηλεκτρόδιο της διάταξης (σχήμα 2.12 ). Με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου ο χρήστης μπορεί να έχει μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων και κατά συνέπεια να μπορεί να οδηγηθεί σε καλύτερα συμπεράσματα για τους σχηματισμούς του υπεδάφους.

```
% reverse pole dipole

for(i=num_electrodes:-1:3)

    for(j=i-1:-1:2)
        k=k+1
        a(k)=i;
        m(k)=j;
        n(k)=j-1;
        b(k)=0;
    end
end
num_meas=k;
end
```

**Σχήμα 2.11** Τμήμα κώδικα διάταξης πόλου-διπόλου (reverse).



|                      |                                                                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ  |  |
| ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ |  |
| ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  |  |

**Σχήμα 2.12** Γραφική απεικόνιση όδευσης πόλου-διπόλου (reverse).

#### 2.5.4 ΔΙΑΤΑΞΗ GRADIENT

Μια ακόμα διάταξη που μπορεί να πραγματοποιήσει αυτός ο κώδικας είναι η gradient (σχήμα 2.13 ). Ο κώδικας για τη gradient χρησιμοποιεί 2 βρόχους επανάληψης έναν για τα ηλεκτρόδια ρεύματος και έναν για τα ηλεκτρόδια δυναμικού.

Στη gradient χρησιμοποιούνται 4 ηλεκτρόδια για την λήψη των μετρήσεων. Κατά τη πραγματοποίηση της gradient ο βρόχος επανάληψης του ρεύματος τοποθετεί τα ηλεκτρόδια ρεύματος στις αρχικές τους θέσεις οι οποίες είναι το πρώτο ηλεκτρόδιο της διάταξης για το ηλεκτρόδιο A και το τελευταίο ηλεκτρόδιο της διάταξης για το ηλεκτρόδιο B. Όταν τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια ρεύματος τότε ο βρόχος επανάληψης δυναμικού, που βρίσκεται εσωτερικά αυτής του ρεύματος, τοποθετεί τα ηλεκτρόδια δυναμικού επίσης στις αρχικές τους θέσεις που είναι το δεύτερο ηλεκτρόδιο της διάταξης για το ηλεκτρόδιο M και το προτελευταίο ηλεκτρόδιο της διάταξης για το ηλεκτρόδιο N. Στη συνέχεια ο βρόχος επανάληψης του δυναμικού μετακινεί τα ηλεκτρόδια M και N με τέτοιο τρόπο ώστε το ηλεκτρόδιο M να μετακινείται αυξανόμενο κατά μια θέση και το ηλεκτρόδιο N μειούμενο κατά μια θέση. Η δομή επανάληψης του δυναμικού θα μετακινεί τα ηλεκτρόδια M και N μέχρις ότου αυτά τοποθετηθούν σε όλες τις θέσεις ηλεκτροδίων που βρίσκονται ανάμεσα στις θέσεις του ρεύματος οι οποίες παραμένουν σταθερές μέχρι να ολοκληρωθεί ο βρόχος

επανάληψης του δυναμικού. Με την ολοκλήρωση της επανάληψης του δυναμικού ενεργοποιείται ο βρόχος επανάληψης του ρεύματος και τα ηλεκτρόδια A και B μετακινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε το ηλεκτρόδιο A να μετακινείται αυξανόμενο κατά μια θέση και το ηλεκτρόδιο B μειούμενο κατά μια θέση.

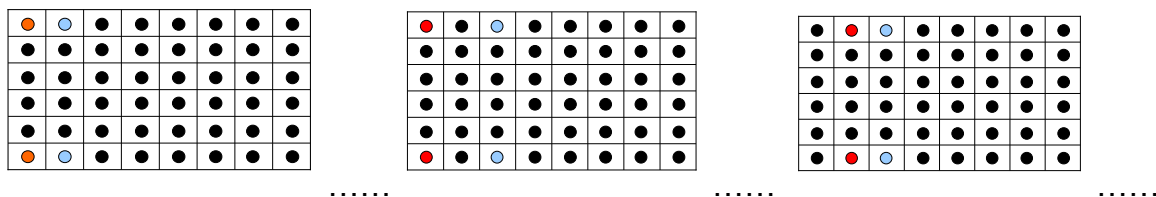
Η διαδικασία αυτή θα συνεχιστεί μέχρις ότου τα ηλεκτρόδια A και B τοποθετηθούν σε θέσεις ανάμεσα στις οποίες υπάρχουν μόνο δυο θέσεις ηλεκτροδίων που θα καλυφτούν από τα ηλεκτρόδια M και N. Αυτές θα είναι και οι τελικές θέσεις που θα υλοποιήσει ο κώδικας (σχήμα 2.14 ).

```
%3d gradient
if choice==4;
    k=0;
    t=0;
    D=num_electrodes+1;
    for(i=1:1:num_electrodes-1)

        for(j=i+1:1:num_electrodes-i-1)
            %for(t=j+1:1:num_electrodes)
                k=k+1;
                a(k)=i;
                m(k)=j;
                b(k)=num_electrodes+1-i;
                n(k)=j+1;

            end
        end
    end
    num_meas=k;
end
```

**Σχήμα 2.13** Τμήμα κώδικα διάταξης gradient.





επανάληψη του δυναμικού που τοποθετεί τα ηλεκτρόδια δυναμικού αρχικά στις δύο επόμενες θέσεις από το ηλεκτρόδιο B, στη συνέχεια της επανάληψης δυναμικού οι θέσεις του δυναμικού μετακινούνται με αύξουσα σειρά κατά μια θέση μέχρι τα δύο τελευταία ηλεκτρόδια της διάταξης. Όταν φτάσουν τα ηλεκτρόδια δυναμικού στις δύο τελευταίες θέσεις τότε σταματάει η επανάληψη του δυναμικού και επανενεργοποιείται ο βρόχος επανάληψης του ρεύματος, ο οποίος μετακινεί τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B με αύξουσα σειρά κατά μία θέση. Όταν τα ηλεκτρόδια A και B βρεθούν στις νέες θέσεις τότε ενεργοποιείται ξανά η δομή επανάληψης του δυναμικού.

