



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



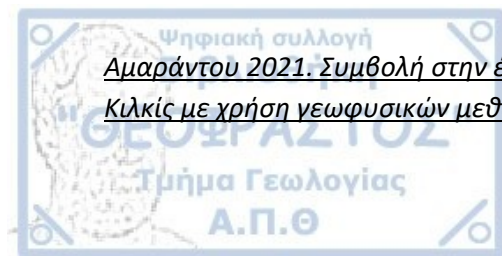
ΟΥΡΑΝΙΑ Θ. ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ «ΓΙΑΝΝΕΣ» ΚΙΛΚΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ
ΜΕΘΟΔΩΝ

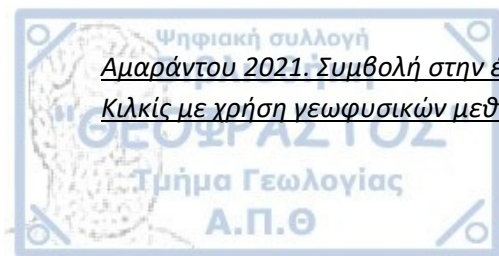
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

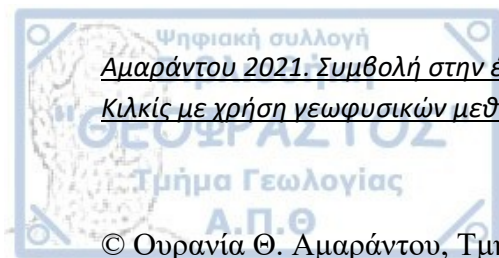
Ουρανία Θ. Αμαράντου
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5384

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ «ΓΙΑΝΝΕΣ» ΚΙΛΚΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέποντες

Βαργεμέζης Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής
Τσούρλος Παναγιώτης, Καθηγητής



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

© Ουρανία Θ. Αμαράντου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ
«ΓΙΑΝΝΕΣ» ΚΙΛΚΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ – *Διπλωματική Εργασία*

© Ourania Th. Amarantou, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2021

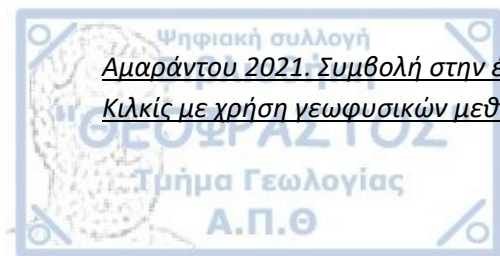
All rights reserved.

CONTRIBUTION TO THE INVESTIGATION OF THE WORKING MECHANISM OF
“GIANNES” SPRINGS IN KILKIS, BY THE USE OF GEOPHYSICAL METHODS –
Bachelor Thesis

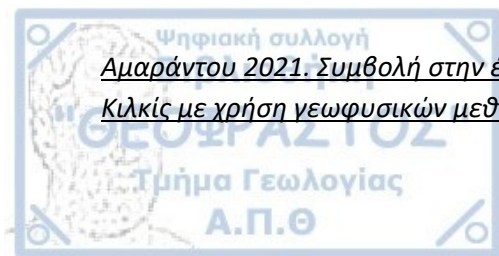
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ’ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται 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: Ανάβλυση των πηγών «Γιάννες», περιοχή Μεταλλικό



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.



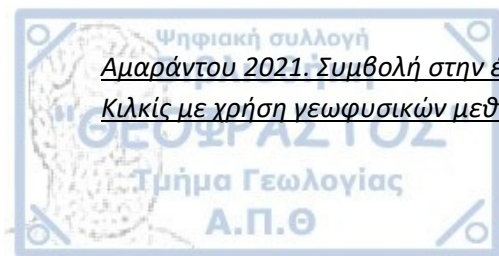
Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

*Στον πρώτο άνθρωπο που με συμφιλίωσε με τον Θεό, Αρχιμ. Γρηγόριο Χαραλαμπίδη
και στον νυν πνευματικό μου πατέρα Αρχιμ. Μιχαήλ Σαντοριναίο
που συνεχίζει το έργο του*

Στην οικογένειά μου για την ανυπολόγιστα μεγάλη βοήθειά τους

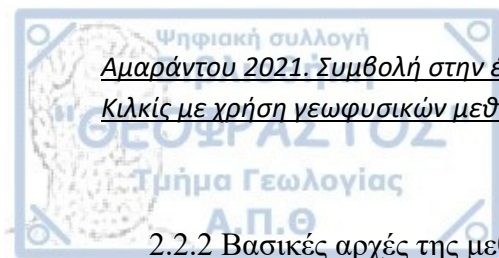
*Σε όσους βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών
μου*

Σε όλους όσους αγωνίζονται και δεν αφήνουν τις δυσκολίες να τους νικήσουν

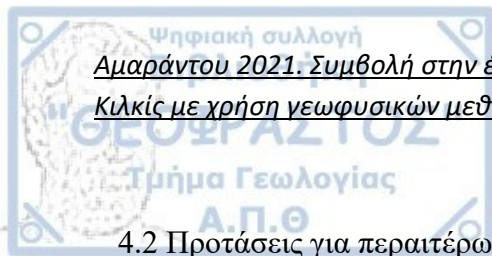


ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	x
Περίληψη	xii
Abstract	xiii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xiv
1. Περιοχή Μελέτης	15
1.1 Γεωγραφικές-Τοπογραφικές Πληροφορίες	15
1.1.1 Περιγραφή των πηγών «Γιάννες»	17
1.2 Γεωλογικές Πληροφορίες	26
1.3 Στοιχεία Τεκτονικής της περιοχής	34
1.4 Άλλα Στοιχεία Ενδιαφέροντος	37
1.4.1 Υδατικά Συστήματα	37
1.4.2 Υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών	38
1.4.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού των πηγών	41
1.4.4 Κλιματικοί παράγοντες της περιοχής	45
2. Γεωφυσικές Μέθοδοι Διασκόπησης	48
2.1 Η Μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού	49
2.1.1 Εισαγωγή	49
2.1.2 Βασικές αρχές της μεθόδου	50
2.1.3 Μηχανισμοί δημιουργίας Φυσικού Δυναμικού	51
2.1.4 Τρόποι μέτρησης του Φυσικού Δυναμικού	52
2.2 Η Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης	55
2.2.1 Εισαγωγή	55



2.2.2 Βασικές αρχές της μεθόδου	57
2.2.3 Η διεξαγωγή των μετρήσεων στο πεδίο έρευνας	60
2.3 Η Μέθοδος της Επαγόμενης Πόλωσης.....	65
2.3.1 Εισαγωγή	65
2.3.2 Μηχανισμός δημιουργίας του φαινομένου της Επαγόμενης Πόλωσης	65
2.3.3 Φορτιστικότητα	66
3. Εργασία Πεδίου – Επεξεργασία και Ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων	68
3.1 Εισαγωγή.....	68
3.2 Μετρήσεις με τη μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού	69
3.3 Επεξεργασία των δεδομένων του Φυσικού Δυναμικού.....	70
3.4 Μετρήσεις με τη μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης.....	74
3.5 Επεξεργασία των δεδομένων της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης	78
3.5.1 Τομογραφία 1 ^η (ERT 1)	79
3.5.2 Τομογραφία 2 ^η (ERT 2)	82
3.5.3 Τρισδιάστατες προσομοιώσεις των τομογραφιών	83
3.6 Μετρήσεις με τη μέθοδο της Επαγόμενης Πόλωσης.....	86
3.7 Επεξεργασία των δεδομένων της Επαγόμενης Πόλωσης.....	86
4. Συμπεράσματα και Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	88
4.1 Συμπεράσματα.....	88
4.1.1 Εισαγωγή	88
4.1.2 Συμπεράσματα από τη μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού.....	88
4.1.3 Συμπεράσματα από συνδυασμό των μεθόδων της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης	93



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στην περιοχή των πηγών98

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....99

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ευχαριστώ το Θεό, γιατί χωρίς τη βοήθειά Του η παρούσα εργασία με τίτλο «Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών “Γιάννες” Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων» δεν θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί. Το τέλος της σηματοδοτεί και το τέλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι αυτό που λέει ο τίτλος της, δηλαδή να συμβάλλει, κατά το δυνατόν, στη μελέτη και κατανόηση του μηχανισμού σύμφωνα με τον οποίο λειτουργούν οι πηγές «Γιάννες», οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή του Μεταλλικού.

Τα κεφάλαια από τα οποία αποτελείται η εργασία είναι τέσσερα και αναλύονται στις παρακάτω παραγράφους.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες που αφορούν τις πηγές και την ευρύτερη περιοχή του Μεταλλικού. Οι πληροφορίες αυτές (γεωλογικής, γεωγραφικής, τεκτονικής και άλλης φύσεως) σχετίζονται άμεσα με το αντικείμενο της έρευνας μας, ώστε να γίνουν αντιληπτές οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, αλλά και γενικότερα οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του θεωρητικού μέρους των γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν στο ύπαιθρο. Σε αυτό παρουσιάζονται οι βασικές αρχές που διέπουν κάθε μια από τις τρεις ηλεκτρικές μεθόδους (του Φυσικού Δυναμικού, της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης), οι τεχνικές που ακολουθούνται κατά τη διάρκεια λήψης μετρήσεων, ο εξοπλισμός που απαιτείται κ.τ.λ.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται σύντομη αναφορά στις εργασίες που έλαβαν χώρα στην περιοχή των πηγών, ώστε να εξασφαλισθούν οι αναγκαίες μετρήσεις, στην επεξεργασία που υπέστησαν αυτές και στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία αυτή. Παρατίθεται, επιπλέον, και ένα σχολιασμός επί των αποτελεσμάτων αυτών.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο καταγράφονται τα τελικά συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στην περιοχή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κύριο επιβλέποντα της πτυχιακής μου κ. Βαργεμέζη Γεώργιο για τον χρόνο που αφιέρωσε, τον κόπο στον οποίο υπεβλήθη, την υπομονή και κατανόηση που υπέδειξε, αλλά και τη συνεχή καθοδήγηση του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Η συνεργασία μας μου άφησε θετικές εντυπώσεις και τη θέληση να ασχοληθώ περισσότερο με αυτό το κομμάτι της Γεωλογίας που λέγεται «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική». Τον ευγνωμονώ, επίσης, γιατί ανέλαβε να καλύψει κάποιες ελλείψεις μου σχετικά με τον τρόπο χρήσης των προγραμμάτων G.I.S και κατασκεύασε ο ίδιος τους περισσότερους από τους χάρτες που παρατίθενται στο τρίτο κεφάλαιο.

Επιβάλλεται, επίσης, να ευχαριστήσω τους καθηγητές Τσούρλο Παναγιώτη (συνεπιβλέποντα της εργασίας) και Φίκο Ηλία, αλλά και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές

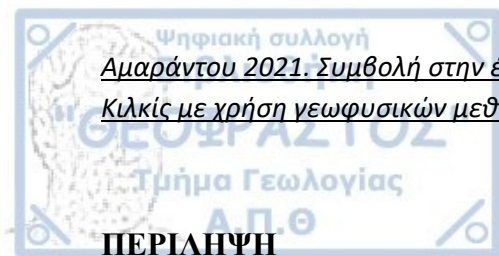
του τομέα Γεωφυσικής χωρίς τη συνδρομή των οποίων οι μετρήσεις στην περιοχή του Μεταλλικού δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν.

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον μακαριστό πλέον πνευματικό μου πατέρα Γρηγόριο Χαραλαμπίδη, στον οποίο χρωστώ το «εὖ ζῆν», στον νυν πνευματικό μου πατέρα Αρχιμ. Μιχαήλ Σαντοριναίο και σε όσους με τις συμβουλές, τη συμπαράσταση τους και κυρίως με τη προσευχή τους στάθηκαν αρωγοί στην όλη προσπάθεια μου για αποπεράτωση των σπουδών μου.

Η δε συνεισφορά της οικογένειάς μου είναι αδύνατον να οριοθετηθεί και υπό το πρίσμα αυτό θεωρώ ειλικρινά πως η εργασία αυτή, αλλά και η όλη μου πορεία από τη στιγμή που εισήχθηκα στο Τμήμα Γεωλογίας μέχρι τώρα που, συν Θεώ, αποφοιτώ, αποτελεί καρπό κοινής και ισότιμης προσπάθειας όλων των μελών της.

Κιλκίς, 22 Σεπτεμβρίου 2021

Αμαράντου Θ. Ουρανία

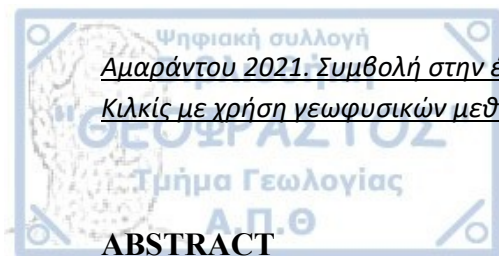


Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»

Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

Η παρούσα εργασία εκπονείται στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Στόχος της είναι η κατά το δυνατόν συμβολή στη μελέτη του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες», στην περιοχή του Μεταλλικού (Ν. Κιλκίς). Για την επίτευξη του στόχου αυτού πραγματοποιήθηκαν, επί τόπου, έρευνες με χρήση τριών διαφορετικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν στο ύπαιθρο οι ηλεκτρικές μέθοδοι του Φυσικού Δυναμικού, της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης.

Στην εργασία περιλαμβάνεται μια μικρή εισαγωγή και στη συνέχεια ακολουθεί το κυρίως μέρος αυτής, το οποίο αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παράθεση διαφόρων πληροφοριών (γεωγραφικής, γεωλογικής, τεκτονικής κ.α. φύσεως) για την περιοχή μελέτης, σχετικών με το αντικείμενο της έρευνας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, οι βασικές αρχές που τις διέπουν, ο απαραίτητος εξοπλισμός, ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται οι μετρήσεις στο ύπαιθρο κ.τ.λ. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο διεξαγωγής των μετρήσεων στην περιοχή των πηγών, στη διαδικασία που έλαβε χώρα κατά την επεξεργασία των δεδομένων που ανακτήθηκαν από τις μετρήσεις και παρατίθεται ένας σύντομος σχολιασμός επί των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε και προτείνονται τρόποι για περαιτέρω έρευνα στην περιοχή.



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

ABSTRACT

The following thesis, titled “Contribution to the investigation of the working mechanism of “Giannes” springs in Kilkis, by the use of geophysical methods” is a part of the undergraduate study programme of the School of Geology, at Aristotle University of Thessaloniki. Its aim is to contribute, as much as possible, to the understanding of the working mechanism of “Giannes” springs in Metalliko, Kilkis. To achieve this goal we conducted research, on site, using three different geophysical methods. In particular, we used the electrical methods of Self Potential, Electrical Resistivity and Induced Polarization.

