



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΑΛΕΞΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ
ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΑΛΕΞΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5526

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέπων

Παναγιώτης Τσούρλος , Καθηγητής



© Αλεξίου Κωνσταντίνος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

– Διπλωματική Εργασία

© Alexiou Konstantinos, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2020

All rights reserved.

EVALUATION OF 3D ERT MEASURING SCHEMES USING CROSS LINE
ERT MEASUREMENTS – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου:.....



Κεφάλαιο 1	1
1.1 Βασικές έννοιες ηλεκτρικών μεθόδων.....	1
1.1.1 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση και αγωγιμότητα	1
1.2 Ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων	2
Κεφάλαιο 2	4
2.1 Εισαγωγή	4
2.2 Διάταξη διπόλου-διπόλου	5
2.3 Διασταυρούμενη διάταξη	6
2.4 Διασταυρούμενη διάταξη με αυξημένες αποστάσεις	6
Κεφάλαιο 3	7
3.1 Εισαγωγή	7
3.2 Διάταξη διπόλου-διπόλου	7
3.3 Διασταυρούμενη Διάταξη	8
3.4 Διασταυρούμενη με $\alpha=2$	9
3.5 Γεωμετρικός παράγοντας	10
3.6 Αποθήκευση και τύπωση αρχείων.....	11
Κεφάλαιο 4	12
4.1 Εισαγωγή	12
4.2 Μοντέλο ομογενής γης χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος υψηλής επιφανειακά	13
4.3 Μοντέλο ομογενής γης χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος υψηλής σε βάθος	15
4.4 Μοντέλο ομογενής γης υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος χαμηλής επιφανειακά.....	17
4.6 Συμπεράσματα	21
Περίληψη	22
Abstract	23
Βιβλιογραφία	24
Παράρτημα – Κώδικας Κύριου Προγράμματος	25



Κεφάλαιο 1

1.1 Βασικές έννοιες ηλεκτρικών μεθόδων

Σκοπός των ηλεκτρικών μεθόδων διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων στα επιφανειακά στρώματα της Γης. Με τις μεθόδους αυτές μετρείται η ηλεκτρική τάση, ωστόσο η πραγματική ποσότητα που έχει ενδιαφέρον να υπολογιστεί και να καθοριστεί είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Υπάρχουν αρκετές ηλεκτρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν σε δυο βασικές κατηγορίες, τις παθητικές και τις ενεργητικές. Οι παθητικές μέθοδοι όπως προτείνει και η κατηγορία τους είναι μέθοδοι που εκμεταλλεύονται φυσικά παραγόμενη πηγή της Γης (Όπως το βαρυτικό και το μαγνητικό πεδίο της Γης, διαφορές δυναμικού λόγω κίνηση ιόντων κτλ.) χωρίς να απαιτείται κάποιου είδους τεχνητή πηγή. Αντίστοιχα οι ενεργητικές μέθοδοι αξιοποιούν τεχνητές πηγές για να υλοποιήσουν τις μετρήσεις όπως η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης που αποτελεί το κύριο θέμα αυτής της εργασίας.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν μεγάλη εφαρμογή σε πολλούς κλάδους όπως την μεταλλευτική έρευνα, την Υδρογεωλογία, την Τεχνική Γεωλογία καθώς και στην Γεωθερμία. Μέσω αυτών μπορούν να εντοπιστούν κοιτάσματα, γεωθερμικές ανωμαλίες, να καθοριστούν τα όρια των υπόγειων στρωμάτων και του υποβάθρου, ο υδροφόρος ορίζοντας κτλ.

1.1.1 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση και αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αντίσταση αποτελεί την δυσκολία με την οποία διέρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από έναν αγωγό. Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης στο Διεθνές σύστημα αποτελεί το Ohm. Η αντίσταση (R) περιγράφεται από το κλάσμα με αριθμητή την τάση (V) και παρανομαστή την ένταση (I):

$$R = \frac{V}{I}$$

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ωστόσο στις ηλεκτρικές μεθόδους έχει η ειδική ηλεκτρική αντίσταση που αποτελεί ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων της Γης. Η παραπάνω εξαρτάται από την ηλεκτρική αντίσταση ενός πετρώματος και τον όγκο αυτού, δηλαδή σε ένα κομμάτι πετρώματος κυλινδρικού σχήματος με αντίσταση R, διατομή S και μήκος l ισχύει :

$$\rho = \frac{RS}{l}$$



Μονάδα μέτρησης στο SI είναι το Ohm-m

Το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποτελεί η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, μονάδα μέτρησης στο Διεθνές σύστημα είναι το siemens (S) και εκφράζει την ευκολία της διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος δια μέσω ενός αγωγού.

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

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν αποτελεί φυσικό μέγεθος και η τιμή του έχει άμεση εξάρτηση από τις διαστάσεις του υλικού.

1.2 Ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων

Η ηλεκτρική συμπεριφορά των πετρωμάτων εξαρτάται από την δομή τους, τα υλικά από τα οποία απαρτίζονται καθώς και την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Τα ορυκτά τα οποία υπάρχουν μέσα στο πέτρωμα επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση και αγωγιμότητα που αυτά έχουν. Εξίσου σημαντική είναι η διάταξη που τα διάφορα ορυκτά έχουν μέσα στο πέτρωμα καθώς και άλλοι παράγοντες όπως το πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες, η παρουσία νερού και η σύσταση του, η θερμοκρασία και γενικότερα το κλίμα.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και των ορυκτών διακυμαίνονται από τιμές τάξης 10^{-6} Ohm-m για μεταλλικά ορυκτά ή ορυκτά σαν τον γραφίτη, έως και 10^{15} Ohm-m σε ξηρά χαλαζιτικά πετρώματα. Σε μια γενική εικόνα δεν είναι δυνατή η αντιστοίχιση των αντιστάσεων που μετριοούνται με συγκεκριμένους σχηματισμούς, ορυκτά ή πετρώματα. Αυτό συμβαίνει γιατί το εύρος των αντιστάσεων που συναντιούνται στην φύση για τα πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα σε πολλά σημεία υπερκαλύπτονται δυσκολεύοντας έτσι την ερμηνεία και δημιουργώντας μια περίπλοκη εικόνα.

Τα πυριγενή πετρώματα και τα μεταμορφωμένα είναι αυτά τα οποία σε κανονικές συνθήκες έχουν και τις μεγαλύτερες ηλεκτρικές αντιστάσεις με ένα εύρος εκατοντάδων έως και εκατομμυρίων Ohm-m. Τα ιζηματογενή ωστόσο κυμαίνονται από την μονάδα, με τα πιο λεπτόκοκκα υλικά (αργίλους) έως και μερικές χιλιάδες Ohm-m (ασβεστόλιθοι). Το γλυκό νερό με βάση τα άλατα που περιέχει διακυμαίνεται από την μονάδα έως και τα 100 Ohm-m ενώ το αλμυρό νερό έχει αντιστάσεις κατώτερα της μονάδας. Τέλος μεταλλικά ορυκτά ή ορυκτά όπως ο γραφίτης παρουσιάζουν πάρα πολύ μικρή ηλεκτρική αντίσταση καθώς διαθέτουν παραπάνω ελεύθερα ηλεκτρόνια που επιτρέπουν την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητο κατά την εκτέλεση μιας έρευνας τέτοιου είδους να είναι από πριν γνωστή η γεωλογία της περιοχής μέσω παλιότερων χαρτογραφίσεων ή δεδομένων από γεωτρήσεις.

Το πρωτογενές πορώδες που αναφέρθηκε νωρίτερα αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα που ευθύνεται για το μεγάλο εύρος των αντιστάσεων ενός πετρώματος. Τα περισσότερα ορυκτά μέσα σε ένα πέτρωμα αποτελούν μονωτές, ωστόσο το πορώδες επιτρέπει την διείσδυση νερού μέσα στα πετρώματα επιτρέποντας την κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος και μειώνοντας την αντίσταση του πετρώματος. Υπάρχει η



ακόλουθη εμπειρική σχέση που συνδέει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ ενός πετρώματος με το πορώδες φ :

$$\rho = \alpha \rho_0 \varphi^{-m}$$

Στην παραπάνω σχέση η τιμή ρ_0 εκφράζει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού μέσα στους πόρους, φ είναι ο λόγος του όγκου των πόρων προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος και οι τιμές α και m αποτελούν σταθερές. Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή ως νόμος του Archie και δείχνει την μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με βάση το πορώδες (αύξηση της αντίστασης με την μείωση του πορώδους και αντίστροφα).



Κεφάλαιο 2

2.1 Εισαγωγή

Οι συνεχείς αυξανόμενες απαιτήσεις της ανθρωπότητας φέρουν ανάγκη για τεχνολογική εξέλιξη και καινοτομία. Η τεχνολογία για την ανάπτυξη της απαιτεί ενέργεια, υποδομές και πρώτες ύλες. Για το λόγο αυτό η εφαρμοσμένη γεωφυσική παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της εξέλιξης και είναι υπεύθυνη για την εύρεση των πρώτων υλών ή και άλλων σημαντικών στόχων.

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσετε μια συνδυαστική μέθοδος υλοποίησης ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης. Στην μέθοδο της ηλεκτρικής αντίστασης υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διατάξεων ηλεκτροδίων με βάση τις οποίες αλλάζει η συμπεριφορά της διασκόπησης και προσαρμόζεται η εφαρμογή της με βάση το μελετώμενο πρόβλημα.