Η διαδικασία θα πραγματοποιείται συνέχεια για όλα τα ηλεκτρόδια μέχρις ότου τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B τοποθετηθούν στη δεύτερη και τρίτη θέση πριν το τελευταίο ηλεκτρόδιο, αντίστοιχα και τα ηλεκτρόδια δυναμικού M και N θα τοποθετηθούν στις θέσεις των δύο τελευταίων ηλεκτροδίων της διάταξης (σχήμα 2.16 ).

```
%dipole dipole
if choice==5;

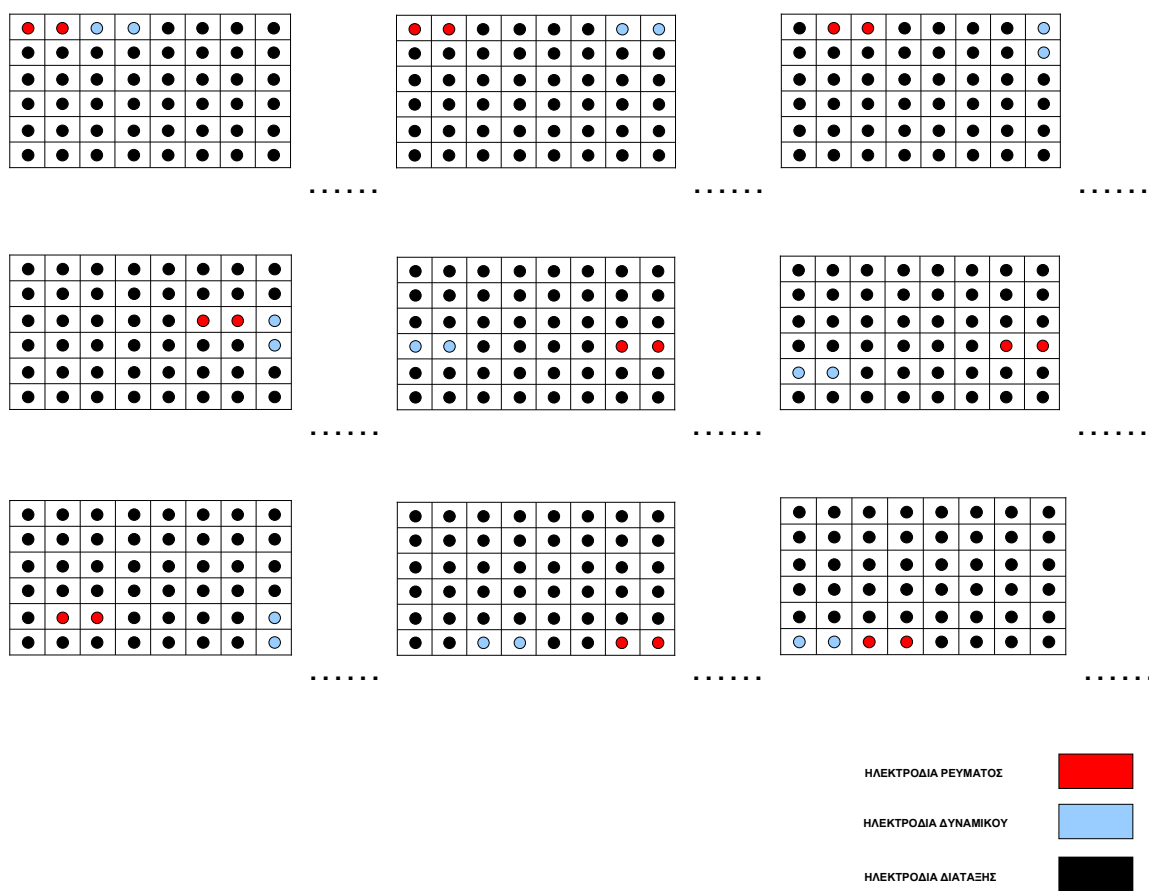
    k=0;
    for(i=1:1:num_electrodes-3);

        for(j=i+2:1:num_electrodes-1);
            k=k+1;
            a(k)=i;
            m(k)=j;
            n(k)=j+1;
            b(k)=i+1;

        end
    end
    num_meas=k;

end
```

**Σχήμα 2.15** Τμήμα κώδικα διάταξης διπόλου-διπόλου.



**Σχήμα 2.16** Γραφική απεικόνιση όδευσης διπόλου-διπόλου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

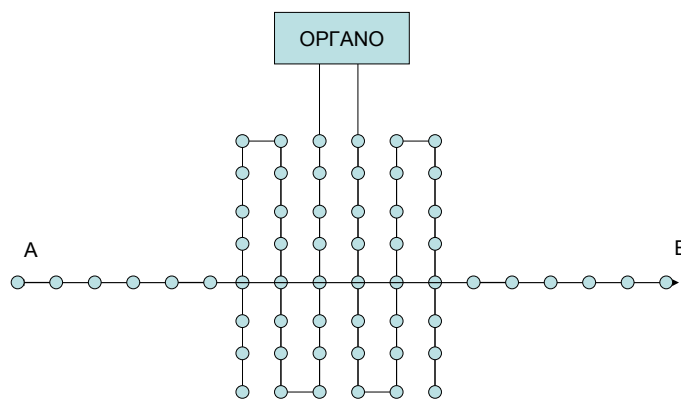
### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε πειραματικά για την λήψη μετρήσεων στην συμβολή των οδών Εθνικής Αμύνης και Εγνατίας στην πόλη της Θεσσαλονίκης όπως φαίνεται στην εικόνα (σχήμα 3.1 ) στη θέση «1», σε μία περιοχή μελέτης διαστάσεων 5Χ7 m στην οποία τοποθετήθηκαν 48 ηλεκτρόδια απόστασης 1 m μεταξύ τους. Επίσης για τον καλύτερο έλεγχο των αποτελεσμάτων των μετρήσεων πάρθηκαν και μετρήσεις απλής τομογραφίας όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2 ( τομή A-B ).



**Σχήμα 3.1** Αεροφωτογραφία της περιοχής λήψης των μετρήσεων.



**Σχήμα 3.2** Σχεδιάγραμμα διάταξης ηλεκτροδίων.

Η θέση αυτή που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις θεωρήθηκε ως ιδανική για την πειραματική χρήση του λογισμικού εξαιτίας της παρουσίας ενός τμήματος του αρχαίου τείχους της Θεσσαλονίκης (σχήμα 3.3 ) που βρίσκεται εκεί το οποίο θα μας έδινε μεγαλύτερες αντιστάσεις σε σχέση με το περιβάλλοντα χώρο. Για τη συγκεκριμένη χωροθέτηση ηλεκτροδίων χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας και δημιουργήθηκαν πρωτόκολλα για τις διατάξεις πόλου-πόλου, πόλου-δίπολου, δίπολου-δίπολου, gradient. Τα πρωτόκολλα αυτά φορτώθηκαν στο όργανο μέτρησης και χρησιμοποιήθηκαν για να ληφθούν δεδομένα τα οποία αναλύονται παρακάτω.



