



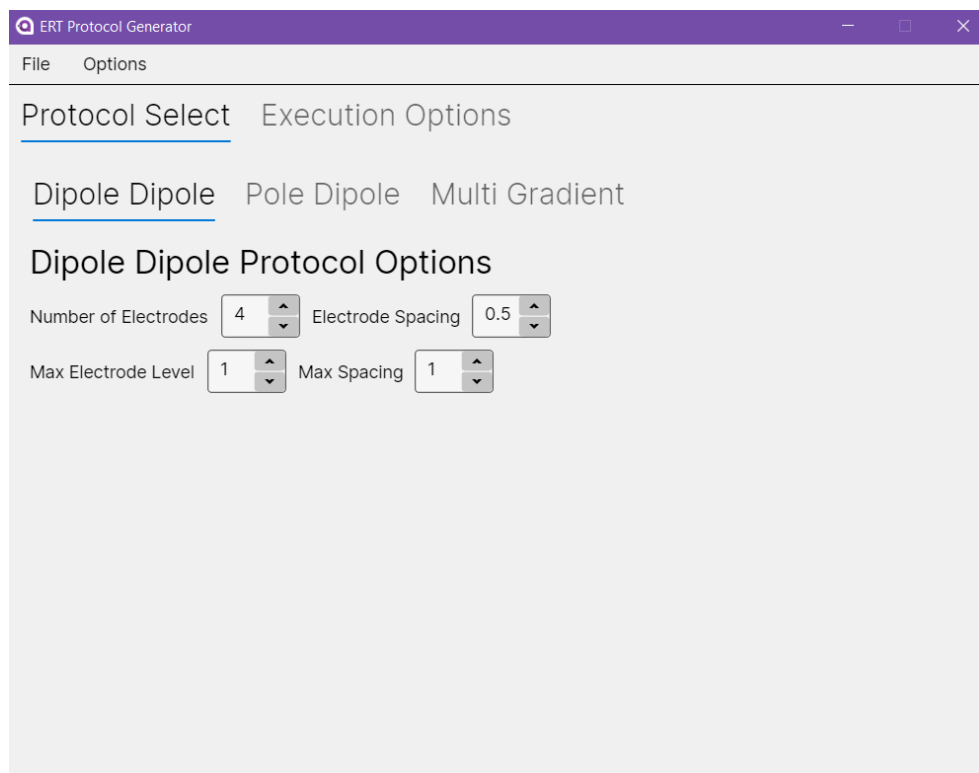
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΣΚΟΡΔΕΛΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΣΚΟΡΔΕΛΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5254

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέπων

Τσούρλος Π. , Καθηγητής ΑΠΘ

© Βασίλειος Σκορδέλης Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ – Διπλωματική Εργασία

© Vasileios Skordelis, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2022
All rights reserved.
DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR ELECTRICAL RESISTIVITY
TOMOGRAPHY PROTOCOL CREATION – *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.



Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που με υποστηρίζουν τόσα χρόνια . Τους ευγνωμονώ για την υπομονή τους και τον χρόνο που μου δώσανε για να τελειώσω τις σπουδές μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Μαρία Νικοπούλου για τις συμβουλές της, τις υποδείξεις και την θερμή υποστήριξη της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου κύριο Παναγιώτη Τσούρλο, για την υποστήριξη του, την βοήθεια του καθώς και για την ευκαιρία που μου παρείχε με την ανάθεση της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
1. Εισαγωγή.....	3
1.1 Γεωφυσικές Μέθοδοι Διασκοπήσεων.....	3
1.2 Ηλεκτρικές Μέθοδοι Γεωφυσικών Διασκοπήσεων.....	4
1.2.1 Γενικές Έννοιες.....	4
1.2.2 Οι διάφορες Ηλεκτρικές Μέθοδοι.....	4
1.2.3 Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση.....	5
1.2.4 Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση των Πετρωμάτων.....	6
1.3 Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης.....	8
1.3.1 Γενικές Έννοιες.....	8
1.3.2 Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση.....	9
1.3.3 Γεωμετρικός Παράγοντας.....	9
1.3.4 Βάθος Έρευνας μεθόδων Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης.....	12
2. Η ανάπτυξη του λογισμικού ERTProtGen.....	13
2.1 Στόχος του λογισμικού.....	13
2.2 Τα στάδια ανάπτυξης του λογισμικού.....	13
2.2.1 Η Επιλογή της Γλώσσας Προγραμματισμού.....	13
2.2.2 Χρήση Ελέγχου Πηγαίου Κώδικα.....	14
2.2.3 Αρχική Ανάπτυξη Λογισμικού για Έξοδο σε Κονσόλα(console output).....	16
2.2.4 Τα Διάφορα Αρχεία Εξόδου του Λογισμικού.....	17
2.2.5 Ανάπτυξη Οπτικού Περιβάλλοντος.....	17
2.3 Τα διάφορα πρωτόκολλα του λογισμικού.....	18
2.3.1 Η Έννοια του Πρωτόκολλου.....	18
2.3.2 Το Πρωτόκολλο Dipole-Dipole(Δίπολου-Δίπολου).....	20
2.3.3 Το Πρωτόκολλο Pole-Dipole(Πόλου-Δίπολου).....	22
2.3.4 Το Πρωτόκολλο Multi-Gradient(Πολλαπλής Βαθμίδας).....	24
3. Παρουσίαση του Λογισμικού ERTProtGen.....	27
3.1 Σκοπός της Παρουσίασης.....	27
3.2 Οδηγίες Χρήσεως Λογισμικού.....	28
3.3 Παρουσίαση Κώδικα πρωτοκόλλων και μετρήσεων.....	33
3.3.1 Ορισμοί Εννοιών Αντικειμενοστρεφή Προγραμματισμού.....	33
3.3.2 Ο Κώδικας των Πρωτοκόλλων.....	35
3.3.3 Ο Κώδικας των Μετρήσεων.....	36
4. Το Μέλλον του Λογισμικού.....	30
Παράρτημα.....	40
Βιβλιογραφία.....	41

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό να παρουσιάσει την διαδικασία ανάπτυξης λογισμικού δημιουργίας πρωτοκόλλων για τη λήψη μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας, που ονομάζεται ERTProtGen(Electrical Resistivity Tomography Protocol Generator). Το λογισμικό έχει αναπτυχθεί σε γλώσσα προγραμματισμού C# και παρέχει την δυνατότητα παραγωγής διάφορων αρχείων μετρήσεων(πρωτοκόλλων) για διάφορες διατάξεις και όργανα μέτρησης.

Το πρώτο κεφάλαιο, έχει ως σκοπό την εισαγωγή του αναγνώστη στις βασικές έννοιες των Γεωφυσικών Διασκοπήσεων, των Ηλεκτρικών Γεωφυσικών Μεθόδων και πιο συγκεκριμένα την εξοικείωση με την Μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και Ηλεκτρικής Τομογραφίας που αφορά το λογισμικό.

Το δεύτερο κεφάλαιο, έχει ως σκοπό την παρουσίαση της διαδικασίας ανάπτυξης του λογισμικού και επεξηγεί τον στόχο, τα στάδια ανάπτυξης και τη διαδικασία παραγωγής πρωτόκολλων για τις διατάξεις ηλεκτροδίων που το λογισμικό υποστηρίζει.

Το τρίτο κεφάλαιο, παρέχει οδηγίες για την χρήση του λογισμικού μέσω της χρήσης εικόνων και επεξηγήσεων.

Το τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, πραγματεύεται το μέλλον του λογισμικού και τον ανοιχτό χαρακτήρα του κώδικα του.



Abstract

The purpose of this paper is to present the development process of software used for creating protocols used in taking electrical tomography measurement, called ERTProtGen(Electrical Resistivity Tomography Protocol Generator). The software has been developed with the use of the C# programming language and provides the ability to generate various measurement files(protocols) for various arrays and measuring instruments.

The first chapter aims to introduce the reader to the basic concepts of geophysical surveys, Electrical Geophysical Methods and more specifically to familiarize the reader to the Specific Electrical Resistance Method and Electrical Tomography that concerns the software.

The second chapter aims to present the development process of the software and explains the goal, the development stages and the protocol generation process for the electrode arrangements(arrays) that the software supports.

The third chapter provides instructions for using the software through the use of images and explanations.

The fourth and final chapter deals with the future of the software and the open nature of its code.

1. Εισαγωγή

1.1 Γεωφυσικές Μέθοδοι Διασκοπήσεων

Οι γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης, αποσκοπούν στην διασκόπηση των ανώτερων στρωμάτων του φλοιού της Γης. Η διασκόπηση αυτή μπορεί να επιτυγχάνεται, είτε με την μέτρηση φυσικών μεγεθών είτε με την αξιοποίηση φυσικών νόμων. Οι βασικές μέθοδοι διασκοπήσεων χωρίζονται σε 5 κατηγορίες, τις σεισμικές, τις βαρυτικές, τις μαγνητικές, τις ηλεκτρικές και τις ηλεκτρομαγνητικές. Οι σεισμικές μέθοδοι περαιτέρω χωρίζονται στις σεισμικές μεθόδους ανάκλασης και διάθλασης.

Οι διάφορες αυτές μέθοδοι διασκόπησης αξιοποιούν διαφορετικούς φυσικούς νόμους και φυσικά μεγέθη για να επιτύχουν αυτή την διασκόπηση. Η κύρια μέθοδος που πραγματεύεται η παρούσα πτυχιακή είναι η Ηλεκτρική Μέθοδος, αλλά λεπτομέρειες γι' αυτήν θα δοθούν σε επόμενη ενότητα.

Σκοπός της διασκόπησης των ανώτερων στρωμάτων του φλοιού της Γης είναι η ανίχνευση δομών που μπορούν να περιέχουν υλικά οικονομικού ενδιαφέροντος, όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κοιτάσματα κ.α.

Πέρα από το οικονομικό ενδιαφέρον οι γεωφυσικές διασκοπήσεις έχουν χρήση στην μη καταστροφική ανίχνευση αρχαιολογικών λειψάνων, ταφών ή χώρων.

Οι διάφορες τεχνικές της γεωφυσικής διασκόπησης, χρησιμοποιούν μετρήσεις που βασίζονται σε φυσικούς νόμους και στα όργανα που τις καταγράφουν. Τα μεγέθη που μετρώνται είναι προφανές ότι παρέχουν πληροφορία για μία δομή σε απόσταση από το σημείο όπου γίνονται μετρήσεις. Επομένως χρησιμοποιούνται κυρίως τα διάφορα πεδία στην φυσική, Βαρυτικό, Μαγνητικό, Ηλεκτρικό καθώς και σεισμικά κύματα. Ανιχνεύοντας μεταβολές σε αυτά μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για πιθανές δομές στην περιοχή μέτρησης.

Συγκεκριμένα, παράγονται πεδία από τα όργανα μέτρησης ή σεισμικά κύματα και τελικά μετρώνται άλλα φυσικά μεγέθη που επηρεάζονται από αυτά και μπορούν να συνδεθούν με την ύπαρξη μίας δομής που ψάχνουμε.

Για παράδειγμα και όπως θα αναφερθεί παρακάτω σε λεπτομέρεια, η ηλεκτρική ειδική αντίσταση πετρωμάτων είναι ένα φυσικό μέγεθος που μεταβάλλεται ανάλογα με τα πετρώματα και τις συνθήκες της περιοχής μέτρησης.

1.2 Ηλεκτρικές Μέθοδοι Γεωφυσικών Διασκοπήσεων

1.2.1 Γενικές Έννοιες

Στις ηλεκτρικές μεθόδους επιδιώκεται η μέτρηση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών πετρωμάτων.

Συγκεκριμένα η άμεση ποσότητα που μετράται από τα όργανα είναι η ηλεκτρική τάση, αλλά αυτή η ποσότητα η ίδια δεν μας βοηθάει να πάρουμε μία εικόνα για την δομή στην περιοχή μετρήσεως. Γι' αυτό επιδιώκεται η μέτρηση μιας άλλης ηλεκτρικής ιδιότητας, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων, μάλιστα ένας τελικός σκοπός είναι ο προσδιορισμός της κατανομής αυτής της ειδικής αντίστασης στα πετρώματα της περιοχής μετρήσεως (Παπαζάχος 1996).

Με μία τέτοια κατανομή επιτυγχάνεται μία χαρτογράφηση των πετρωμάτων με βάση αυτή την ποσότητα, πράγμα που μπορεί να δώσει πληροφορία για τις δομές που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα που μετρώνται.

1.2.2 Οι διάφορες Ηλεκτρικές Μέθοδοι

Υπάρχουν πολλές ηλεκτρικές μέθοδοι, οι κυριότερες είναι η μέθοδος της ειδικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων.

Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ενεργές και τις παθητικές. Οι παθητικές μέθοδοι βασίζονται σε μετρήσεις από φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα ή σε φυσικά προϋπάρχοντα πεδία και μοιάζουν με τις άλλες μεθόδους των Βαρυτικών και Μαγνητικών διασκοπήσεων που βασίζονται στο φυσικό Βαρυτικό και Μαγνητικό πεδίο αντίστοιχα.

Οι ενεργές μέθοδοι αντιθέτως, βασίζονται σε μετρήσεις από τεχνητώς παραγόμενα ηλεκτρικά πεδία ή ρεύματα.

Έτσι, θυμίζουν τις Σεισμικές μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούν τα τεχνητώς παραγόμενα ελαστικά κύματα.

Από τις προαναφερθείσες ηλεκτρικές μεθόδους, οι πρώτες τρεις είναι ενεργές, ενώ οι δύο τελευταίες είναι παθητικές.

Η κύρια χρήση των Ηλεκτρικών Μεθόδων είναι στην αναζήτηση μεταλλευμάτων στην Κοιτασματολογία, στην αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων και στην ανεύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσίες κατασκευής τεχνητών φραγμάτων κ.α

Οι Ηλεκτρικές Μέθοδοι δεν χρησιμοποιούνται για διασκοπήσεις σε βάθη μεγαλύτερα των 2000m γι' αυτό, δεν χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση πετρελαίου και αερίου (Παπαζάχος 1996).

1.2.3 Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση

Ως ηλεκτρική αντίσταση ορίζεται η αντίσταση στην ροή του ρεύματος σε ένα υλικό.

Αυτή η αντίσταση στην ροή του ρεύματος εκφράζεται από τον Νόμο του Ohm, ο οποίος λέει ότι η ηλεκτρική αντίσταση είναι ο λόγος της μετρούμενης τάσης με την ένταση του ρεύματος στα άκρα ενός υλικού. Η ηλεκτρική αντίσταση μετριέται σε Ohm(Ω).

Ο λόγος αυτός δίνεται μαθηματικά με τον παρακάτω τύπο:

$$R = \frac{V}{I} (\Omega) \quad (1.1)$$

Η ηλεκτρική αντίσταση όμως μεταβάλλεται με βάση τις διαστάσεις του υλικού που μετράται. Γι' αυτό τον λόγο μία πιο χρήσιμη ποσότητα που μετράται είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

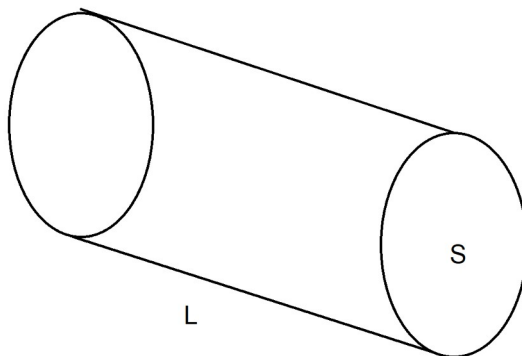
Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από τις διαστάσεις του υλικού που μετράται, άμα ορίσουμε κύλινδρο με διατομή S και μήκος L (σχήμα 1.1).

Μετριέται σε Ohm επί μέτρα ($\Omega \cdot m$) στο SI σύστημα μονάδων και δίνεται από τον τύπο:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L} (\Omega \cdot m) \quad (1.2)$$

Το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα και δίνεται από τον τύπο και έχει μονάδες Siemens ανά μέτρο ($\frac{S}{m}$):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \left(\frac{S}{m} \right) \quad (1.3)$$



Σχήμα 1.1: Κύλινδρος μήκους L και διατομής S

1.2.4 Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση των Πετρωμάτων

Τα διάφορα πετρώματα που εμφανίζονται στην Γη λόγω της δομής τους, πρωτογενούς ή δευτερογενούς, λόγω συνθηκών στην περιοχή μετρήσεως, της ηλικίας τους, καθώς και της συστάσεως τους, εμφανίζουν διαφοροποιήσεις στις τιμές ειδικής αντιστάσεως τους.

Οι τιμές της ειδικής αντίστασης σε διάφορα πετρώματα και ορυκτά κυμαίνεται μεταξύ 10^{-6} μέχρι και $10^{15} \Omega \cdot m$. Λόγω της αντιστροφής σχέσης της ειδικής αντίστασης με την ειδική αγωγιμότητα, οι μικρότερες τιμές δείχνουν πιο αγωγίμα πετρώματα και ορυκτά.

Καλοί αγωγοί κυμαίνονται μεταξύ 10^{-6} και $10^{-1} \Omega \cdot m$ ενώ κακοί αγωγοί κυμαίνονται μεταξύ 10^8 και $10^{15} \Omega \cdot m$ (Παπαζάχος 1996).