The thesis includes a brief introduction. The body is comprised of four chapters. The first chapter includes information about the geography, the geology, the tectonics and other general characteristics of the spring’s region. The second chapter includes a detailed description of each of the three methods we used, their basic principles, the necessary equipment as well as the field work. How the resulting data were processed and the final outcome will be discussed on Chapter 3. In the end, I will comment on this outcome and give some final conclusions and suggestions about further research.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή του Μεταλλικού, ενός μικρού χωριού μερικά χιλιόμετρα βορειο-δυτικά του νομού Κιλκίς, εντοπίζονται οι πηγές «Γιάννες». Ουσιαστικά, πρόκειται για μια τριάδα φυσικών κρατήρων ανάβλυσης-πηγών, οι οποίοι εξαιτίας της μικρής απόστασης που τους χωρίζει θεωρούνται και μελετώνται ως ένα σύνολο με παρόμοια χαρακτηριστικά. Δεν είναι οι μοναδικές που υπάρχουν στην περιοχή, καθότι αποτελούν ένα μόνο μέρος του ευρύτερου συστήματος αναβλύσεων που εμφανίζεται εκεί. Είναι, όμως, οι πιο γνωστές, αφού προσελκύουν άμεσα την προσοχή του οποιουδήποτε διαβάτη.

Για το ιστορικό παρελθόν των πηγών και το αν έτυχαν εκμετάλλευσης σε παλαιότερες εποχές δεν στάθηκε δυνατόν να συλλέξουμε πολλά στοιχεία. Γνωρίζουμε, μόνο για την ύπαρξη αρχαιολογικών ερειπίων (σχετιζόμενων με την αρχαία πόλη Βραγύλαι, τη θέση της οποίας έχει πάρει το σημερινό Μεταλλικό) κοντά στην περιοχή ανάβλυσης τους, τα οποία πιθανολογείται ότι χρησίμευαν ως λουτρά. Το όνομα των πηγών πιθανώς να οφείλεται στην ονομασία Γιάννες (αλλιώς Γιάννις) ή Ένες την οποία έφερε το χωριό, κατά την περίοδο της τουρκοκρατίας. Το χωριό Γιάννες μετονομάστηκε σε Μεταλλικό, μετά την ανταλλαγή των πληθυσμών, στις 31/8/1926. Το νέο όνομά του το οφείλει στο φυσικό μεταλλικό νερό που αναβλύζει σε αρκετά σημεία στην περιοχή και το οποίο είναι γνωστό ως «ξινό νερό». Το «ξινό» αυτό νερό έχει γίνει πόλος έλξης πολλών ανθρώπων, οι οποίοι επισκέπτονται το Μεταλλικό για να το προμηθευτούν (από διαρκώς ρέοντα κρουνοί, που κατασκευάστηκε δαπάνη της κοινότητας του Μεταλλικού το 1959), αφού εκτός των θεραπευτικών ιδιοτήτων που θεωρείται ότι έχει, ιδίως για ασθένειες του γαστρεντερικού και του ουροποιητικού συστήματος, είναι και αρκετά εύγεστο. Εκτός, από την περίπτωση της ποσιθεραπείας οι πηγές «Γιάννες» είναι κατάλληλες και για λουτροθεραπεία, απουσιάζουν όμως οι απαραίτητες εγκαταστάσεις.

Διαφόρων ειδών έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, ήδη από το 1930, σε μια προσπάθεια χαρακτηρισμού της χημικής σύστασης του νερού, της πηγής προέλευσης αυτού, του τρόπου ανάβλυσης του, της αναγνώρισης του ως ιαματικού κ.α. Από τους ερευνητές χαρακτηρίζονται ως «ψυχρές των αλκαλικών γαιών, υδροανθρακικές οξυπηγές», αφού η μέση θερμοκρασία του νερού είναι περίπου 17 °C και έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία. Επίσης, έχουν ανακηρυχθεί ως ιαματικές στις 31/1/1955 (ΦΕΚ 29/Α/08.02.1955).

Σημαντικό κομμάτι στη μελέτη οποιασδήποτε φυσικής ανάβλυσης αποτελεί ο μηχανισμός λειτουργίας της, δηλαδή η μελέτη του «δρόμου» που ακολουθεί το νερό μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια, αλλά και της αιτίας που το οδηγεί σε αυτήν του την άνοδο. Αυτό ήταν και το αντικείμενο της δικής μας έρευνας και το θέμα της εργασίας αυτής, η οποία εστιάζει περισσότερο στη μελέτη του «δρόμου» από τον οποίο διέρχεται το νερό των πηγών.

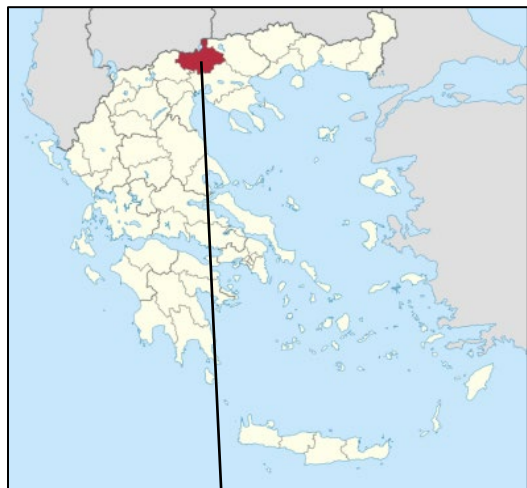
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ-ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

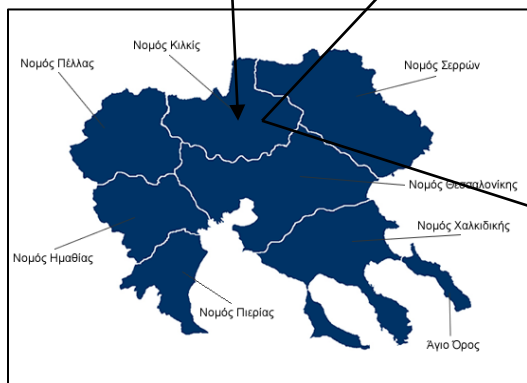
Η περιοχή στην οποία εντοπίζονται οι κρατήρες ανάβλυσης βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία και συγκεκριμένα στο νομό Κιλκίς, ο οποίος συνορεύει στα νότια με το νομό Θεσσαλονίκης, στα ανατολικά με το νομό Σερρών, στα δυτικά με το νομό Πέλλης και στα βόρεια με το κρατίδιο των Σκοπίων (Εικόνα 1.1). Τα φυσικά σύνορα του νομού ορίζονται από το όρος Πάικο στα δυτικά, το Μπέλες στα βόρεια και την οροσειρά των Κρουσσιών στα ανατολικά (Εικόνα 1.2).

Οι πηγές «Γιάννες» βρίσκονται 5 περίπου χιλιόμετρα ΒΔ της ομώνυμης πρωτεύουσας του νομού, πλησίον του χωριού Μεταλλικό, από το οποίο απέχουν μόλις 700 μέτρα προς τα δυτικά (Εικόνα 1.3). Αποτελούνται από τρεις κύριες αναβλύσεις (Εικόνα 1.4), η μεγαλύτερη από τις οποίες (στην Εικόνα 1.4, η πηγή με τον αριθμό 1) βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 136,55 μέτρα και έχει συντεταμένες, στο ΕΓΣΑ '87, X:399716,82 και Y:4540967,44.

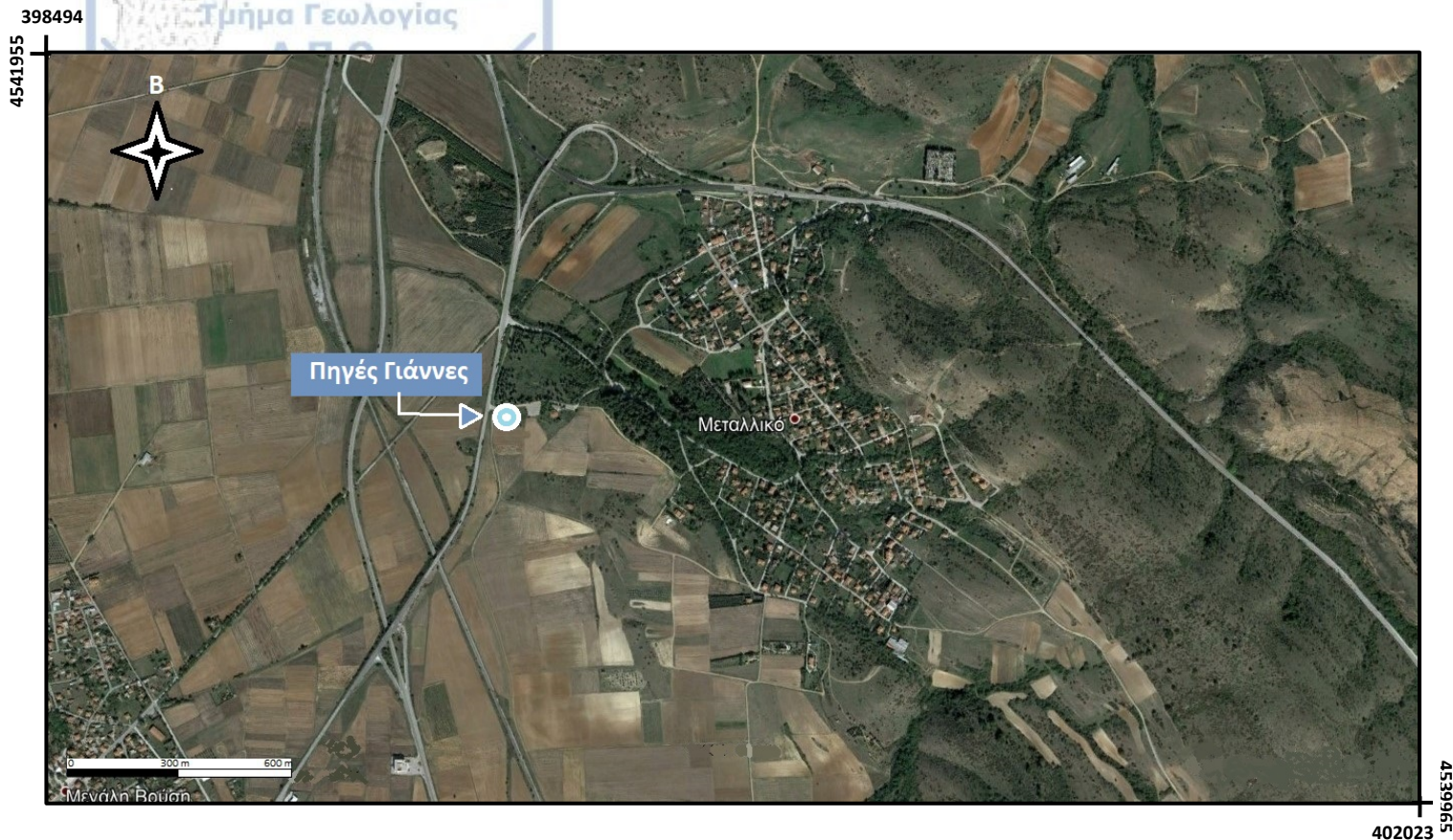
Το ανάγλυφο της περιοχής του Μεταλλικού χαρακτηρίζεται ως ομαλό, όπως προκύπτει και από τις μορφολογικές τομές που παρατίθενται παρακάτω (Εικόνα 1.5). Το υψηλότερο υψομετρικά σημείο της περιοχής βρίσκεται στη περιοχή Πήλιο, περίπου 1.500 μέτρα νοτιοανατολικά του χωριού, με απόλυτο υψόμετρο 342 μέτρα. Το σημείο αυτό εντοπίζεται στη λοφοσειρά, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, στα ανατολικά της περιοχής των πηγών (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.1 Πολιτικός χάρτης του νομού Κιλκίς. Πηγή: διαδίκτυο



Εικόνα 1.2 Γεωφυσικός χάρτης του νομού Κιλκίς. Πηγή: Μήτσιος, 2014



Εικόνα 1.3 Δορυφορική φωτογραφία του χωριού Μεταλλικό και των πηγών, οι οποίες βρίσκονται περίπου 700 μέτρα δυτικά αυτού. Πηγή εικόνας: Google Earth, ίδια επεξεργασία.

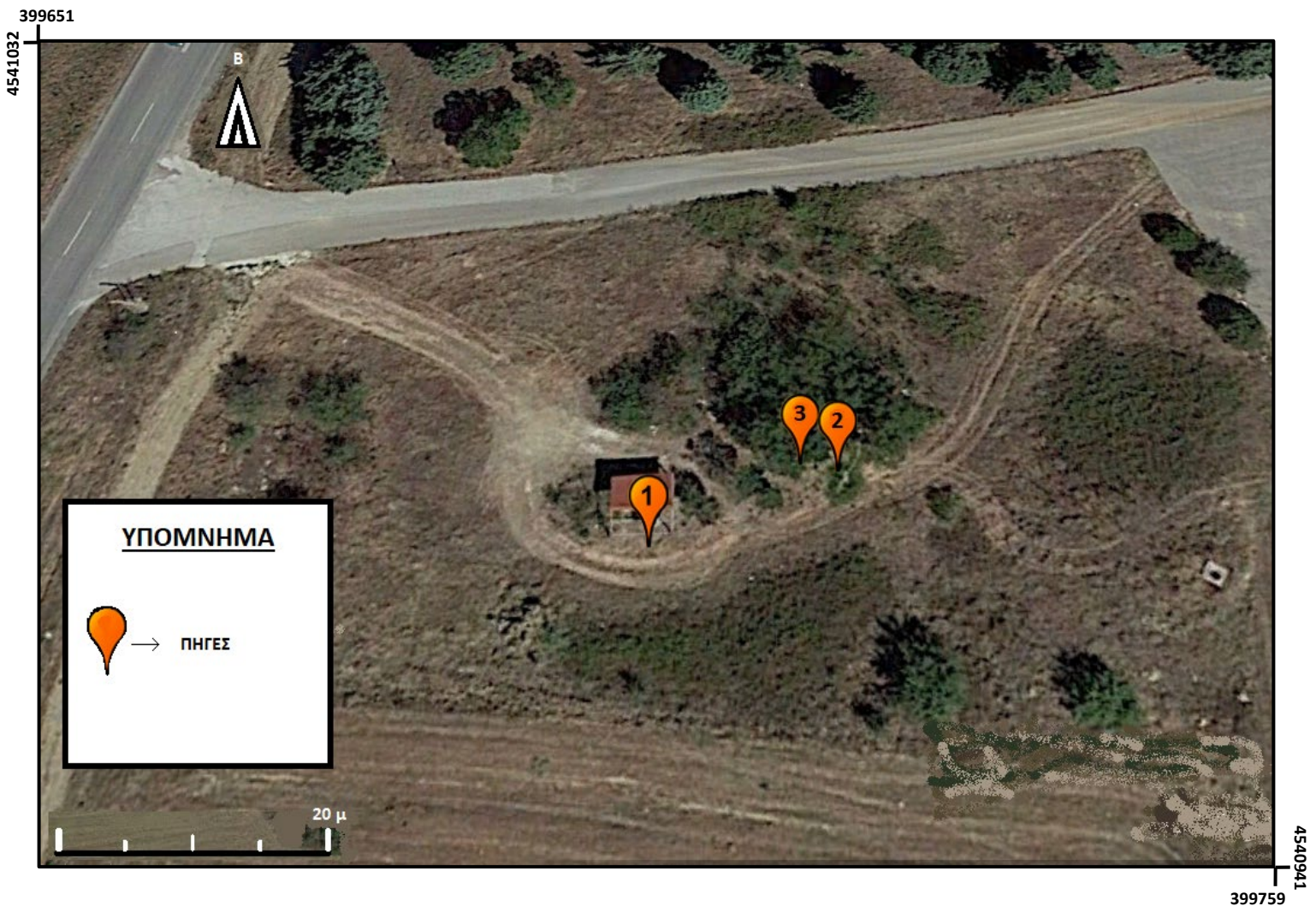
1.1.1 Περιγραφή των πηγών «Γιάννες»

Ως πηγές «Γιάννες» αποκαλείται μια τριάδα φυσικών κρατήρων (Εικόνα 1.4), από τους οποίους αναβλύζει όξινο, ψυχρό νερό ($\sim 17^{\circ}\text{C}$). Οι κρατήρες απέχουν μεταξύ τους ελάχιστα μέτρα, παρόλα αυτά όμως παρουσιάζουν διαφορετικά μορφολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, οπότε θα περιγραφεί, συνοπτικά, ο κάθε ένας ξεχωριστά.