**Σχήμα 3.3** Φωτογραφίες κατά την διάρκεια της λήψης των μετρήσεων.

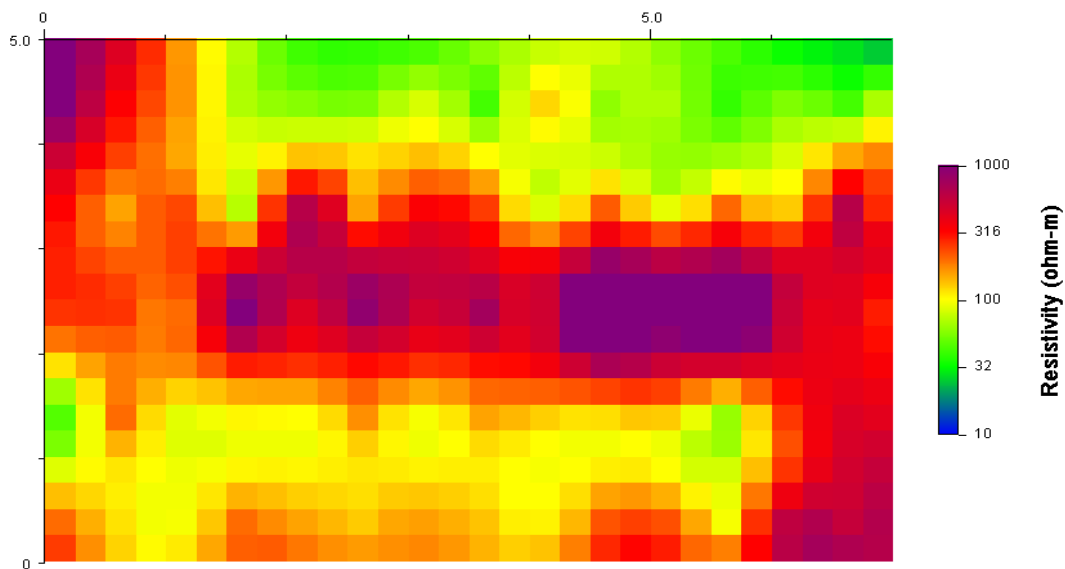
### 3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που πάρθηκαν από την περιοχή αυτή με την εφαρμογή των διατάξεων του λογισμικού ερμηνεύτηκαν με το ειδικό πρόγραμμα για τρισδιάστατη επεξεργασία και απεικόνιση δεδομένων

ηλεκτρικής διασκόπησης DC\_3DPro (Kim, 2008). Έτσι έχουμε μια τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής σύμφωνα με τα πραγματικά δεδομένα που πάρθηκαν και παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

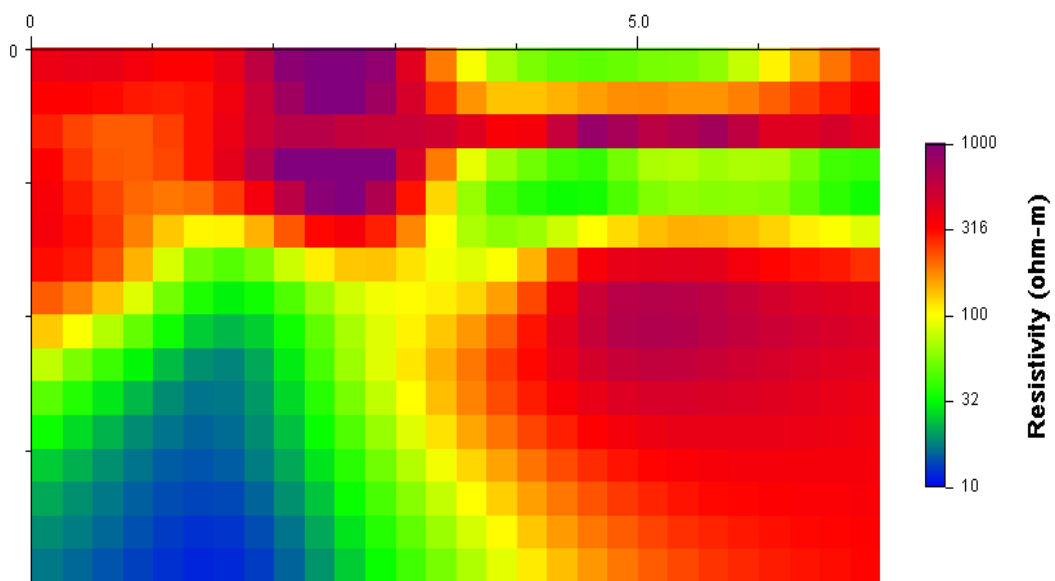
### 3.2.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Με την εφαρμογή της διάταξης διπόλου – διπόλου του λογισμικού πάρθηκαν δεδομένα τα οποία με την κατάλληλη επεξεργασία με το πρόγραμμα DC\_3DPro μας έδωσαν μια πιθανή τρισδιάστατη εικόνα της περιοχής (σχήμα 3.4 ). Η εικόνα αυτή είναι μια ενδεικτική τομή x-y σε βάθος 0,625 m στην οποία εμφανίζετε στη μέση με μεγάλες αντιστάσεις το αρχαίο τοίχος της Θεσσαλονίκης και γύρω από αυτό φαίνονται με μικρές αντιστάσεις οι γειτονικοί ιζηματογενής σχηματισμοί.