Λόγω της μεγάλης διακύμανσης μεταξύ των διάφορων πετρωμάτων δεν υπάρχει μία κατηγοριοποίηση τους με βάση την ειδική αντίσταση.

Παρ' όλα αυτά, κάποιες τυπικές τιμές για τα πετρώματα δίνονται παρακάτω.

Τα ιζηματογενή πετρώματα συνήθως έχουν ειδικές αντιστάσεις ($1-10^3 \Omega \cdot m$), τα πλουτώνια και μεταμορφωμένα πετρώματα εμφανίζουν μεγαλύτερες ειδικές αντιστάσεις ($10^3-10^5 \Omega \cdot m$).

Τέλος μία αντίθεση στον κανόνα των ιζηματογενών είναι ο συμπαγής ασβεστόλιθος με τιμές ($>10^5 \Omega \cdot m$).

Ορυκτά που μπορεί να εμφανίζουν χαμηλές ειδικές αντιστάσεις, μπορεί να αποτελούν ορυκτά οικονομικού ενδιαφέροντος.

Με αυτόν τον τρόπο η αντίθεση της ειδικής αντίστασης τους σε σχέση με την ειδική αντίσταση του περιβάλλοντος πετρώματος αποτελεί έναν τρόπο όπου η ειδική ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να φανεί χρήσιμη στις Ηλεκτρικές μεθόδους για την ανίχνευση τους (Παπαζάχος 1996).

Η αγωγιμότητα διαφόρων ορυκτών εξαρτάται συνήθως από ελεύθερα ηλεκτρόνια στο πλέγμα τους. Παράδειγμα τέτοιων ορυκτών είναι τα μεταλλικά ορυκτά και το ηλεκτρονιακό τους νέφος.

Τα περισσότερα όμως ορυκτά από τα οποία αποτελούνται τα πετρώματα, δεν είναι καλοί αγωγοί.

Έτσι υπάρχει κάποιος άλλος μηχανισμός όπου άγει τον ηλεκτρισμό, αυτός ο μηχανισμός είναι τα ιόντα που περιέχονται στο νερό των πόρων των πετρωμάτων. Αυτή η αγωγιμότητα ονομάζεται ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα λόγω ύπαρξης του νερού σαν ηλεκτρολύτη (πάροχο ιόντων).

Από την παραπάνω παραδοχή, ότι το νερό στους πόρους ενός πετρώματος παρέχει ιόντα που άγουν τον ηλεκτρισμό, γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι η αγωγιμότητα των πετρωμάτων εξαρτάται από το πορώδες τους (σχήμα 1.2).

Με βάση την παραπάνω παραδοχή, έχει προταθεί η εμπειρική σχέση του νόμου του Archie.

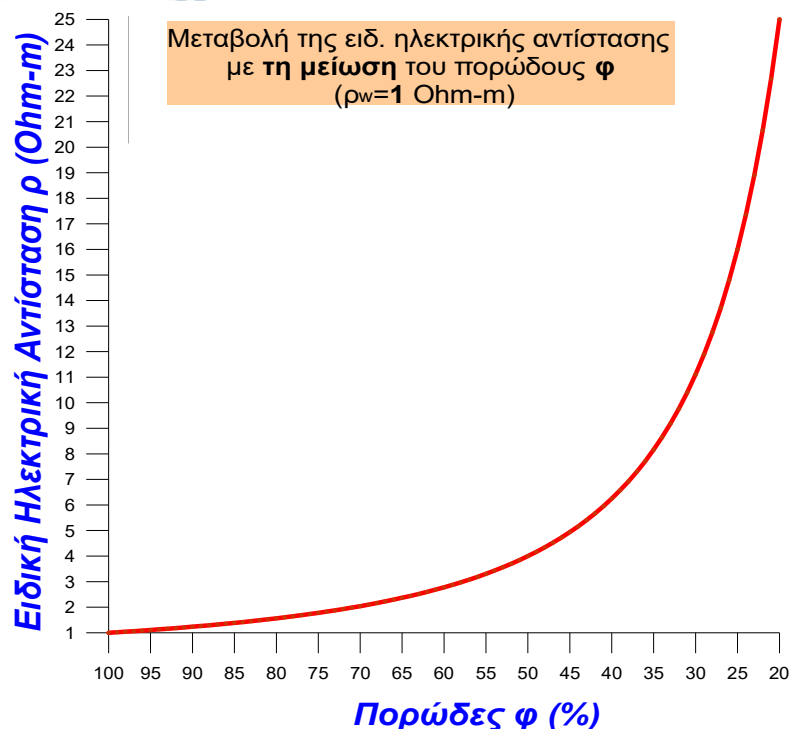
Ο νόμος αυτός δείχνει την σχέση της ειδικής αντίστασης με το πορώδες ενός πετρώματος. Ο τύπος δίνεται παρακάτω με σταθερές $\alpha=1$ και $m=2$:

$$\rho = \alpha \cdot \rho_v \cdot \phi^{-m} \quad (1.4)$$

ρ : ειδική αντίσταση πετρώματος

ρ_v : ειδική αντίσταση νερού

ϕ : πορώδες ($\frac{\text{όγκος πόρων}}{\text{συνολικό όγκο πετρώματος}}$)



Σχήμα 1.2: Διάγραμμα σχέσης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και πορώδους (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Παράγοντες που επηρεάζουν έμμεσα το πορώδες είναι η λιθολογία και η ηλικία του πετρώματος. Η ηλικία επηρεάζει το πορώδες λόγω του γεγονότος ότι, όσο μεγαλύτερης γενικά ηλικίας είναι ένα πέτρωμα, τόσο αυξάνει η συνοχή του, επομένως μειώνεται το πορώδες του (Παπαζάχος 1996).

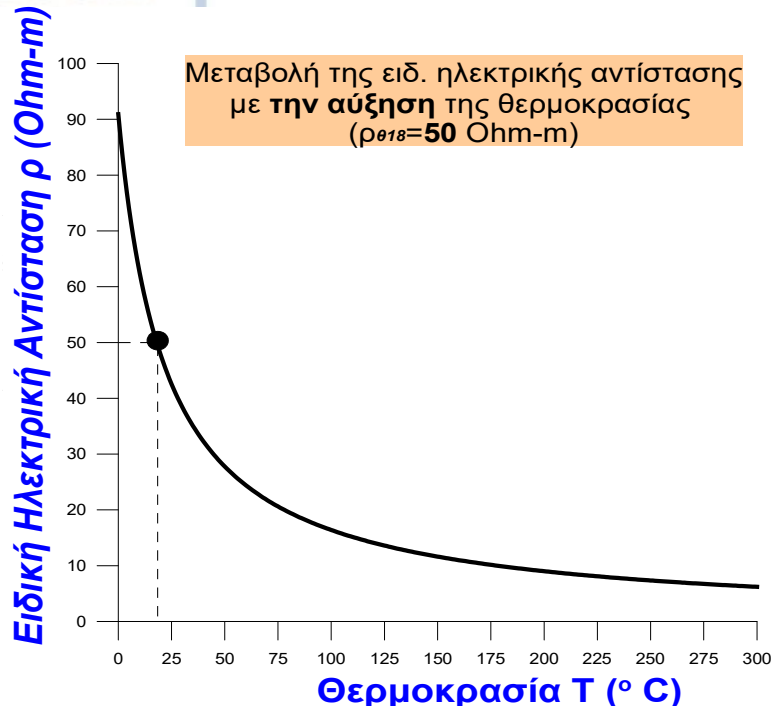
Από λιθολογικής απόψεως, η διαφορά συστάσεως προκαλεί διαφορές στο πρωτογενές πορώδες που προέρχεται από την δημιουργία του πετρώματος, ή από το δευτερογενές πορώδες που δημιουργείται ανάλογα με την διαβρωσιμότητα του πετρώματος μετά την δημιουργία του.

Για παράδειγμα, τα κρυσταλλικά πετρώματα, δεν παρουσιάζουν πρωτογενές πορώδες, και όποια αγωγιμότητα μπορεί να εμφανίζουν, οφείλεται σε ρωγμές που έχουν πληρωθεί με νερό.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ειδική αντίσταση των πετρωμάτων που είναι διαποτισμένα με νερό, είναι η θερμοκρασία (σχήμα 1.3). Ο λόγος είναι η μεταβολή του ιξώδους του νερού και η μείωση της ειδικής του αντίστασης ως αποτέλεσμα.

Η μεταβολή αυτή στην ειδική αντίσταση που προκαλείται λόγω μεταβολής στην θερμοκρασία επηρεάζεται πολύ πιο έντονα όταν το νερό αλλάζει δραματικά θερμοκρασία, τόσο ώστε είτε να εξατμιστεί είτε να παγώσει.

Λόγω αυτής της μεγάλης ελάττωσης σε ειδική αντίσταση του νερού όταν εξατμίζεται οφείλεται η δυνατότητα ανίχνευσής γεωθερμικών πεδίων με τις ηλεκτρικές μεθόδους.



Σχήμα 1.3: Διάγραμμα σχέσης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και θερμοκρασίας (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

1.3 Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

1.3.1 Γενικές Έννοιες

Η ηλεκτρική μέθοδος της ειδικής αντίστασης χρησιμοποιείται εκτενώς και είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους.

Ανήκει στην κατηγορία των ενεργών μεθόδων ηλεκτρικής διασκόπησης γιατί χρησιμοποιεί ένα τεχνητό ηλεκτρικό πεδίο που παράγεται με την βοήθεια μίας ηλεκτρικής πηγής από τα όργανα μετρήσεως.

Η επίτευξη της διασκόπησης με το παραγόμενο ηλεκτρικό πεδίο γίνεται γιατί η δομή του υπεδάφους την οποία διαπερνά το πεδίο μεταβάλλει τις ιδιότητες του.

Η παραγωγή του ηλεκτρικού πεδίου επιτυγχάνεται εισάγοντας δύο ηλεκτρόδια ρεύματος A,B στο έδαφος, και δύο άλλα ηλεκτρόδια δυναμικού M,N σε άλλη θέση σε απόσταση από τα ηλεκτρόδια A,B ώστε να μετρηθεί το πεδίο ενδιάμεσα των ζευγαριών.

Έπειτα παρέχεται ρεύμα στα ηλεκτρόδια A,B και μετριέται τόσο η ένταση I του ηλεκτρικού ρεύματος όσο και η διαφορά δυναμικού (διαφορά τάσης) ΔV στα ηλεκτρόδια M,N. Με την μέτρηση της έντασης I και της τάσης V, επιδιώκεται ο υπολογισμός της ειδικής αντίστασης ρ του υπεδάφους.

Η κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος ονομάζεται *γεωηλεκτρική δομή*.

Η γεωηλεκτρική δομή είναι ο στόχος των μετρήσεων στην περιοχή όπου γίνονται, αλλά αυτή καθ' αυτή η γεωηλεκτρική δομή είναι ένα μέρος της γεωλογικής ερμηνείας των μετρήσεων στην περιοχή αυτή.

Η έννοια της γεωηλεκτρικής δομής ουσιαστικά, είναι η μεταβολή της ειδικής αντίστασης με το βάθος, στο υπέδαφος.

Η γεωλογική ερμηνεία είναι όμως αρκετά δύσκολη και απαιτεί περαιτέρω πρόσθετες πληροφορίες (γεωφυσικές, γεωλογικές κ.α) για την περιοχή μελέτης.

Η ηλεκτρική αντίσταση όμως δεν είναι αυτό που μετράται άμεσα από τις μετρήσεις, αλλά η *φαινόμενη* ειδική αντίσταση ρ_a , η οποία τελικά χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πραγματικής ειδικής αντίστασης ρ .

1.3.2 Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση

Πρέπει αρχικά να αναφερθεί ότι η ειδική αντίσταση εξαρτάται από τον τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων, γι' αυτό είναι σκόπιμο να γνωρίζουμε τον τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων όταν κάνουμε την μέτρηση.

Όπως έχει προαναφερθεί, δεν γίνεται να μετρηθεί άμεσα η πραγματική ειδική αντίσταση ρ , από τα όργανα μετρήσεως, γι' αυτό η ποσότητα που μετράται είναι η φαινόμενη ειδική αντίσταση. Η ποσότητα της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι πλασματική, και τελικός σκοπός είναι να βοηθήσει στον υπολογισμό της πραγματικής ειδικής αντίστασης.

Τα επιφανειακά στρώματα, στα οποία γίνονται οι μετρήσεις στην Ηλεκτρική μέθοδο ειδικής αντίστασης, δεν είναι ομογενή στην πραγματικότητα.

Λόγω αυτής της ανομοιογένειας των επιφανειακών στρωμάτων, η ίδια η τιμή της πραγματικής ειδικής αντίστασης μπορεί να είναι διαφόρως κατανεμημένη στο υπέδαφος και λόγω αυτού η φαινόμενη πια μετρούμενη ειδική αντίσταση θα είναι στην ουσία μία μέση ειδική αντίσταση με βάση όλους τους σχηματισμούς και σώματα που διαπέρασε το ηλεκτρικό ρεύμα στο υπέδαφος.

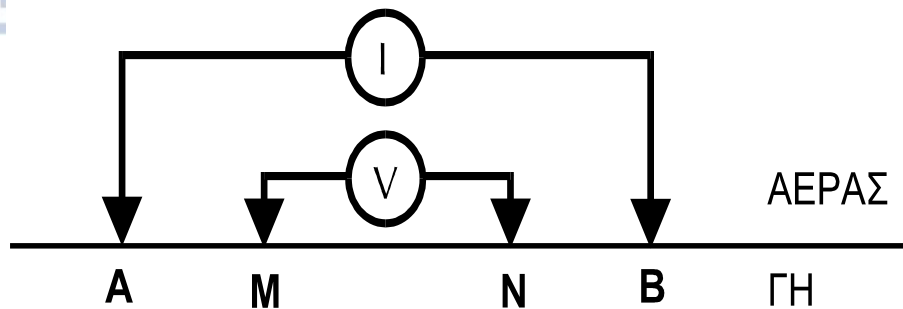
Έτσι η τελική μετρούμενη φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι συνάρτηση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους και της γεωμετρίας των ηλεκτροδίων μετρήσεως.

Επομένως, απαιτούνται περίπλοκες μέθοδοι για τον υπολογισμό της κατανομής της στα επιφανειακά στρώματα. Ο υπολογισμός της με τις μεθόδους αυτές επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό είτε των ηλεκτρικών ποσοτήτων $I, \Delta V$ στα επιφανειακά στρώματα στην περιοχή μελέτης, είτε με πολύπλοκες θεωρίες που εκφράζουν ένα μοντέλο της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Οι παραπάνω μέθοδοι υπολογισμού της πραγματικής ειδικής αντίστασης βασίζονται στην φαινόμενη ειδική αντίσταση.

1.3.3 Γεωμετρικός Παράγοντας

Όπως έχει προαναφερθεί, η ειδική αντίσταση εξαρτάται από την γεωμετρία του υπεδάφους που μετράται και είναι ένα από τα πράγματα που επηρεάζουν την τιμή της.

Ένα άλλο πράγμα που την επηρεάζει είναι η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων κατά την μέτρηση δηλαδή η γεωμετρία της μέτρησης. Οι παράμετροι που μπορούν να μεταβληθούν για μια μέτρηση και επηρεάζουν την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έχουν να κάνουν με τις αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος A, B και των ηλεκτροδίων δυναμικού M, N και των συνδυασμών των αποστάσεων μεταξύ των ηλεκτροδίων κάθε ζευγαριού και των ζευγαριών των ίδιων (σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Παράδειγμα Τοποθέτησης ηλεκτροδίων ρεύματος(I) A,B και δυναμικού(V) M,N (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Ως τώρα η ειδική αντίσταση παρουσιάστηκε με τον τύπο 1.2(σελίδα 5), ο οποίος θεωρεί απλή γεωμετρία ενός κυλίνδρου και παίρνει υπόψη την γεωμετρία του αντικείμενου που μετράται σε μία απλοποιημένη περίπτωση, όπου ένα πεπερασμένων διαστάσεων σώμα μετράται. Στην περίπτωση μίας ηλεκτρικής μέτρησης του υπεδάφους στο ύπαιθρο οι διαστάσεις του δεν νοούνται, γι' αυτό χρησιμοποιείται η γεωμετρία της μέτρησης με βάση την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο έδαφος.

Αλλά ο λόγος που αυτή η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων επηρεάζει τα ηλεκτρόδια απαιτεί την περιγραφή της συμπεριφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος όταν διαπερνά το μετρούμενο υπέδαφος.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος όταν ρέει στο υπέδαφος θα θεωρήσουμε μία απλοποιημένη περίπτωση όπου το μετρούμενο υπέδαφος είναι ομογενές και επομένως έχει ομογενή τιμή ειδικής αντίστασης ρ . Θα θεωρήσουμε επίσης μια περίπτωση όπου παρατηρούμε ένα μόνο του πόλο(ηλεκτρόδιο) που παρέχει ρεύμα στο έδαφος όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5.

Στο σενάριο που περιγράφηκε παραπάνω το ρεύμα μπορεί να θεωρηθεί ότι κινείται ακτινικά και περιγράφεται από ένα διάνυσμα της πυκνότητας του ρεύματος J . Το διάνυσμα αυτό ως ακτινικό είναι κάθετο σε ομόκεντρους κύκλους με κέντρο τον πόλο P. Οι κύκλοι αυτοί είναι ισοδυναμικές επιφάνειες, στην ουσία κελύφη σφαίρας(Παπαζάχος 1996).