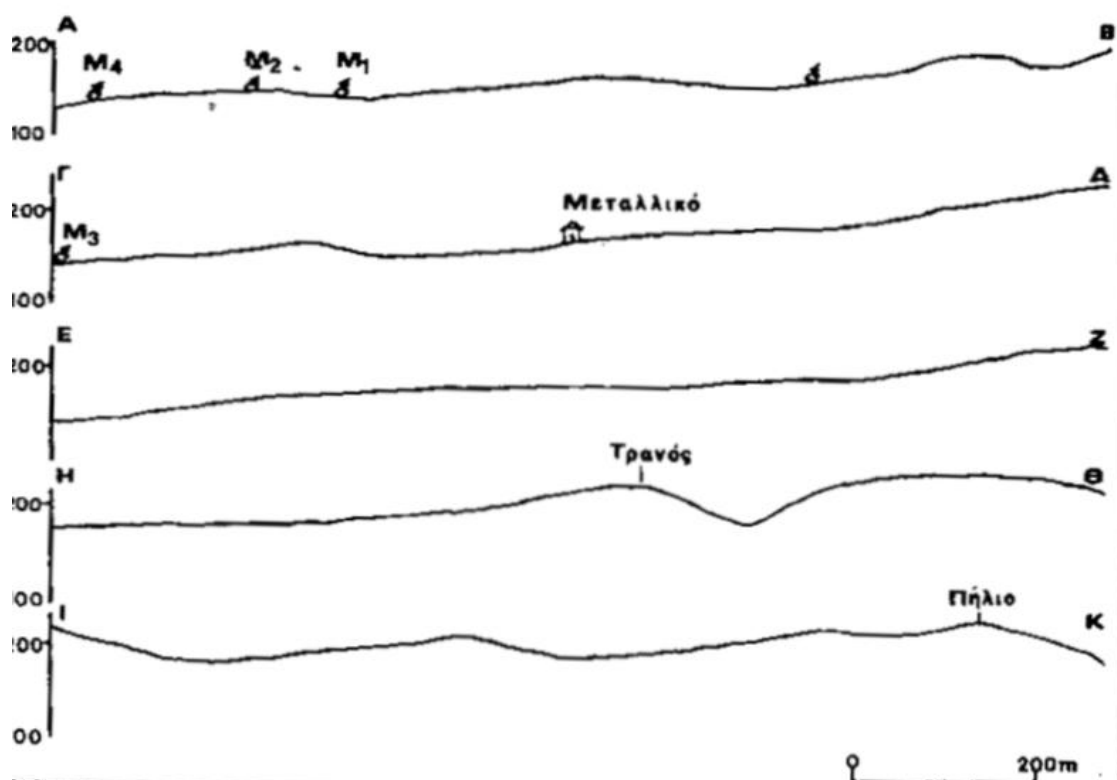
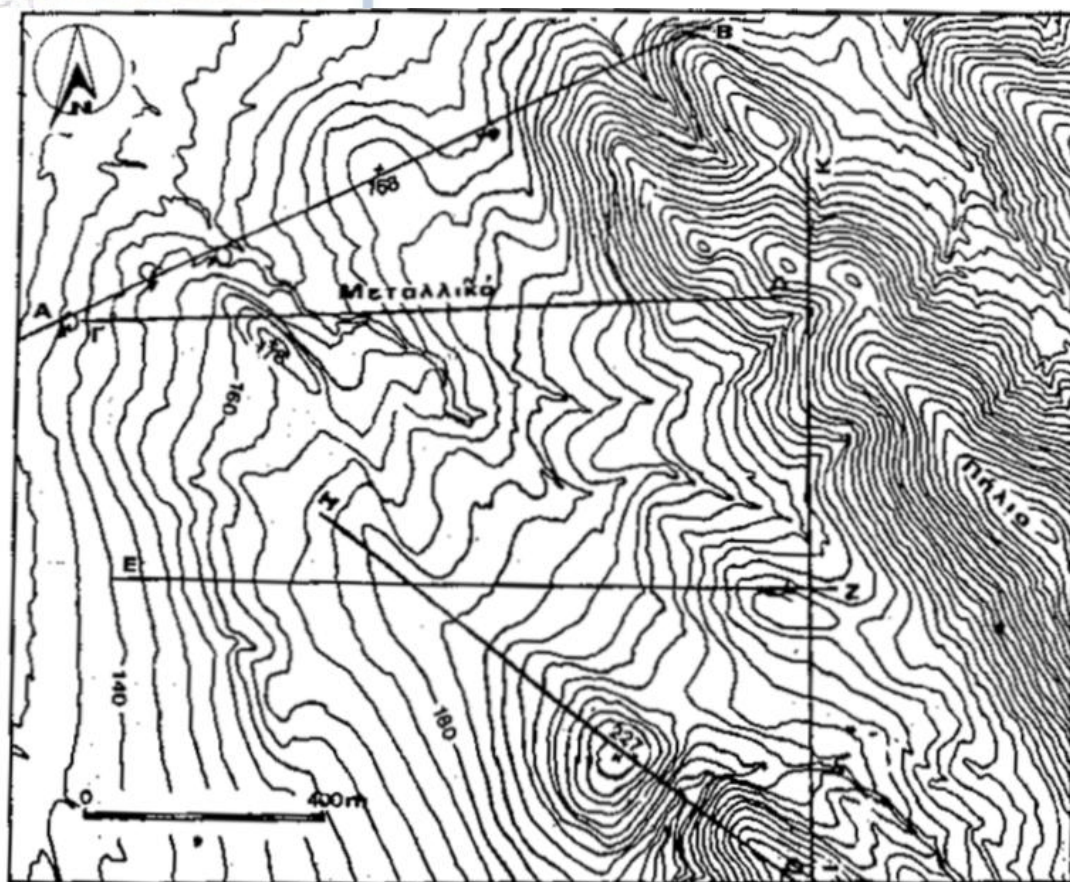
Κρατήρας ανάβλυσης 1 (Εικόνα 1.4)

Όπως προαναφέρθηκε, πρόκειται για το μεγαλύτερο σε μέγεθος κρατήρα (Εικόνα 1.6). Το σχήμα του είναι τραπεζοειδές. Οι διαστάσεις της πηγής που μετρήθηκαν φαίνονται στη φωτογραφία της Εικόνας 1.9 και η μεγαλύτερη από αυτές (α) ισούται με 2,41 μέτρα, ενώ η μικρότερη (β) με 1,83 μέτρα. Το βάθος της οπής δεν είναι σταθερό,

εξαιτίας ανωμαλιών στον πυθμένα της και μετρήθηκε από 0,50 μέτρα έως 0,95 μέτρα. Παρατηρήθηκε έντονη απόθεση αλάτων στο χείλος της πηγής (Εικόνα 1.11). Η παροχή της πηγής αυτής υπολογίστηκε σε 1 m³/h. Γενικώς, εκτός από αρκετά βροχερές περιόδους, δεν υπάρχει ελεύθερη ροή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, αφού το περισσότερο τροφοδοτεί τα περιβάλλοντα της πηγής ιζήματα. Παρατηρείται επίσης, συνεχής έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) υπό μορφή φυσαλίδων, γεγονός που καθιστά την πηγή αυτή προσφιλή στους φίλους της λουτροθεραπείας.



Εικόνα 1.4 Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής των πηγών «Γιάννες». Είναι εντοπισμένοι οι τρεις κρατήρες ανάβλυσης. **1:** ο μεγαλύτερος σε μέγεθος κρατήρας, **2** και **3:** μικρότερου μεγέθους κρατήρες ανάβλυσης. Πηγή εικόνας: Google Earth, ίδια επεξεργασία.



Εικόνα 1.5 Μορφολογικές τομές στην περιοχή του Μεταλλικού. Πηγή: Γαβριηλίδης, 2015.



Εικόνα 1.6 Φωτογραφία από τον μεγαλύτερο κρατήρα των πηγών «Γιάννες». Στο χείλος του παρατηρείται ένα τεχνητό κάθισμα από τσιμέντο, το οποίο χρησιμοποιείται από τους επισκέπτες που επιθυμούν να κάνουν λουτροθεραπεία.

Κρατήρας ανάβλυσης 2 (Εικόνα 1.4)

Πρόκειται για κρατήρα μικρότερου μεγέθους από τον κρατήρα 1 (Εικόνα 1.7) και απέχει από αυτόν μόλις 18 μέτρα προς τα βορειοανατολικά. Έχει κυκλικό σχήμα με διαστάσεις α: 0,81 μ. και β: 0,75 μ. (Εικόνα 1.10). Το βάθος του μετρήθηκε στα 0,60 μέτρα, καθώς ο πυθμένας του δεν παρουσιάζει ανωμαλίες, όπως αυτός της πηγής 1. Η τροφοδοσία αυτού του κρατήρα γίνεται είτε από σημεία του πυθμένα, είτε πλευρικά από τα τοιχώματα του φρεατίου. Παρατηρείται και σε αυτόν τον κρατήρα έκλυση CO₂ και απόθεση αλάτων περιμετρικά της οπής.



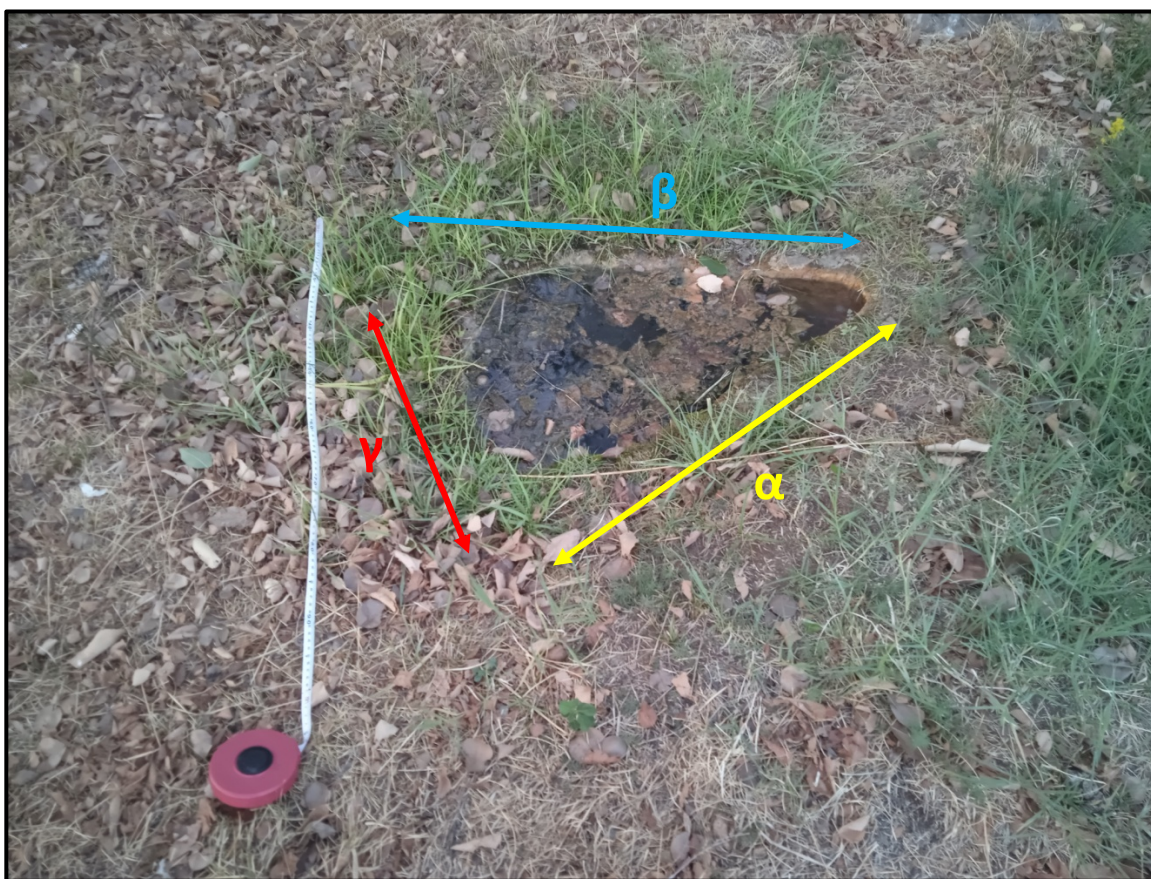
Εικόνα 1.7 Φωτογραφία του κρατήρα 2. Οι αποθέσεις περιμετρικά της κοίτης είναι φυσικές και αποτελούνται από τραβερτίνη και άλλα άλατα. Παρατηρείται ένα φυσικά διαμορφωμένο αυλάκι, μέσα από το οποίο διαρρέει το νερό όταν η πηγή υπερχειλίζει.

Κρατήρας ανάβλυσης 3 (Εικόνα 1.4)

Είναι ο μικρότερος σε μέγεθος κρατήρας (Εικόνα 1.8). Βρίσκεται δύο περίπου μέτρα ΒΒΔ της πηγής 2 και έχει σχήμα τριγωνικό. Μετρήθηκε το μήκος και των τριών πλευρών της και προέκυψαν οι διαστάσεις α : 0,68 μ., β : 0,65 μ., γ : 0,48 μ., όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8. Το βάθος της μετρήθηκε στα 0,37 μέτρα. Παρατηρείται κι εδώ έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και απόθεση αλάτων.