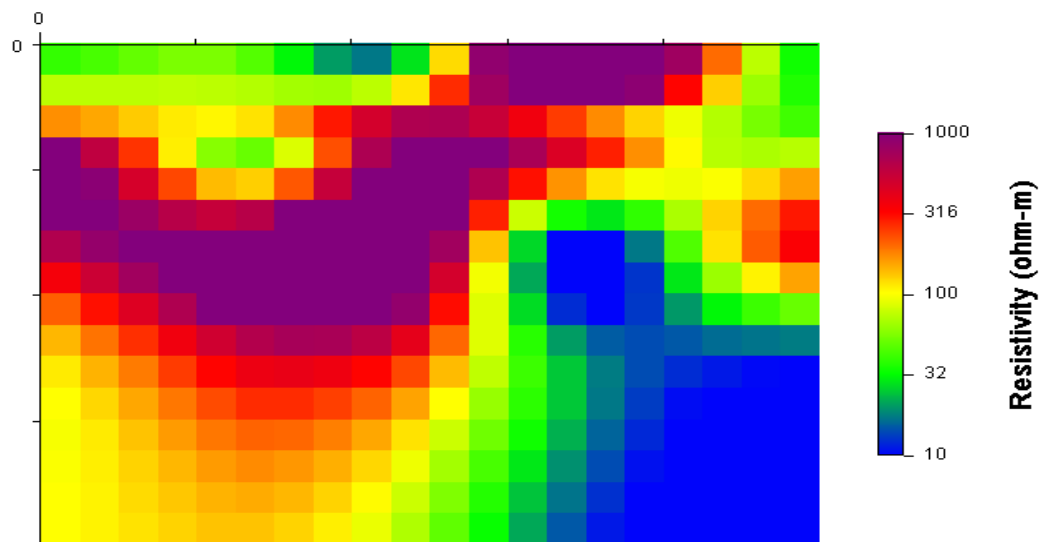


**Σχήμα 3.4** Εικόνα αντιστροφής x-y.

Στην εικόνα (σχήμα 3.4 ) εμφανίζονται οι τιμές των αντιστάσεων σε χρωματική κλίμακα ουράνιου τόξου σύμφωνα με την οποία οι υψηλές αντιστάσεις παρουσιάζονται με έντονα μοβ-κόκκινα χρώματα ενώ οι χαμηλές αντιστάσεις παρουσιάζονται με ανοιχτά πράσινα ως και μπλε χρώματα. Επίσης με το ίδιο πρόγραμμα (DC\_3DPro ) μπορούμε να έχουμε και τομές σε διευθύνσεις x-z και y-z όπως βλέπουμε και στα σχήματα 3.5 και 3.6 αντίστοιχα.



**Σχήμα 3.5** Εικόνα αντιστροφής x-z.

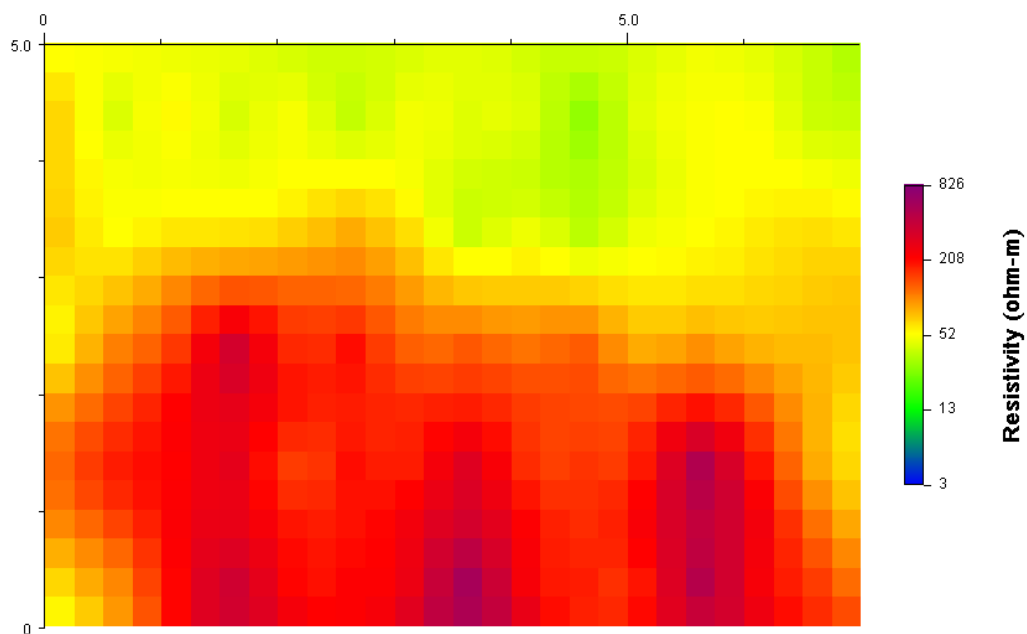


**Σχήμα 3.6** Εικόνα αντιστροφής y-z.

Αρχικά στο σχήμα 3.5 φαίνεται με έντονα κόκκινα ως και μοβ χρώματα το αρχαίο τείχος της Θεσσαλονίκης το οποίο έχει και επιφανειακή εμφάνιση, καθώς επίσης και κάτω από το τοίχος φαίνονται και κάποιοι πιο χαλαροί σχηματισμοί με χαμηλές αντιστάσεις και κατά συνέπεια ανοιχτά πράσινα ως και μπλε χρώματα στην εικόνα. Αντίστοιχα και στο σχήμα 3.6 σε τομή y-z παρατηρούμε την επιφανειακή εμφάνιση του τείχους και κάτω από αυτό τους χαλαρούς σχηματισμούς της περιοχής.

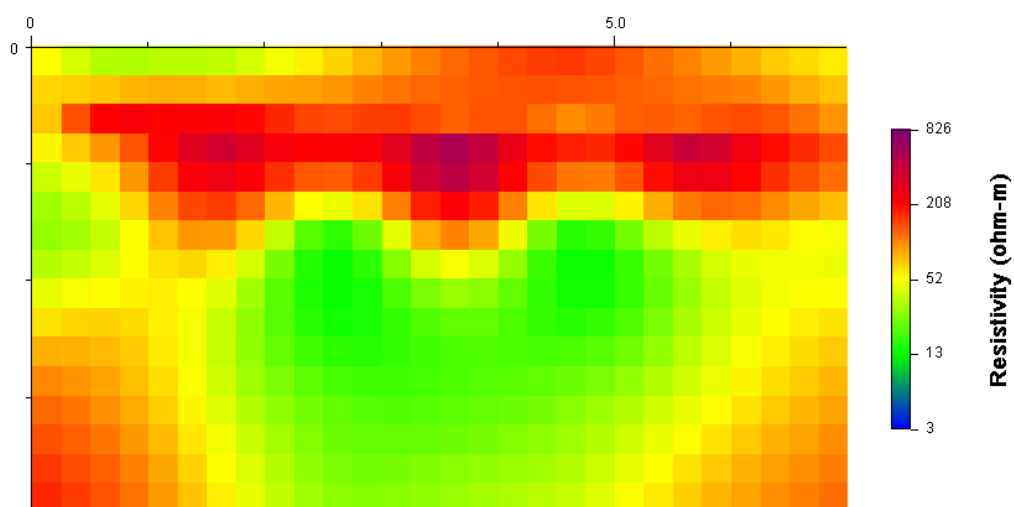
### 3.2.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Εφαρμόζοντας τη διάταξη πόλου – διπόλου του λογισμικού πάρθηκαν δεδομένα τα οποία αφού επεξεργάσθηκαν μας έδωσαν μια πιθανή τρισδιάστατη εικόνα της περιοχής (σχήμα 3.7 ). Η εικόνα αυτή είναι μια ενδεικτική τομή x-y σε βάθος 0,875 m στην οποία εμφανίζεται με μεγάλες αντιστάσεις το αρχαίο τείχος της Θεσσαλονίκης και κάποιοι γειτονικοί ιζηματογενής σχηματισμοί.