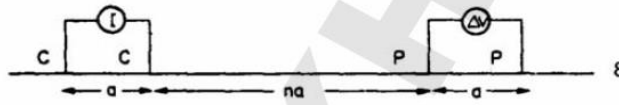
Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη κώδικα που θα προσομοιώνει ένα διαφορετικό μοντέλο διάταξης των ηλεκτροδίων για άμεση, τριών διαστάσεων διασκόπηση πραγματοποιώντας μετρήσεις και γραμμικά αλλά και διασταυρωτά των ηλεκτροδίων.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, οι περισσότερες από τις οποίες λειτουργούν με την ίδια λογική, χρησιμοποιώντας 2 ηλεκτρόδια (A και B) που σκοπό έχουν την δημιουργία κυκλώματος και 2 επιπλέον ηλεκτρόδια (M και N) που σκοπό έχουν τον υπολογισμό της διαφοράς δυναμικού.

Στην παρούσα εργασία οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με δυο διαφορετικές διατάξεις για τον υπολογισμό των μετρήσεων : τη διάταξη *διπόλου-διπόλου*, και τη *διασταυρούμενη* που αναλύονται αντίστοιχα στις υποενότητες 2.2 και 2.3.

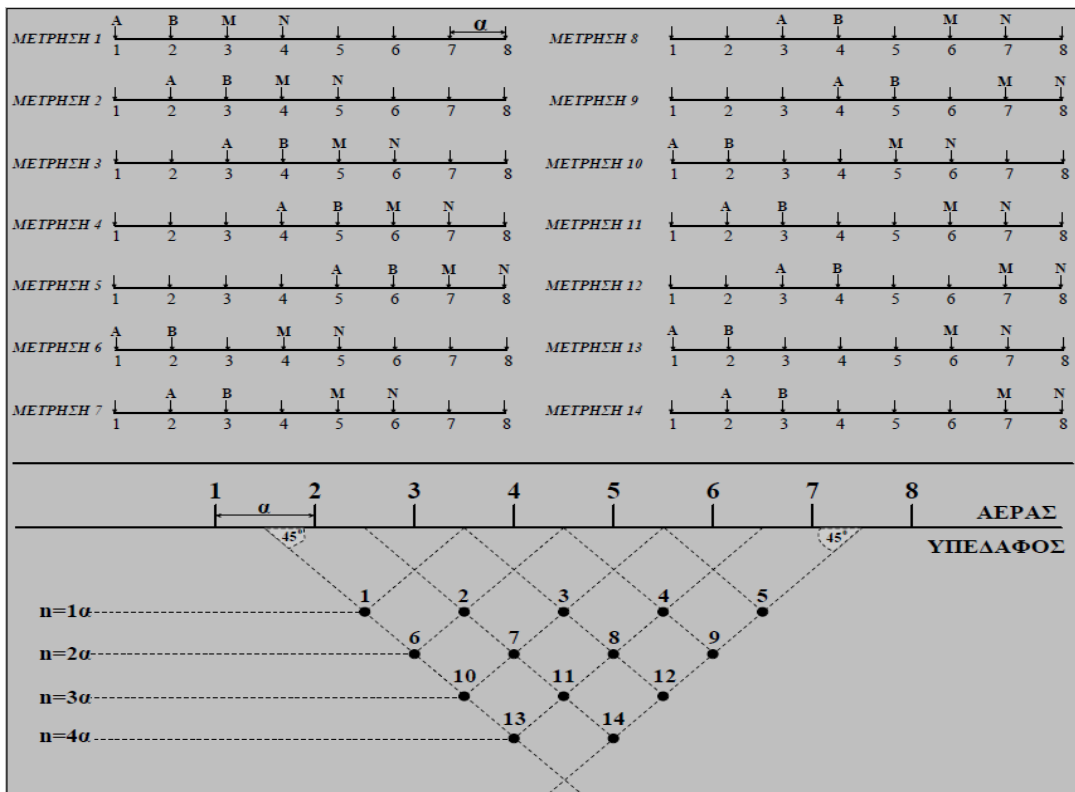
2.2 Διάταξη διπόλου-διπόλου

Η διάταξη διπόλου-διπόλου αποτελείται από δυο ζεύγη ηλεκτροδίων, ενός ρεύματος και ενός δυναμικού. Οι απόσταση μεταξύ των ζευγών είναι συνήθως μεγαλύτερη από ότι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ατομικά για κάθε ζεύγος (Εικόνα 2.1)



Εικόνα 2.1) Διάταξη διπόλου-διπόλου. Τα πρώτο ζεύγος αποτελεί ηλεκτρόδια ρεύματος (C) ενώ το δεύτερο δυναμικού (P). Ως a ορίζεται η απόσταση.

Αρχικά πραγματοποιούνται μετρήσεις δισδιάστατου χώρου. Σε μια γραμμή επαναλαμβάνονται μετρήσεις με προκαθορισμένο τρόπο και λαμβάνονται πληροφορίες τόσο για την οριζόντια όσο και την κατακόρυφη μεταβολή της αντίστασης του υπεδάφους. Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία παράλληλα ως προς την αρχική μέτρηση μπορεί να επιτευχθεί και τρισδιάστατη διασκόπηση. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια τυπική ηλεκτρική διασκόπηση με διάταξη διπόλου -διπόλου σε μια τομή:

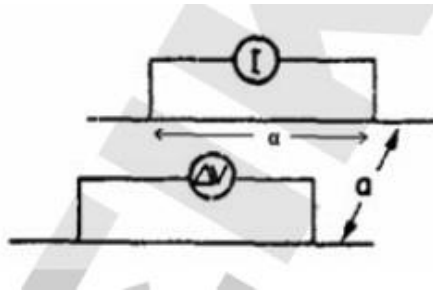


Σχήμα 2.1 Σχηματική απεικόνιση δισδιάστατης μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης (τομή xz) με διάταξη διπόλου-διπόλου (Χρήση 8 ηλεκτροδίων και απόστασης $v=4a$)(Tsourlos 1995).

Η διασκόπηση ξεκινάει με την αρχική μέτρηση όπου τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται αντίστοιχα στην θέση 1 και 2 ενώ του δυναμικού M και N στις θέσεις 3 και 4. Υπάρχουν 2 τρόποι υλοποίησης των μετρήσεων. Σταδιακή μεταφορά όλων των ηλεκτροδίων όπως στο σχήμα 2.1 και με το τέλος των μετρήσεων επαναφοράς στην αρχή αλλά αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ των ζευγών (Μέτρηση 6 στο σχήμα 2.1). Ο δεύτερος τρόπος είναι η σταδιακή μετατόπιση των ηλεκτροδίων του δυναμικού κρατώντας σταθερά τα ηλεκτρόδια του ρεύματος. Όταν επιτευχθεί το τελικό βάθος της διασκόπησης που απαιτείται ή τα ηλεκτρόδια δυναμικού φτάσουν στο τέλος μετατοπίζονται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος κατά μια θέση και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία. Το αποτέλεσμα δεν διαφέρει ωστόσο για προγραμματιστική ευκολία στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η δεύτερη μέθοδος.

2.3 Διασταυρούμενη διάταξη

Η διασταυρούμενη διάταξη ορίζεται από ένα τετραγωνικό ή παραλληλόγραμμο σχήμα το οποίο εξομαλύνει ιδιαίτερα τον γεωμετρικό παράγοντα



Εικόνα 2.2. Σταυρωτή διάταξη. Το πίσω ζεύγος αποτελεί ηλεκτρόδια ρεύματος ενώ το μπροστινό δυναμικού. Ως a ορίζεται η απόσταση

Στην διάταξη αυτή ακολουθείται η λογική της διάταξης διπόλου-διπόλου. Αξιοποιούνται ωστόσο δυο σειρές ηλεκτροδίων ταυτόχρονα. Το ζεύγος ηλεκτροδίων ρεύματος (A και B) βρίσκονται παράλληλα ενώ αντίστοιχα παράλληλα βρίσκονται και τα ηλεκτρόδια του δυναμικού. Διατηρώντας αρχικά σταθερά τα ηλεκτρόδια του ρεύματος πραγματοποιούνται μετρήσεις μετακινώντας μόνο αυτά του δυναμικού έτσι ώστε να παρθεί πληροφορία από βαθύτερους ορίζοντες. Όταν τελειώσει η διαδικασία αυτή μετακινούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος κατά μια θέση και επαναλαμβάνεται η πολλαπλή και σταδιακή μετατόπιση των ηλεκτροδίων του δυναμικού.

2.4 Διασταυρούμενη διάταξη με αυξημένες αποστάσεις

Η διάταξη αυτή εμπεριέχει ακριβώς τις ίδιες παραμέτρους και πραγματοποιείται με την ίδια λογική που αναφέρθηκε παραπάνω ωστόσο διαφέρει ως προς την απόσταση a μεταξύ των ηλεκτροδίων. Συγκεκριμένα η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων για κάθε ζεύγος $a = 2$ (Εικόνα 2.2).