Με βάση αυτό το απλοϊκό μοντέλο μπορεί να υπολογιστεί ένα τύπος που δίνει το δυναμικό που προκαλείται από τον πόλο P σε απόσταση r από αυτόν και ο τύπος αυτός δίνεται παρακάτω:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (1.4)$$

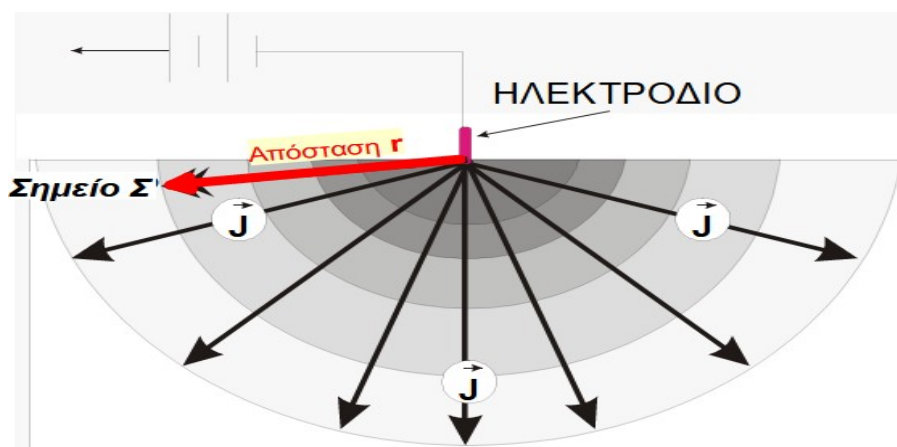
I: Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος

ρ : Ειδική ηλεκτρική αντίσταση

V: Δυναμικό σε απόσταση r

Η παραπάνω σχέση αφορά μία θετική πηγή, σε αρνητική πηγή αντιστρέφεται το πρόσημο.

Η παραπάνω σχέση όμως είναι μία πρώτη εικόνα στον τρόπο όπου ρέει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο υπέδαφος. Στην περίπτωση μετρήσεων όπου χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένα ηλεκτρόδιο όπως στο σχήμα 1.4 πρέπει ο τύπος να παίρνει υπόψη τους συνδυασμούς αποστάσεων μεταξύ των διαφόρων ηλεκτροδίων.



Σχήμα 1.5: Ροή ρεύματος σε ομογενή Γη από μονό ηλεκτρόδιο (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Η ροή του ρεύματος μέσα σε ομογενή Γη σε μια τέτοια περίπτωση φαίνεται στο σχήμα 1.6, στο σχήμα παρουσιάζεται μία διάταξη όπου παρέχεται ρεύμα στα ηλεκτρόδια A^+ και B^- και μετράται από τα ηλεκτρόδια δυναμικού M^+ και N^- .

Για μία τέτοια μέτρηση ψάχνουμε να βρούμε την διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα ηλεκτρόδια M και N V_{MN} .

Αν ορίσουμε ως V_M το δυναμικό στο ηλεκτρόδιο M που οφείλεται στο θετικό ηλεκτρόδιο A και στο αρνητικό ηλεκτρόδιο B και V_N αντίστοιχα για το δυναμικό στο ηλεκτρόδιο N τότε μπορούμε να βρούμε με βάση την σχέση 1.4 τους τύπους:

$$V_M = V_M^A - V_M^B = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (1.5)$$

$$V_N = V_N^A - V_N^B = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (1.6)$$

Με βάση του τύπους 1.5 και 1.6 μπορούμε να βρούμε την επιθυμητή για την μέτρηση διαφορά δυναμικού $V_{MN} = V_M - V_N$ αφαιρώντας τους ως εξής:

$$V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (1.7)$$

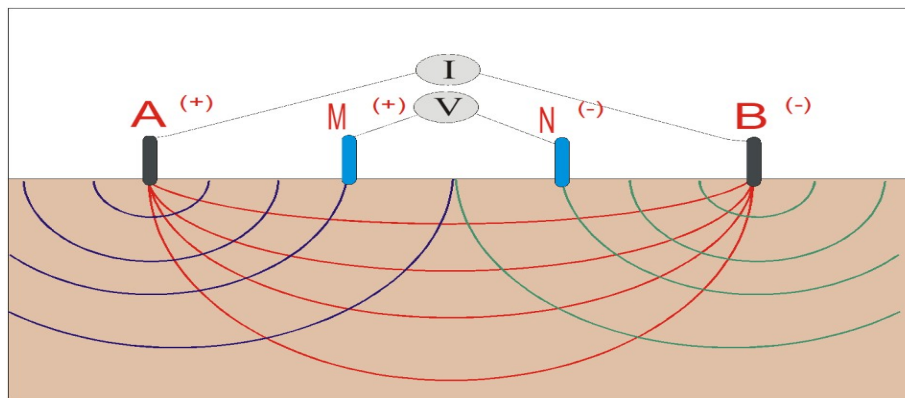
Με βάση την παραπάνω σχέση 1.7 μπορούμε να λύσουμε ως προς την τελικώς επιθυμητή ποσότητα ρ της ειδικής αντίστασης ως εξής:

$$\rho = \frac{V_{MN}}{I} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \quad (1.8)$$

Στην παραπάνω σχέση ο όρος V_{MN}/I μπορεί να θεωρηθεί ως η ηλεκτρική αντίσταση R , ενώ ο δεύτερος όρος που περιέχει τις αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι ο γεωμετρικός παράγοντας της μέτρησης αλλιώς γραφόμενος ως

Κ ή G, με βάση αυτές τις αλλαγές, η τελική απλοποιημένη σχέση είναι η σχέση $\rho = R \cdot G$.

Η σχέση 1.8 δείχνει ότι μπορούμε να υπολογίσουμε την ειδική ηλεκτρική αντίσταση με απλή μέτρηση του δυναμικού V_{MN} στα ηλεκτρόδια δυναμικού μας, η ένταση I είναι γνωστή κατά την μέτρηση αφού παρέχεται από το όργανο μέτρησης και είναι γνωστή, επομένως η μόνη μεταβλητή που μετράται είναι η διαφορά δυναμικού V_{MN} ώστε να βρεθεί από τον τύπο 1.8 η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .



Σχήμα 1.6: Ροή Ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε ομογενή Γη για ηλεκτρόδια ρεύματος A,B και ηλεκτρόδια δυναμικού M,N (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Όμως φαίνεται επίσης ότι στο παράδειγμα της ομογενούς τιμής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή θεωρώντας το δεξιό μέρος της εξίσωσης 1.8 σταθερό και για σταθερή παροχή ρεύματος I , οι μεγάλες τιμές του γεωμετρικού παράγοντα σημαίνουν μείωση στην τιμή της μετρούμενης πια διαφοράς δυναμικού V_{MN} . Αυτή η μείωση της διαφοράς δυναμικού με μεγάλες τιμές του γεωμετρικού παράγοντα δεν είναι επιθυμητή, γιατί από μία τιμή και κάτω της διαφοράς δυναμικού τα όργανα μέτρησης αδυνατούν να την ανιχνεύσουν, γι' αυτό απαιτείται η χρήση ενός ορίου ώστε να χρησιμοποιούνται σαν μετρήσεις αυτές που έχουν μικρότερους γεωμετρικούς παράγοντες.

Ο γεωμετρικός παράγοντας είναι εύκολα υπολογίσιμος, αρκεί να μετρηθούν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων κατά την κάθε μέτρηση. Η μορφή του γεωμετρικού παράγοντα είναι η ίδια αν παίρνονται υπόψη οι καθαρές αποστάσεις των ηλεκτροδίων, αλλά υπάρχουν απλοποιήσεις του τύπου με βάση την μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιείται. Παραπάνω πληροφορίες θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3.4 Βάθος Έρευνας μεθόδων Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

Το βάθος έρευνας είναι μία ιδιότητα που άμεσα μπορεί να κατανοηθεί ότι έχει αρκετή σημασία όταν ο τελικός σκοπός είναι η διασκόπηση μέσα στα επιφανειακά στρώματα της γης.

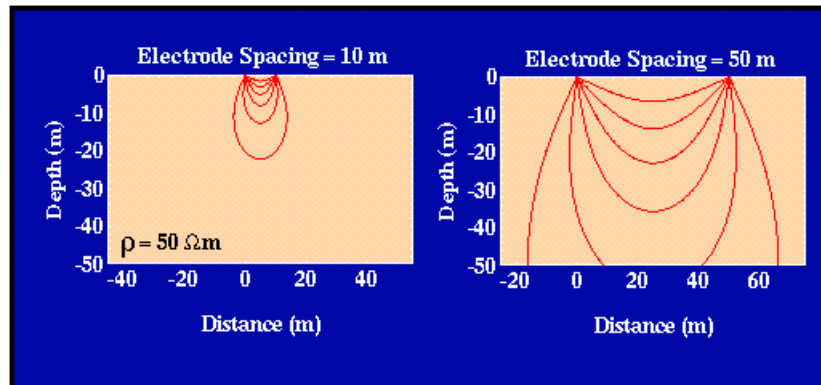
Το βάθος έρευνας εξαρτάται άμεσα από την απόσταση των ηλεκτροδίων και αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η απόσταση. Αλλά επίσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τις γεωλογικές και γεωφυσικές συνθήκες του μετρούμενου εδάφους(σχήμα1.7).

Κάποιες από τις γεωφυσικές ιδιότητες από τις οποίες εξαρτάται το βάθος είναι η ίδια η ειδική αντίσταση που έχουν τα επιφανειακά στρώματα.

Δυστυχώς, δεν υπάρχει κάποια μαθηματική σχέση με την οποία μπορεί να υπολογιστεί άμεσα το βάθος έρευνας, αφού όπως προαναφέρθηκε αυτό εξαρτάται και από την ειδική αντίσταση των στρωμάτων αυτών, η ειδική αντίσταση η οποία είναι το ζητούμενο στην ίδια την μέτρηση.

Με αυτόν τον τρόπο αντί κάποιας μαθηματικής σχέσης, υπάρχει προσέγγιση για τον υπολογισμό του βάθους έρευνας.

Μία προσέγγιση παίρνει ως κανόνα ότι το βάθος έρευνας είναι 25-30% της απόστασης των ακραίων ηλεκτροδίων.



Σχήμα 1.7: Σχέση Βάθους Έρευνας με το άνοιγμα των ακραίων ηλεκτροδίων (electrode spacing) (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

2. Η ανάπτυξη του λογισμικού ERTProtGen

2.1 Στόχος του λογισμικού

Ο κύριος στόχος του λογισμικού ERTProtGen (Electrical Resistivity Tomography Protocol Generator), είναι η παραγωγή αρχείων, αλλιώς ονομαζόμενων ως πρωτόκολλα, τα οποία περιέχουν πληροφορίες για μία σειρά μετρήσεων που χρειάζεται να εκτελεστούν για να επιτευχθεί η γεωφυσική διασκόπηση σε μία περιοχή μελέτης.

Η έννοια του πρωτοκόλλου στην παρούσα εργασία θα αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο βαθμό σε επόμενη ενότητα.

Το λογισμικό παρέχει έναν απλό και γρήγορο τρόπο παραγωγής πρωτοκόλλων σε διάφορα είδη αρχείων τα οποία μπορεί να διαβαστούν έπειτα από άλλα λογισμικά.

Επομένως το παρόν λογισμικό αποτελεί ένα συνοδό εργαλείο για τις Ηλεκτρικές Μεθόδους Γεωφυσικής Διασκόπησης.

2.2 Τα στάδια ανάπτυξης του λογισμικού

2.2.1 Η Επιλογή της Γλώσσας Προγραμματισμού

Η γλώσσα που επιλέχθηκε για τον σκοπό της ανάπτυξης του λογισμικού είναι η γλώσσα C# (σι σάρπ).

Η γλώσσα C#, είναι μία σχετικά απλή αντικειμενοστρεφής γλώσσα

Η χρήση του λογισμικού και του ελέγχου πηγαίου κώδικα, αφορά την απαθανάτιση συγκεκριμένων στιγμιότυπων της ανάπτυξης του λογισμικού αλλά κυρίως του πηγαίου κώδικα του.

Ο σκοπός είναι τόσο η δυνατότητα αποθήκευσης ώστε να γίνεται να επιστρέψει ο πηγαίος κώδικας πίσω σε κάποιο προηγούμενο στιγμιότυπο σε περίπτωση κάποιας απώλειας δεδομένων, όσο και αν υπάρξει σφάλμα που απαιτεί επαναφορά σε προηγούμενη κατάσταση.

Τα παραπάνω αφορούν την πλευρά του ελέγχου πηγαίου κώδικα που συμβαίνει στον υπολογιστή όπου γίνεται η ανάπτυξη του λογισμικού, τοπικά(locally), αλλά ότι εξηγήθηκε παραπάνω, δηλαδή η απαθανάτιση στιγμιότυπων του πηγαίου κώδικα αποθηκεύεται σε ένα αρχείο σε μία αποθήκη(repository) ως μια ιστορία εξέλιξης του λογισμικού, αυτή ονομάζεται *τοπική αποθήκη*(local repository).

Όμως, η τοπική αποθήκη της ιστορίας του κώδικα έχει την ίδια αδυναμία με την απλή αποθήκευση του πηγαίου κώδικα στον υπολογιστή όπου γίνεται η ανάπτυξη, δηλαδή αν υπάρξει ολική απώλεια δεδομένων θα χαθεί ακόμη και η τοπική αποθήκη, αποκλείοντας έτσι την ανάκτηση της δουλειάς που έχει γίνει στο λογισμικό. Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιείται μία δεύτερη αποθήκη η οποία πια είναι απομακρυσμένη(remote) και βρίσκεται στο διαδίκτυο ή σε σέρβερ κάποιου δικτύου εταιρικού ή πανεπιστημιακού.

Από τους πιο διαδεδομένους ιστότοπους για απομακρυσμένη αποθήκη είναι το Github. Ο ιστότοπος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για ανάπτυξη λογισμικού και υπάρχει έμφαση στον βοηθητικό και κοινοτικό χαρακτήρα με την ύπαρξη χιλιάδων πρότζεκτ ανοιχτού κώδικα στον ιστότοπο.

Πρότζεκτ ανοιχτού κώδικα, ονομάζονται ένα πρότζεκτ όπου υπάρχει δυνατότητα προσφοράς στην ανάπτυξη του από το κοινό. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει και η δυνατότητα αντιγραφής και αλλαγής του κώδικα από τους χρήστες του ιστότοπου για τους δικούς τους σκοπούς με βάση τις άδειες που παρέχει ο δημιουργός του πρότζεκτ ανοιχτού κώδικα.

Στην παρούσα εργασία η απομακρυσμένη αποθήκη(remote repository) του πηγαίου κώδικα βρίσκεται στον ιστότοπο του Github, με σκοπό την δυνατότητα παροχής του τελικού λογισμικού στο κοινό και την ανοιχτή άδεια χρήσης, βοήθειας ανάπτυξης, αντιγραφής ή αλλαγής του κώδικα του(το link του ανοιχτού κώδικα παρέχεται στο παράρτημα).

```

MINGW32/c/Users/Vasileps/Documents/Coding Projects/Πτυχιακη
vasileps@V-PC MINGW32 ~/Documents/Coding Projects/Πτυχιακη (feature/WritingOfThe
sis)
$ git status
On branch feature/WritingOfThesis
Your branch is up to date with 'ElectromagneticProtocolsGenerator/feature/Writin
gOfThesis'.

Changes not staged for commit:
  (use "git add <file>..." to update what will be committed)
  (use "git restore <file>..." to discard changes in working directory)
        modified:   "\316\243\317\205\316\263\316\263\317\201\316\261\317\206\31
6\267\316\224\316\271\317\200\316\273\317\211\316\274\316\261\317\204\316\271\3
16\272\316\256 \316\222\316\261\317\203\316\271\316\273\316\267\317\202 \316\243
\316\272\316\277\317\201\316\264\316\265\316\273\316\267\317\202 5254.ODT"
  
```

Σχήμα 2.1: Κονσόλα GIT, μπορεί να είναι περίπλοκη και κρυπτική στην όψη (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

2.2.3 Αρχική Ανάπτυξη Λογισμικού για Έξοδο σε Κονσόλα(console output)

Στο αρχικό του στάδιο, το λογισμικό σχεδιάστηκε και γράφτηκε με κώδικα που είχε επικοινωνία με τον χρήστη μέσω της κονσόλας(σχήμα 2.1).

Η κονσόλα είναι ένα παράθυρο που επιτρέπει την εκτέλεση εντολών, αλλά στην περίπτωση αυτή είναι το παράθυρο όπου παρουσιάζονται με κείμενο ερωτήσεις στον χρήστη για τις παραμέτρους του προγράμματος, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα της εκτέλεσης του προγράμματος με μορφή γραπτού κειμένου.

Ο τρόπος λειτουργίας του λογισμικού μέσω της κονσόλας είναι κάπως ιδιαίτερος, και γι' αυτό περιορίζει τις δυνατότητες του προγράμματος επειδή χρειάζεται η συνεχής απάντηση του χρήστη στις ερωτήσεις του προγράμματος. Αυτού του είδους ο τρόπος λειτουργίας κάνει δύσκολη την επέκταση των λειτουργιών του λογισμικού και δύστροπο τον τρόπο αλληλεπίδρασης του χρήστη με το λογισμικό.