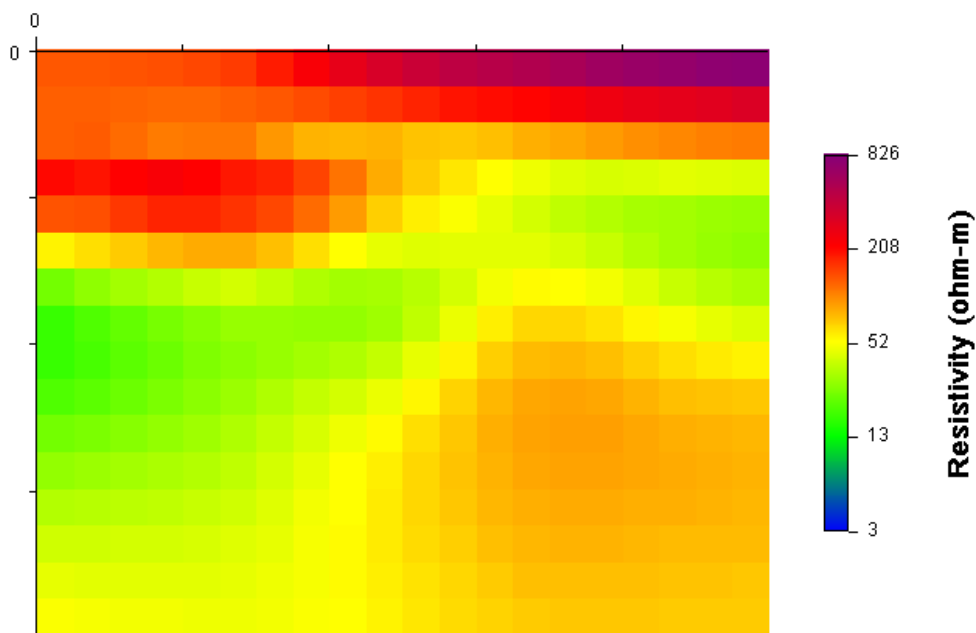


**Σχήμα 3.7** Εικόνα αντιστροφής x-y.

Επίσης μπορούμε να έχουμε και τομές σε διευθύνσεις x-z και y-z όπως βλέπουμε και στα σχήματα 3.8 και 3.9 αντίστοιχα.



**Σχήμα 3.8** Εικόνα αντιστροφής x-z.

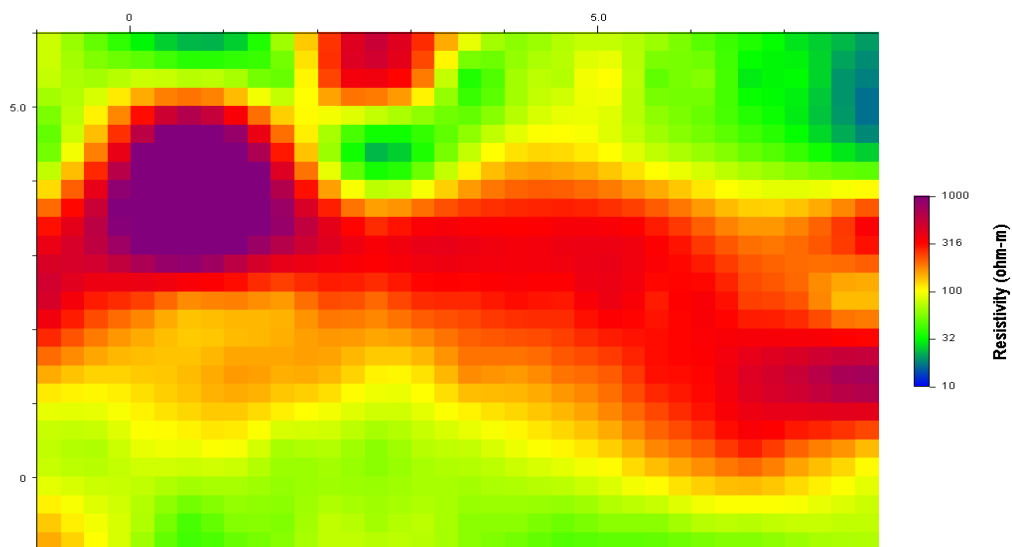


**Σχήμα 3.9** Εικόνα αντιστροφής y-z.

Στο σχήμα 3.8 όπως και στο σχήμα 3.9 μπορούμε να δούμε καθαρά την θέση του αρχαίου τείχους της Θεσσαλονίκης το οποίο δίνετε με υψηλές αντιστάσεις ( κόκκινα χρώματα ) και κάτω από αυτό τα χαλαρά ιζήματα με χαμηλές αντιστάσεις ( πράσινα χρώματα ).