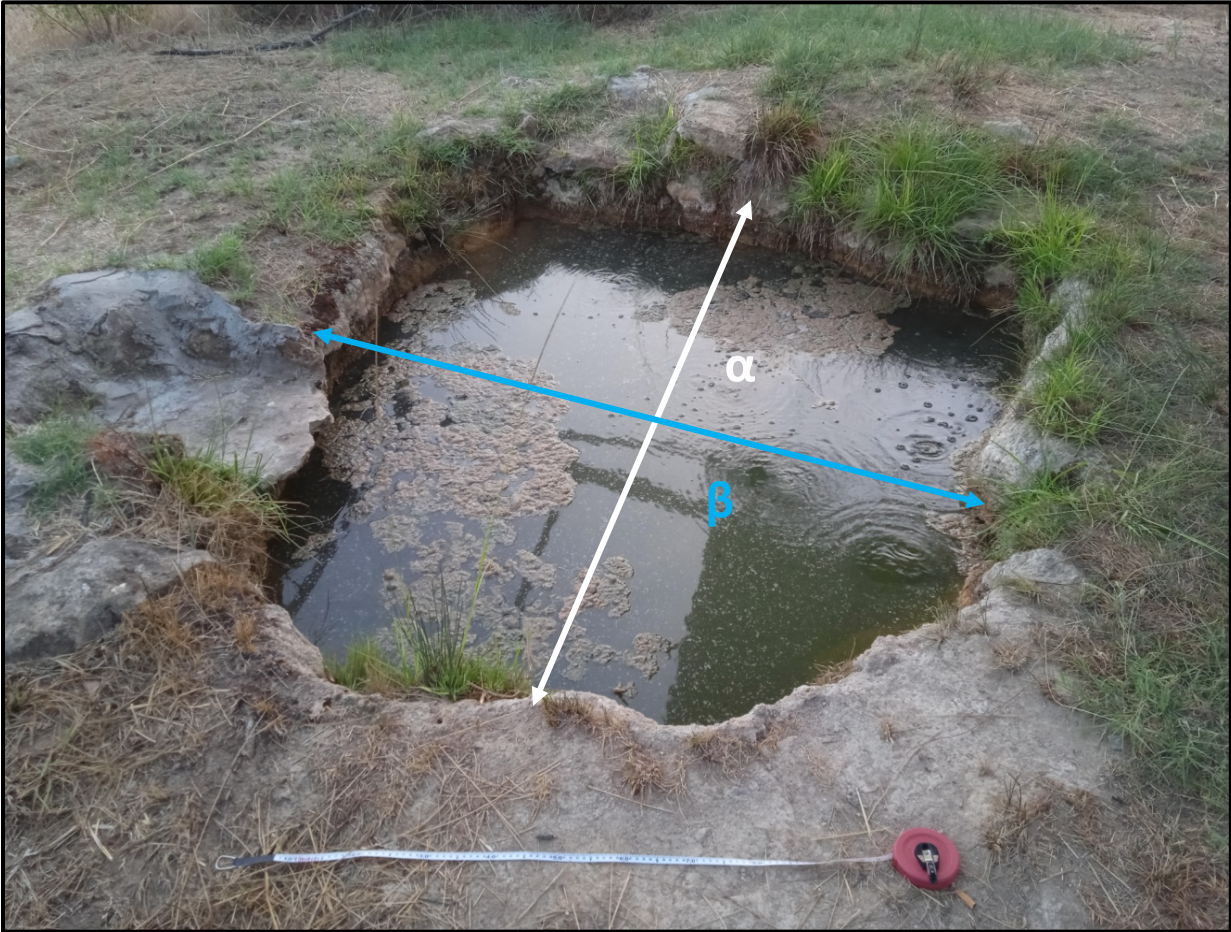
Παρατηρήθηκε ότι μεμονωμένες αντλήσεις νερού σε κάθε φρεάτιο προκαλούν αμελητέες έως μηδενικές πτώσεις στάθμης στα υπόλοιπα (Γαβριηλίδης, 2015). Πράγματι, παρατηρήσαμε ότι η αυξομείωση της στάθμης του νερού σε μία από της πηγές

δεν επιφέρει καμία αλλαγή στη στάθμη των υπολοίπων. Αυτό προκύπτει και από τις φωτογραφίες που παρατίθενται στις Εικόνες 1.12-1.13. Στις φωτογραφίες που πάρθηκαν την ημέρα των μετρήσεων (20/02/20) φαίνεται ότι η στάθμη του νερού του μεγαλύτερου κρατήρα είναι λίγα εκατοστά κάτω από το χείλος του, ενώ το νερό του μεσαίου μεγέθους κρατήρα περιορίζεται στην κυρίως οπή. Στις φωτογραφίες που πάρθηκαν την 25/08/21 παρατηρείται ότι η στάθμη του κρατήρα 1 είναι ελάχιστα εκατοστά πιο κάτω από την στάθμη της 20^{ης} Φεβρουαρίου του 2020, ενώ αντιθέτως η στάθμη του κρατήρα 2 έχει ξεπεράσει το χείλος της πηγής με αποτέλεσμα αυτή να υπερχειλίζει. Το φαινόμενο αυτό

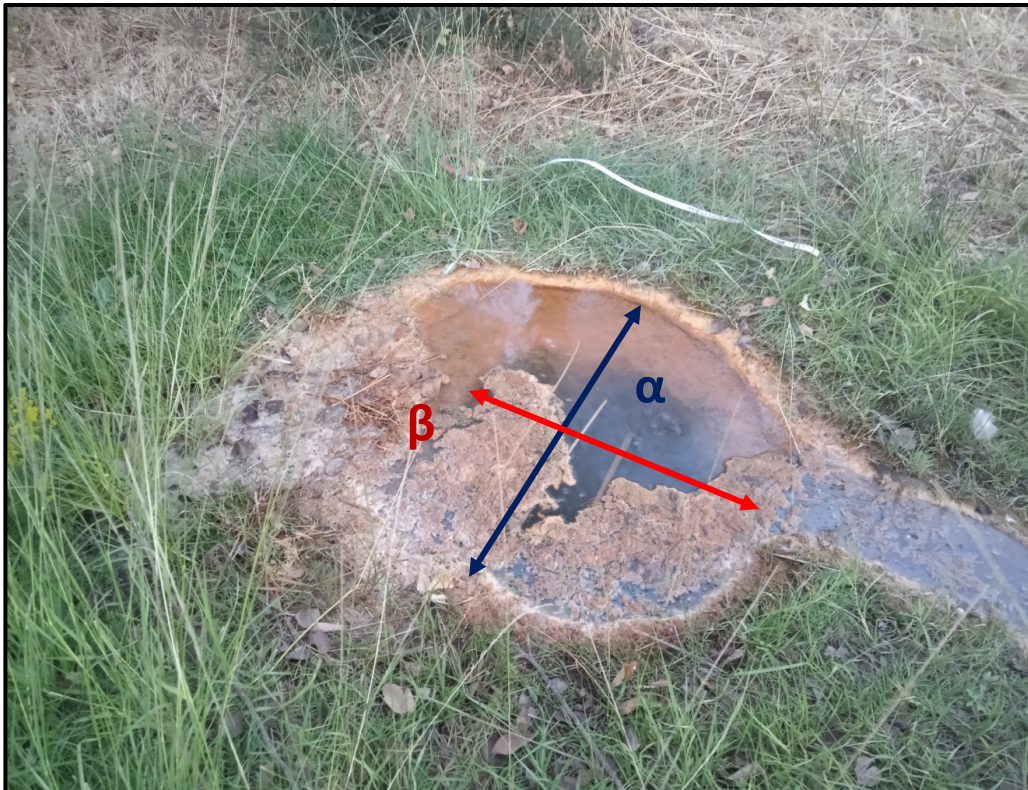


Εικόνα 1.8 Φωτογραφία του μικρότερου κρατήρα (στην Εικόνα 1.4, ο κρατήρας 3). Το σχήμα του είναι τριγωνικό και παρατηρείται κι εδώ απόθεση αλάτων.

αποδεικνύει ότι το υπόγειο σύστημα των πηγών είναι πολύπλοκο και ότι οι πηγές 1 και 2 είναι μερικώς ή και τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους. Μετρήσιμες παρατηρήσεις δεν στάθηκε δυνατόν να παρθούν.



Εικόνα 1.9 Φωτογραφία της μεγαλύτερης πηγής με τις διαστάσεις της. Η μεγαλύτερη διάσταση είναι η α και αντιστοιχεί στο λευκό βέλος, ενώ η μικρότερη είναι η β και αντιστοιχεί στο γαλάζιο βέλος.



Εικόνα 1.10

Φωτογραφία της πηγής 2 με τις διαστάσεις που μετρήθηκαν σε αυτήν. Η μεγαλύτερη διάσταση είναι η α και η μικρότερη η β . Η πηγή σε αυτή τη φωτογραφία είναι υπερχειλισμένη και το αυλάκι από άλατα που έχει σχηματιστεί και διακρίνεται στο δεξί μέρος της φωτογραφίας είναι γεμάτο με νερό από την πηγή.



Εικόνα 1.11 Φωτογραφία από τις αποθέσεις των αλάτων στο χείλος της μεγαλύτερης πηγής.



Εικόνα 1.12 Φωτογραφίες από τις πηγές 1 (δεξιά) και 2 (αριστερά) την 20/02/20.

Παρατηρείται ότι το νερό της πηγής 2 περιορίζεται μέσα στον κυρίως κρατήρα, ελάχιστα εκατοστά κάτω από το χείλος του, ενώ η στάθμη της πηγής 1 βρίσκεται περίπου 15 εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 1.13 Φωτογραφίες από τις πηγές 1 (δεξιά) και 2 (αριστερά) την 25/08/21.

Παρατηρείται ότι το νερό της πηγής 2 έχει υπερχειλίσει και ξεπερνάει για αρκετά εκατοστά την κυρίως οπή, ενώ η στάθμη της πηγής 1 είναι ελάχιστα εκατοστά χαμηλότερη από την αντίστοιχη της 20^{ης} Φεβρουαρίου.

Μετρήσεις από το φαινόμενο αυτό δεν στάθηκε δυνατόν να ληφθούν, όμως είναι φανερό ότι ενώ η στάθμη της 1^{ης} πηγής παραμένει σχεδόν σταθερή, η στάθμη της 2^{ης} πηγής μεταβάλλεται έντονα.

1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Η Ελλάδα χωρίζεται από γεωτεκτονικής απόψεως σε 12 κύριες ζώνες, οι οποίες παρουσιάζουν ΒΒΔ-NNA διάταξη, ως αποτέλεσμα της αλπικής ορογένεσης (Εικόνα 1.15). Οι ζώνες αυτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Σε αυτές που ανήκουν στην Ελληνική Ενδοχώρα, σε αυτές που ανήκουν στις Εσωτερικές Ελληνίδες και σε αυτές που αποτελούν τμήμα των Εξωτερικών Ελληνίδων, ανάλογα με το αν έχουν υποστεί ή όχι την πρώιμη Ανωιουρασική-Κατωκρητιδική ορογενετική φάση. Στον Πίνακα 1 αναφέρεται ενδεικτικά η ονομασία της κάθε ζώνης, καθώς και σε ποια από τις τρεις κατηγορίες ανήκει η κάθε μια. Στον πίνακα οι ζώνες παρουσιάζονται με σειρά από την ανατολικότερη προς τη δυτικότερη. Κάθε γεωτεκτονική ζώνη συνίσταται από μια ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά (Μουντράκης, 2010). Τα παραπάνω στοιχεία, τα οποία χαρακτηρίζουν κάθε ζώνη και την διαφοροποιούν από τις υπόλοιπες, εξαρτώνται από την παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση της ζώνης και από τη γεωδυναμική κίνηση και παραμόρφωση της.

Η περιοχή του Μεταλλικού ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και συγκεκριμένα

Πίνακας 1. Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (στην κορυφή είναι η ανατολικότερη ζώνη).

Γεωτεκτονικές Ελληνίδες ζώνες	
Μάζα της Ροδόπης	Ελληνική Ενδοχώρα
Σερβομακεδονική μάζα	
Περιοδοπική ζώνη	
Ζώνη Αξιού	Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες
Πελαγονική ζώνη	
Αττικο-Κυκλαδική ζώνη	
Υποπελαγονική (ή Ανατολικής Ελλάδας) ζώνη	

Ζώνη Παρνασσού-Γκίνας

Ζώνη Ωλονού- Πίνδου

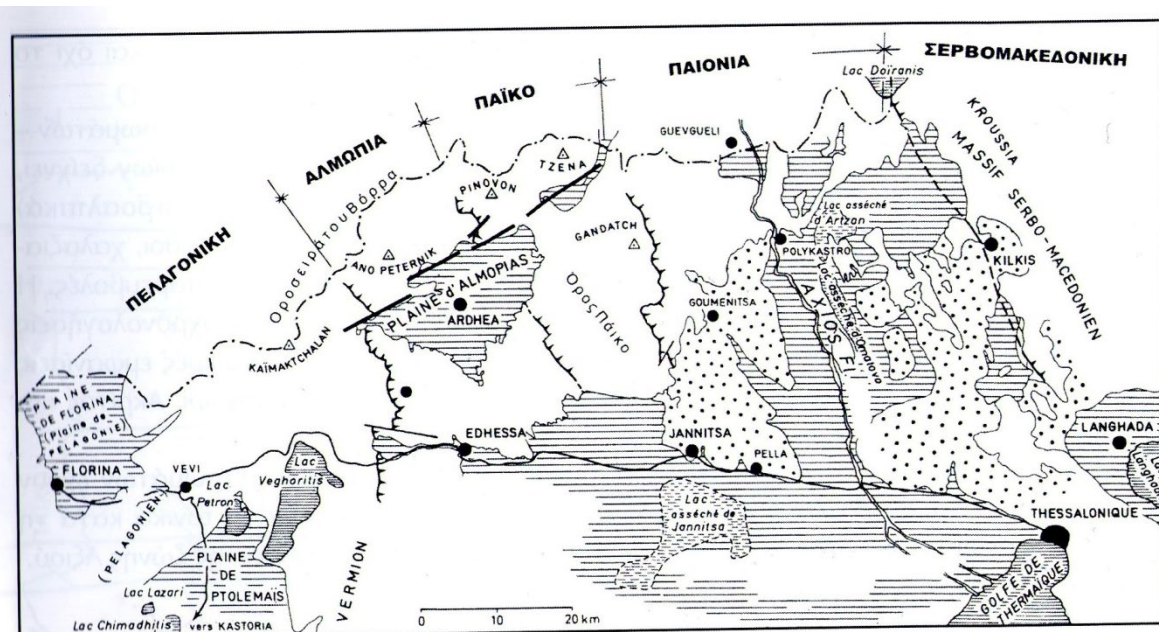
Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης

Αδριατικοϊόνιος (ή Ιόνιος) ζώνη

Ζώνη Παξών (ή Προαπουλία)