3.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του κώδικα έγινε στο περιβάλλον της MatLab, με κατάτμηση των επιμέρους βασικών λειτουργιών και την ξεχωριστή ανάπτυξη τους σε συναρτήσεις (functions). Η διαδικασία αυτή επιφέρει καλύτερη επισκόπηση των προγραμμάτων για την διόρθωση, κατανόηση, καθώς και την μελλοντική ανάπτυξη των λειτουργιών τους.

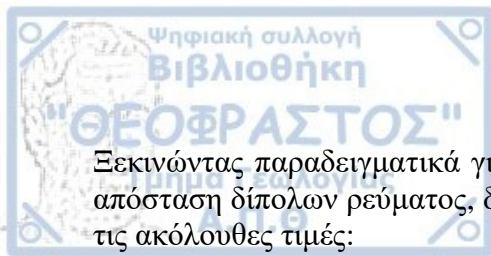
Υπάρχουν πέντε βασικές συναρτήσεις (υπο-προγράμματα) και ένα βασικό (main) όπου καλεί όλα τα παραπάνω για την υλοποίησή τους. Αρχικά το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει απαραίτητα δεδομένα που χαρακτηρίζουν τις παραμέτρους της μέτρησης που θα ακολουθήσει. Συγκεκριμένα ζητάει το μέγεθος των σειρών, τον αριθμό των σειρών, την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων στην σειρά και την απόσταση μεταξύ των σειρών έτσι ώστε να δημιουργηθεί ο αρχικός κάναβος. Έπειτα ζητείται ο αριθμός των μετρήσεων ανά θέση για τις διατάξεις διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενη με $\alpha=1$, καθώς και μια παρόμοια τιμή για την διασταυρούμενη με $\alpha=2$ και τέλος το όνομα του αρχείου που θα πραγματοποιηθεί η αποθήκευση. Για την αποθήκευση προστίθεται η ονομασία που εισάγει ο χρήστης με το όνομα των μεθόδων με σκοπό την εύκολη διάκριση τους. Δημιουργείται εάν δεν υπάρχει ήδη ένας φάκελος με την ονομασία «results» μέσα στον οποίο τοποθετούνται τα παραπάνω αρχεία.

Με βάση τις παραμέτρους το βασικό πρόγραμμα, το οποίο και παρουσιάζεται στο παράρτημα της διπλωματικής, καλεί για λειτουργία τα παρακάτω υπο-προγράμματα που περιγράφονται περιληπτικά στα υποκεφάλαια 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 και 3.6.

3.2 Διάταξη διπόλου-διπόλου

Το πρώτο πρόγραμμα που καλείται προς λειτουργία είναι το πρόγραμμα όπου καθορίζονται οι διαστάσεις και η μέθοδος της τρισδιάστατης διάταξης διπόλου-διπόλου. Με βάση τα αρχικά δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης καθορίζεται ο αριθμός των ηλεκτροδίων που θα χρησιμοποιηθούν σε μία σειρά, ο αριθμός των παράλληλων γραμμών καθώς και το βήμα με τον οποίο θα γίνονται οι μετρήσεις.

Η λειτουργία του προγράμματος αυτού είναι η κατασκευή ενός πίνακα $x \times y$ όπου η διάσταση x καθορίζεται από τον χρήστη και η διάσταση y έχει κατά αντιστοιχία τις θέσεις των ηλεκτροδίων A, B, M και N . Με το τέλος της διαδικασίας αυτής ο πίνακας αυτός επιστρέφει πίσω στο βασικό πρόγραμμα.



Ξεκινώντας παραδειγματικά για την δημιουργία μιας σειρά 16 ηλεκτροδίων με μέγιστη απόσταση δίπολων ρεύματος, δυναμικού 7, το πρόγραμμα θα σχηματίσει έναν πίνακα με τις ακόλουθες τιμές:

A	B	M	N
1	2	3	4
1	2	4	5
1	2	5	6
1	2	6	7
1	2	7	8
1	2	8	9
1	2	9	10
2	3	4	5
2	3	5	6
		.	
		.	

Πίνακας 3.1)
 Παραδειγματικός πίνακας τιμών για σειρά 16 ηλεκτροδίων με επανάληψη μετρήσεων ανά 7 θέσεις(A,B ηλεκτρόδια ρεύματος και M,N δυναμικού). Η διπλανή διαδικασία θα συνεχιστεί μέχρι να γίνει η τελευταία μέτρηση όπου A = 13 , B = 14, M = 15 και N =16.

Ο σκοπός της επαναλαμβανόμενης μέτρησης ανά σημείο κρατώντας σταθερά τα ηλεκτρόδια του ρεύματος και αλλάζοντας τις θέσεις των ηλεκτροδίων του δυναμικού είναι η πρόσληψη πληροφορίας από βαθύτερους ορίζοντες. Με το τέλος της διαδικασίας αυτής θα έχουν χρησιμοποιηθεί 16 ηλεκτρόδια και θα πραγματοποιηθούν 70 μετρήσεις. Ο κύκλος αυτός αποτελεί την διαδικασία μιας γραμμής. Έτσι με την υλοποίηση παραδειγματικά 10 παράλληλων γραμμών 16 ηλεκτροδίων θα χρησιμοποιηθούν 160 ηλεκτρόδια και θα πραγματοποιηθούν 700 μετρήσεις.

3.3 Διασταυρούμενη Διάταξη

Το δεύτερο πρόγραμμα σε λειτουργία που καλείται από την main υπολογίζει και διαμορφώνει έναν παρόμοιο πίνακα με αυτόν της παραπάνω διαδικασίας. Η x διάσταση ορίζεται από τον χρήστη ενώ η y διάσταση αφορά τα τέσσερα ηλεκτρόδια A,B,M και N. Για να υπολογιστεί ο πίνακας αυτός χρειάζονται δυο σειρές. Πρακτικά ο κώδικας υλοποιεί τις μετρήσεις με την πρώτη σειρά και μαθηματικά υπολογίζει τις θέσεις της δεύτερης σειράς.

Η διασταυρούμενη διάταξη αναμένεται να δώσει πληρέστερη πληροφορία για την ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των σειρών, μια πληροφορία όπου η γραμμική διάταξη διπόλου – διπόλου (και κάθε γραμμική διάταξη) αναμένεται να υστερεί. Αυτό επιτυγχάνεται με σχετικά περιορισμένη μετατόπιση των ηλεκτροδίων σε σχέση με πλήρως τρισδιάστατες



διατάξεις. Χρησιμοποιώντας τις παραδειγματικές τιμές από το παραπάνω παράδειγμα το πρόγραμμα αυτό επιστρέφει πίνακα με τιμές :

A	B	M	N
1	17	2	18
1	17	3	19
1	17	4	20
1	17	5	21
1	17	6	22
1	17	7	23
1	17	8	24
2	18	3	19
2	18	4	20
		.	
		.	

Πίνακας 3.2)
 Παραδειγματικός πίνακας τιμών θέσεων των ηλεκτροδίων για σειρά 16 ηλεκτροδίων με επανάληψη μετρήσεων ανά 7 θέσεις (A,B ηλεκτρόδια ρεύματος και M,N δυναμικού). Η διπλανή διαδικασία θα συνεχιστεί μέχρι να γίνει η τελευταία μέτρηση όπου A = 15 , B = 31, M = 16 και N =32.

3.4 Διασταυρούμενη με $a=2$

Το πρόγραμμα αυτό λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το παραπάνω, ωστόσο οι θέσεις των μετρήσεων αυτού του πίνακα αφορούν ηλεκτρόδια με την διπλάσια απόσταση ανά ζεύγος σε σύγκριση με την αρχική. Αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι η υλοποίηση λιγότερων μετρήσεων και στην διάσταση x αλλά και στην y με την επιτυχία όμως βαθύτερης διασκόπησης. Αποτελεί μια συμπληρωματική μέτρηση και σκοπός της είναι πειραματικός, για την πιθανή βελτίωση των πληροφοριών που προσλαμβάνονται και γενικά για τον καθορισμό της επιρροής της στις μετρήσεις.

Με βάση τις παραπάνω δοκιμαστικές παραμέτρους εμφανίζεται ο παρακάτω παραδειγματικός πίνακας:

A	B	M	N
1	33	3	35
1	33	5	37
1	33	7	39
1	33	9	41
1	33	11	43
1	33	13	45
1	33	15	47
3	35	5	3
3	35	7	39

Πίνακας 3.3) Παραδειγματικός πίνακας τιμών θέσεων ηλεκτροδίων για σειρά 16 ηλεκτροδίων και επανάληψη μετρήσεων με σταθερά ηλεκτρόδια ρεύματος ανά 7 μετρήσεις (A,B ηλεκτρόδια ρεύματος και M,N δυναμικού). Η διπλανή διαδικασία θα συνεχιστεί μέχρι να γίνει η τελευταία μέτρηση όπου A = 13 , B = 45, M = 15 και N =47.

Οι μετρήσεις της μεθόδου αυτής είναι συγκριτικά με τις παραπάνω πολύ λιγότερες σε αριθμό τόσο κατά την διεύθυνση x όσο και κατά την y.