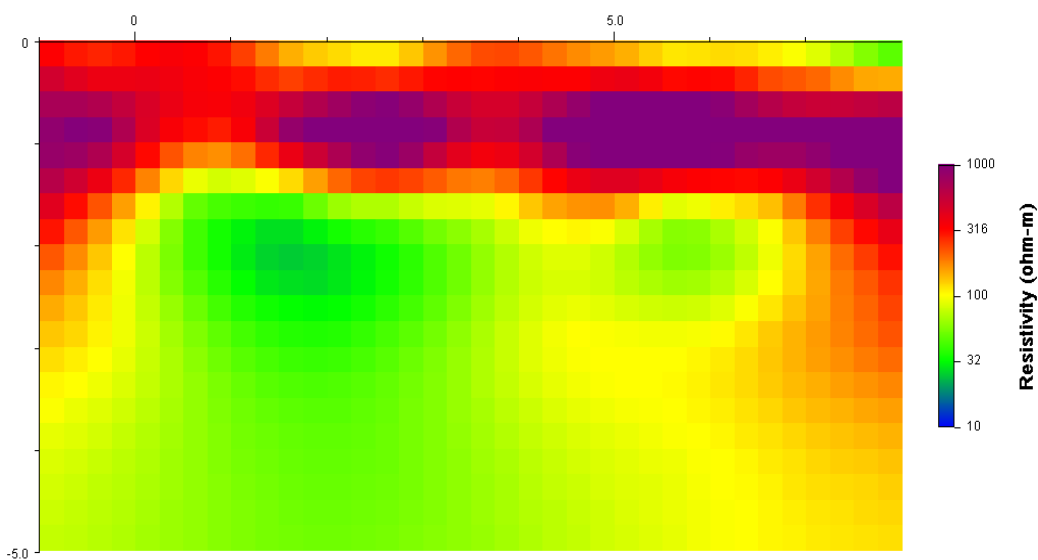
### 3.2.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ

Εφαρμόζοντας τη διάταξη πόλου – πόλου του λογισμικού πάρθηκαν δεδομένα τα οποία αφού επεξεργάσθηκαν μας έδωσαν μια τρισδιάστατη εικόνα της περιοχής (σχήμα 3.10 ). Η εικόνα αυτή είναι μια τομή x-y σε βάθος 0,375 m στην οποία εμφανίζεται αρκετά καθαρά με μεγάλες αντιστάσεις το αρχαίο τείχος της Θεσσαλονίκης και κάποιοι γειτονικοί ιζηματογενής σχηματισμοί με μικρές αντιστάσεις.

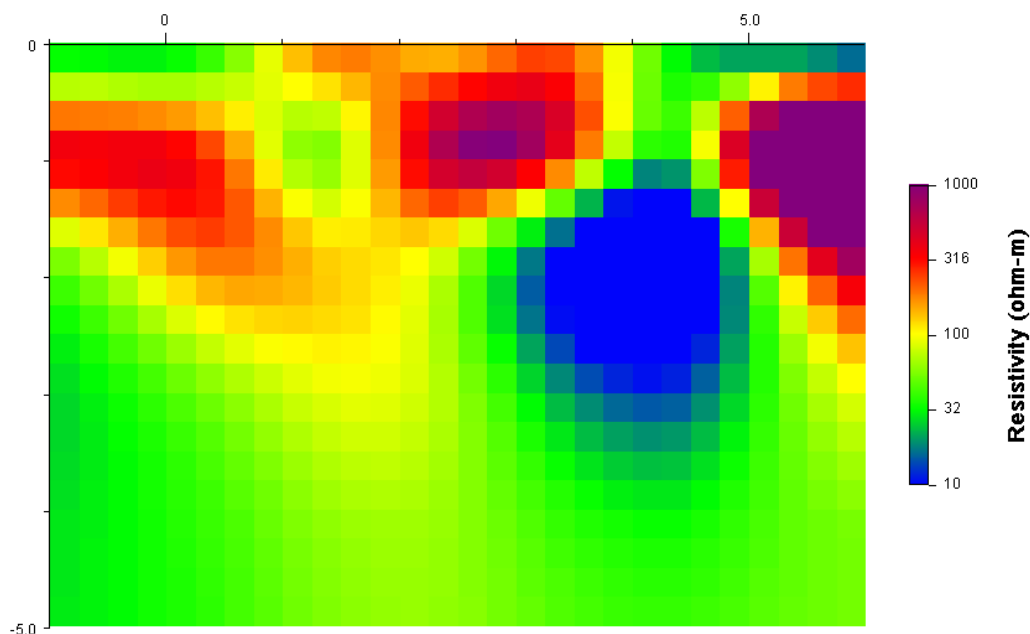


**Σχήμα 3.10** Εικόνα αντιστροφής x-y.

Στα σχήματα που ακολουθούν 3.11 και 3.12 διακρίνετε το τοίχος με μεγάλες αντιστάσεις τόσο σε τομή x-z όσο και σε τομή y-z.



**Σχήμα 3.11** Εικόνα αντιστροφής x-z.

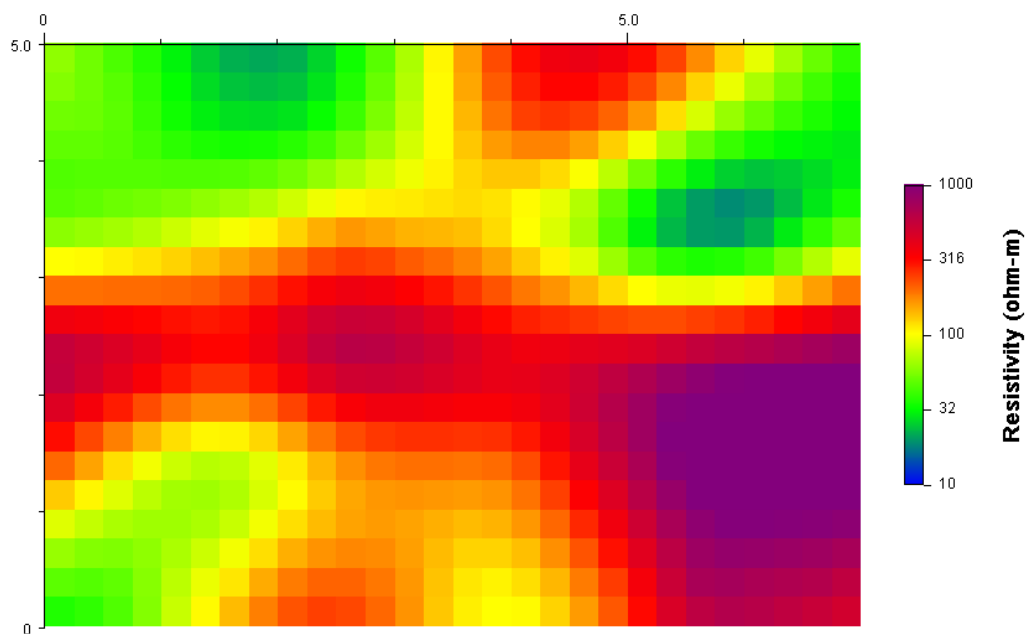


**Σχήμα 3.12** Εικόνα αντιστροφής y-z.

Και σε αυτή την περίπτωση διακρίνεται καθαρά η θέση του τείχους στα σχήματα 3.11 και 3.12 με υψηλές αντιστάσεις και ακριβώς κάτω από αυτό οι χαλαροί σχηματισμοί του υπεδάφους της περιοχής.