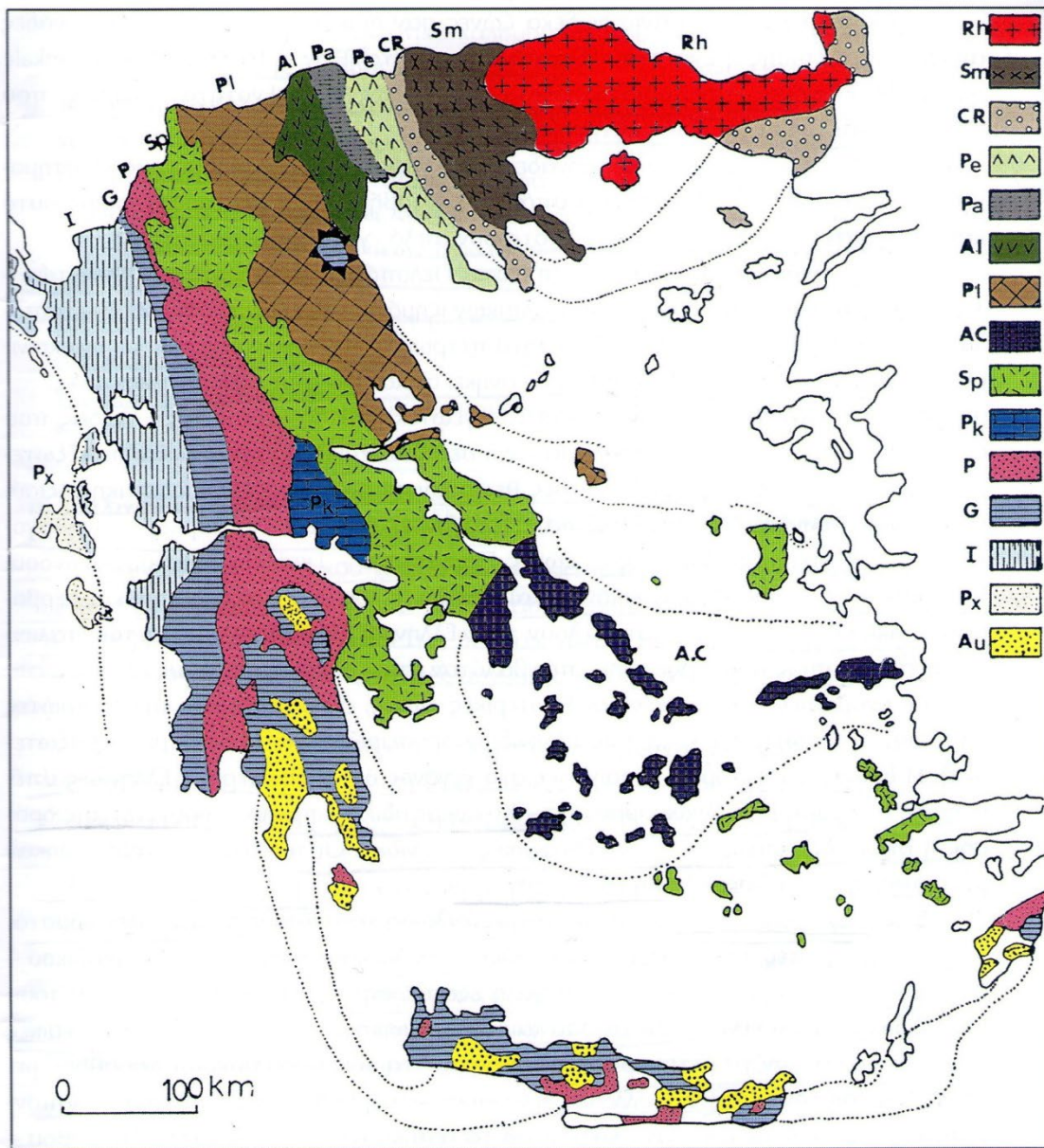
Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες

στη ζώνη Αξιού. Η ζώνη Αξιού εκτείνεται από την περιοχή των Σκοπίων μέχρι το Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο Πέλαγος, από όπου κάμπτεται προς τη Μικρά Ασία με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Υποδιαιρείται σε 3 επιμέρους ζώνες, οι οποίες από ανατολικά προς δυτικά είναι οι εξής: 1.) Υποζώνη Παιονίας, 2.) Υποζώνη Πάικου και 3.) Υποζώνη Αλμωπίας (Εικόνα 1.14). Η διαίρεση αυτή έγινε εξαιτίας της ύπαρξης μιας νηριτικής ασβεστολιθικής σειράς στην περιοχή του Πάικου, Ιουρασικής ηλικίας, χαρακτηριστικό ρηχής θάλασσας. Από την άλλη, οι ζώνες της Παιονίας και της Αλμωπίας περιλαμβάνουν Ιουρασικά ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το Πάικο αποτέλεσε υποθαλάσσια ράχη-ύβωμα, ενώ η Αλμωπία και η Παιονία θαλάσσιες αύλακες.



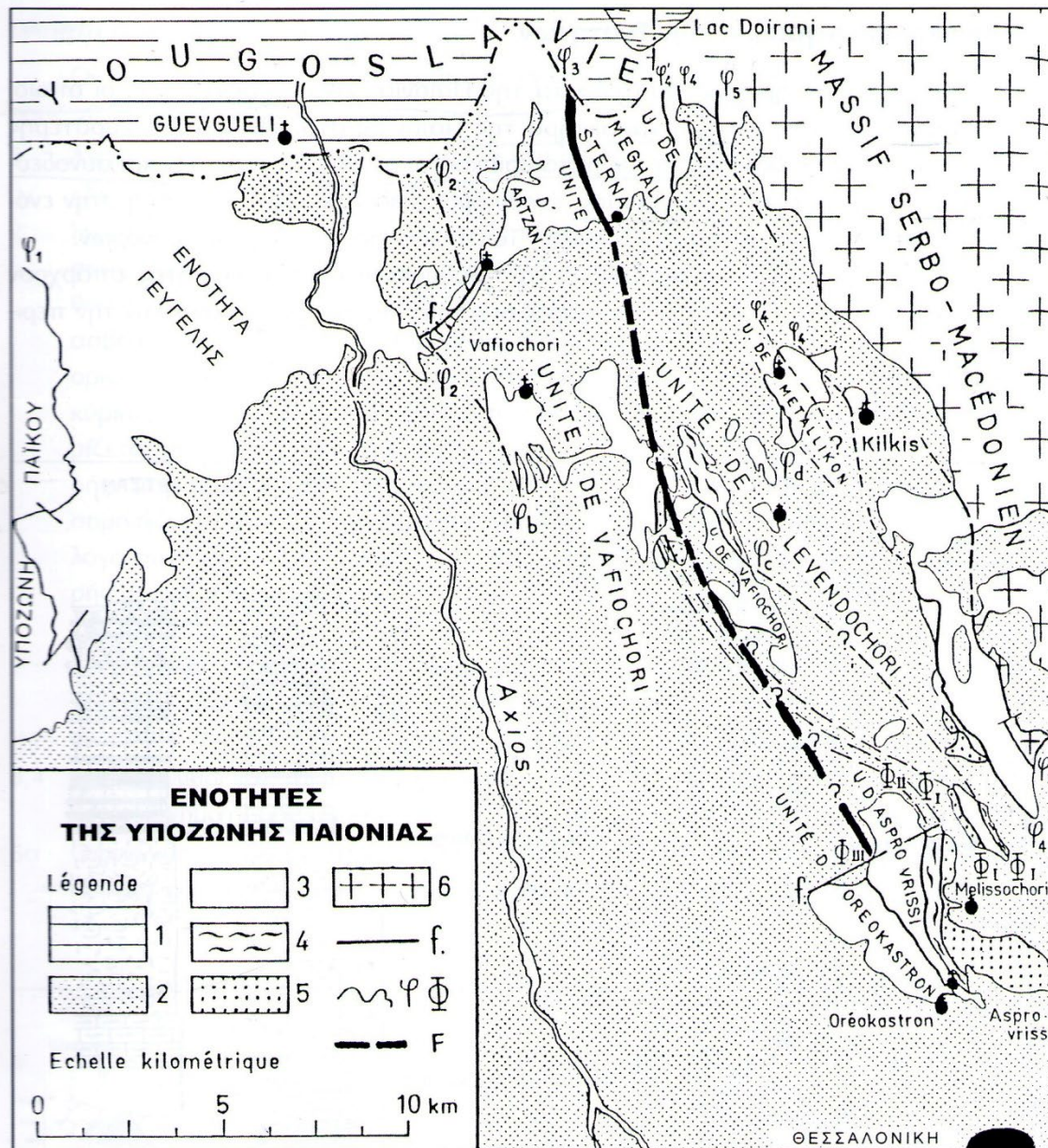
Εικόνα 1.14 Σκαρίφημα της διαίρεσης της ζώνης Αξιού στις τρεις υποζώνες Παιονίας, Πάικου και Αλμωπίας. Διακρίνονται οι τεκτονικές επαφές μεταξύ των υποζωνών. Πηγή: Μουντράκης, 2010.

Η περιοχή στην οποία εντοπίζονται οι πηγές «Γιάννες» σύμφωνα με τις επικρατέστερες απόψεις ανήκει στην υποζώνη Παιονίας. Η υποζώνη αυτή χωρίζεται σε 7 υποενότητες, βάσει τεκτονικών κριτηρίων. Αυτές είναι οι εξής: 1. Ενότητα Γευγελής, 2. Ενότητα Ωραιοκάστρου, 3. Ενότητα Βαφειοχωρίου, 4. Ενότητα Αρτζάν, 5. Ενότητα Ασπρης Βρύσης, 6. Ενότητα Μεταλλικού και 7. Ενότητα Λεβεντοχωρίου (Εικόνα 1.16).



Εικόνα 1.15 Οι Ελληνίδες ζώνες. Από ανατολικά προς δυτικά είναι οι εξής: Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι-Ταλέα Όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. Πηγή: Μουντράκης, 2010.

Από τις ενότητες αυτές, η περιοχή των πηγών εντάσσεται σε αυτήν του Μεταλλικού. Η Ενότητα Μεταλλικού παρουσιάζει την ίδια λιθοστρωματογραφία με την Ενότητα Λεβεντοχωρίου και Άσπρης Βρύσης. Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι αυτές οι τρεις ενότητες ανήκουν στην Περιοδοπική ζώνη. Παρόλα αυτά η επικρατέστερη άποψη τις εντάσσει στην ζώνη Αξιού, όπως προαναφέρθηκε. Όσον αφορά



Εικόνα 1.16 Οι ενότητες της υποζώνης Παιονίας. 1: Γιουγκοσλαβία (σήμερα κρατίδιο των Σκοπίων), 2: μεταλλικοί σχηματισμοί Νεογενούς και Τεταρτογενούς, 3: αλπικοί σχηματισμοί, 4: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της ζώνης, 5: φλύσσης, 6: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής μάζας, f: ρήγματα, φ και Φ: ανώμαλες επαφές, F: πιθανό όριο Παιονίας-Περιοδοπικής σύμφωνα με τις νεώτερες απόψεις. Πηγή: Μουντράκης, 2010.

στη λιθοστρωματογραφία τους, αποτελούνται από δύο διαπλάσεις πετρωμάτων, μια ανώτερη τεκτονικά και μια κατώτερη Τριαδικής-Κατωιουρασικής ηλικίας. Η ανώτερη διάπλαση αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (κερατόλιθους, πράσινους σχιστόλιθους, ψαμμίτες κ.τ.λ.) συμπτυχωμένα μαζί με οφειόλιθους (δολερίτες, διαβάσες κ.τ.λ.). Η κατώτερη διάπλαση αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους. Οι σχηματισμοί εμφανίζονται ελαφρώς μεταμορφωμένοι (πρασινοσχιστολιθική φάση). Η μεταμόρφωση υπολογίζεται ότι έλαβε χώρα κατά την περίοδο Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού. Η τεκτονική τοποθέτηση της ανώτερης διάπλασης πάνω στην κατώτερη έγινε με επώθηση των οφειολίθων που έλαβε χώρα πριν το Ανώτερο Ιουρασικό.

Αναλυτική περιγραφή των λιθολογικών τύπων που εμφανίζονται (ή υπάρχουν ως υπόβαθρο) στο Μεταλλικό παρατίθεται παρακάτω, μαζί με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Εικόνα 1.17), μια γεωλογική τομή (Εικόνα 1.19) και τη στρωματογραφική στήλη των σχηματισμών (Εικόνα 1.20).

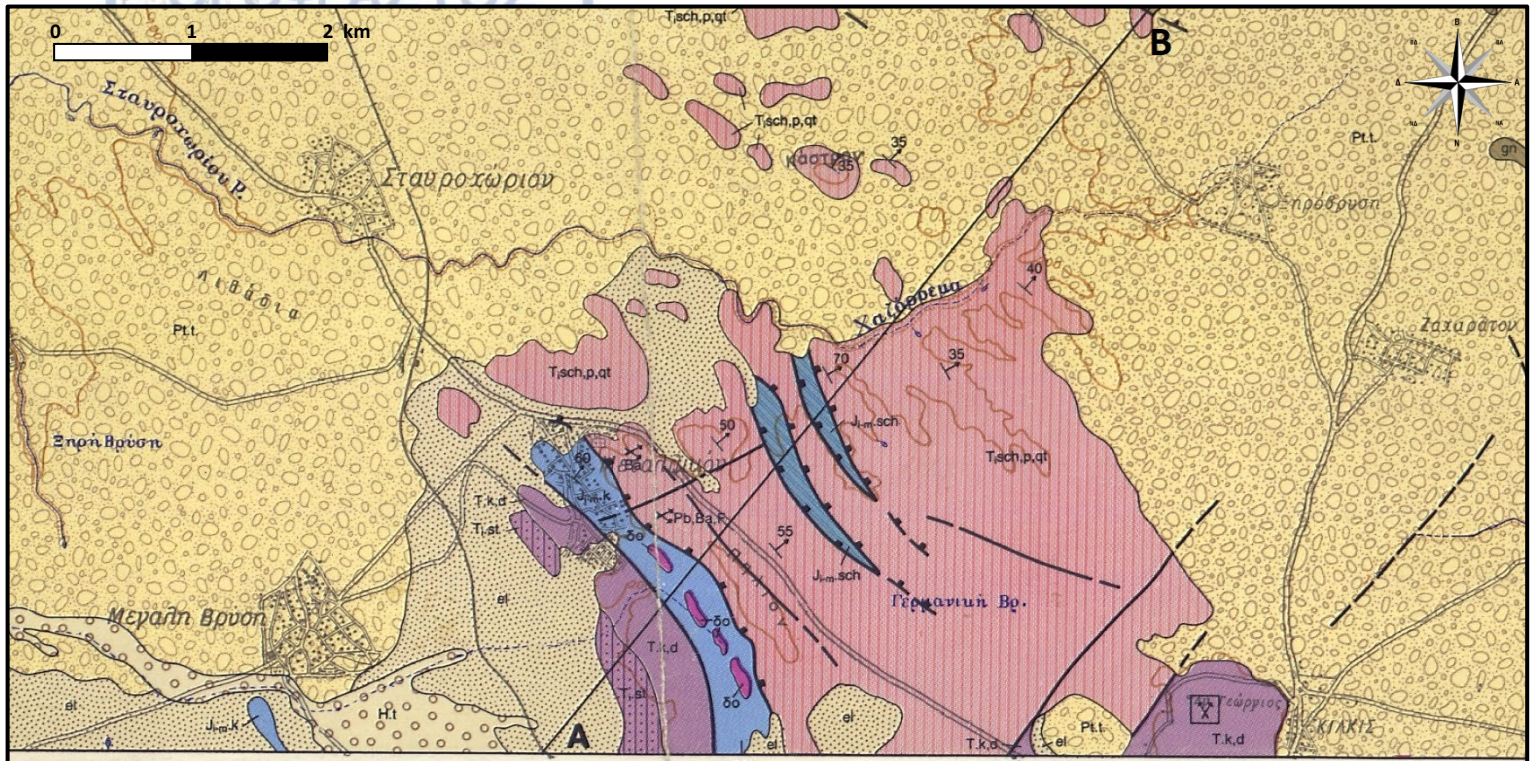
- Σχηματισμοί Προαλπικού Υποβάθρου

Οι σχηματισμοί αυτοί είναι Παλαιοζωικής ηλικίας και ανήκουν στη γεωτεκτονική ζώνη της Σερβομακεδονικής μάζας. Η παρουσία τους στο υπόβαθρο της ζώνης Αξιού, οφείλεται στη συμπτώχωση τους με τα αλπικά ιζήματα αυτής κατά τη διάρκεια της πρώτης ορογενετικής περιόδου που έλαβε χώρα στο Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό. Πρόκειται για πετρώματα, μεταμορφωμένα κατά την διάρκεια της Ερκύνιας ορογένεσης (ηλικία βάσει ραδιοχρονολόγησης, 250-300 Ma), γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς-χλωριτικούς σχιστόλιθους με μικρογρανιτικές και πηγματιτικές παρεμβολές. Εμφανίσεις αυτών εντοπίζονται στις ευρύτερες περιοχές των χωριών Γυναικοκάστρου, Ακρίτα, Μελισσοχωρίου καθώς και στην αποξηραμένη λίμνη Αρτζάν.