Γι' αυτό τον λόγο, η ανάπτυξη του λογισμικού μετέβη σε ανάπτυξη της εφαρμογής με οπτικό περιβάλλον.

Σε αυτό το αρχικό στάδιο, πέρα από την αλληλεπίδραση με τον χρήστη μέσω της κονσόλας, υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης αλγορίθμων που παράγουν πρωτόκολλα για την κάθε διάταξη που το λογισμικό υποστηρίζει.

Και τα τρία πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι τους αναπτύχθηκαν σε αυτό το αρχικό στάδιο. Τα τρία αυτά πρωτόκολλα θα εξηγηθούν και περιγραφούν περισσότερο σε επόμενη ενότητα.

Μετά από την ανάπτυξη των παραπάνω αλγορίθμων, είναι απαραίτητη η καταγραφή και αποθήκευση των αποτελεσμάτων του λογισμικού σε κάποιου είδους αρχείο.

```

C:\Users\Vasileps\Documents\Coding Projects\Πτυχιακή\Project\C#\Console App\PtyxiakhElectromagneticProtocols\PtyxiakhElectromagneticProt...
Directory: C:\Users\Vasileps\Documents\Coding Projects\Πτυχιακή\Project\C#\Console App\PtyxiakhElectromagneticProtocols\bin\Debug\net5.0\data\ was found!
Press 1 to execute Dipole-Dipole Protocol, 2 for Pole-Dipole Protocol, 3 for Multi-Gradient Protocol
1
Please give the number of electrodes:
18
Please give the max spacing coefficient(α):
2
Please give the max electrode separation multiple(n):
7
Please give the overlapping level:
6
Please give the electrode spacing in meters(and decimal form if necessary):
2
First electrode ID 1, Spacing Factor 1, Level 1
1
2
3
4
Measurement Geometric Factor:-37.699111843077524
Measurement number:1
First electrode ID 1, Spacing Factor 1, Level 2
1
2
3
4
5
Measurement Geometric Factor:-150.79644737231
Measurement number:2
First electrode ID 1, Spacing Factor 1, Level 3
1

```

Σχήμα 2.2: Η Κονσόλα του Λογισμικού (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

2.2.4 Τα Διάφορα Αρχεία Εξόδου του Λογισμικού

Κατά την ανάπτυξη του λογισμικού σε κονσόλα, έγινε επίσης ανάπτυξη της εγγραφής των αποτελεσμάτων εκτέλεσης του λογισμικού για κάθε πρωτόκολλο σε κάποιου είδους αρχείο.

Τα αρχεία που υποστηρίζονται είναι τρία, CSV, A2D και TXT.

Η ανάλυση του καθ' ενός γίνεται παρακάτω:

CSV: Το αρχείο εξόδου CSV είναι ένα τυπικό είδος αρχείου που χρησιμοποιείται για την γρήγορη καταγραφή ή/και διάβασμα αρχείου.

Μπορεί να διαβαστεί άμεσα από λογισμικά υπολογιστικών φύλλων όπως το Excel της Microsoft, το Libre Office Calc της Libre Office κ.α.

Ο τρόπος συγγραφής του χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός *διαχωριστικού* χαρακτήρα μεταξύ των διάφορων δεδομένων που είναι καταγεγραμμένα μέσα στο αρχείο. Ο πιο συνηθής *διαχωριστικός* χαρακτήρας είναι η κόμμα (,) αλλά υποστηρίζονται και μορφές με διαχωριστικό χαρακτήρα το κενό, το tab(\t), το ελληνικό ερωτηματικό(;).

Για το λογισμικό, το αρχείο εξόδου CSV περιέχει την πληρέστερη εικόνα για το πρωτόκολλο, καθώς περιέχει τις παραμέτρους των δεικτών των ηλεκτροδίων A,B,M,N αντίστοιχα, του Level, του Spacing Coefficient, του Γεωμετρικού Παράγοντα, βάθους έρευνας και του Electrode Spacing. Οι παράμετροι αυτοί αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

TXT: Το αρχείο εξόδου TXT είναι ένα αρχείο που έχει μία εξειδικευμένη μορφοποίηση ώστε να μπορεί να διαβαστεί από το λογισμικό Electre Pro.

Κύριος σκοπός δυνατότητας παραγωγής αυτού του είδους αρχείου είναι η συμβατότητα του λογισμικού με το Electre Pro λογισμικό.

A2D: Το αρχείο εξόδου A2D είναι ένα αρχείο που έχει μια εξειδικευμένη μορφοποίηση ώστε να μπορεί να διαβαστεί από το λογισμικό DC_2DPRO.

Το λογισμικό DC_2DPRO χρησιμοποιείται για την αντιστροφή γεωηλεκτρικών μετρήσεων.

Κύριος σκοπός δυνατότητας παραγωγής αυτού του είδους αρχείου είναι η χρήση του με το λογισμικό DC_2DPRO.

2.2.5 Ανάπτυξη Οπτικού Περιβάλλοντος

Μετά την κύρια ανάπτυξη του λογισμικού σε έξοδο κονσόλας, έγινε ανάπτυξη οπτικού περιβάλλοντος με σκοπό την μεγαλύτερη ευκολία χρήσης και την ευκρινέστερη παρουσίαση στον χρήστη των παραμέτρων του λογισμικού, καθώς και για την ευκολότερη επέκταση των λειτουργιών του λογισμικού κατά την ανάπτυξη του.

Για τον σκοπό της ανάπτυξης του οπτικού περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε το framework του Avalonia UI, ένα framework που παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάπτυξη οπτικού περιβάλλοντος μέσω της γλώσσα C#.

Επίσης το framework του Avalonia UI, προσφέρει δυνατότητα διαπλατφορμικής χρήσης, πράγμα που δεν είναι δυνατό με άλλο τρόπο για την γλώσσα C# επί του παρόντος.

2.3 Τα διάφορα πρωτόκολλα του λογισμικού

Έχει προαναφερθεί ότι για να γίνει μία μέτρηση ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης απαιτείται η εισαγωγή ηλεκτροδίων στο έδαφος.

Είναι εύκολα κατανοητό ότι ο τρόπος διάταξης αυτών των ηλεκτροδίων στον χώρο, επηρεάζει την μέτρηση, λόγω του γεωμετρικού παράγοντα, και επίσης υπάρχουν πρακτικά άπειροι τρόποι να διαταχθούν τα ηλεκτρόδια.

Για τους παραπάνω λόγους είναι διαδεδομένες κάποιες διατάξεις με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταξύ τους.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν οι τρεις διατάξεις και τα πρωτόκολλα τους που αφορούν το λογισμικό, και αυτές είναι η διάταξη Dipole-Dipole, Pole-Dipole και η μεικτή Multi-Gradient.

Επίσης θα εισαχθεί η έννοια του πρωτοκόλλου για την παρούσα εργασία.

2.3.1 Η Έννοια του Πρωτόκολλου

Ως πρωτόκολλο ονομάζεται ο αλγόριθμος που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή μίας σειράς παραμέτρων μετρήσεων, απαραίτητων για την εκπόνηση μιας σειράς μετρήσεων σε μία περιοχή με βάση μια συγκεκριμένη μέθοδο.

Το πρωτόκολλο προσδιορίζει τις παραμέτρους κάθε πιθανής μετρήσεως στο εύρος τιμών που παρείχε ο χρήστης.

Για να εκτελεστεί μία μέτρηση ηλεκτρικής διασκόπησης με μέθοδο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, τοποθετείται στο έδαφος ένας αριθμός ηλεκτροδίων.

Από τα τοποθετημένα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται ένα ή δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (I) A,B και δύο ηλεκτρόδια δυναμικού (V) M,N σε συγκεκριμένους συνδυασμούς, αναλόγως με την μέθοδο που χρησιμοποιείται.

Τα διάφορα ηλεκτρόδια που τελικά χρησιμοποιούνται για την μέτρηση, αριθμούνται από το 1 έως το n ηλεκτρόδιο από αριστερά προς τα δεξιά σε μία γραμμή, με έναν δείκτη. Αυτός ο δείκτης βρίσκει χρήση για τον υπολογισμό κάποιων παραμέτρων του πρωτοκόλλου.

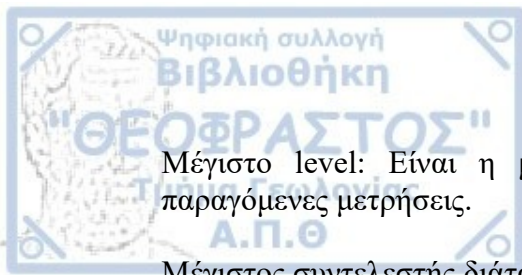
Για την εκτέλεση ενός πρωτοκόλλου, απαιτείται η είσοδος από τον χρήστη κάποιων παραμέτρων.

Για κάθε πρωτόκολλο πρέπει να προσδιοριστούν οι παρακάτω παράμετροι εκτέλεσης του:

Ο αριθμός των ηλεκτροδίων: Προσδιορίζει το πλήθος των ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο έδαφος για την εκπόνηση μετρήσεων σε μία περιοχή.

Απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων(spacing): Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι η απόσταση που κάθε ηλεκτρόδιο έχει από το προηγούμενο του και το επόμενο του σε μέτρα(m).

Μέθοδος μετρήσεων: Προσδιορίζει την μέθοδο με την οποία γίνονται οι μετρήσεις. Η μέθοδος αυτή επηρεάζει πόσα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για κάθε μέτρηση, καθώς και την θέση που μπορεί να έχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού σε κάθε βήμα. Σαν μέθοδοι μέτρησης εννοούνται οι διάφορες διατάξεις των ηλεκτροδίων και τα διαφορετικά βήματα για την λήψη των μετρήσεων, βήματα που δίνονται και παρακάτω όπως το level και το spacing coefficient.



Μέγιστο level: Είναι η μέγιστη τιμή που θα χρησιμοποιηθεί ως level στις παραγόμενες μετρήσεις.

Μέγιστος συντελεστής διάταξης(Max Spacing Coefficient): Είναι η μέγιστη τιμή που θα χρησιμοποιηθεί ως συντελεστής διάταξης για τις παραγόμενες μετρήσεις.

Ελάχιστη και Μέγιστη τιμή Γεωμετρικού Παράγοντα(Max/Min Geometric Factor): Είναι η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του γεωμετρικού παράγοντα που επιτρέπει ο χρήστης για τις παραγόμενες μετρήσεις. Με βάση τις τιμές αυτές, φιλτράρονται μετρήσεις των οποίων ο γεωμετρικός παράγοντας δεν έχει τιμές μέσα στο εύρος που δόθηκε.

Από την είσοδο του χρήστη των παραπάνω παραμέτρων εκτέλεσης του πρωτόκολλου, υπολογίζονται οι παράμετροι για κάθε μέτρηση του πρωτοκόλλου στο εύρος που προσδιορίζεται από τις παραμέτρους εκτέλεσης που έδωσε ο χρήστης.

Οι παράμετροι κάθε μέτρησης δίνονται παρακάτω:

Θέσεις Ηλεκτροδίων(Electrode Positions): Η θέση των ηλεκτροδίων δεν μπορεί να προσδιοριστεί απόλυτα στον χώρο, αλλά σχετικά.

Για παράδειγμα αν μεταξύ τους τα ηλεκτρόδια έχουν απόσταση(spacing) 2μ, τότε το πρώτο ηλεκτρόδιο θα βρίσκεται στην θέση 0μ, το δεύτερο στην θέση 2μ κ.ο.κ. Είναι φανερό ότι η σχετική θέση του κάθε ηλεκτροδίου όσο απομακρυνόμαστε από το πρώτο είναι πολλαπλάσιο της μεταξύ τους απόστασης(spacing).

Θέση Ηλεκτροδίων A,B,M,N(Quadrupole Positions): Οι Θέση των ηλεκτροδίων A,B,M,N είναι μία παράμετρος που προσδιορίζει από την συστοιχία των ηλεκτροδίων ποια είναι τα ενεργά για την κάθε μέτρηση ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού αντίστοιχα και περιέχει την θέση αυτών(σχετικά πάντα).

Τα ηλεκτρόδια A,B,M,N ονομάζονται και Ca,Cb,Pm,Pn από τα αρχικά Current και Potential για ευκολία.

Συντελεστής διάταξης(Spacing Coefficient): Ο συντελεστής διάταξης(Spacing Coefficient) είναι ένας συντελεστής που επηρεάζει την διαφορά δεικτών ηλεκτροδίων και του οποίου η σημασία αλλάζει με βάση το πρωτόκολλο. Γενικώς αφορά την διαφορά δεικτών ενός ζευγαριού ηλεκτροδίων, δυναμικού ή ρεύματος ή και των δύο. Αλλά επειδή διαφέρει ανάλογα με την μέθοδο μέτρησης θα αναλυθεί σε λεπτομέρεια για το κάθε πρωτόκολλο στην ανάλογη υπο-ενότητα.

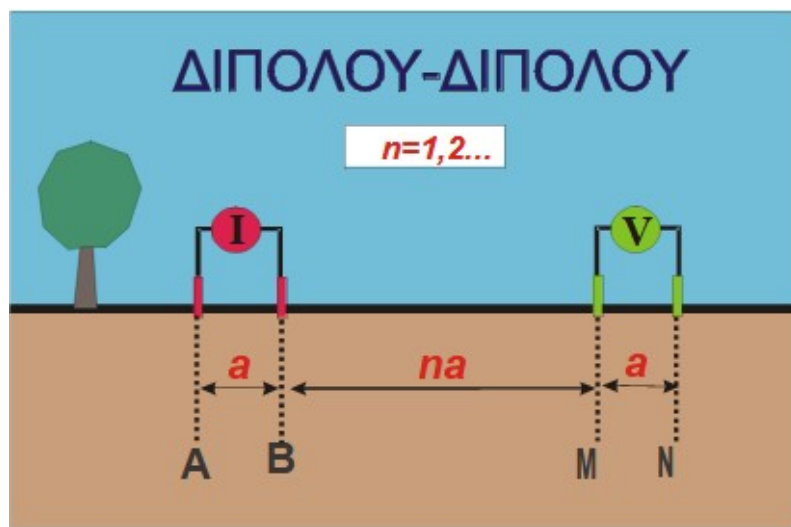
Level: Το level αφορά και αυτό μία διαφορά δεικτών μεταξύ ηλεκτροδίων. Γενικώς αφορά την διαφορά δεικτών μεταξύ ενός ηλεκτροδίου δυναμικού και ενός ηλεκτροδίου ρεύματος, αλλά επειδή εξαρτάται από την μέθοδο μέτρησης, θα αναλυθεί σε λεπτομέρεια στην ανάλογη υπο-ενότητα για το κάθε πρωτόκολλο ποια είναι η σημασία του level.

Γεωμετρικός Παράγοντας: Ο γεωμετρικός παράγοντας είναι μία σταθερά που υπεισέρχεται στον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, και εξαρτάται από τις αποστάσεις ζευγαριών των ηλεκτροδίων A,B και M,N αντίστοιχα κατά την κάθε μέτρηση.

Βάθος Έρευνας: Το βάθος έρευνας όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο μπορεί να θεωρηθεί εμπειρικά ότι είναι μεταξύ 25-30% της απόστασης των ακραίων ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται και το βάθος έρευνας και παρουσιάζεται στο αρχείο CSV σαν εύρος.

2.3.2 Το Πρωτόκολλο Dipole-Dipole(Δίπολου-Δίπολου)

Το πρωτόκολλο Dipole-Dipole στηρίζεται στην διάταξη Dipole-Dipole. Στην διάταξη Dipole-Dipole τα ηλεκτρόδια ρεύματος A,B βρίσκονται κοντά μαζί σε μία απόσταση a . Τα ηλεκτρόδια δυναμικού M,N βρίσκονται επίσης κοντά μεταξύ τους σε μία απόσταση a . Τα ζευγάρια A,B και M,N όμως δεν βρίσκονται κοντά μεταξύ τους και συνήθως βρίσκονται σε μία απόσταση ενός πολλαπλάσιου n στην απόσταση a δηλαδή $n \cdot a$ απόσταση μεταξύ τους(σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Διάταξη Dipole-Dipole. (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Τελικός σκοπός της μέτρησης με αυτή την μέθοδο είναι η εξακρίβωση της ειδικής αντίστασης, γι' αυτό ο υπολογισμός του γεωμετρικού παράγοντα είναι απαραίτητος για το πρωτόκολλο.

Έχει αναφερθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο περί του γεωμετρικού παράγοντα ποιος είναι ο γενικός τύπος του με βάση τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων, αλλά για ευκολία υπολογισμών, υπάρχει απλοποιημένος τύπος του γεωμετρικού παράγοντα για την μέθοδο Δίπολου-Δίπολου.

Ο γεωμετρικός παράγοντας αυτός δίνεται παρακάτω:

$$G = -\pi \cdot n \cdot a \cdot (n+1) \cdot (n+2)$$

Όπου a είναι η απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων A,B και M,N και n είναι ένας συντελεστής που πολλαπλασιάζεται με το a όπως φαίνονται στο σχήμα 2.3.