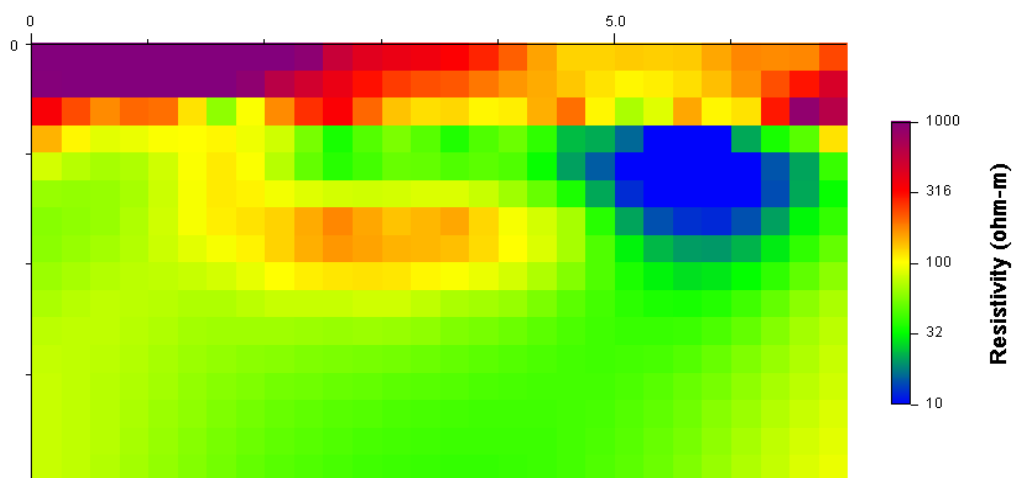
### 3.2.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ GRADIENT

Από την εφαρμογή της διάταξης gradient του λογισμικού πάρθηκαν δεδομένα τα οποία μετά από επεξεργασία έδωσαν μια τρισδιάστατη εικόνα της περιοχής (σχήμα 3.13 ). Η εικόνα αυτή αποτελεί μια τομή x-y σε βάθος 1,875 m στην οποία εμφανίζεται αρκετά καθαρά με μεγάλες αντιστάσεις το αρχαίο τείχος της Θεσσαλονίκης και κάποιοι γειτονικοί ιζηματογενής σχηματισμοί με μικρές αντιστάσεις.

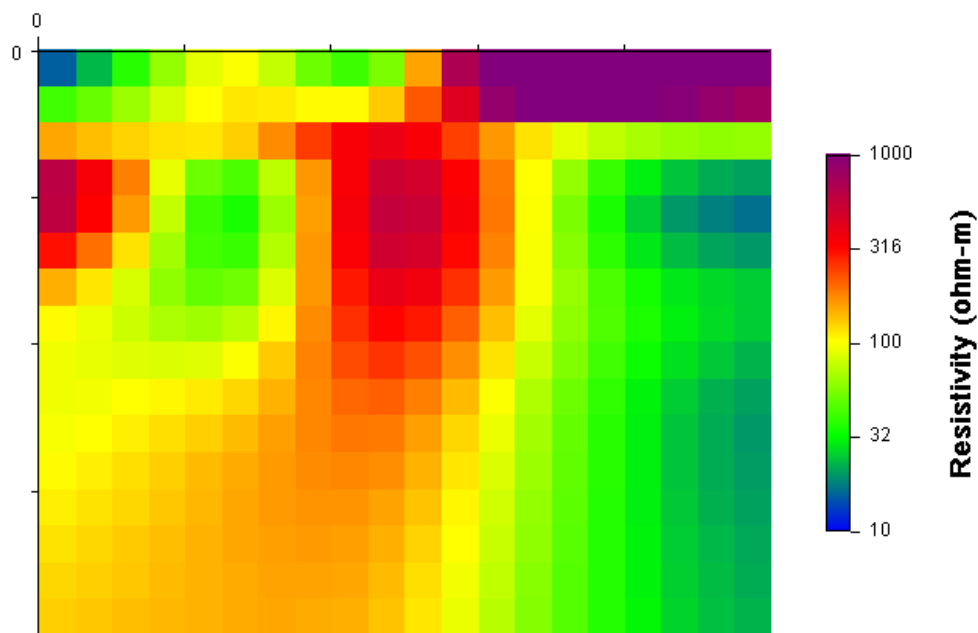


**Σχήμα 3.13** Εικόνα αντιστροφής x-y.

Όπως και στις προηγούμενες διατάξεις του λογισμικού και εδώ κατά την επεξεργασία των τιμών της αντίστασης παρουσιάζονται τομές x-z ( σχήμα 3.14 ) και y-z (σχήμα 3.15 ) της περιοχής λήψης των μετρήσεων με την διάταξη gradient.



**Σχήμα 3.14** Εικόνα αντιστροφής x-z.

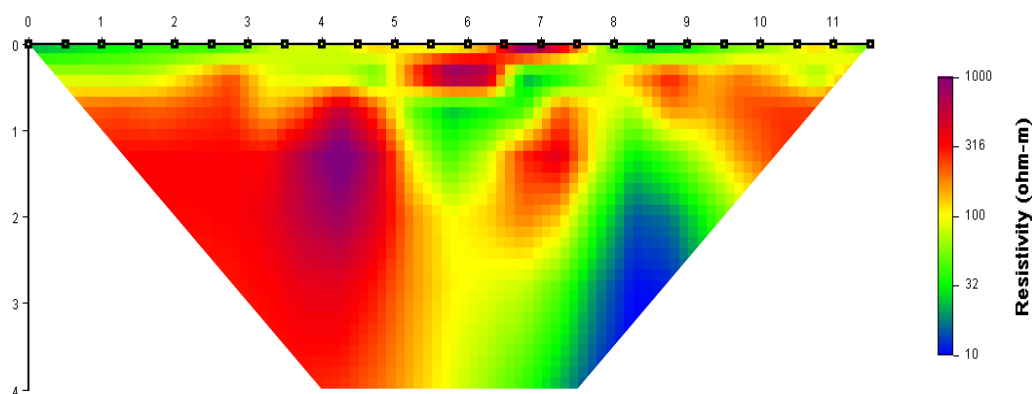


**Σχήμα 3.14** Εικόνα αντιστροφής y-z.

Και σε αυτή την περίπτωση όπως βλέπουμε είναι εύκολη η διάκριση του τοίχους στα σχήματα 3.13 και 3.14 με υψηλές αντιστάσεις και ακριβώς κάτω από αυτό οι χαλαροί σχηματισμοί του υπεδάφους της περιοχής.