- Αλπικοί Σχηματισμοί της Ζώνης Αξιού (για την περιοχή του Μεταλλικού)

Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω. Περισσότερες πληροφορίες για αυτούς παρουσιάζονται στο υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη.

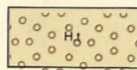
Ψηφιακή συλλογή
Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων, σύγχρονες αναβαθμίσεις: αμμούχες άργιλοι, άμμοι, ψηφίδες και χαλίκια, που προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των πλειστοκαινικών αναβαθμίσεων, με μικρού πάχους αργιλώδες κάλυμμα.

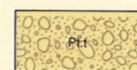


Αποσαθρώματα κυρίως από σχιστολιθικά πετρώματα και υλικά ελουθιακού μανδύα.



ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

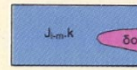
Ποταμοχερσαίες αποθέσεις και σύστημα ποταμίων αναβαθμίσεων (κατώτερο-μεσαίο-άνω): από κροκάλες, χαλίκια και άμμους με αργιλώδες κάλυμμα στο κατώτερο σύστημα και ερυθρούς αργιλούχους άμμους με μερικούς οριζόντες κροκαλοαλυπών και διάσπαρτους ογκόλιθους από μεταμορφωμένα πετρώματα διαφόρων μεγεθών στο ανώτερο σύστημα.



ΖΩΝΗ ΑΞΙΟΥ (ΥΠΟΖΩΝΗ ΠΑΙΟΝΙΑΣ)

ΚΑΤΩΤΕΡΟ - ΜΕΣΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι: σκετινότεφροι, λεπτοστρωματώδεις, μικρτικοί, και βιοσπαρτικοί με ενστρώσεις από ανοικτοκίτρινες ασβεστιτικές μάργες και σκετινότεφρους αργιλικούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους. Στις περιοχές νότια του Μεταλλικού και Τέσσαρες Τούμπες αναγνωρίστηκαν φακοί εξαλλοιωμένου **δολερίτη (δo)** με πλαγιόκλαστο, ολιβίνη, αυγίτη και μαγνητίτη με πορφυριτικό ιστό. Στους ασβεστόλιθους νότια της Μεγάλης Βρύσης βρέθηκαν Filaments πιθανής μέσο ιουραϊκής ηλικίας. Στα Κουτσοκωστέικα (βλ. φύλλο Κιλκίς) οι ασβεστόλιθοι αυτοί περιέχουν Τρηματοφόρα:



Foraminifera:

Lingulina tenera carinata (NORVANG), *Nodosaria cf. inguis* PAVARD, *Lenticulina varians forma recta* FRANKIE, *Lenticulina ruthensis* ESPIT

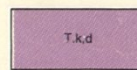
Age: Domesian.

Ηλικία: Δομέριο

ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι και δολομίτες: πρόκειται για μία σειρά ανθρακικών πετρωμάτων η οποία από κάτω προς τα πάνω αναλύεται ως εξής:

α) Σκετινότεφροι ασβεστόλιθοι: στρωματώδεις με φακούς από κοκκινωπούς έως ροδόχρωμους πλατυκονδυλώδεις ασβεστολίθους πλούσιους σε Κωνόδοντα (βλ. Γ.Χ. Κιλκίς).



Cypridodella spengleri (HUCKRIEDEL), *Neogondolella palata* BENDER, *Parachirognathus petraeviridis* (HUCKRIEDEL)

Ηλικία: Κάρνιο.

β) Λευκοί ασβεστόλιθοι: άστρωτοι ή παχυστρωματώδεις, ανακρυσταλλωμένοι με:

Macroporella beneckeii SALOMON

Ηλικία: Λαδίνιο.

γ) Δολομίτες: κίτρινοι έως λευκοί, παχυστρωματώδεις εναλλασσόμενοι με ασβεστόλιθους.

δ) Μαύροι ασβεστόλιθοι: σιδηρούχοι, λεπτοστρωματώδεις, κλαστικοί με Βραγχιονόποδα.

Cuneirhynchia trinodosi (BITTNER)

Ηλικία: Άνισιο.

ε) Σκετινότεφροι ασβεστόλιθοι: λεπτοστρωματώδεις, κλαστικοί, εναλλασσόμενοι με υπόλευκα, φαμμιτικά στρώματα και λεπτόκοκκα κροκαλοπαγή.

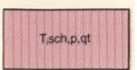
ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Φαμμίτες: κοκκινωποί έως λευκοί, μέσο έως χονδρόκοκκοι, αρκόζες και σκούρα κεραμοχρώμα μικροκροκαλοπαγή με εποισώδεις παρεμβολές από βυσσινόχρωμο, πορφυριτικό, σχιστώδη ρυόλιθο.



Ηφαιστειο-ιζηματογενής σειρά: αποτελείται κυρίως από σχιστώδεις ρυόλιθους, πρασινωπούς, έως μαύρους, κατά θέσεις βαθυκόκκινους με μικρούς σφαιλμούς αστρίων, που εναλλασσονται με βλαστοπορφυριτικούς, χαλαζιτικούς σχιστόλιθους, χαλαζίτες, τόφφους και ιγκνιμβρίτες.

Τα κατώτερα μέλη τους μπορεί να επεκτείνονται και στο Πέριμο.

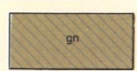


ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ

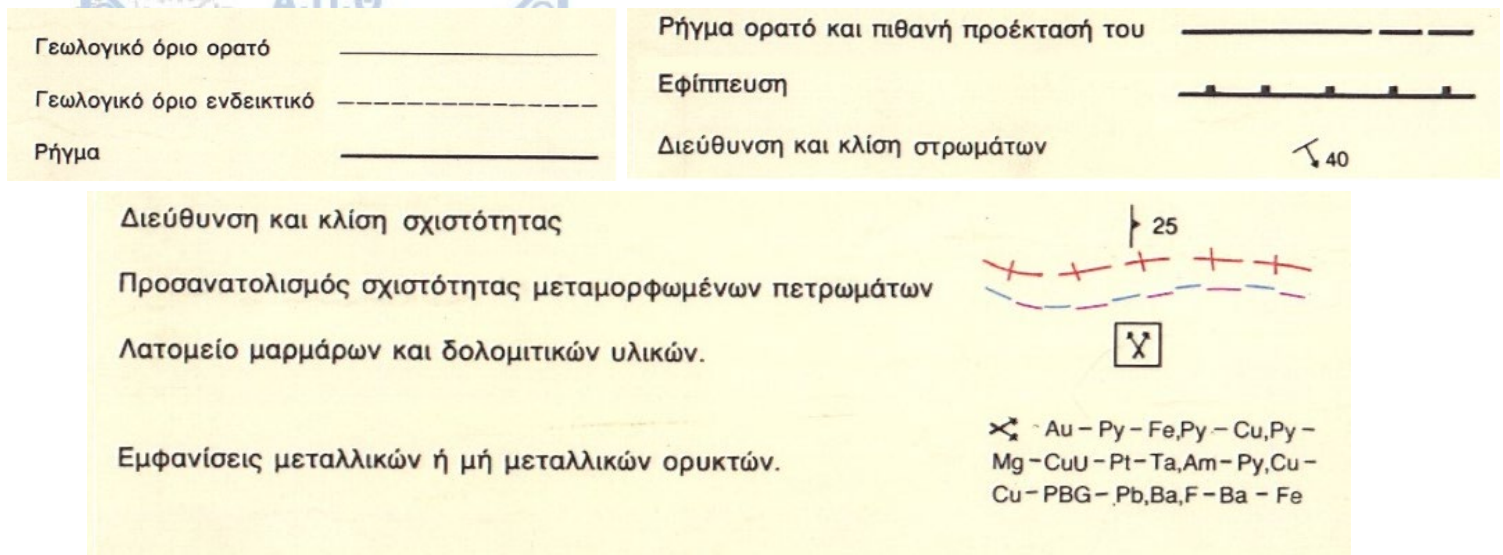
ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ

Σχηματισμός Βερτίσκου: μεταμορφωμένος σχηματισμός μεγάλου πάχους μέσα στον οποίο αναγνωρίστηκαν τα ακόλουθα:

Διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι: αποτελούν το επικρατέστερο πέτρωμα των σχηματισμών Βερτίσκου και είναι σκετινότεφροι ή καστανοί, λεπτο έως μεσοκρυσταλλικοί με πλαγιόκλαστα (Αη=25-30%), χαλαζία, μοσχολίτη, βιοτίτη, περιθιτικούς καλιούχους, άστριους, επίδοτο και εποισιώδη ορυκτά. Σε μερικές θέσεις, όπως βόρεια της Μαυροπλάγας, μέσα σ' αυτούς παρεμβάλλονται γρανιτούχοι (κυρίως αλμάνδινης) διμαρμαρυγικοί-μαρμαρυγικοί γνεύσιοι. Ακόμα, σε μερικές θέσεις απαντούν βιοιτικοί γνεύσιοι, σκετινότεφροι ή καστανοί, λεπτόκοκκοι με πλαγιόκλαστα (Αη=40%), χαλαζία, βιοτίτη, τιτανίτη και εποισιώδη ορυκτά. Συχνά αυτοί διασχίζονται από πηγματοειδείς φλέβες και παρείσκατες κοίτες με φυλλοδομή και σχιστώδεις απλικές-γρανιτικές παρείσκατες κοίτες (όπως βόρεια Μαυροπλάγας και ανατολική Κεντρικού). Οι γνεύσιοι έχουν υποστεί εν μέρει ανάδρομη μεταμόρφωση προς χλωριτικούς γνεύσιους με υπολείμματα αστρίων. Αναγνωρίστηκαν επίσης πλαγιόκλαστικοί, μικροκλινικοί γνεύσιοι ο οποίος εναλλάσσεται με γνεύσιους και σχιστόλιθους.



Εικόνα 1.17 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, μαζί με το υπόμνημα των γεωλογικών σχηματισμών. Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., Φύλλο Χέρσου.



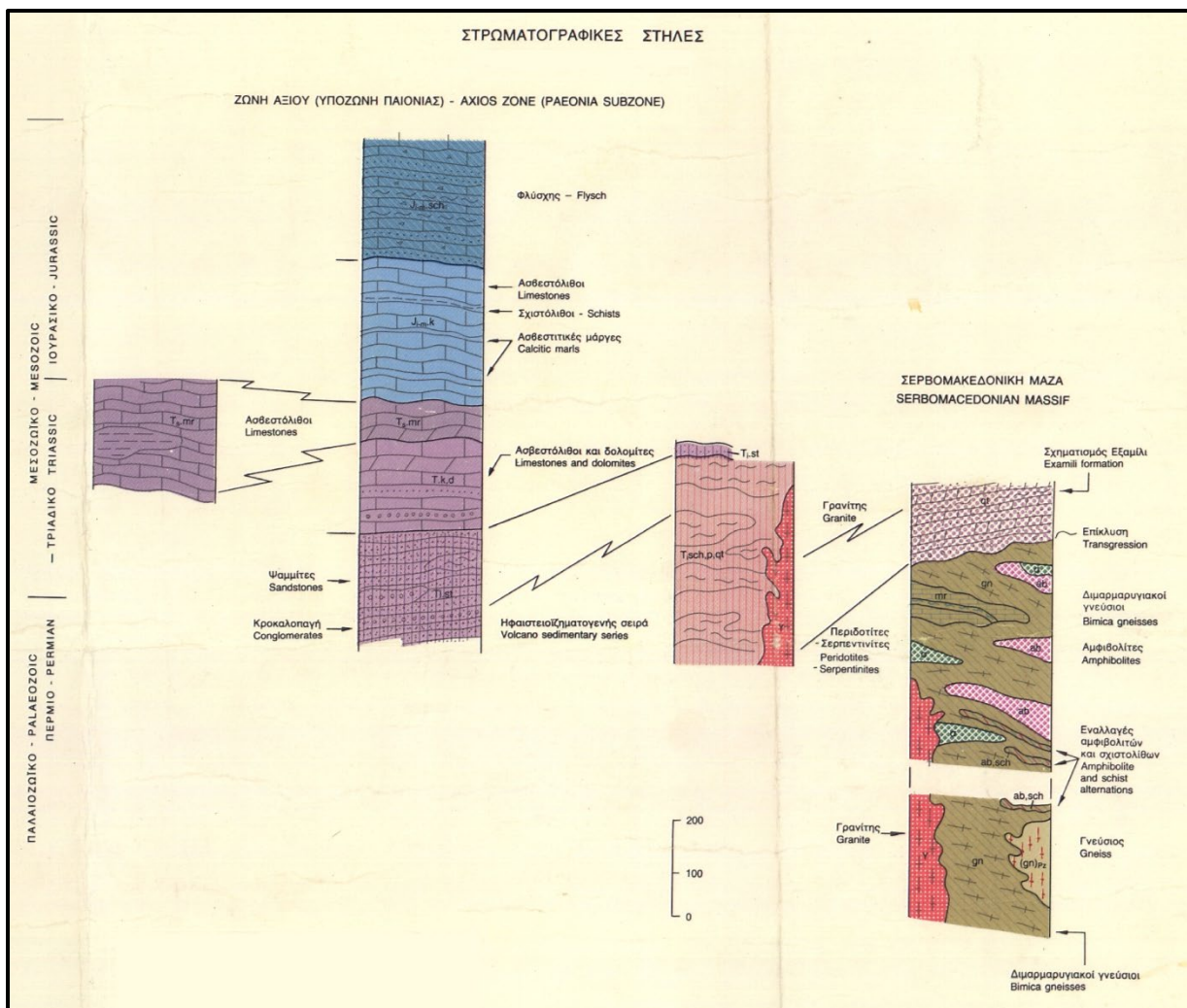
Εικόνα 1.18 Υπόμνημα των συμβόλων του γεωλογικού χάρτη της Εικόνας 1.12. Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., Φύλλο Χέρσου.