3.5 Γεωμετρικός παράγοντας

Ο γεωμετρικός παράγοντας αποτελεί μια ποσότητα συνδεδεμένη με κάθε διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων και αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την ένταση του σήματος άρα και την μετρησιμότητα μιας διάταξης. Ο γεωμετρικός παράγοντας είναι απαραίτητο να βρίσκεται κάτω από ένα ανώτατο όριο ώστε η μέτρηση να είναι εφικτή. Ο γεωμετρικός παράγοντας εξαρτάται από την θέση που διατάσσονται τα τέσσερα ηλεκτρόδια στο χώρο, συμβολίζεται ως K και ορίζεται από τον τύπο :

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

Ως AM,AN ορίζονται οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων του δυναμικού από του ρεύματος A και αντίστοιχα BM,BN οι αποστάσεις τους από το ηλεκτρόδιο B.

Μετά την δημιουργία των πινάκων για τις τρεις διαφορετικές μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω καλείται η λειτουργία του προγράμματος για τον υπολογισμό του γεωμετρικού παράγοντα. Αρχικά το πρόγραμμα μεταφράζει τους πίνακες με τις θέσεις των ηλεκτροδίων σε πίνακες με συντεταγμένες x και y για κάθε ηλεκτρόδιο A,B,M και N. Τέλος χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο υπολογίζει τον γεωμετρικό παράγοντα. Σε περίπτωση όπου ο γεωμετρικός παράγοντας εμφανίζει πολύ μεγάλες τιμές (τυπικά πάνω από 2000) τότε οι μετρήσεις δε συμπεριλαμβάνονται στο πρωτόκολλο των μετρήσεων που παράγει το πρόγραμμα.



3.6 Αποθήκευση και τύπωση αρχείων

Τέλος έπειτα από όλες τις παραπάνω λειτουργίες πραγματοποιείται αποθήκευση τριών διαφορετικών αρχείων σε μορφή «.a3d». Η μορφή αυτή είναι απαραίτητη για την εισαγωγή των αρχείων στο πρόγραμμα όπου χρησιμοποιήθηκε σε επόμενο βήμα για την κατασκευή των μοντέλων. Μέσα στα αρχεία τυπώνονται αρχικά πληροφορίες σχετικές με το πρόγραμμα (όνομα, βήμα, αριθμός ηλεκτροδίων συνολικά) , έπειτα τυπώνεται ο πίνακας με τις συντεταγμένες x,y,z των ηλεκτροδίων και σε δεύτερο στάδιο τυπώνεται ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων καθώς και η ίδια η διαδικασία (αριθμητικά) πραγματοποίησης των μετρήσεων.

Το πρώτο αρχείο που δημιουργείται αφορά την μέθοδο διπόλου-διπόλου, ενώ αντίστοιχα το δεύτερο και τρίτο αρχείο αφορούν την μέθοδο διπόλου-διπόλου σε συνδυασμό με την διασταυρούμενη για $\alpha=1$ και τέλος όλες τις μεθόδους μαζί σε ένα αρχείο.



4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται η δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων που παράχθηκαν με το πρόγραμμα DC_3DPRO. Τα μοντέλα αυτά είναι απαραίτητα ώστε να υπάρχει ένα κοινό και αντικειμενικό μέτρο σύγκρισης το οποίο θα επιτρέψει τον καθορισμό της λειτουργικότητας των μεθόδων και της συνδυαστικής τους χρήσης.

Επιλέχθηκαν τέσσερα διαφορετικά γεωλογικά μοντέλα όπου σε συνδυασμό με τα τρία αρχεία που παράχθηκαν από το πρόγραμμα σημαίνει ότι δοκιμάστηκαν συνολικά δώδεκα διαφορετικά μοντέλα. Τα μοντέλα που κατασκευάζονται αποτελούν έναν τρισδιάστατο χώρο εξαρτώμενο από τις αρχικές παραμέτρους που επιλέγει ο χρήστης. Συγκεκριμένα για την εργασία επιλέχθηκαν 16 ηλεκτροδία, 10 γραμμές ηλεκτροδίων και με αποστάσεις 4 μέτρα μεταξύ των ηλεκτροδίων αλλά και μεταξύ των σειρών. Η μέγιστη απόσταση δίπολων ρεύματος δυναμικού είναι 7 όπου συναρτήσει των αποστάσεων των ηλεκτροδίων μεταφράζεται σε βάθος της διασκόπησης περίπου στα 20 μέτρα. Οι τελικές διαστάσεις του χώρου ορίζονται ως $x = 60 \text{ m}$, $y = 40 \text{ m}$ και $z = 20 \text{ m}$.

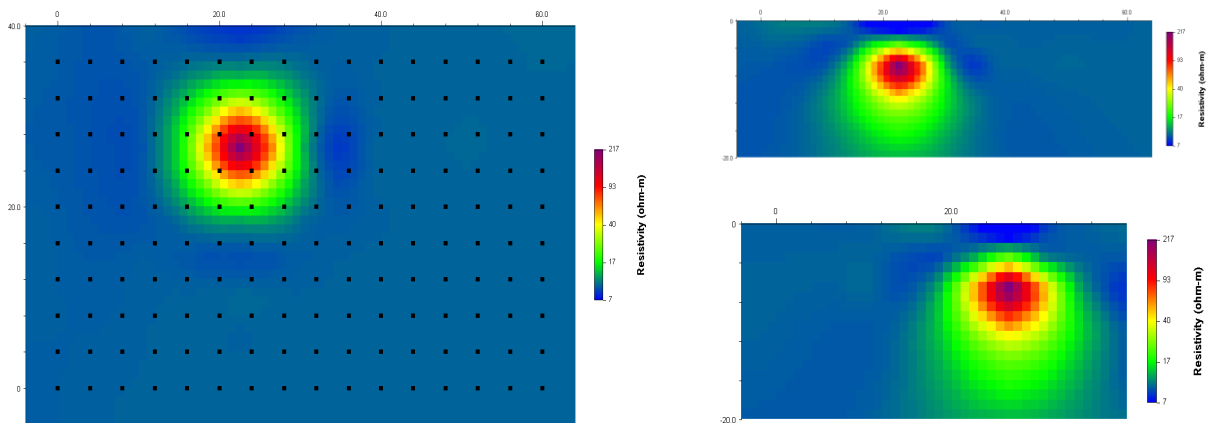
Μέσα σε αυτόν τον χώρο αρχικά επιλέγεται μια ομογενής τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για όλα τα στρώματα. Επιλέχθηκε για τα πρώτα δυο μοντέλα η δημιουργία ενός χώρου σχετικά χαμηλής αντίστασης (10 Ohm-m) με την παρεμβολή ενός σώματος (πρίσμα) υψηλότερης αντίστασης (100 Ohm-m) στο κέντρο περίπου αυτού. Τα δυο αυτά μοντέλα διαφέρουν μόνο σε σχέση με στο βάθος ταφής του πρίσματος με σκοπό την εξακρίβωση της ικανότητας των διαφορετικών μεθόδων να το εντοπίσουν.

Αντίστοιχα τα δυο τελευταία μοντέλα αποτελούν το ακριβώς αντίστροφο ως προς τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες, όπου ο χώρος αποτελεί ένα ομογενές μέσο με σχετικά υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση 100 Ohm-m, ενώ το σώμα που παρεμβάλλεται αποτελεί σώμα σχετικά χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 10 Ohm-m.

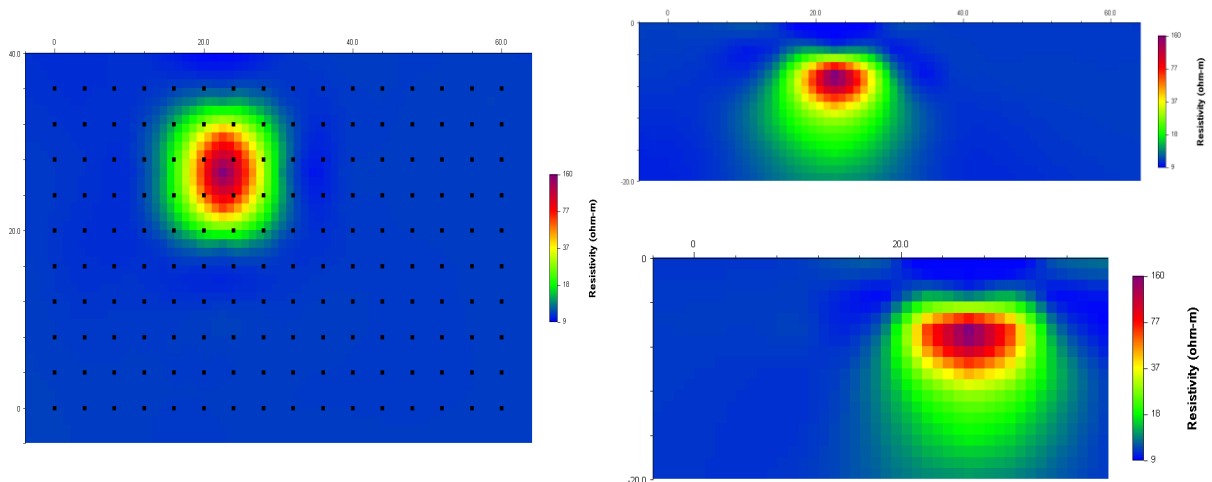
4.2 Μοντέλο ομογενής γης χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος υψηλής επιφανειακά

Τοποθετώντας τα αρχεία που περιέχουν τις διατάξεις για την κάθε μέθοδο στο πρόγραμμα DC_3DPRO σχηματίζεται ο κάρναβος των ηλεκτροδίων και υλοποιείται το πρωτόκολλο των μετρήσεων. Έπειτα σχεδιάζεται γραφικά το μοντέλο επιλέγοντας τη τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των στρωμάτων (10 Ohm-m) για την δημιουργία μιας ομογενής δομής και επιφανειακά με συντεταγμένες $x_1 = 6, x_2 = 8, y_1 = 7, y_2 = 9$ και $z_1 = 2, z_2 = 3$ τοποθετήθηκε ένα σώμα υψηλότερης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (100 Ohm-m). Το πρόγραμμα παράγει τα συνθετικά δεδομένα, δηλαδή αυτά που θα μετρούσαμε σε πραγματικές συνθήκες και στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά υπόκεινται σε αντιστροφή ώστε να επιβεβαιωθεί ο βαθμός αναπαραγωγής του αρχικού μοντέλου.