Αυτή η νόηση με αποστάσεις είναι πρακτική όταν χρειάζεται να γίνουν οι φυσικές μετρήσεις στο ύπαιθρο. Για τους σκοπούς του παρόντος πρωτοκόλλου και των πρωτοκόλλων που θα αναφερθούν από εδώ και πέρα και κατά την ανάπτυξη του λογισμικού, χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικοί δείκτες για το κάθε ηλεκτρόδιο, αφαιρώντας έτσι την έννοια της απόστασης μεταξύ ηλεκτροδίων.

Ορίστηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το level του πρωτοκόλλου. Το level στο πρωτόκολλο Dipole-Dipole είναι πρακτικά η απόσταση $n \cdot a$ αλλά σε μορφή δεικτών. Έτσι, ορίζεται ως η ακέραια απόσταση μεταξύ των δεικτών των ηλεκτροδίων M και B (μιας και οι δείκτες αυξάνονται προς το M).

Το level μπορεί να αυξηθεί σε σχετικά μεγάλη τιμή, μέχρις ότου η τιμή του γεωμετρικού παράγοντα γίνει τόσο μεγάλη ώστε η ευαισθησία του οργάνου μέτρησης δεν μπορεί να ανιχνεύσει την μετρούμενη τάση.

Ο σκοπός της αύξησης της απόστασης των ηλεκτροδίων στις μετρήσεις είναι ότι όσο πιο μεγάλη γίνεται η απόσταση τόσο αυξάνει και το βάθος έρευνας της μέτρησης, σε βάρος πάντα της αύξησης του γεωμετρικού παράγοντα.

Μία άλλη έννοια που αφορά το πρωτόκολλο Dipole-Dipole είναι ο συντελεστής διάταξης (Spacing Coefficient) στην ουσία η απόσταση a , αλλά σε μορφή δεικτών. Είναι ο συντελεστής που υποδεικνύει στην περίπτωση του πρωτοκόλλου αυτού τις αποστάσεις των δεικτών των ηλεκτροδίων A,B και M,N.

Η αύξηση των αποστάσεων μεταξύ των ζευγαριών ηλεκτροδίων A,B και M,N, μέσω της αύξησης του συντελεστή διάταξης, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του γεωμετρικού παράγοντα της μέτρησης και την εκτέλεση περισσότερων μετρήσεων, αλλά σε κόστος χρόνου και κόπου.

Με βάση την διάταξη του Dipole-Dipole και τον ορισμό του level και συντελεστή διάταξης για το πρωτόκολλο αυτό, πρέπει να εκτελεστούν μετρήσεις αρχικά με τα ηλεκτρόδια A,B,M,N στους δείκτες 1,2,3,4 αντίστοιχα.

Αλλά για την πλήρη εκτέλεση ενός πρωτοκόλλου πρέπει να εκτελεστούν όλοι οι συνδυασμοί μέχρι μέγιστες τιμές level και συντελεστή διάταξης που δόθηκαν από τον χρήστη.

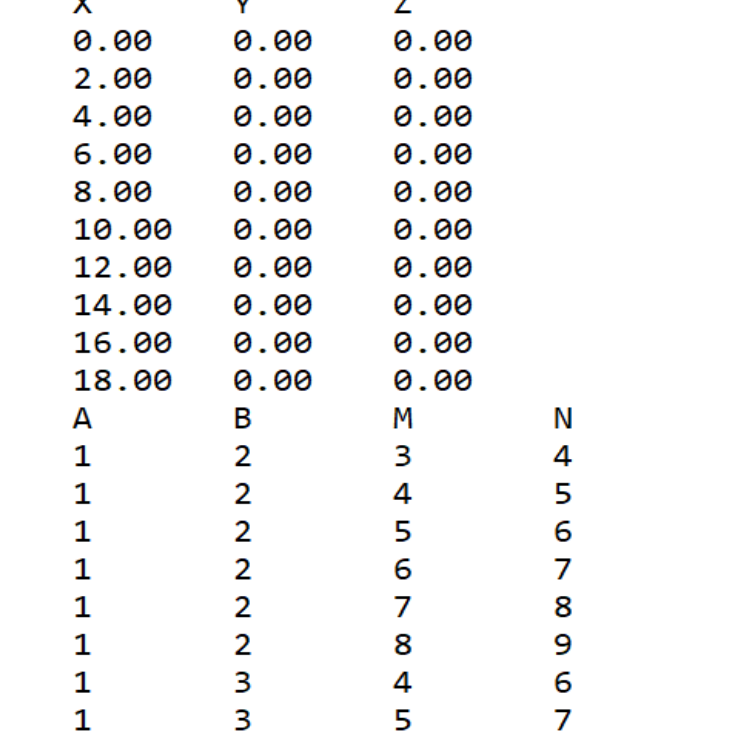
Γι' αυτό χρησιμοποιείται ένας βρόχος επανάληψης, όπου το level αυξάνεται σταδιακά για κάθε μέτρηση μέχρι μέγιστη τιμή, και ένας δεύτερος βρόχος όπου ο συντελεστής διάταξης αυξάνεται σταδιακά.

Έτσι στο τέλος των δύο βρόχων έχουν εκτελεστεί όλες οι πιθανές μετρήσεις και έχουν καταγραφεί σε κατάλληλο αρχείο που ζήτησε ο χρήστης.

Παρακάτω φαίνεται το αρχείο εξόδου CSV του πρωτοκόλλου Dipole-Dipole:

Measurement Number	Ca Electrode ID	Cb Electrode ID	Pm Electrode ID	Pn Electrode ID	Electrode Spacing	Spacing Coefficient	Level	Geometric Factor	Depth Of Investigation
1	1	1	2	3	4	2	1	1	-37,699 1.5m-1.8m
2	1	1	2	4	5	2	1	2	-150,796 2m-2.4m
3	1	1	2	5	6	2	1	3	-376,991 2.5m-3m
4	1	1	2	6	7	2	1	4	-753,982 3m-3.6m
5	1	1	2	7	8	2	1	5	-1319,469 3.5m-4.2m
6	1	1	2	8	9	2	1	6	-2111,154 4m-4.8m
7	1	1	3	4	6	2	2	1	-23,562 2.5m-3m
8	1	1	3	5	7	2	2	2	-75,398 3m-3.6m
9	1	1	3	6	8	2	2	3	-164,934 3.5m-4.2m
10	1	1	3	7	9	2	2	4	-301,593 4m-4.8m

Σχήμα 2.4 Αρχείο εξόδου CSV για πρωτόκολλο Dipole-Dipole, εδω φαίνεται η χρήση ονομάτων Ca,Cb,Pm,Pn για τα ηλεκτρόδια A,B,M,N. (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)



```
File Edit Format View Help
# X Y Z
1 0.00 0.00 0.00
2 2.00 0.00 0.00
3 4.00 0.00 0.00
4 6.00 0.00 0.00
5 8.00 0.00 0.00
6 10.00 0.00 0.00
7 12.00 0.00 0.00
8 14.00 0.00 0.00
9 16.00 0.00 0.00
10 18.00 0.00 0.00
# A B M N
1 1 2 3 4
2 1 2 4 5
3 1 2 5 6
4 1 2 6 7
5 1 2 7 8
6 1 2 8 9
7 1 3 4 6
8 1 3 5 7
9 1 3 6 8
10 1 3 7 9
11 1 3 8 10
```

Σχήμα 2.5: Αρχείο εξόδου .txt για πρωτόκολλο Dipole-Dipole για το πρόγραμμα Electre Pro (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

```

Dipole-Dipole_Method.a2d - Notepad
File Edit Format View Help
1200
Dipole-Dipole_Method0
2.000
10
1      0.00      0.00      0.00
2      2.00      0.00      0.00
3      4.00      0.00      0.00
4      6.00      0.00      0.00
5      8.00      0.00      0.00
6     10.00      0.00      0.00
7     12.00      0.00      0.00
8     14.00      0.00      0.00
9     16.00      0.00      0.00
10    18.00      0.00      0.00
0
      42      2
2      1      2      2      100.000      -2.652590
2      1      2      2      100.000      -0.663148
2      1      2      2      100.000      -0.265258
2      1      2      2      100.000      -0.132629
2      1      2      2      100.000      -0.075788
2      1      2      2      100.000      -0.047368
3      1      3      3      100.000      -4.244122
3      1      3      3      100.000      -1.326295
3      1      3      3      100.000      -0.606303
3      1      3      3      100.000      -0.331573
3      1      3      3      100.000      -0.202101

```

Σχήμα 2.6: Αρχείο εξόδου .a2d για πρωτόκολλο Dipole-Dipole για πρόγραμμα DC2DPRO (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

2.3.3 Το Πρωτόκολλο Pole-Dipole (Πόλου-Δίπολου)

Το πρωτόκολλο Pole-Dipole στηρίζεται στην διάταξη Pole-Dipole.

Σε αυτήν την διάταξη χρησιμοποιούνται τρία ηλεκτρόδια για την κάθε μέτρηση, ένα ρεύματος και δύο δυναμικού.

Παρ' όλο που το όργανο μέτρησης συνήθως έχει τέσσερα ηλεκτρόδια, το ένα από τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος δεν συμμετέχει στην μέτρηση και τοποθετείται σε πολύ μεγάλη απόσταση από τα άλλα τρία ώστε στην ουσία η απόσταση του να θεωρείται άπειρη (σχήμα 2.5). Συνήθως το ηλεκτρόδιο ρεύματος που χρησιμοποιείται είναι το ηλεκτρόδιο B, αλλά στο παρόν πρωτόκολλο χρησιμοποιείται το ηλεκτρόδιο A.

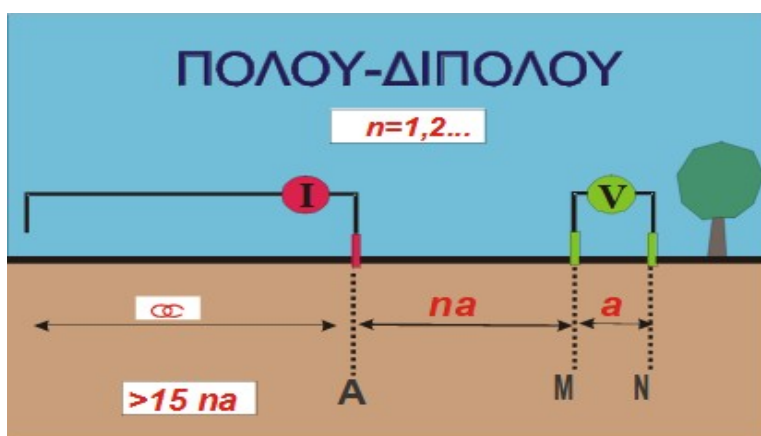
Έτσι παρόμοια με την διάταξη Dipole-Dipole το ζευγάρι M,N έχει απόσταση a μεταξύ των ηλεκτροδίων του και το ηλεκτρόδιο ρεύματος από το ζευγάρι ρεύματος απέχει απόσταση $n \cdot a$.

Όπως υπάρχει απλοποίηση για τον γεωμετρικό παράγοντα για την μέθοδο Δίπολου-Δίπολου, έτσι και στην μέθοδο Πόλου-Δίπολου υπάρχει ένας απλός τύπος για τον υπολογισμό του και δίνεται παρακάτω:

$$G = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot a \cdot (N+1)$$

Όπου a είναι η απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων M,N και n είναι ένας συντελεστής που πολλαπλασιάζεται με το a όπως φαίνονται στο σχήμα 2.5.

Η έννοια του level για το Pole-Dipole είναι η ίδια με του Dipole-Dipole, και αφορά την αέραια απόσταση των δεικτών μεταξύ των ηλεκτροδίων M και A.



Σχήμα 2.7 Διάταξη Pole-Dipole. (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Ο συντελεστής διάταξης όπως και στο πρωτόκολλο Dipole-Dipole αφορά την αέραια απόσταση των δεικτών μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού M και N.

Όπως και στην διάταξη Δίπολου-Δίπολου, η αύξηση της απόστασης μεταξύ ηλεκτροδίων με χρήση του Level έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βάθους έρευνας αλλά σε κόστος αύξησης του γεωμετρικού παράγοντα.

Το ίδιο και η αύξηση του συντελεστή διάταξης προκαλεί μείωση του γεωμετρικού παράγοντα και παρέχει δυνατότητα για περισσότερες μετρήσεις.

Το πρωτόκολλο Πόλου-Δίπολου, λόγω της διάταξης του με ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος παρέχει μία διασκόπηση όπου μπορεί να νοηθεί ότι έχει μορφή λοβού που κλίνει προς την διεύθυνση των ηλεκτροδίων δυναμικού.

Για τον παραπάνω λόγο, το πρωτόκολλο αυτό μπορεί να επαναληφθεί και με την αντίθετη σειρά μετρήσεως, δηλαδή με το πρώτο ηλεκτρόδιο να θεωρείται το πιο δεξιά.

Έτσι με επανάληψη της μέτρησης με αντίθετη σειρά μετρήσεων, μπορούν να αναιρεθούν οι διαφορές μεταξύ των δύο μετρήσεων για να παρθεί η τελική εικόνα το υπεδάφους.

Για να επιτευχθεί η παραπάνω συμπεριφορά από το πρωτόκολλο, το λογισμικό παρέχει επιλογή ώστε να εκτελεστεί και η αντίθετη σειρά μετρήσεων.

Παρακάτω φαίνεται το αρχείο εξόδου CSV του πρωτοκόλλου Dipole-Dipole:

Measurement Number	Ca Electrode ID	Cb Electrode ID	Pm Electrode ID	Pn Electrode ID	Electrode Spacing	Spacing Coefficient	Level	Geometric Factor	Depth Of Investigation
1	1	0	2	3	2	1	1	25,133 1m-1.2m	
2	1	0	3	4	2	1	2	75,398 1.5m-1.8m	
3	1	0	4	5	2	1	3	150,796 2m-2.4m	
4	1	0	5	6	2	1	4	251,327 2.5m-3m	
5	1	0	6	7	2	1	5	376,991 3m-3.6m	
6	1	0	7	8	2	1	6	527,788 3.5m-4.2m	
7	1	0	8	9	2	1	7	703,717 4m-4.8m	
8	1	0	2	4	2	2	1	18,85 1.5m-1.8m	
9	1	0	3	5	2	2	2	50,265 2m-2.4m	
10	1	0	4	6	2	2	3	94,248 2.5m-3m	

Σχήμα 2.8 Αρχείο εξόδου CSV για πρωτόκολλο Pole-Dipole, εδώ φαίνεται η χρήση ονομάτων Ca, Cb, Pm, Pn για τα ηλεκτρόδια A, B, M, N (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Pole-Dipole_Method.txt - Notepad				
File	Edit	Format	View	Help
#	X	Y	Z	
1	0.00	0.00	0.00	
2	2.00	0.00	0.00	
3	4.00	0.00	0.00	
4	6.00	0.00	0.00	
5	8.00	0.00	0.00	
6	10.00	0.00	0.00	
7	12.00	0.00	0.00	
8	14.00	0.00	0.00	
9	16.00	0.00	0.00	
10	18.00	0.00	0.00	
#	A	B	M	N
1	1	0	2	3
2	1	0	3	4
3	1	0	4	5
4	1	0	5	6
5	1	0	6	7
6	1	0	7	8
7	1	0	8	9
8	1	0	2	4
9	1	0	3	5
10	1	0	4	6
11	1	0	5	7
12	1	0	6	8
13	1	0	7	9
14	1	0	8	10
15	2	0	3	4

Σχήμα 2.9: Αρχείο εξόδου .txt για πρωτόκολλο Pole-Dipole για το πρόγραμμα Electre Pro (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

1200

Pole-Dipole_Method0

2.000

10

1	0.00	0.00	0.00
2	2.00	0.00	0.00
3	4.00	0.00	0.00
4	6.00	0.00	0.00
5	8.00	0.00	0.00
6	10.00	0.00	0.00
7	12.00	0.00	0.00
8	14.00	0.00	0.00
9	16.00	0.00	0.00
10	18.00	0.00	0.00

0

63

2

0	1	0	0	100.000	3.978833
0	1	0	0	100.000	1.326295
0	1	0	0	100.000	0.663148
0	1	0	0	100.000	0.397888
0	1	0	0	100.000	0.265258
0	1	0	0	100.000	0.189470
0	1	0	0	100.000	0.142103
0	1	0	0	100.000	5.305040
0	1	0	0	100.000	1.989456
0	1	0	0	100.000	1.061030
0	1	0	0	100.000	0.663148
0	1	0	0	100.000	0.454729
0	1	0	0	100.000	0.331573

Σχήμα 2.10: Αρχείο εξόδου .a2d για πρωτόκολλο Pole-Dipole για το πρόγραμμα DC2DPRO (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

2.3.4 Το Πρωτόκολλο Multi-Gradient(Πολλαπλής Βαθμίδας)

Το πρωτόκολλο Multi-Gradient διαφέρει αρκετά από τα προηγούμενα δύο πρωτόκολλα και η διάταξη του είναι επίσης διαφορετική. Σε αυτή την διάταξη χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια για την κάθε μέτρηση, δύο ρεύματος και δύο δυναμικού.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο διατάξεις, τα ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται εκατέρωθεν των ηλεκτροδίων δυναμικού(σχήμα 2.6). Το πρωτόκολλο Multi-Gradient που θα περιγραφεί σε αυτό το κεφάλαιο είναι μία από τις διάφορες εκδοχές που υπάρχουν.