- Μεταλλικοί Σχηματισμοί

Τα μεταλλικά ιζήματα ξεκίνησαν να αποτίθενται μετά το τέλος της Αλπικής ορογένεσης στο Τριτογενές. Αποτέθηκαν ασύμφωνα επάνω στο προϋπάρχον αλπικό υπόβαθρο. Τα ιζήματα αυτά εντάσσονται από τους ερευνητές σε δύο μεγάλες κατηγορίες: 1. τα μολασσικά, η απόθεση των οποίων ξεκινάει στο Ηώκαινο και τελειώνει κατά το Μέσο-Άνω Μειόκαινο και 2. τα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα. Οι δύο κατηγορίες ιζημάτων διαφέρουν εκτός των άλλων και ως προς τη θέση απόθεσής τους. Η πρώτη κατηγορία αποτίθεται σε μεγάλες αύλακες, παράλληλες με το μέτωπο της ορογένεσης και πίσω από αυτό, ενώ τα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα αποτίθενται σε τεκτονικές (τάφρους) ή μη λεκάνες, οι οποίες αναπτύσσονται ανεξάρτητα από το μέτωπο της ορογένεσης και αρκετά πιο πίσω από αυτό, αλλά και από τις μολασσικές αύλακες. Στην περιοχή του Μεταλλικού εμφάνιση μολασσικών ιζημάτων αποτελεί η ηφαιστειο-ιζηματογενής σειρά, ηλικίας Άνω Ηωκαίνου-Κάτω Ολιγοκαίνου, η οποία αποτελείται από ιζηματογενή στρώματα και όξινα ηφαιστειακά πετρώματα. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στη Μολασσική Αύλακα Αξιού και οι περισσότεροι έχουν πλέον καλυφθεί από τα νεότερα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα.



Εικόνα 1.19 Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης. Η κάτοψη της τομής A-B υπάρχει στον γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 1.12. Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., Φύλλο Χέρσου.



Εικόνα 1.20 Στρωματογραφική ακολουθία των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης. Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., Φύλλο Χέρσου.

1.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στη Κεντρική Μακεδονία και γενικότερα στην Βόρεια Ελλάδα δρουν εφελκυστικές τάσεις, με διεύθυνση βορρά-νότου, οι οποίες οφείλονται στην ταχύτερη προς νότο κίνηση του νοτίου τμήματος της μικροπλάκας του Αιγαίου σε σχέση με το βόρειο τμήμα αυτής. Ο εφελκυσμός αυτός προκαλεί τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ και κλίση είτε προς βορρά, είτε προς νότο.

Τα πετρώματα της ζώνης Αξιού χαρακτηρίζονται από έντονη ρηξιγενή τεκτονική. Οι ρηξιγενείς ζώνες που αναπτύσσονται στα πετρώματα του υποβάθρου έχουν διευθύνσεις ΒΒΔ-ΝΝΑ, ΒΒΑ-ΝΝΔ, ΔΝΔ-ΑΒΑ και Α-Δ.

Στην περιοχή του Μεταλλικού εντοπίστηκαν στα ανατολικά της περιοχής των πηγών από τον Γ. Γαβριηλίδη (2015) οι εξής εμφανίσεις:

1. ένα επωθητικό ρήγμα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης,
2. ένα επιπνευτικό ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης επί της ασβεστολιθικής σειράς Ντεβέ Κοράν,
3. μεταπτωτικά ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ που τέμνουν την ανθρακική σειρά.

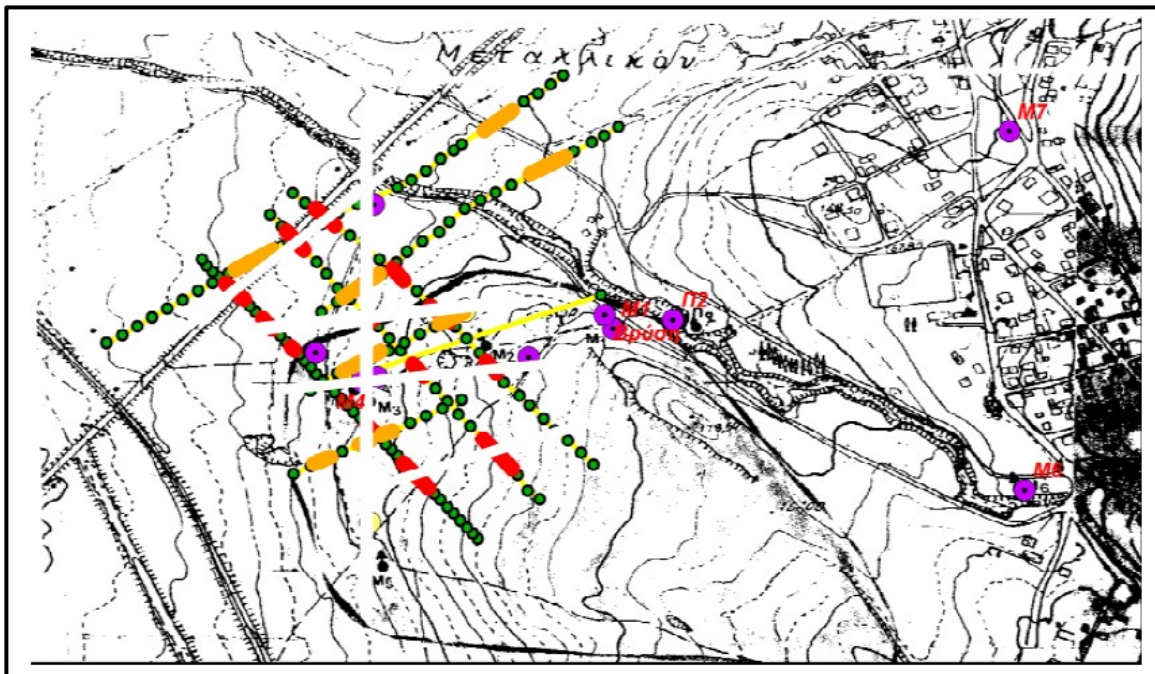
Στην περιοχή των πηγών εντοπίστηκε ρήγμα με διεύθυνση περίπου Δ-Α (70° ΒΑ) κάθετα στις παρατάξεις των σχηματισμών. Πρόκειται για κανονικό ρήγμα το οποίο πιθανόν να προεκτείνεται προς τα ανατολικά για πολλά μέτρα. Το δυτικό τμήμα αυτού του ρήγματος τέμνει την ανθρακική σειρά και στο σημείο τομής δημιουργείται η ανάβλυση των πηγών «Γιάννες».

Στα νότια του Μεταλλικού παρατηρήθηκαν τέσσερα μικρότερου μήκους ρήγματα κάθετα στις παρατάξεις των σχηματισμών. Πρόκειται για κανονικά, κατακόρυφα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ.

Βορειότερα των παραπάνω ρηγμάτων υπάρχουν ενδείξεις παρουσίας ενός ακόμη ρήγματος κάθετου στις παρατάξεις των σχηματισμών.

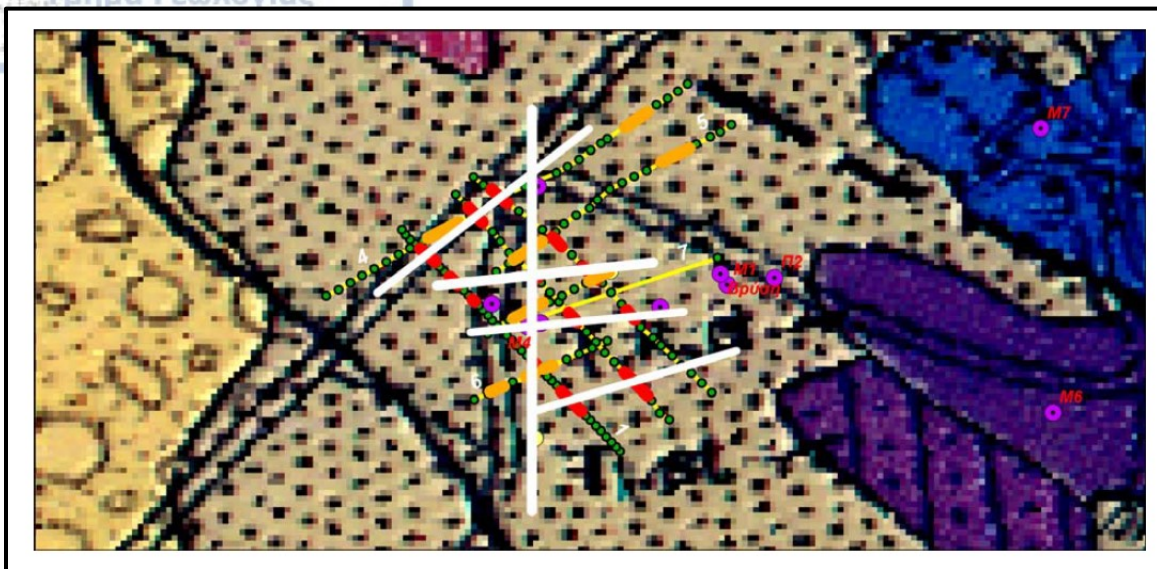
Από γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο VLF (Παπαδόπουλος, 2003) εντοπίστηκαν ρηξιγενείς αγωγίμες ζώνες διευθύνσεων Β-Ν και Α-Δ, οι οποίες διασταυρώνονται στην περιοχή ανάβλυσης των πηγών και εμφανίζουν

αυξημένη πιθανότητα υδροφορίας. Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο μηχανισμός λειτουργίας των συγκεκριμένων αναβλύσεων συνδέεται άμεσα με την ύπαρξη αυτών των διασταυρούμενων ρηγμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο χάρτες με τα αποτελέσματα της έρευνας του Παπαδόπουλου (2003), στα οποία φαίνονται οι οδεύσεις VLF και τα ρήγματα που αυτές εντόπισαν. Παρατίθεται, επίσης, και ένας χάρτης με σχεδιασμένα πάνω του τα ρήγματα της έρευνας αυτής παράλληλα με τα ρήγματα που εντόπισε στο ύπαιθρο ο Γαβριηλίδης (2015).

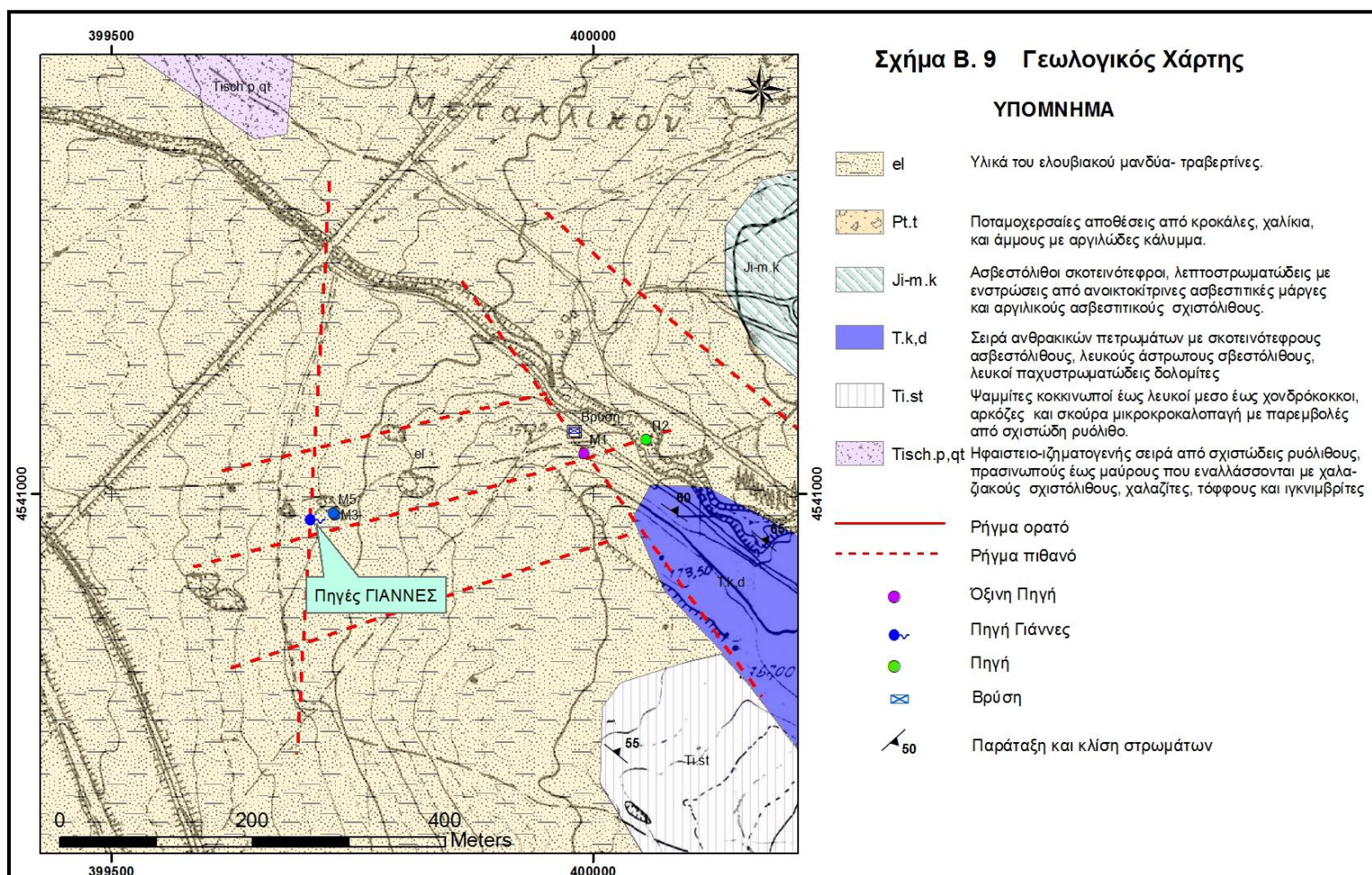


Εικόνα 1.21 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής των πηγών που δείχνει τις οδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο VLF (οι γραμμές με τα πράσινα σημεία) και τα ρήγματα που αυτές εντόπισαν (οι λευκές γραμμές), καθώς και τα σημεία τομής αυτών (των ρηγμάτων) στη περιοχή, όπου αναβλύζουν οι πηγές. Πηγή: Παπαδόπουλος, 2003.

Σύμφωνα με τα παραπάνω τεκτονικά δεδομένα προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι πηγές «Γιάννες» εκδηλώνονται μέσα από δύο τεμνόμενες ρηξιγενείς ζώνες, μία BBA-NNΔ διεύθυνσης και μία Δ-A διεύθυνσης (70° BA) μέσα από την οποία τα όξινα νερά βρίσκουν δίοδο προς την επιφάνεια.



Εικόνα 1.22 Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής που αποτυπώνει τις θέσεις των ρηγμάτων (οι λευκές γραμμές) παράλληλα με τις θέσεις των πηγών (μωβ σημεία). Πηγή: Παπαδόπουλος, 2003.



Εικόνα 1.23 Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής με αποτυπωμένες τις θέσεις των πηγών «Γιάννης» (μπλε σημεία) και τις παρατάξεις των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν. Πηγή: Γαβρηλίδης, 2015.

1.4 ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

1.4.1 Υδατικά συστήματα

Οι υπό μελέτη πηγές του χωριού Μεταλλικό εντάσσονται στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας (GR10) και συγκεκριμένα στην υδρολογική λεκάνη (ή αλλιώς Λεκάνη Απορροής) του Αξιού ποταμού (GR03). Επιπλέον, ανήκουν στο Υπόγειο Υδατικό Σύστημα του ίδιου ποταμού (GR1000030). Το Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας καταλαμβάνει μια έκταση 10.165 km², και περιλαμβάνει τμήματα των νομών Κιλκίς, Θεσσαλονίκης, Σερρών, Πέλλας, Ημαθίας και ολόκληρο το νομό Χαλκιδικής. Τα φυσικά σύνορα του διαμερίσματος αυτού ορίζονται από τα όρη Κερδύλλια, Βερτίσκοι και Κρούσια στα ανατολικά, το όρος Μπέλες στα βόρεια και το Πάικο στα δυτικά. Μέρος του υδατικού αυτού διαμερίσματος



Εικόνα 1.24 Χάρτης στον οποίο φαίνονται τα Υδατικά Διαμερίσματα της Ανατολικής (GR11), της Κεντρικής (GR10) και της Δυτικής Μακεδονίας (GR09). Εστίαση γίνεται στη Λεκάνη Απορροής του Αξιού (ΛΑΠ = Λεκάνη Απορροής Ποταμού), στην οποία εντοπίζονται και οι πηγές «Γιάννες». Πηγή εικόνας: Ειδική Γραμματεία Υδάτων, ίδια επεξεργασία.