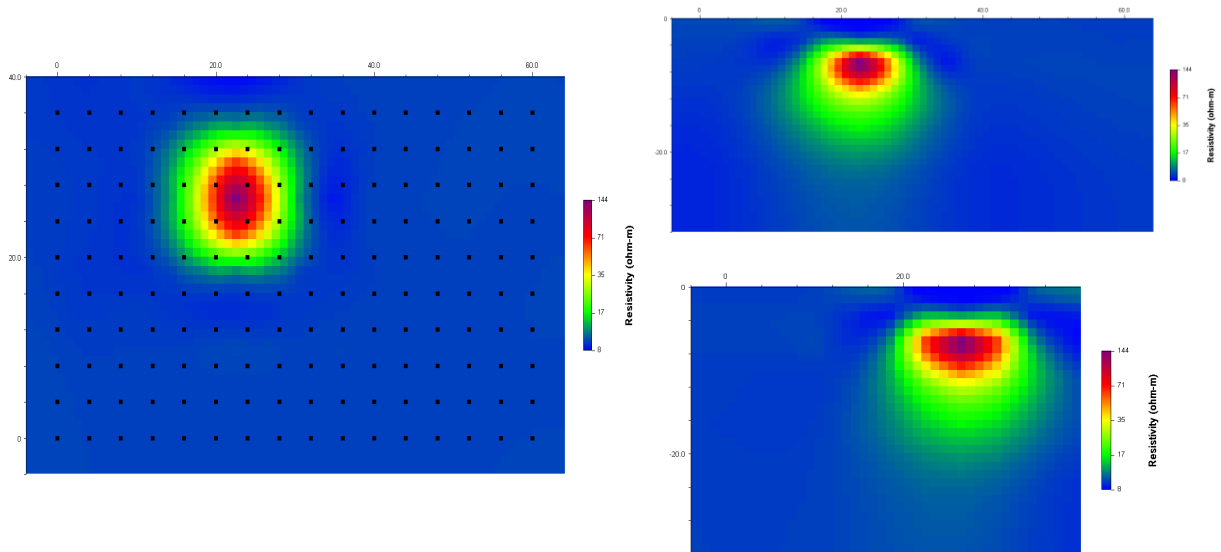
Τα αποτελέσματα της αντιστροφής παρουσιάζονται παρακάτω με τομές xy, xz και yz από τα αριστερά προς τα δεξιά αντίστοιχα για τα τρία πρωτόκολλα που δοκιμάστηκαν: γραμμική διπολου-διπόλου (Εικ. 4.2.1), γραμμική και διασταυρούμενη με $\alpha=1$ (Εικ. 4.2.2), γραμμική, διασταυρούμενη με $\alpha=1$ και $\alpha=2$ (Εικ. 4.2.3).



Εικόνα 4.2.1) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου. Το σώμα υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκεται επιφανειακά.



Εικόνα 4.2.2) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με τις μεθόδους διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενης (με $\alpha=1$).

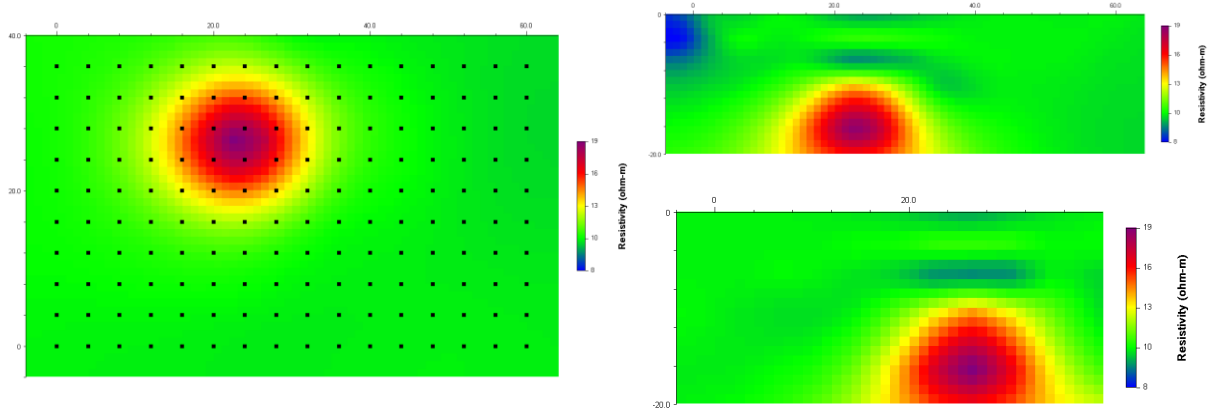


Εικόνα 4.2.3) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με τις μεθόδους διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενη (με $\alpha=1$ και $\alpha=2$).

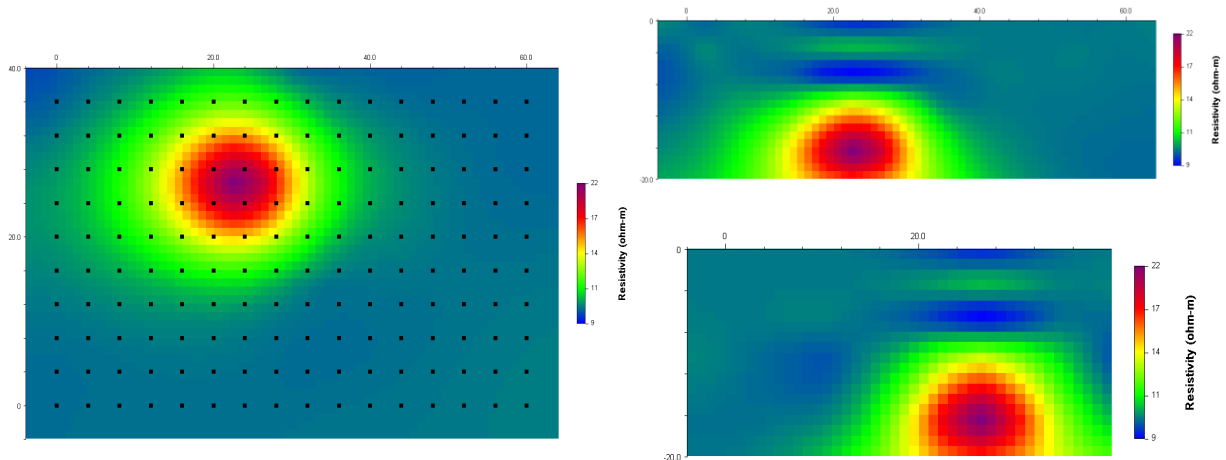
Επιφανειακά η μέθοδος διπόλου-διπόλου καθώς και οι δυο επιπλέον συνδυαστικές εντοπίζουν με μεγάλη ακρίβεια τον στόχο και οι διαφορές που παρουσιάζουν είναι ασήμαντες.

4.3 Μοντέλο ομογενής γης χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος υψηλής σε βάθος

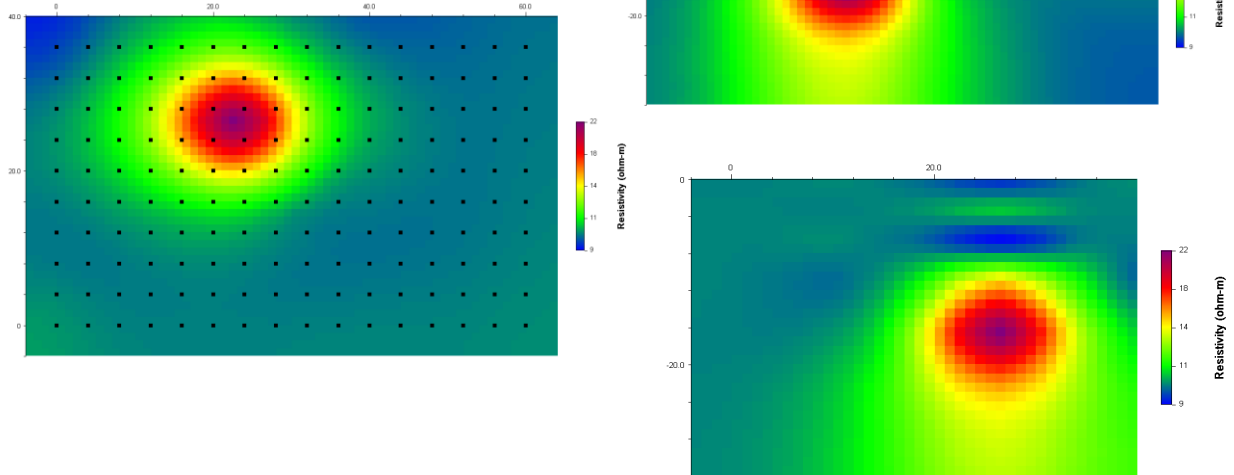
Το μοντέλο αυτό ακολουθεί τα χαρακτηριστικά του παραπάνω, ωστόσο η διαφορά βρίσκεται στην θέση του σώματος υψηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που πλέον βρίσκεται σε μεγαλύτερα βάθη ($z_1 = 5$ και $z_2 = 6$).