Για να οριστεί το πρωτόκολλο Multi-Gradient, πρέπει να οριστούν οι έννοιες του Level, συντελεστή διάταξης(spacing coefficient) και μίας νέας για το πρωτόκολλο αυτό παραμέτρου που θα ονομαστεί συντελεστής αντιστάθμισης ηλεκτροδίου δυναμικού M ή συντελεστής αντιστάθμισης M για συντομία.

Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει την απόσταση του ηλεκτροδίου δυναμικού M με το ηλεκτρόδιο ρεύματος A .

Το Level για το πρωτόκολλο αυτό αφορά την απόσταση μεταξύ του ηλεκτροδίου A και B .

Ο συντελεστής διάταξης, αφορά την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού M, N .

Για την εκτέλεση του πρωτοκόλλου αυτού, δεν αρκεί η απλή διαδοχική αύξηση του Level, και του συντελεστή διάταξης όπως στο πρωτόκολλο Δίπολου-Δίπολου, αλλά χρειάζεται και μία αύξηση της παραμέτρου του συντελεστή αντιστάθμισης M. Στο πρωτόκολλο, αυτό τα ηλεκτρόδια A,B,M,N αρχίζουν στους δείκτες 1,4,2,3 αντίστοιχα.

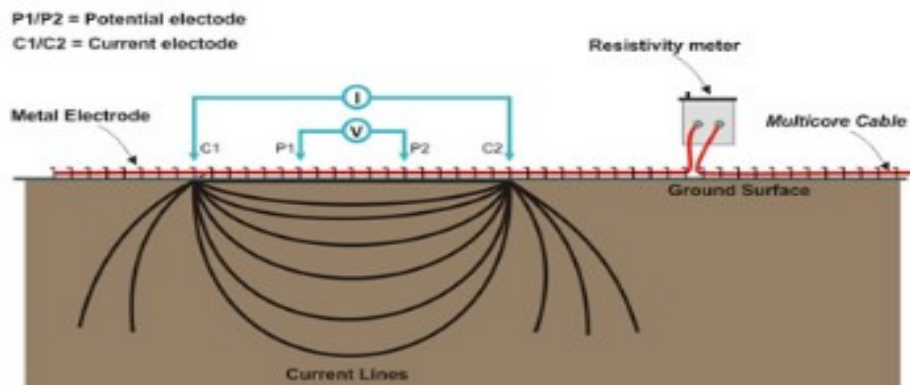
Κρατώντας τόσο το level σταθερό όσο και τον συντελεστή διάταξης σταθερό, μεταβάλλουμε κατά ένα την τιμή του συντελεστή αντιστάθμισης M, κινώντας στην ουσία το ζευγάρι ηλεκτροδίων δυναμικού ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ρεύματος προς τα δεξιά.

Η “μετακίνηση” του ζευγαριού των ηλεκτροδίων M,N γίνεται μέχρι να μην μπορούν να μετακινηθούν παραπάνω επειδή το ηλεκτρόδιο N βρίσκεται δίπλα στο ηλεκτρόδιο ρεύματος B.

Τότε, μπορεί να αυξηθεί το level, επαναλαμβάνεται η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω για τον συντελεστή αντιστάθμισης M, και η διαδικασία αύξησης του level επαναλαμβάνεται και αυτή μέχρι μέγιστη ορισμένη τιμή του.

Αφού φτάσει την μέγιστη τιμή του το level, αυξάνεται ο συντελεστής διάταξης, και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία εκ’ νέου με τον νέο συντελεστή διάταξης πια. Γίνεται συνεχή αύξηση του συντελεστή διάταξης με επανάληψη των παραπάνω διαδικασιών, μέχρις ότου και αυτός φτάσει την μέγιστη ορισμένη του τιμή.

Σε αυτό το σημείο, το πρωτόκολλο έχει τελειώσει και όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί μετρήσεων έχουν καταγραφεί σε κατάλληλο αρχείο που ζήτησε ο χρήστης.



Σχήμα 2.11: Η Διάταξη Multi-Gradient όπως φαίνεται έχει τα δύο ηλεκτρόδια C1,C2 ρεύματος εξωτερικά των ηλεκτροδίων δυναμικού P1,P2 (Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ., n.d.)

Παρακάτω φαίνεται το αρχείο εξόδου CSV του πρωτοκόλλου Dipole-Dipole:

Measurement Number	Ca Electrode ID	Cb Electrode ID	Pm Electrode ID	Pn Electrode ID	Electrode Spacing	Spacing Coefficient	Level	Geometric Factor	Depth Of Investigation
1	1	4	2	3	2	1	1	12,566	1.5m-1.8m
2	1	5	2	3	2	1	2	18,852	2m-2.4m
3	1	5	3	4	2	1	2	18,852	2m-2.4m
4	1	6	2	3	2	1	3	21,542	2.5m-3m
5	1	6	3	4	2	1	3	37,699	2.5m-3m
6	1	6	4	5	2	1	3	21,542	2.5m-3m
7	1	7	2	3	2	1	4	22,848	3m-3.6m
8	1	7	3	4	2	1	4	50,265	3m-3.6m
9	1	7	4	5	2	1	4	50,265	3m-3.6m

Σχήμα 2.12 Αρχείο εξόδου CSV για πρωτόκολλο Multi-Gradient, εδώ φαίνεται η χρήση ονομάτων Ca, Cb, Pm, Pn για τα ηλεκτρόδια A, B, M, N (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Multi-Gradient_Method.txt - Notepad				
File	Edit	Format	View	Help
#	X	Y	Z	
1	0.00	0.00	0.00	
2	2.00	0.00	0.00	
3	4.00	0.00	0.00	
4	6.00	0.00	0.00	
5	8.00	0.00	0.00	
6	10.00	0.00	0.00	
7	12.00	0.00	0.00	
8	14.00	0.00	0.00	
9	16.00	0.00	0.00	
10	18.00	0.00	0.00	
#	A	B	M	N
1	1	4	2	3
2	1	5	2	3
3	1	5	3	4
4	1	6	2	3
5	1	6	3	4
6	1	6	4	5
7	1	7	2	3
8	1	7	3	4
9	1	7	4	5
10	1	7	5	6
11	1	8	2	3
12	1	8	3	4
13	1	8	4	5
14	1	8	5	6

Σχήμα 2.13: Αρχείο εξόδου .txt για πρωτόκολλο Multi-Gradient για το πρόγραμμα Electre Pro (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

```
Multi-Gradient_Method.a2d - Notepad
File Edit Format View Help
1200
Multi-Gradient_Method0
2.000
10
1      0.00      0.00      0.00
2      2.00      0.00      0.00
3      4.00      0.00      0.00
4      6.00      0.00      0.00
5      8.00      0.00      0.00
6     10.00      0.00      0.00
7     12.00      0.00      0.00
8     14.00      0.00      0.00
9     16.00      0.00      0.00
10    18.00      0.00      0.00
0
      124      2
4      1      4      4      100.000      7.957982
5      1      5      5      100.000      5.305040
5      1      5      5      100.000      5.305040
6      1      6      6      100.000      4.642095
6      1      6      6      100.000      2.652590
6      1      6      6      100.000      4.642095
7      1      7      7      100.000      4.376751
7      1      7      7      100.000      1.989456
7      1      7      7      100.000      1.989456
7      1      7      7      100.000      4.376751
8      1      8      8      100.000      4.244122
8      1      8      8      100.000      1.724168
8      1      8      8      100.000      1.326295
8      1      8      8      100.000      1.724168
```

Σχήμα 2.14: Αρχείο εξόδου .a2d για πρωτόκολλο Pole-Dipole για το πρόγραμμα DC2DPRO (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

3. Παρουσίαση του Λογισμικού ERTProtGen

3.1 Σκοπός της Παρουσίασης

Το παρόν κεφάλαιο έχει σκοπό να παρουσιάσει με χρήση εικόνων και επεξηγηματικά το λογισμικό Electrical Resistivity Tomography Protocol Generator(ERTProtGen) που αφορά την παρούσα εργασία.

Το παραπάνω θα επιτευχθεί με την παρουσίαση οδηγιών με χρήση εικόνων του λογισμικού, αλλά και τεχνική επεξήγηση αποσπασμάτων κώδικα με εικόνες.

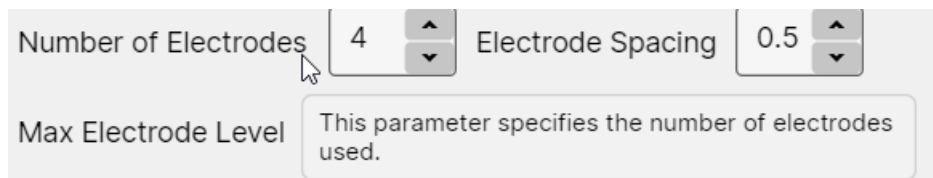
3.2 Οδηγίες Χρήσεως Λογισμικού

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση του οπτικού περιβάλλοντος του λογισμικού ERTProtGen με σκοπό την παροχή οδηγιών για την χρήση του.

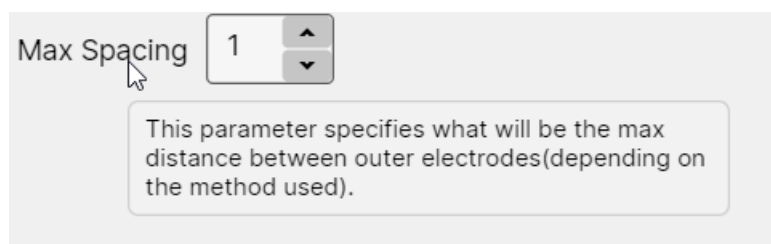
Το λογισμικό, όπως θα φανεί και στις παρακάτω εικόνες, έχει σχεδιαστεί με χρήση tabs, για την επιλογή του επιθυμητού πρωτοκόλλου από τον χρήστη.

Έπειτα, σε κάθε tab πρωτοκόλλου ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις επιθυμητές τιμές για τις παραμέτρους που αφορούν το πρωτόκολλο με βάση τους ορισμούς που ορίστηκαν και στην ενότητα 2.3.1 Έννοια Πρωτοκόλλου για τις παραμέτρους, Max Level, Max Spacing(Μέγιστου Συντελεστή Διάταξης), Electrode Spacing(απόσταση μεταξύ κάθε ηλεκτροδίου) και Number of Electrodes(αριθμός ηλεκτροδίων).

Στο λογισμικό παρέχονται επεξηγήσεις των παραμέτρων όταν ο χρήστης τοποθετήσει των κέρσορα πάνω τους με χρήση tooltip(σχήματα 3.1,3.2).

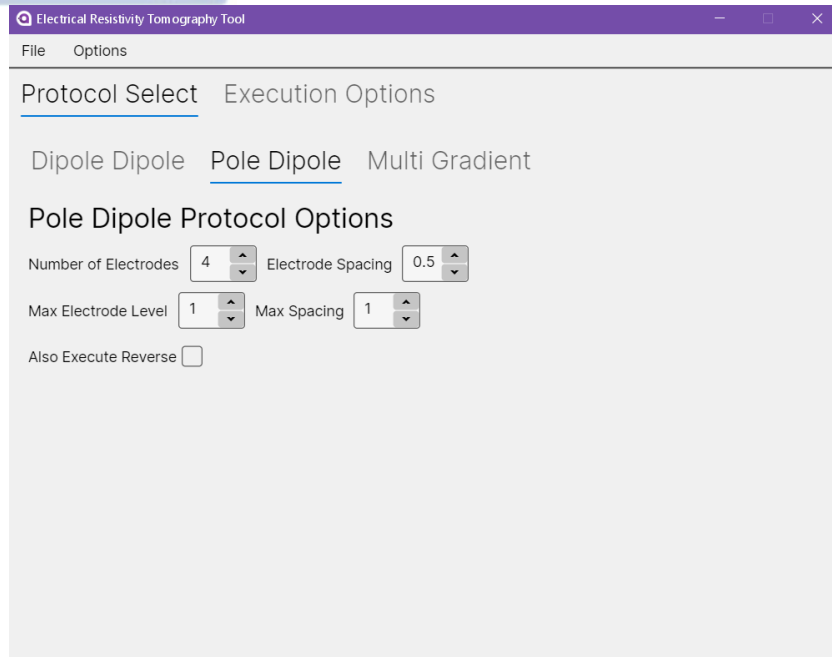


Σχήμα 3.1: Επεξήγηση της παραμέτρου Number of Electrodes με τοποθέτηση κέρσορα(tooltip) (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)



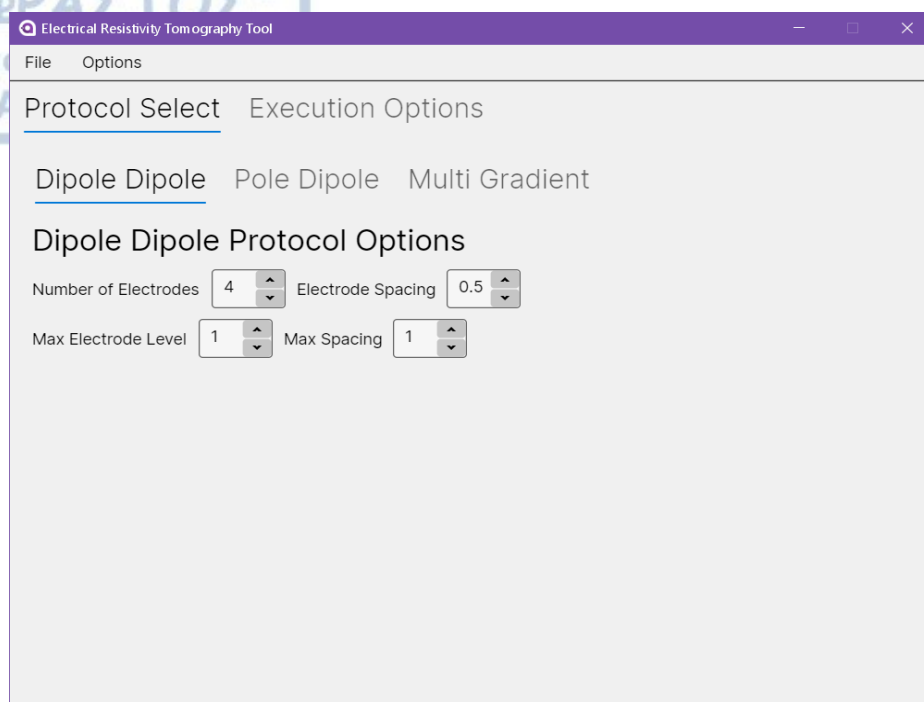
Σχήμα 3.2: Επεξήγηση της παραμέτρου Max Spacing με τοποθέτηση κέρσορα(tooltip) (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Παρακάτω, παρέχονται εικόνες των tabs του κάθε πρωτοκόλλου με αρχικές τιμές:

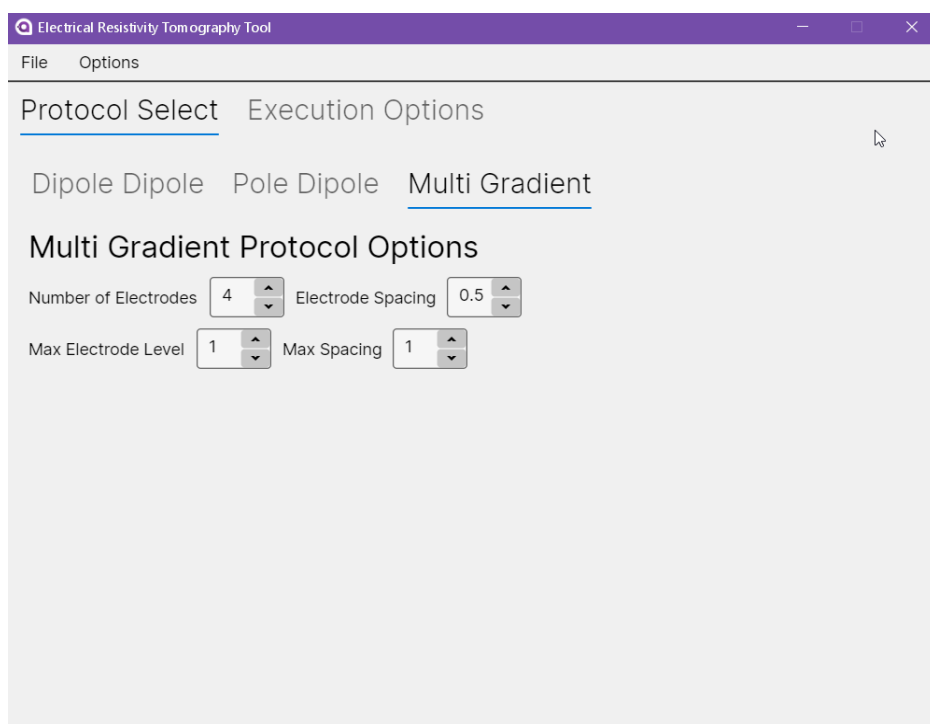


Σχήμα 3.3: Επιλογή πρωτοκόλλου(protocol select), πρωτόκολλο Pole-Dipole (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Όπως αναφέρθηκε και στο δικό του υποκεφάλαιο, το πρωτόκολλο Pole-Dipole, μπορεί να εκτελεστεί και με ανάποδη σειρά μετρήσεων, γι' αυτό παρέχεται επιλογή με χρήση του checkbox "Also Execute Reverse".