### 3.2.5 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Για την καλύτερη κατανόηση, αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων της τρισδιάστατης τομογραφίας με την χρήση του λογισμικού πραγματοποιήθηκε μια συμπληρωματική δισδιάστατη τομογραφία με την διάταξη διπόλου – διπόλου (σχήμα 3.15 ) στην περιοχή. Η δισδιάστατη τομογραφία έγινε σε διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του τοίχους. Χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση αυτή 24 ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετήθηκαν με διάστημα 0,5m μεταξύ τους.



**Σχήμα 3.15** Εικόνα αντιστροφής δισδιάστατης τομογραφίας.

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ των 5 και 7 m περίπου φαίνεται το τείχος στο οποίο πάρθηκαν οι τρισδιάστατες μετρήσεις με τη χρήση του λογισμικού. Και στην περίπτωση αυτή το τοίχος εμφανίζεται με έντονα κόκκινα χρώματα, όπως επίσης και σε μεγαλύτερα βάθη εμφανίζονται κάποιοι άλλοι σχηματισμοί με μεγάλες αντιστάσεις οι οποίοι βρίσκονται εκτός αντικειμένου την παρούσας εργασίας και δεν θα σχολιαστούν εκτενέστερα στην συνέχεια. Ακόμα βλέπουμε μετά τα 8 m και σε αρκετά μεγάλο βάθος σχηματισμούς με μικρότερες αντιστάσεις οι οποίες πιθανώς να οφείλονται σε προσχώσεις του παλιού ρέματος που βρισκόταν στη θέση εκείνη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η πειραματική εφαρμογή του λογισμικού δημιουργίας τρισδιάστατου πρωτοκόλλου, όπως έχουμε αναφέρει, επιλέχτηκε λόγο της επιφανειακής εμφάνισης ενός τμήματος του αρχαίου τοίχους της Θεσσαλονίκης το οποίο θα έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα, λόγο ύπαρξης μεγάλων αντιστάσεων, για το κατά πόσο η λειτουργία του λογισμικού είναι αξιόπιστη για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η δημιουργία του λογισμικού τρισδιάστατου πρωτοκόλλου απαιτούσε τον προγραμματισμό κάποιων τμημάτων για την λήψη δεδομένων από την περιοχή πειραματικής εφαρμογής. Ο προγραμματισμός αυτός απαιτούσε την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων σε ακριβής θέσεις, με σταθερή απόσταση μεταξύ τους ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη του λογισμικού, ώστε να είναι πιο εύκολη η εναλλαγή ρεύματος και δυναμικού στα ηλεκτρόδια ανάλογα με την διάταξη που επιλέγετε κάθε φορά. Το λογισμικό, όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 2, αποτελείται από 5 διαφορετικά τμήματα που το καθένα υπολογίζει μια ξεχωριστή διάταξη ηλεκτρικής διασκόπησης. Το λογισμικό έχει την δυνατότητα υπολογισμού του γεωμετρικού παράγοντα καθώς επίσης και την αποθήκευση όλων των δεδομένων σε ένα αρχείο τύπου `dat`. Μια ακόμα ευκολία που παρέχει το λογισμικό είναι η ύπαρξη ενός παραθύρου διαλόγου στο οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα δήλωσης του αριθμού των ηλεκτροδίων και το πώς αυτά κατανέμονται στις διευθύνσεις  $x$  και  $y$  καθώς και την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Επίσης μπορεί να επιλέξει από τις υπάρχουσες διατάξεις εκείνη που επιθυμεί και τέλος την αποθήκευση των δεδομένων σε ένα αρχείο με όνομα της επιλογής του.

Η εφαρμογή του λογισμικού σε πραγματικές συνθήκες στο ύπαιθρο έδωσε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι αντιστάσεις που πάρθηκαν επεξεργάσθηκαν με το πρόγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης δεδομένων DC\_3DPro δίνοντας αρκετά καλές εικόνες όπου εμφανίζεται το τείχος με αρκετά μεγάλες αντιστάσεις σε σχέση με τους γειτονικούς χαλαρούς σχηματισμούς. Οι εικόνες αυτές που εμφανίζονται , στο κεφάλαιο 3, συγκρινόμενες μεταξύ τους εμφανίζουν την ακριβή θέση και το βάθος του τοίχους το οποίο έχει διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και βρίσκεται στην συμβολή των οδών Εθνικής Αμύνης με Εγνατία. Εκτός από την εφαρμογή των τρισδιάστατων τομογραφιών πραγματοποιήθηκε και μια συμπληρωματική δισδιάστατη τομογραφία για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Παπαζάχος Β.Κ. (1986). Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Tsourlos, P. 1995. Modelling interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Ph.D. Thesis, University of York.
- Τσούρλος Π., 2005. Σημειώσεις του μαθήματος «ΗΜ μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης» <http://www.geo.auth.gr>
- Loke M.H , 2004 , Tutorial:2-D and 3\_d electrical imaging surveys
- Tsourlos, P, Ogilvy R., Meldrum P. and Williams G. (2003). Time-lapse Monitoring in Single Boreholes Using Electrical Resistivity Tomography. Journal of Environmental and Engineering Geophysics,. 8, 1-14.
- Tsourlos, P, and Ogilvy, R. 1999. An algorithm for the 3-D Inversion of Tomographic Resistivity and Induced Polarisation data: Preliminary Results. Journal of the Balkan Geophysical Society, 2, 2, 30–45.
- Kim Jung-Ho (2006). DC\_3DPRO: User's manual.