Εικόνα 4.3.1) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου. Το σώμα υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκεται σε μεγαλύτερα βάθη .



Εικόνα 4.3.2) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενης ($\alpha=1$). Το σώμα υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκεται σε μεγαλύτερη βάθη. Ο στόχος εντοπίζεται με μεγαλύτερη ευκρίνεια. Αυξάνεται η διακριτική ικανότητα.

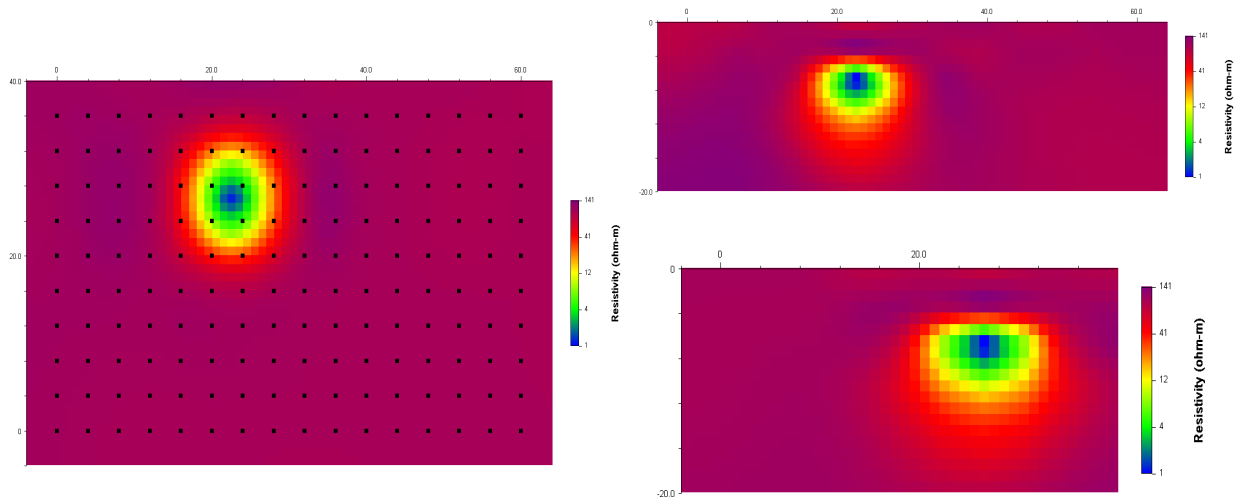


Εικόνα 4.3.3) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενης ($\alpha=1$ και $\alpha=2$). Λόγω της λήψης πληροφορίας από βαθύτερους ορίζοντες το σώμα εντοπίζεται ολόκληρο. Η διακριτική ικανότητα δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές με της εικόνας 4.3.2.

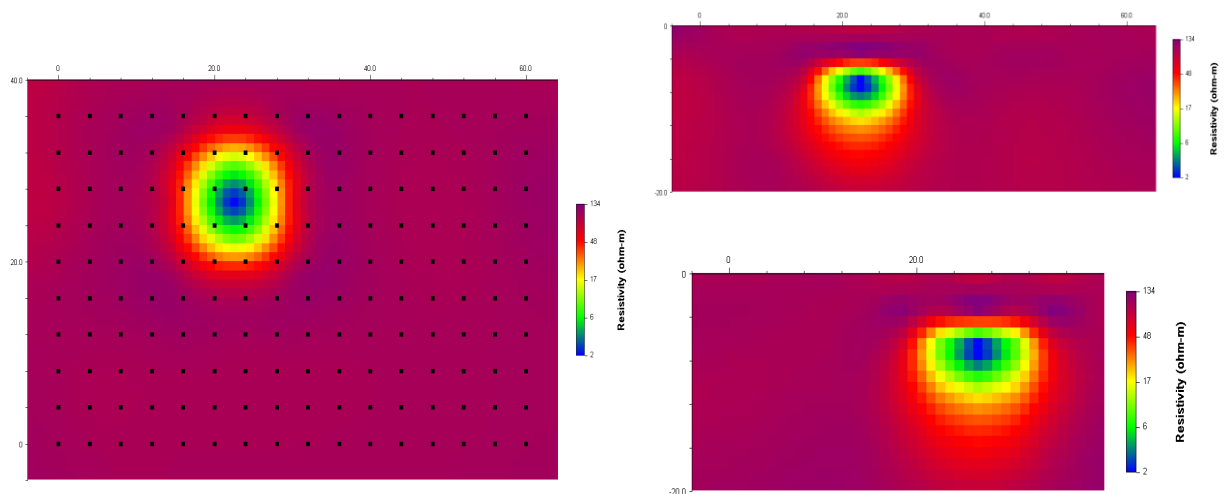
Συγκρίνοντας τις εικόνες 4.3.1 με τις 4.3.2 και 4.3.3 και συγκεκριμένα τις τομές xz και yz παρατηρείται μια βασική διαφορά στο μέγεθος του στόχου καθώς και στις αντιστάσεις με τις οποίες αυτός εμφανίζεται. Τα όρια του σώματος με την υψηλότερη αντίσταση στις εικόνες 4.3.2 και 4.3.3 εμφανίζονται 2 με 4 m μικρότερα εκατέρωθεν του στόχου. Η διάταξη διπόλου-διπόλου δείχνει μειωμένη ευκρίνεια σε σύγκριση με τις δυο συνδυαστικές μεθόδους.

4.4 Μοντέλο ομογενής γης υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος χαμηλής επιφανειακά

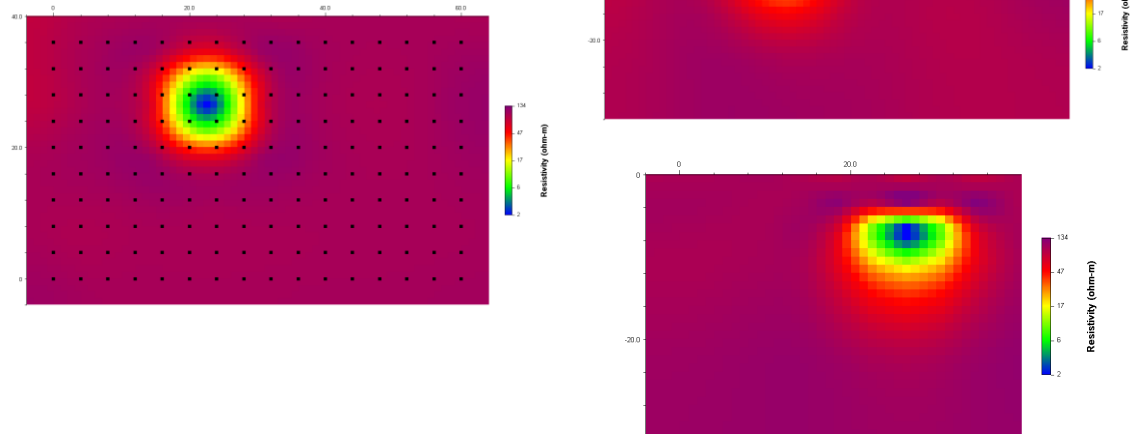
Το μοντέλο αυτού του υποκεφαλαίου αποτελεί το ακριβώς αντίθετο των δυο παραπάνω. Η δομή των πετρωμάτων χαρακτηρίζεται από υψηλές αντιστάσεις συγκριτικά με το σώμα που φιλοξενεί. Το σώμα χαμηλότερης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκεται επιφανειακά με συντεταγμένες παρόμοιες με προηγουμένως.



Εικόνα 4.4.1) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου. Το σώμα χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκεται επιφανειακά.



Εικόνα 4.4.2) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενης($\alpha=1$).

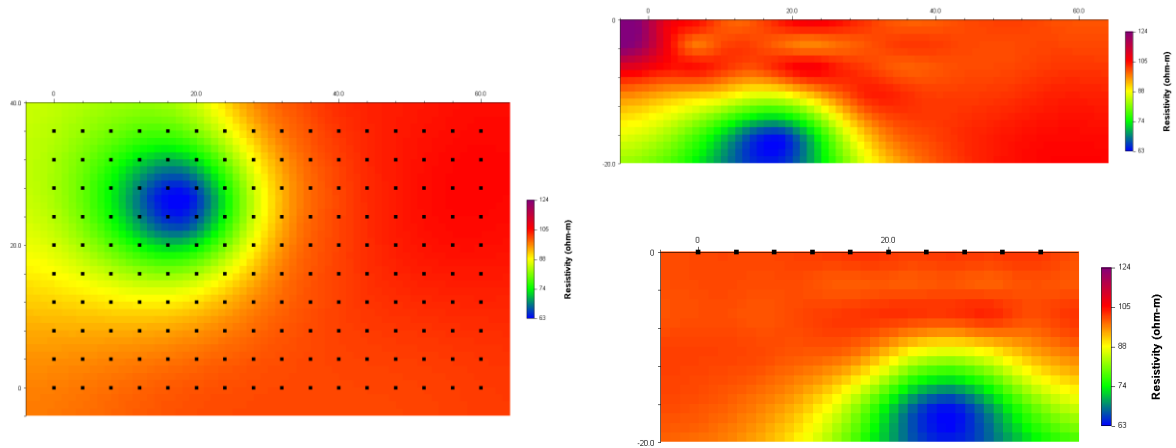


Εικόνα 4.4.3) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενης ($\alpha=1$ και $\alpha=2$).