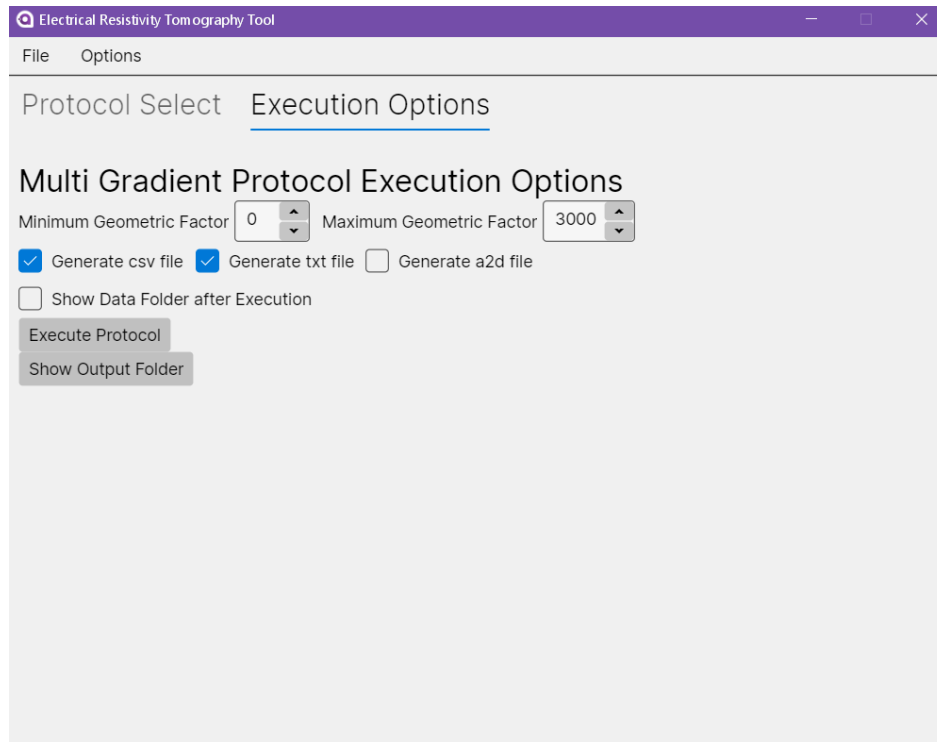
Σχήμα 3.4: Επιλογή πρωτοκόλλου(protocol select), πρωτόκολλο Dipole-Dipole (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)



Σχήμα 3.5: Tab Επιλογής πρωτοκόλλου(protocol select), πρωτόκολλο Multi-Gradient (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Τα tabs των πρωτοκόλλων Dipole Dipole και Multi-Gradient δεν διαφέρουν σημαντικά όπως φαίνεται στα σχήματα 3.4 και 3.5, επομένως και οι παράμετροι που χρειάζονται είναι οι ίδιες. Στην ουσία αλλάζει μόνο το πρωτόκολλο που εκτελείται στο επόμενο tab Execution Options που θα περιγραφεί παρακάτω

Αφού ο χρήστης επιλέξει ένα πρωτόκολλο, και εισάγει τις τιμές των παραμέτρων του, μπορεί να πατήσει το tab Execution Options για να προχωρήσει στο επόμενο βήμα της επιλογής παραμέτρων εκτέλεσης του πρωτοκόλλου.



Σχήμα 3.6: Tab επιλογών εκτέλεσης πρωτοκόλλου(execution options) (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Παραπάνω στο σχήμα 3.6 φαίνεται το tab που περιέχει τις παραμέτρους που προσδιορίζουν την εκτέλεση του πρωτοκόλλου. Οι παράμετροι αυτοί περιγράφηκαν και στην ενότητα 2.3.1 *Έννοια Πρωτοκόλλου* αλλά θα περιγραφούν επιγραμματικά ξανά παρακάτω:

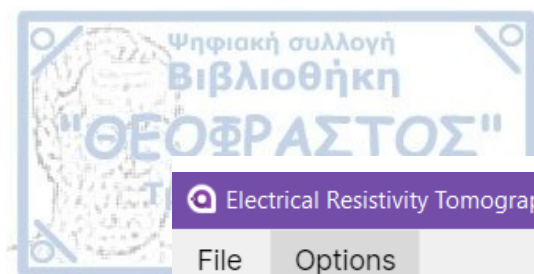
Οι παράμετροι minimum και maximum geometric factor αφορούν τα όρια που ο χρήστης επιλέγει για τις παραγόμενες μετρήσεις του πρωτοκόλλου, παρέχοντας ένα φιλτράρισμα.

Οι παράμετροι *Generate csv file*, *Generate txt file* και *Generate a2d file* αφορούν ,όπως και αναφέρεται στο όνομα τους, την παραγωγή αρχείων εξόδου για το κάθε πρωτόκολλο μετά την εκτέλεση του.

Η παράμετρος *Show Data Folder after Execution*, ανοίγει των φακέλων δεδομένων(data) που έχει ορίσει στα options και όπου αποθηκεύονται τα αρχεία εξόδου μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου.

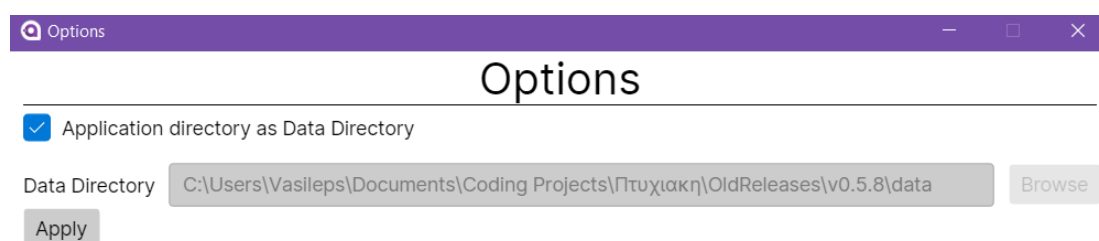
Το κουμπί *Execute Protocol*, εκτελεί το επιλεγμένο πρωτόκολλο.

Το κουμπί *Show Output Folder*, ανοίγει των φάκελο όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα/αρχεία εξόδου μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου.



Σχήμα 3.7: Επιλογή κουμπιού *options* από το πάνω μενού(*top menu*) (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Το πρόγραμμα, παρέχει μερικές επιλογές για την λειτουργία του. Πατώντας το κουμπί *options* στο πάνω μενού(*top menu*) όπως στο σχήμα 3.7, μπορεί να ανοίξει το παράθυρο επιλογών για να τις αλλάξει.



Σχήμα 3.8: Παράθυρο επιλογών λογισμικού (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Όπως φαίνεται και παραπάνω στο σχήμα 3.8, το παράθυρο επιλογών(*options*) παρέχει γενικές επιλογές για το λογισμικό. Οι επιλογές αυτές θα περιγραφούν παρακάτω:

Η επιλογή με χρήση checkbox *Application directory as Data Directory* παρέχει την δυνατότητα στην εφαρμογή να χρησιμοποιήσει την διαδρομή της εφαρμογής (*application directory*) ώστε να δημιουργήσει έναν φάκελο *data* για να αποθηκεύει τα δεδομένα/αρχεία εξόδου.

Αν η παραπάνω επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε ο χρήστης μπορεί να εισάγει μια διαδρομή που επιθυμεί για την αποθήκευση του φακέλου *data* για την αποθήκευση δεδομένων/αρχείων εξόδου πατώντας το κουμπί *browse*.

Το κουμπί *Apply* παρέχει την δυνατότητα ηθελημένης αποθήκευσης των επιλογών στον χρήστη. Είναι καίριο να αναφερθεί όμως, ότι αυτό δεν είναι απαραίτητο, αφού οι επιλογές που επέλεξε ο χρήστης επίσης αποθηκεύονται με το κλείσιμο του παραθύρου επιλογών.

3.3 Παρουσίαση Κώδικα πρωτοκόλλων και μετρήσεων

Το παρόν υποκεφάλαιο έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τον κώδικα που αφορά το λογισμικό με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του πώς αναπτύχθηκε. Για να επιτευχθεί αυτή η κατανόηση θα χρησιμοποιηθούν έννοιες προγραμματισμού που δεν θα επεξηγηθούν σε βάθος στην παρούσα εργασία γιατί είναι εκτός του σκοπού της, αλλά θα αναφερθούν ως είναι ή με μερική επεξήγηση.

Ο κώδικας που θα παρουσιαστεί αφορά μονάχα τις κύριες λειτουργίες του λογισμικού που αφορούν την παραγωγή των μετρήσεων για κάθε πρωτόκολλο, και δεν αφορά το οπτικό περιβάλλον, γιατί είναι εκτός του σκοπού της εργασίας. Η επεξήγηση του κώδικα του οπτικού περιβάλλοντος όχι μόνο γίνεται αρκετά περίπλοκη, έχει έναν βαθμό υποκειμενικότητας στον σχεδιασμό του οπτικού κομματιού, αλλά απαιτεί και εκτενή επεξήγηση εννοιών που δεν έχουν αναφερθεί στην παρούσα εργασία.

Για τους παραπάνω λόγους δεν θα γίνει παρουσίαση του κώδικα του οπτικού περιβάλλοντος

3.3.1 Ορισμοί Εννοιών Αντικειμενοστρεφή Προγραμματισμού

Για την κατανόηση των αποσπασμάτων κώδικα που θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο αυτό, κρίνεται καίριο να δοθούν ορισμοί για τις έννοιες αντικειμενοστρεφή προγραμματισμού που θα χρησιμοποιηθούν.

Πρέπει να αναφερθεί αρχικά ότι λόγω της αρχικής αβεβαιότητας στον αριθμό των πρωτοκόλλων που θα είναι διαθέσιμα στο λογισμικό, υπήρξε μία ανάγκη σχεδιασμού του κώδικα με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει την δυνατότητα εισαγωγής νέων πρωτοκόλλων με ευκολία.

Επίσης όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, το λογισμικό αναπτύχθηκε σε μορφή εξόδου σε κονσόλα για την αλληλεπίδραση με τον χρήστη, πράγμα που μπορεί να μην απαιτήσει χρήση αντικειμενοστρεφή προγραμματισμού αλλά διαδικαστικού προγραμματισμού. Παρ' όλα αυτά η ανάπτυξη του λογισμικού μετέβη σε χρήση οπτικού περιβάλλοντος κάνοντας έτσι την χρήση αντικειμενοστρεφή προγραμματισμού πιο απαραίτητη.

Αρχικά πρέπει να οριστεί η έννοια της κλάσης, η κλάση στον αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό μπορεί να νοηθεί σαν ένα εργοστάσιο που παράγει ένα αντικείμενο, το κάθε αντικείμενο που μπορεί να παράγει μπορεί να έχει διάφορες ιδιότητες, εκφρασμένες με την χρήση *μεταβλητών*. Όπως το κάθε αντικείμενο στην πραγματική ζωή, έτσι και στον αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό κάθε αντικείμενο έχει κάποιες πράξεις που μπορεί να εκτελέσει με την χρήση *μεθόδων*.

Σαν εργοστάσιο, οι ιδιότητες και οι μέθοδοι που ορίζονται στην κλάση δεν έχουν φυσικές τιμές στην περίπτωση των ιδιοτήτων(μεταβλητών) ούτε εκτελούνται στην περίπτωση των πράξεων(μεθόδων). Αλλά, τα αντικείμενα που δημιουργούνται από μία κλάση παίρνουν τιμές για τις ορισμένες ιδιότητες τους, καθώς και μπορούν να εκτελέσουν τις διάφορες μεθόδους τους, μόνο αφού δημιουργηθούν.

Ένα παράδειγμα είναι ένα αυτοκίνητο, αν ορίσουμε μία κλάση *Αυτοκίνητο*, θα περιμέναμε να έχει ιδιότητες όπως, αριθμός θυρών, χρώμα, μάρκα κ.α., καθώς και πράξεις όπως επιτάχυνση, φρενάρισμα κ.α. Η κλάση *Αυτοκίνητο* δεν είναι τίποτα παρά η περιγραφή του τι μπορεί να είναι ένα αυτοκίνητο, αλλά είναι μόνο μία αφηρημένη ιδέα και δεν δίνει απαντήσεις για το χρώμα ή τον αριθμό θυρών, γιατί

δεν αναφερόμαστε σε κάποιο συγκεκριμένο αυτοκίνητο. Αν τελικά δημιουργήσουμε με βάση την κλάση *Αυτοκίνητο* ένα αυτοκίνητο με βάση ένα αληθινό αμάξι, θα του δώσουμε ένα χρώμα, αριθμό θυρών και μάρκα, και έπειτα μπορούμε να εκτελέσουμε τις πράξεις, επιτάχυνση, και φρενάρισμα γιατί το αντικείμενο αυτό έχει υπόσταση και τις δικές του ιδιότητες.

Κάθε κλάση μπορεί να κληρονομεί από μία άλλη κλάση, η πράξη της κληρονομής στον αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό έχει ως αποτέλεσμα την αντιγραφή των πιθανών ιδιοτήτων(μεταβλητών) της κληρονομούμενης κλάσης καθώς και των μεθόδων της(πράξεων που μπορεί να εκτελέσει). Η κλάση που κληρονομεί ονομάζεται *βασική κλάση*, ενώ η κλάση που κληρονομεί την βασική κλάση ονομάζεται *κληρονόμος κλάση*.

Για την ευελιξία στην εισαγωγή νέων πρωτοκόλλων στο λογισμικό καθώς και μετέπειτα εισαγωγή νέων επιλογών αρχείων εξόδου, καθώς και του ορισμού των μετρήσεων για το κάθε πρωτόκολλο, υπήρξε η ανάγκη χρήσης μίας έννοιας του αντικειμενοστρεφή προγραμματισμού, του πολυμορφισμού.

Η πλήρης περιγραφή και ο ορισμός του πολυμορφισμού δεν είναι δυνατή στον σκοπό της παρούσας εργασίας, αλλά θα δοθεί μία γρήγορη επεξήγηση.

Με την χρήση πολυμορφισμού, ορίζεται μία κλάση της οποίας ο σκοπός είναι να κληρονομηθεί, αυτό γιατί ορίζονται σε αυτήν χρήσιμες μεταβλητές και μέθοδοι που μπορούν να θεωρηθούν κοινές στις κλάσεις που θα την κληρονομήσουν.

Αλλά η κάθε κληρονόμος κλάση μπορεί να επεκτείνει τις ιδιότητες ή/και μεθόδους που έχει πέρα από την βασική κλάση, ή/και να αλλάξει τις ορισμένες συμπεριφορές της βασικής κλάσης.

Η έννοια του πολυμορφισμού βασίζεται στην ιδέα ότι αν οριστεί μία βασική κλάση η οποία εμπεριέχει κοινές ιδιότητες και μεθόδους που θα επαναλαμβάνονταν σε άλλες κλάσεις, τότε απαλείφεται η ανάγκη ορισμού των ιδιοτήτων και μεθόδων σε κάθε από αυτές της κλάσεις κληρονόμους.

Ένα παράδειγμα είναι ο ορισμός μίας βασικής κλάσης *Ζώο* που περιγράφει τις βασικές έννοιες που περιγράφουν κάθε ζώο στην γενικότητα του, όπως ο αριθμός ποδιών, το ύψος, το βάρος του κ.α., καθώς και κοινές πράξεις ενός ζώου με την χρήση μεθόδων, όπως το να φάει, να πει νερό κ.α.

Έπειτα, αν οριστεί μια κλάση για ένα συγκεκριμένο ζώο όπως το *Φίδι*, η κλάση αυτή θα κληρονομήσει την βασική κλάση *Ζώο*. Αλλά η περιγραφή μιας γάτας σαν απλά ζώο δεν δίνει πολλές πληροφορίες γι' αυτό, η κλάση *Φίδι* θα χρειαστεί να εισάγει μια μοναδική γι' αυτό πράξη(μέθοδο) όπως ο ερπυσμός αντί για την βάδιση. Παρ' όλα αυτά η κλάση μπορεί να χρησιμοποιήσει τις ιδιότητες και τις μεθόδους που ορίστηκαν στην κλάση *Ζώο* όπως η βρώση και η δυνατότητα να πει νερό.

Οι κλάσεις που θα παρουσιαστούν στα αποσπάσματα κώδικα των επόμενων ενότητων χρησιμοποιούν τον πολυμορφισμό ώστε να μειωθεί η επανάληψη κώδικα μεταξύ του κάθε πρωτοκόλλου, κλάσης μετρήσεων και κλάσης αρχείου εξόδου, αφήνοντας έτσι μόνο την αλλαγή λειτουργίας των μεθόδων των κληρονόμων κλάσεων.

3.3.2 Ο Κώδικας των Πρωτοκόλλων

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί ο κώδικας των πρωτοκόλλων του λογισμικού δίνοντας μία καλύτερη εικόνα στον αλγόριθμο πίσω από αυτά.

Τα πρωτόκολλα του λογισμικού βασίστηκαν στον πολυμορφισμό με την κληρονόμηση της κλάσης *Protocol*(πρωτόκολλο) η οποία ορίζει τις ιδιότητες ενός πρωτοκόλλου στην γενικότητα του καθώς και τις προβλεπόμενες λειτουργίες του(μεθόδους του).