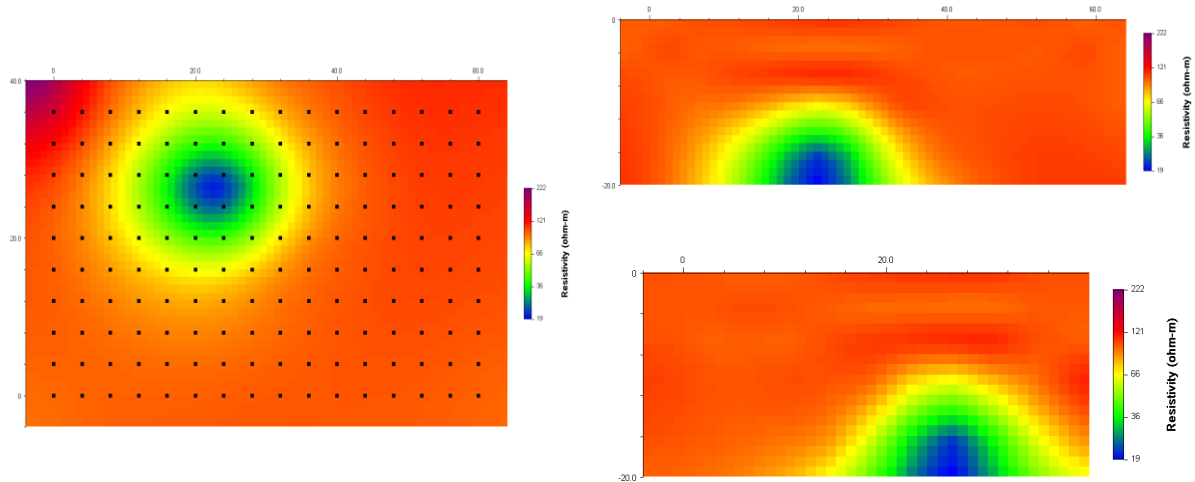
Τα συμπεράσματα που προκύπτουν για το μοντέλο αυτό είναι παρόμοια με το μοντέλο του υποκεφαλαίου 4.2. Ο επιφανειακός στόχος παρά την αντιστροφή των ιδιοτήτων των στρωμάτων εξακολουθεί να είναι το ίδιο ευκρινής και για τις τρεις μετρήσεις. Καμία ουσιαστική διαφορά δεν παρατηρείται στην διακριτική ικανότητα των διατάξεων

4.5 Μοντέλο ομογενής γης υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης με παρεμβολή σώματος χαμηλής σε βάθος

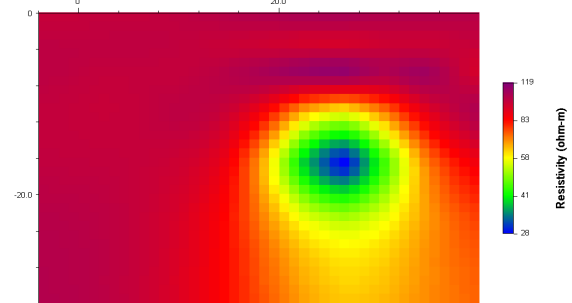
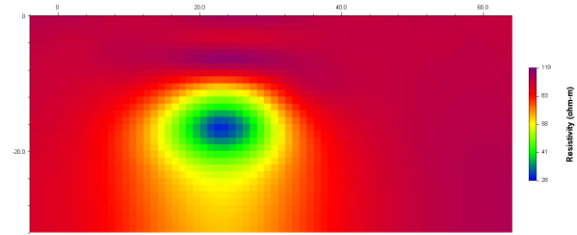
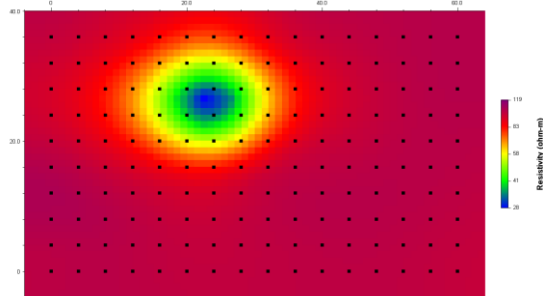
Το μοντέλο αυτό αποτελείται από μια ομογενής δομή στρωμάτων με υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση στο οποίο σε σχετικά μεγάλο βάθος παρεμβάλλεται ένα σώμα χαμηλής. Το σώμα αυτό χαρακτηρίζεται από τις ίδιες ακριβώς διαστάσεις του σώματος στο κεφάλαιο 4.3. Παρουσιάζεται μια αισθητά μεγάλη διαφορά στο μέγεθος του στόχου καθώς και στις αντιστάσεις με τις οποίες αυτός εμφανίζεται.



Εικόνα 4.5.1) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου. Ο στόχος βρίσκεται σε μεγαλύτερα βάθη.



Εικόνα 4.5.2) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενη ($\alpha=1$).



Εικόνα 4.5.3) Τομές xy,xz και yz παραγόμενες με την μέθοδο διπόλου-διπόλου και διασταυρούμενη ($\alpha=1$ και $\alpha=2$).



Για επιφανειακούς στόχους ασχέτως της δομής όλες οι μέθοδοι παράγουν τα ίδια δεδομένα. Η διασταυρούμενη μέθοδος ωστόσο προσδίδει στην διπόλου-διπόλου την ικανότητα να ληφθεί πληροφορία και στο ενδιάμεσο των σειρών χωρίς να απαιτείται επιπλέον μετακίνηση των ηλεκτροδίων. Με την επιπλέον χρήση της διασταυρούμενης όπου οι αποστάσεις είναι διπλάσιες ($\alpha=2$) στην διασκόπηση προστίθεται εκτός της ενδιάμεσης πληροφορίας και η πληροφορία και για ακόμα μεγαλύτερη βάθη.

Με βάση τις εικόνες των υποκεφαλαίων 4.3 και 4.5 όπου τα μοντέλα περιγράφουν βαθύτερους στόχους αναδεικνύονται οι διαφορές στον όγκο του στόχου και συγκεκριμένα στα ακριβή σημεία των ορίων του καθώς και του βάθους του. Η γραμμική διάταξη διπόλου-διπόλου δείχνει το σώμα με μικρότερη ευκρίνεια και με ζώνες που χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες αντιστάσεις συγκριτικά με τις συνδυαστικές μεθόδους της διπόλου-διπόλου με την διασταυρούμενη.

Οι διαφορές ανάμεσα στην δεύτερη και την τρίτη μέθοδο, όπου στην τελευταία πραγματοποιείται επιπλέον διασταυρούμενη μέθοδος με αποστάσεις διπλάσιες του βήματος ($\alpha=2$) δείχνουν να μην είναι σημαντικές. Ακόμη και αν οι θέσεις των ηλεκτροδίων είναι έτοιμες για την πραγματοποίηση των μετρήσεων με διάταξη διπόλου-διπόλου, η επιπλέον εφαρμογή της διασταυρούμενης θα απαιτήσει χρόνο ο οποίος είναι πολύτιμος. Γνωρίζοντας τον πιθανό στόχο για εντοπισμό και το πιθανό βάθος στο οποίο αυτός βρίσκεται θα αποτελέσει τον καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή των μεθόδων που θα εκτελεστούν.

Η απλή διασταυρούμενη μέθοδος που μοιράζεται κοινές αποστάσεις με την διάταξη διπόλου-διπόλου αποδεικνύεται αρκετά αποτελεσματική ιδιαίτερα για στόχους οι οποίοι βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη.



Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην ανάπτυξη κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB για την δημιουργία, επεξεργασία και εκτίμηση της διασταυρούμενης διάταξης σε συνδυασμό με την διάταξη διπόλου-διπόλου και των τρισδιάστατων τομογραφιών που αυτές παράγουν. Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε είναι πλήρως αυτοματοποιημένο ως προς τις παραμέτρους της διασκόπησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαμόρφωση των διατάξεων τόσο της διασταυρούμενης όσο και της διπόλου-διπόλου.

Η διασκόπηση πραγματοποιήθηκε με τα τρία πρωτόκολλα: γραμμική διπολου-διπόλου, γραμμική και διασταυρούμενη με $\alpha=1$, γραμμική, διασταυρούμενη με $\alpha=1$ και $\alpha=2$. Παρήχθησαν τα συνθετικά δεδομένα, δηλαδή αυτά που θα μετρούσαμε σε πραγματικές συνθήκες για διαφορετικούς τύπους και θέσεις στόχων και στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά υποβλήθηκαν σε αντιστροφή ώστε να επιβεβαιωθεί ο βαθμός αναπαραγωγής του αρχικού μοντέλου.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με τη χρήση διασταυρούμενων διατάξεων η διακριτική ικανότητα της μεθόδου αυξάνεται. Η απλή διασταυρούμενη μέθοδος που μοιράζεται κοινές αποστάσεις με την διάταξη διπόλου-διπόλου αποδεικνύεται αρκετά αποτελεσματική ιδιαίτερα για στόχους οι οποίοι βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη.