Το κάθε πρωτόκολλο, κληρονομεί την κλάση *Protocol* και ορίζει τον δικό του ορισμό των μεθόδων ενός που ορίζονται στην κλάση *Protocol*.

```
namespace ElectromagneticProtocolsGenerator.Models.Protocols
{
    public abstract class Protocol
    {
        public string MeasurementMethodName { get; protected set; }
        public int NumElectrodes { get; protected set; }
        public int MaxSpacingFactor { get; protected set; }
        public int MaxLevel { get; protected set; }
        public int OverlappingLevel { get; protected set; }
        public int MaxMeasurementLevel { get; protected set; }
        public double ElectrodeSpacing { get; protected set; }
        public double[] ElectrodePositions { get; protected set; }
        public int[][] MeasurementsLayout { get; protected set; }
        public double MinGeometricFactor { get; set; } = 0;
        public double MaxGeometricFactor { get; set; } = 5000;

        public List<MeasurementAbstract> measurements = new List<MeasurementAbstract>();
        protected int MeasurementNumber = 1;

        protected abstract int[][] GenerateMeasurementsLayout();
        public abstract void ExecuteProtocol(bool writeToFile = true);
        protected abstract void WriteMeasurementsToFile();
        protected abstract void CalculateMaxMeasurementLevel();
        protected virtual double[] CalculateElectrodePositions()...
```

Σχήμα 3.9: Κώδικας κλάσης *Protocol*, είναι η βασική κλάση των πρωτοκόλλων (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Όπως φαίνεται παρακάτω, η κλάση που ορίζει το πρωτόκολλο *Dipole-Dipole* έχει λιγότερες εμφανείς μεταβλητές γιατί κληρονομεί και αυτές που ορίζονται στην κλάση *Protocol*. Η υλοποίηση της κλάσης αυτής βασίζεται κυρίως στην αλλαγή της λειτουργικότητας των μεθόδων που ορίζονται στην κλάση *Protocol*.

```
public class DipDipProtocol : Protocol
{
    1 reference
    public DipDipProtocol(int numElect, int maxLevel, int maxSpacing, double electSpacing)...
```

```
    2 references
    public override void ExecuteProtocol(bool writeToFile)...
```

```
    2 references
    protected override void WriteMeasurementsToFile()...
```

```
    2 references
    protected override int[][] GenerateMeasurementsLayout()...
```

```
    2 references
    protected override void CalculateMaxMeasurementLevel()...
```

Σχήμα 3.10: Κώδικας κλάσης *DipDipProtocol*, αφορά το πρωτόκολλο *Dipole-Dipole* (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

```
public class PolDipProtocol : Protocol
{
    public bool DoReverse { get;private set; }
    public PolDipProtocol(int numElect,int maxLevel,int maxSpacing,double electSpacing,bool doReverse = false)...
    protected override int[][] GenerateMeasurementsLayout()...
    public override void ExecuteProtocol(bool writeToFile)...)
    protected override void WriteMeasurementsToFile()...
    protected override void CalculateMaxMeasurementLevel()...
}
```

Σχήμα 3.11: Κώδικας κλάσης PolDipProtocol, αφορά το πρωτόκολλο Pole-Dipole (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Παραπάνω φαίνεται μία μικρή διαφοροποίηση λειτουργιών του πρωτοκόλλου Pole-Dipole με την εισαγωγή της μεταβλητής *DoReverse* που έχει σκοπό την παροχή δυνατότητας εκτέλεσης των μετρήσεων και με αντίθετη φορά μετά την κανονική φορά.

```
public class MultiGradProtocol : Protocol
{
    public MultiGradProtocol(int numElect,int maxLevel,int maxSpacing,double electSpacing)...)
    public override void ExecuteProtocol(bool writeToFile)...)
    protected override void WriteMeasurementsToFile()...
    protected override int[][] GenerateMeasurementsLayout()...
    protected override void CalculateMaxMeasurementLevel()...
}
```

Σχήμα 3.12: Κώδικας κλάσης MultiGradProtocol, αφορά το πρωτόκολλο Multi-Gradient (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Παραπάνω παρουσιάστηκαν τα περιληπτικά αποσπάσματα του κώδικα των πρωτοκόλλων και σε μεγάλο βαθμό έχουν τα ίδια ονόματα, στην παρούσα εργασία δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί ο πλήρης κώδικας τους, μίας και είναι διαθέσιμος στον ιστότοπο του ανοιχτού κώδικα του λογισμικού.

3.3.3 Ο Κώδικας των Μετρήσεων

Τα πρωτόκολλα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα δεν είναι τίποτα άλλο παρά αλγόριθμοι που είναι υπεύθυνοι για την δημιουργία των διατάξεων που αφορούν την κάθε μέθοδο για το κάθε πρωτόκολλο. Ο κύριος αλγόριθμος βρίσκεται στην μέθοδο *ExecuteProtocol* που φαίνεται στα σχήματα 3.10,3.11,3.12 και χρησιμοποιεί μία άλλη συνοδός κλάση για την παραγωγή της κάθε μέτρησης σε κάθε στάδιο(δεν φαίνεται στα αποσπάσματα των σχημάτων). Η κάθε κλάση πρωτοκόλλου έχει μία αντίστοιχη κλάση μέτρησης και είναι κληρονόμος της κλάσης *MeasurementAbstract*, κλάση η οποία περιγράφει τις παραμέτρους που αφορούν την κάθε μέτρηση. Κύριος σκοπός των κλάσεων αυτών είναι να συγκρατούν τις παραμέτρους της κάθε μέτρησης, αλλά παρέχουν μερικές παρεμφερείς στις μετρήσεις λειτουργίες επίσης. Η κλάση *MeasurementAbstract* φαίνεται στο σχήμα 3.13.

```

23 public abstract class MeasurementAbstract
24 {
25     // 16 references
26     public int Ca_ElectID { get; protected set; }
27     // 16 references
28     public int Cb_ElectID { get; protected set; }
29     // 11 references
30     public int Pm_ElectID { get; protected set; }
31     // 11 references
32     public int Pn_ElectID { get; protected set; }
33     // 6 references
34     public int MeasurementSpacingFactor { get; protected set; }
35     // 6 references
36     public int MeasurementLevel { get; protected set; }
37     // 6 references
38     public string DepthOfInvestigation { get; protected set; }
39     // 6 references
40     public double[] QuadripolePositions { get; protected set; }
41     // 6 references
42     public int MeasurementNumber { get; protected set; }
43     // 10 references
44     public double GeometricFactor { get; protected set; }
45     // 1 reference
46     public double ElectrodeSpacing { get; protected set; }
47
48     /// <summary>
49     /// Requires the electrode positions to have been calculated
50     /// </summary>
51     /// <returns></returns>
52     // 1 reference
53     public virtual double CalculateGeometricFactor()
54     {
55         // General Geometric Factor Formula
56         return 2 * Math.PI / (1 / (QuadripolePositions[2] - QuadripolePositions[0]) - 1 / (QuadripolePositions[2] - QuadripolePositions[1]) - 1 /
57             (QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[0]) + 1 / (QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[1]));
58     }
59
60     public virtual void PrintMeasurement() { }
61 }

```

Σχήμα 3.13: Κώδικας κλάσης *MeasurementAbstract*, είναι η κλάση που είναι η βάση για της κλάσεις μετρήσεων του κάθε πρωτοκόλλου (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

```

public class PolDipMeasurement : MeasurementAbstract
{
    // 2 references
    public bool ReverseMeasurement { get; set; }
    // 7 references
    public void InitialiseMeasurement(int _firstElectrodeID, double[] _electrodePositions, int _SpacingFactor, int _Level, int _measurementNumber,
        double electrodeSpacing)
    {
        MeasurementNumber = _measurementNumber;
        QuadripolePositions = new double[4];

        MeasurementSpacingFactor = _SpacingFactor;
        MeasurementLevel = _Level;

        if (!ReverseMeasurement)
        {
            Ca_ElectID = _firstElectrodeID + 1;
            Cb_ElectID = 0;
            Pm_ElectID = Ca_ElectID + _Level;
            Pn_ElectID = Pm_ElectID + _SpacingFactor;
        }
        else
        {
            Ca_ElectID = _firstElectrodeID + 1;
            Cb_ElectID = 0;
            Pm_ElectID = Ca_ElectID - _Level;
            Pn_ElectID = Pm_ElectID - _SpacingFactor;
        }

        QuadripolePositions[0] = _electrodePositions[Ca_ElectID-1];
        QuadripolePositions[1] = -1;
        QuadripolePositions[2] = _electrodePositions[Pm_ElectID-1];
        QuadripolePositions[3] = _electrodePositions[Pn_ElectID-1];

        double electrodeDistance = Math.Abs(QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[0]);
        DepthOfInvestigation = $"{Math.Round(electrodeDistance * 0.25, digits: 3)}m-({Math.Round(electrodeDistance * 0.30, digits: 3)}m";

        GeometricFactor = Math.Round(CalculateGeometricFactor(), digits: 3);
    }

    // 1 reference
    public override double CalculateGeometricFactor()
    {
        return 2 * Math.PI / (1 / (QuadripolePositions[2] - QuadripolePositions[0]) - 1 / (QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[0]));
    }
}

```

Σχήμα 3.15: Κώδικας κλάσης *PolDipMeasurement*, αφορά το πρωτόκολλο Pole-Dipole (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Όπως και στο πρωτόκολλο της, έτσι και η κλάση μέτρησης *PolDipMeasurement* περιέχει μεταβλητή για την διαφοροποίηση μεταξύ κανονικής φοράς μέτρησης ή όχι. Σκοπός της μεταβλητής είναι να ειδοποιήσει την μέτρηση για το αν είναι κανονικής φοράς ή όχι, πράγμα που χρειάζεται στους υπολογισμούς των παραμέτρων.

```
public class DipDipMeasurement : MeasurementAbstract
{
    public void InitialiseMeasurement(int _firstElectrodeID, double[] _electrodePositions, int _SpacingFactor, int _Level, int _measurementNumber, double electrodeSpacing)
    {
        MeasurementNumber = _measurementNumber;
        QuadripolePositions = new double[4];

        MeasurementSpacingFactor = _SpacingFactor;
        MeasurementLevel = _Level;

        Ca_ElectID = _firstElectrodeID + 1;
        Cb_ElectID = Ca_ElectID + _SpacingFactor;
        Pm_ElectID = Cb_ElectID + _Level;
        Pn_ElectID = Pm_ElectID + _SpacingFactor;

        QuadripolePositions[0] = _electrodePositions[Ca_ElectID - 1];
        QuadripolePositions[1] = _electrodePositions[Cb_ElectID - 1];
        QuadripolePositions[2] = _electrodePositions[Pm_ElectID - 1];
        QuadripolePositions[3] = _electrodePositions[Pn_ElectID - 1];

        double electrodeDistance = QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[0];
        DepthOfInvestigation = $"{Math.Round(electrodeDistance * 0.25, digits: 3)}m-{Math.Round(electrodeDistance * 0.30, digits: 3)}m";

        GeometricFactor = Math.Round(CalculateGeometricFactor(), digits: 3);
    }
}
```

Σχήμα 3.14: Κώδικας κλάσης DipDipMeasurement, αφορά το πρωτόκολλο Dipole-Dipole (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

```
public class MultiGradMeasurement : MeasurementAbstract
{
    public void InitialiseMeasurement(int _firstElectrodeID, double[] _electrodePositions, int _SpacingFactor, int _Level, int _Pm_SpacingOffset, int _measurementNumber, double electrodeSpacing)
    {
        //Level is the spacing between Ca,Cb
        //Spacing factor is the spacing between Pm,Pn
        MeasurementNumber = _measurementNumber;
        QuadripolePositions = new double[4];

        MeasurementSpacingFactor = _SpacingFactor;
        MeasurementLevel = _Level;

        //TODO Test if fix on Pm_ElectID is valid for the measurements
        Ca_ElectID = _firstElectrodeID + 1;
        Pm_ElectID = Ca_ElectID + _Pm_SpacingOffset + 1;
        Pn_ElectID = Pm_ElectID + _SpacingFactor;
        Cb_ElectID = Pn_ElectID + _Level - _Pm_SpacingOffset;

        QuadripolePositions[0] = _electrodePositions[Ca_ElectID - 1];
        QuadripolePositions[1] = _electrodePositions[Pm_ElectID - 1];
        QuadripolePositions[2] = _electrodePositions[Pn_ElectID - 1];
        QuadripolePositions[3] = _electrodePositions[Cb_ElectID - 1];

        double electrodeDistance = QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[0];
        DepthOfInvestigation = $"{Math.Round(electrodeDistance * 0.25, digits: 3)}m-{Math.Round(electrodeDistance * 0.30, digits: 3)}m";

        GeometricFactor = Math.Round(CalculateGeometricFactor(), digits: 3);
    }

    public override double CalculateGeometricFactor()
    {
        //General Geometric Factor Formula
        return 2 * Math.PI / (1 / (QuadripolePositions[1] - QuadripolePositions[0]) - 1 / (QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[1]) - 1 / (QuadripolePositions[2] - QuadripolePositions[0]) + 1 / (QuadripolePositions[3] - QuadripolePositions[2]));
    }
}
```

Σχήμα 3.16: Κώδικας κλάσης MultiGradMeasurement, αφορά το πρωτόκολλο Multi-Gradient (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)

Παραπάνω παρουσιάστηκε ο κώδικας των μετρήσεων, οι διαφοροποιήσεις του, αφορούν κυρίως τους δείκτες των ηλεκτροδίων που ορίζονται και με βάση ποιες μεταβλητές υπολογίζονται αυτοί οι δείκτες.



4. Το Μέλλον του Λογισμικού ERTProtGen

Το λογισμικό ERTProtGen, αναπτύχθηκε ταυτόχρονα με την χρήση λογισμικού διαχείρισης πηγαίου κώδικα όπως και έχει αναφερθεί στην ενότητα 2.2.2 *Χρήση Ελέγχου Πηγαίου Κώδικα*. Η διαχείριση αυτή παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης των στιγμιότυπων ανάπτυξης του κώδικα στο ίντερνετ, και με αυτόν τον τρόπο φιλοξενείται στον ιστότοπο www.Github.com όπου και υπάρχει σαν πρότζεκτ ανοιχτού κώδικα.

Σαν πρότζεκτ ανοιχτού κώδικα το λογισμικό δεν βρίσκεται στην τελική του υπόσταση κατά την συγγραφή της παρούσας εργασίας, αλλά έχει την δυνατότητα να επεκταθεί και να αλλάξει στο μέλλον. Η συμβολή στην ανάπτυξη του κώδικα του λογισμικού θα είναι ανοιχτή στο κοινό, και με αυτόν τον τρόπο το λογισμικό μπορεί να βελτιστοποιηθεί αλλά και να χρησιμοποιηθεί από ένα ευρύ κοινό. Κατά την συγγραφή της πτυχιακής εργασίας και της ανάπτυξης του λογισμικού, το πρότζεκτ στον ιστότοπο www.Github.com ήταν ιδιωτικό και δεν παρέχει την δυνατότητα πρόσβασης, αλλά μετά την τελική παράδοση της εργασίας, η πρόσβαση θα αλλάξει σε δημόσια για την δυνατότητα συμβολής από το κοινό.

Για την μέγιστη δυνατότητα χρήσης και προσφοράς στο πρότζεκτ, χρησιμοποιήθηκε η άδεια που παρέχεται με βάση τις προδιαγραφές του MIT(Massachusetts Institute of Technology), η οποία παρέχει την δυνατότητα σε οποιονδήποτε να αλλάξει, χρησιμοποιήσει ή και αντιγράψει τον κώδικα του λογισμικού, αρκεί να υπάρχει η παραδοχή ιδιοκτησίας στον δημιουργό του αρχικού κώδικα(σχήμα 4.1).

```
1 MIT License
2
3 Copyright (c) 2023 Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy
4
5 Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
6 of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
7 in the Software without restriction, including without limitation the rights
8 to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
9 copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
10 furnished to do so, subject to the following conditions:
11
12 The above copyright notice and this permission notice shall be included in all
13 copies or substantial portions of the Software.
14
15 THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
16 IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
17 FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
18 AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
19 LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
20 OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE
21 SOFTWARE.
```

Σχήμα 4.1: Η άδεια MIT του Github (Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy, n.d.)



Παράρτημα

Link Ανοιχτού Κώδικα Github του λογισμικού:
<https://github.com/Monkey-C-Luffy/ERTProtGen>

Βιβλιογραφία

- BillWagner. n.d. "C# Docs - Get Started, Tutorials, Reference."
<https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>.
- . n.d. "Inheritance." <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/fundamentals/object-oriented/inheritance>.
- "C Sharp." n.d. In *Βικιπαίδεια*. https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=C_Sharp&oldid=9226101.
- Kim J.H. 2010. "DC2DPro: 2D Inversion of ERT Data. User's Manual." Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea.
- Vasilis Skordelis/Monkey C Luffy. n.d. "ERTProtGen." C#.
<https://github.com/Monkey-C-Luffy/ERTProtGen>.
- Παπαζάχος, Βασίλης Κ. 1996. *Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη Πελαγία & Σια Ι.Κ.Ε.
- Τσούρλος Π. and Βαργεμέζης Γ. n.d. "Παρουσιαση 1 Μαθήματος Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης ΑΠΘ."
- . n.d. "Παρουσιαση 2 Μαθήματος Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης ΑΠΘ."