Abstract

This work aims to develop code in Matlab for the creation, processing and estimation of the cross-line 3D geoelectrical array in combination with the standard 3D in-line dipole-dipole layout. The developed program can be used to configure the layouts of both the cross and in-line dipole-dipole configurations. The program was used to produce different protocol combinations involving linear dipole-dipole, and combined linear and cross-line arrays. The protocols were used to produce synthetic data for different types of targets and then these data were inverted to confirm the degree of reproduction of the original model.

The results show that by using cross-line configurations the resolution of the 3D geoelectrical method increases. The simple cross-line configuration in combination with the in-line dipole-dipole measurements is proving to be quite effective especially for targets at greater depths.



Βιβλιογραφία

Tsourlos, P. (1995). Modelling Interpretation and Inversion of Multielectrode Resistivity Survey Data. Unpublished Ph.D. Thesis, University of York.

Βασίλη Κ. Παπαζάχου ,(1996). *Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη Γεωφυσική*, Εκδόσεις Ζήτη

Παπαδόπουλος Νίκος,(2007). Ανάπτυξη αλγορίθμων για την τρισδιάστατη αντιστροφή γεωηλεκτρικών δεδομένων που προέρχονται από αρχαιολογικούς χώρους.



Παράρτημα – Κώδικας Κύριου Προγράμματος

```
clc
clear all

input_flag = 0;

%{
    Asks the user for values that define the parametres of the survey.
    Calls function dipole_matrix, square_matrix and square_a2_matrix to
    create the prospecting surveys
    Output:
        - Results : Three different files consisting of the positions
of the
        electrodes (xyz coordinates) and the array protocols
%}

%Inputs
%Case 1 is for manual inputs
%Case 0 is for automatic inputs as described

switch input_flag
    case 1
        %%%%%%%%%%% _ User 's inputs
        prompt = 'Enter the length of the line :'; %16
        columns = input(prompt);

        prompt = 'Enter the number of lines :'; %10
        lines = input (prompt);

        prompt = 'Enter the distance of the electrodes per line :';
%0.75
        disty = input(prompt);

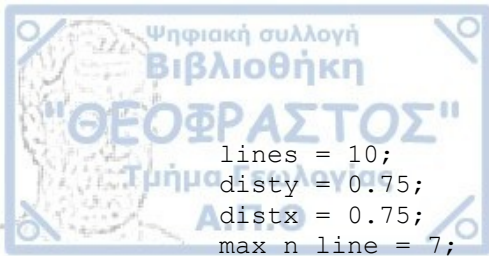
        prompt = 'Enter the distance of the lines :'; %0.75
        distx = input(prompt);

        prompt = 'Enter the number of repeated calculations per line
: '; %7
        max_n_line = input(prompt);

        prompt = 'Enter the number of repeated calculations for square
: '; %7
        max_n_sq_a2 = input(prompt);

        prompt = 'Enter the name of save file :';
        resX= input(prompt, 's');

    case 0
        %%%%%%%%%%% _Standar values for easier testing
        columns = 16;
```



```
lines = 10;
disty = 0.75;
distx = 0.75;
max_n_line = 7;
max_n_sq_a2 = 7;
resX='resX';
otherwise
    disp('wrong flag');
end
% Creating a table with the variables concerning the parametres of the
survey
values=[columns,lines,disty,distx,max_n_line,max_n_sq_a2];

mtrx_d = dipole_matrix(values);
mtrx_cross_line = cross_line_matrix(values);
mtrx_cross_line_a2 = cross_line_a2_matrix(values);

% Creations of xyz coordinates for dipole and square
mtrx_d_coords = zeros(length(mtrx_d), 4);

for i=1:length(mtrx_d)

    idx1 = mtrx_d(i, 1);
    c1 = mod(idx1-1, columns); % current column
    mtrx_d_coords(i, 1) = c1 * distx;

    idx2 = mtrx_d(i, 2);
    c2 = mod(idx2-1, columns); % current column
    mtrx_d_coords(i, 2) = c2 * distx;

    idx3 = mtrx_d(i, 3);
    c3 = mod(idx3-1, columns); % current column
    mtrx_d_coords(i, 3) = c3 * distx;

    idx4 = mtrx_d(i, 4);
    c4 = mod(idx4-1, columns); % current column
    mtrx_d_coords(i, 4) = c4 * distx;

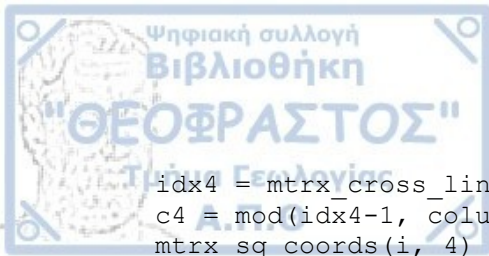
end

mtrx_sq_coords = zeros(length(mtrx_cross_line), 4);
% Creation of xyz coordinates for square a2
for i=1:length(mtrx_cross_line)

    idx1 = mtrx_cross_line(i, 1);
    c1 = mod(idx1-1, columns); % current column
    mtrx_sq_coords(i, 1) = c1 * distx;

    idx2 = mtrx_cross_line(i, 2);
    c2 = mod(idx2-1, columns); % current column
    mtrx_sq_coords(i, 2) = c2 * distx;

    idx3 = mtrx_cross_line(i, 3);
    c3 = mod(idx3-1, columns); % current column
    mtrx_sq_coords(i, 3) = c3 * distx;
```



```

idx4 = mtrx_cross_line(i, 4);
c4 = mod(idx4-1, columns); % current column
mtrx_sq_coords(i, 4) = c4 * distx;

end

mtrx_sq_a2_coords = zeros(length(mtrx_cross_line_a2), 4);

for i=1:length(mtrx_cross_line_a2)

    idx1 = mtrx_cross_line_a2(i, 1);
    c1 = mod(idx1-1, columns); % current column
    mtrx_sq_a2_coords(i, 1) = c1 * distx;

    idx2 = mtrx_cross_line_a2(i, 2);
    c2 = mod(idx2-1, columns); % current column
    mtrx_sq_a2_coords(i, 2) = c2 * distx;

    idx3 = mtrx_cross_line_a2(i, 3);
    c3 = mod(idx3-1, columns); % current column
    mtrx_sq_a2_coords(i, 3) = c3 * distx;

    idx4 = mtrx_cross_line_a2(i, 4);
    c4 = mod(idx4-1, columns); % current column
    mtrx_sq_a2_coords(i, 4) = c4 * distx;

end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Geo_factor

[geo_f_dipole,geo_f_square,geo_f_sq_a2] = geo_factor(mtrx_d_coords,
mtrx_sq_coords,mtrx_sq_a2_coords);

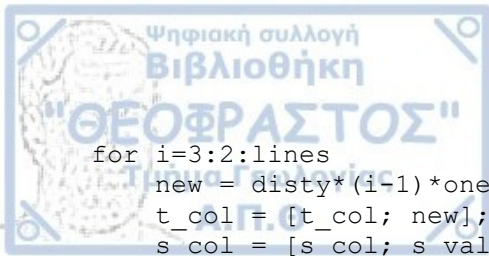
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

f_col = 1:columns*lines; % First column
s_val = [0:columns-1]' * distx; % X,y values
s_col = s_val;
t_col = zeros(columns, 1);
for i=2:lines
    new = disty*(i-1)*ones(columns, 1);
    t_col = [t_col; new];
    s_col = [s_col; s_val];
end
xyz_dd_sq = [f_col', s_col, t_col, zeros(columns*lines, 1),
zeros(columns*lines, 1)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s_val = [0:2:15]' * distx; % X,y values
num_cols = length(s_val);
num_lines = length(1:2:lines);
s_col = s_val;
t_col = zeros(num_cols, 1);

```

```
for i=3:2:lines
    new = disty*(i-1)*ones(num_cols, 1);
    t_col = [t_col; new];
    s_col = [s_col; s_val];
end
f_col = 1:length(t_col); % First column
xyz_sq_a2 = [f_col', s_col, t_col, zeros(num_cols*num_lines, 1),
zeros(num_cols*num_lines, 1)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Construction of results file
if ~ exist('results', 'dir')
    mkdir results
end

outputfile(mtrx_d, mtrx_cross_line, mtrx_cross_line_a2, xyz_dd_sq,
xyz_sq_a2, values, resX)

flag1=0;
flag2=0;
flag3=0;

%Controlling of the geometric factor
for i=1:length(geo_f_dipole)
    if geo_f_dipole(i)>1000
        flag1=1;
    end
end

if flag1==1
    disp ('High value of geometric factor for dipole-dipole')
end

for i=1:length(geo_f_square)
    if geo_f_square(i)>1000
        flag2=1;
    end
end

if flag2==1
    disp ('High value of geometric factor for cross_line a=1')
end

for i=1:length(geo_f_sq_a2)
    if geo_f_sq_a2(i)>1000
        flag3=1;
    end
end

if flag3==1
    disp ('High value of geometric factor for cross-line a=2')
end
```