καταλαμβάνει και η υδρολογική λεκάνη του Αξιού (Εικόνα 1.24). Η λεκάνη αυτή έχει έκταση περίπου 20.061 km², από τα οποία μόνο τα 3.327 km² βρίσκονται εντός της ελληνικής επικράτειας. Όσον αφορά το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα του ποταμού Αξιού, αυτό έχει έκταση 1.319,15 km².

1.4.2 Υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών

Ως υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) ορίζεται μια ποσότητα που εκφράζει το μέτρο της ευκολίας ή της δυσκολίας με την οποία το νερό κινείται μέσα από ένα μέσο (έδαφος, ιζήματα, πετρώματα κ.τ.λ.). Έχει διαστάσεις ταχύτητας και εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου (σχήμα, μέγεθος και διάταξη των κόκκων αν πρόκειται για πορώδες πέτρωμα) και από τις ιδιότητες του υγρού (συνήθως του νερού).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται ανάλογα με τη δυνατότητα που παρέχουν στο νερό να διεισδύσει και να κινηθεί μέσα στη μάζα τους με την επίδραση της βαρύτητας σε δύο μεγάλες κατηγορίες: 1. στους υδροπερατούς και 2. στους αδιαπέρατους σχηματισμούς (Βουδούρης, 2013). Στην περιοχή του Μεταλλικού τα πετρώματα διαχωρίστηκαν από τον Γ. Γαβριηλίδη (2015) σε περατούς (με συντελεστή διαπερατότητας έως 10⁻⁵ m/sec), σε ημιπερατούς (με συντελεστή διαπερατότητας από 10⁻⁵ m/sec έως 10⁻⁷ m/sec) και σε αδιαπέρατους (με συντελεστή διαπερατότητας μικρότερο από 10⁻⁷ m/sec). Παρακάτω θα περιγραφούν συνοπτικά οι τρεις κατηγορίες σχηματισμών.

Περατοί σχηματισμοί

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

1. Οι ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Πλειστοκαίνου, οι οποίες εντοπίζονται σε επάλληλα στρώματα από το βάθος των 10 μέτρων έως το βάθος των 200 μέτρων.
2. Τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι του Ιουρασικού και ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Τριαδικού). Το υπόγειο νερό που κυκλοφορεί διαμέσου των διαφόρων ρωγμών και εγκοίλων, που παρουσιάζουν αυτού του είδους τα πετρώματα, εμπλουτίζονται σε ιόντα του ασβεστίου (Ca²⁺) και του μαγνησίου (Mg²⁺).

Ημιπερατοί σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν:

1. Τα αποσαθρώματα Ολοκαινικής ηλικίας, τα οποία προέρχονται από σχιστολιθικά πετρώματα και από υλικά του ελουβιακού μανδύα.

2. Οι ψαμμίτες του Περμοτριάδικου (ανήκουν σε φλυσχοειδή σχηματισμό) και οι ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι.

3. Οι μεταβασίτες (βασικά πυριγενή πετρώματα που υπέστησαν μεταμόρφωση). Το υπόγειο νερό που κυκλοφορεί διαμέσου αυτών των σχηματισμών εμπλουτίζεται σε SiO_2 , σε Ca^{2+} και σε Mg^{2+} , από ορυκτά όπως ο κλινοζοϊσίτης και το επίδοτο που περιέχονται στους σχηματισμούς αυτούς.

Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Σε αυτούς τους σχηματισμούς το νερό κινείται κυρίως μέσω διακλάσεων και ρηγμάτων, αφού το πρωτογενές πορώδες είτε απουσιάζει εντελώς, είτε υπάρχει σε πολύ μικρό ποσοστό. Σε αυτούς ανήκουν:

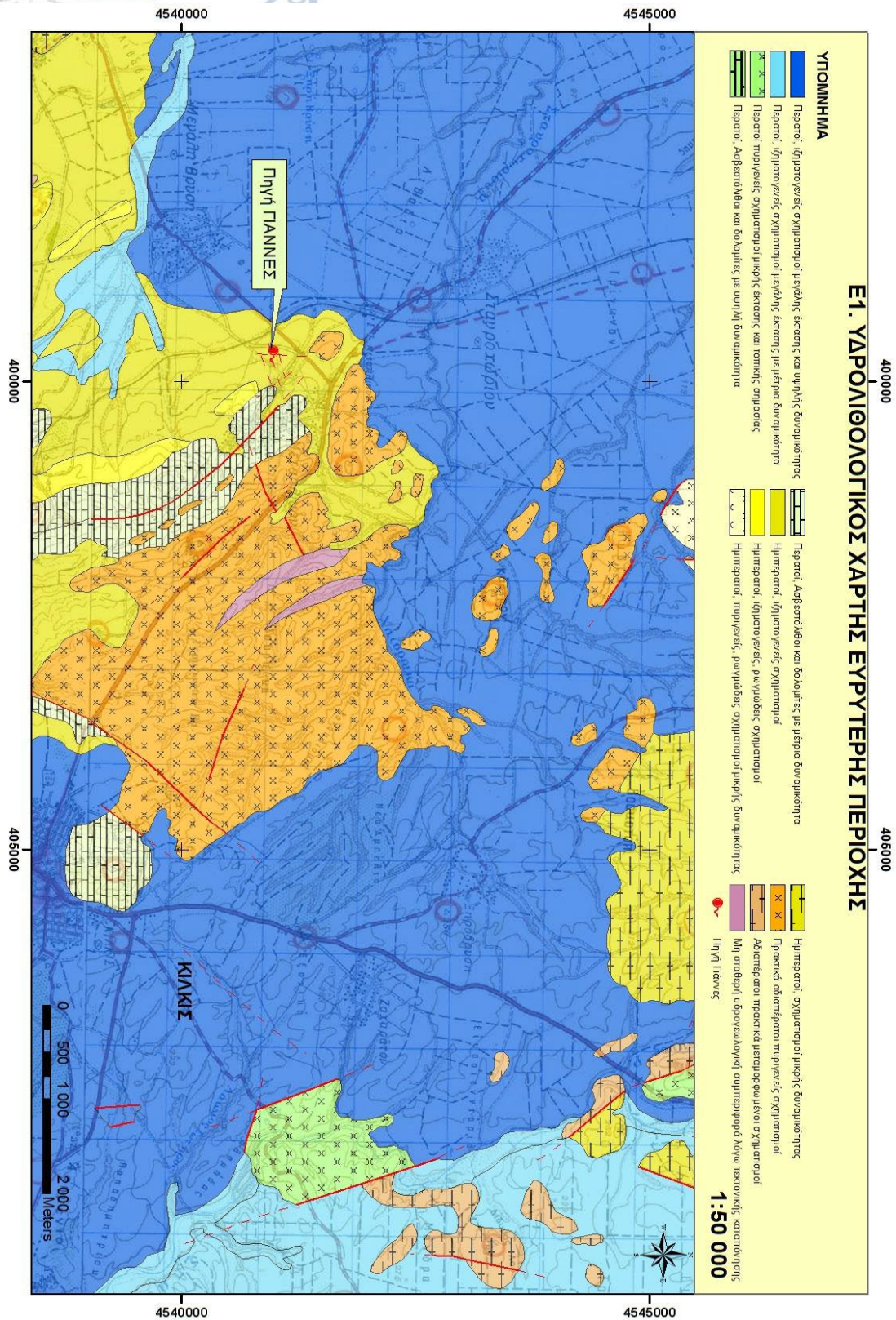
1. Οι ρυόλιθοι και τα φυλλιτικά πετρώματα της ηφαιστειο-ιζηματογενούς σειράς του Κατώτερου Τριαδικού. Το νερό που διεισδύει σε αυτούς τους σχηματισμούς εμπλουτίζεται σε Na^+ και Ca^{2+} , έναντι του K^+ και του Mg^{2+} , αντίστοιχα.

2. Οι αργιλικοί σχηματισμοί, οι οποίοι είναι γενικά αδιαπέρατοι και θεωρούνται στεγανοί.

Το νερό που τροφοδοτεί το υπόγειο υδατικό σύστημα της περιοχής των πηγών προέρχεται κατά κόρον από την κατείσδυση των κατακρημνισμάτων και του νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Η κατείσδυση πραγματοποιείται μέσω των υδροπερατών σχηματισμών ή διαφόρων ρηξιγενών ζωνών και το νερό φτάνει σε μεγάλα βάθη. Το ίδιο ισχύει και κατά την άνοδο των υπόγειων νερών, τα οποία βρίσκουν «διέξοδο» προς την επιφάνεια μέσω ρηγμάτων. Σύμφωνα με τη μελέτη που διεκπεραίωσε ο Γ. Γαβριηλίδης (2015), τα ρήγματα που τροφοδοτούν το υπόγειο σύστημα βρίσκονται εντός των Ιουρασικών ασβεστολίθων και είναι διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Τα ρήγματα που χρησιμεύουν για την άνοδο των ρευστών είναι ηλικίας Τριαδικού και βρίσκονται εντός της αντίστοιχης ανθρακικής σειράς.

Παρακάτω παρατίθεται ο υδρολιθολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής των πηγών, ο οποίος αντλήθηκε από την εργασία του Γ. Γαβριηλίδη (2015).

Ψηφιακή συλλογή
 Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
 Κυλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.





Παράδειγμα ενός
πορώδους
πετρώματος
(αριστερά-
βασάλτης) και ενός
αδιαπέρατου
(δεξιά-άργιλος).
Πηγή: διαδίκτυο



1.4.3 Φυτικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού των πηγών

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του νερού των πηγών «Γιάννες» που θα αναφερθούν χωρίζονται σε φυσικά και σε χημικά. Από τα φυσικά χαρακτηριστικά θα αναφερθεί η θερμοκρασία, το χρώμα, η διαύγεια, η οσμή, η ραδιενέργεια κ.α. Από τα χημικά χαρακτηριστικά θα γίνει αναφορά στο pH, στην αγωγιμότητα, στη σκληρότητα, κ.α. Τα στοιχεία αυτά αντλήθηκαν από μετρήσεις και έρευνες που έγιναν επί τόπου ή/και στο εργαστήριο από διαφορετικούς μελετητές και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτά των πηγών διαφέρουν μεταξύ των τριών σημείων ανάβλυσης.

Αρχικά γίνεται παράθεση των στοιχείων που ανακοίνωσε ο Μ. Περτέσης σε δημοσίευμα της Γεωλογικής Υπηρεσίας της Ελλάδος το 1937, μετά από μετρήσεις που πραγματοποίησε το 1934 (πηγή των πληροφοριών αυτών δεν είναι το ίδιο το δημοσίευμα του Περτέση, αλλά η μελέτη του Γ. Γαβριηλίδη, που διεξήχθη το 2015). Πρόκειται για την παλαιότερη, αλλά και ακριβέστερη περιγραφή των φυτικοχημικών χαρακτηριστικών των πηγών του Μεταλλικού. Τα χαρακτηριστικά του νερού των πηγών σύμφωνα με τον Περτέση είναι τα παρακάτω:

Χαρακτηρισμός	Των αλκαλικών γαιών οξυπηγή.
Οργανοληπτικοί χαρακτήρες νερού	
Διαύγεια	Τέλεια
Οσμή	Ουδεμία
Γεύση	Υπόξυνος, ευχάριστος
Χρώμα	Ουδέν

Φυσικοχημικές σταθερές

Θερμοκρασία νερού πηγών/αέρα	17,5° C/16,7° C
Ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα	2.220 μS/cm
Οσμωτική πίεση	1,16 atm
Ραδιενέργεια	1,4 μονάδες Mache
Εκθέτης υδρογόνου pH	6,25 (στους 18°)

Χημική ανάλυση

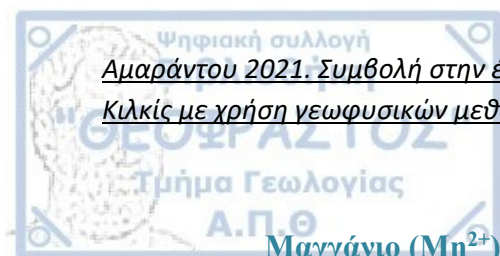
Στερεό υπόλειμμα στους 180°	1,4343 gr σε 1 lit
Ολικό ανθρακικό οξύ	Ένα χιλιόγραμμο νερού περιέχει 2,5054 gr ανθρακικού οξέος, υπολογιζομένου ως CO ₂
Οξυγόνο διαλελυμένο	Ένα χιλιογ. περιέχει 0,00019 γρ. διαλελυμένου οξυγόνου
Μη διυστάμενα οξέα	Ένα χιλιόγραμμο νερού περιέχει 0,0273 γρ. μεταπυριτικού οξέος (H ₂ SiO ₃)

Κατιόντα και Ανιόντα

Ένα χιλιόγραμμο νερού περιέχει

Κατιόντα	
Κάλιο (K ⁺)	0.0303 γραμ.
Νάτριο (Na ⁺)	0,0480
Αμμώνιο (NH ₄ ⁺)	0,000020
Ασβέστιο (Ca ²⁺)	0,3480
Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	0,0926
Σίδηρο (Fe ²⁺)	0,00038

Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κυλκός με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.



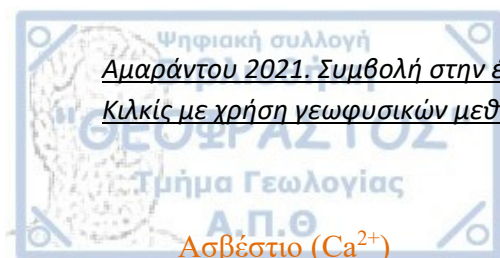
Μαγγάνιο (Mn^{2+})	0,00056
Αργίλιο (Al^{3+})	0,000070
Ανιόντα	
Χλώριο (Cl^-)	0,0344 γραμ.
Ιώδιο (I^-)	0,000012
Θειικό (SO_4^{2-})	0,0664
Υδροφωσφορικό (HPO_4^{2-})	0,000060
Υδροανθρακικό (HCO_3^-)	1,557

Ποιοτικές ανιχνεύσεις

Απουσία νιτρωδών αλάτων
Έχνη νιτρικών αλάτων
Απουσία ενώσεων του αρσενικού
Απουσία λιθίου
Απουσία βρωμίου
Έχνη στροντίου (φασματοσκοπικώς)

Στοιχεία σε ίχνη

Χιλιοστοϊόντα και Χιλιοστοϊσοδύναμα		
Ένα χιλιόγραμμο νερού περιέχει		
Κατιόντων	Χιλιοστοϊόντα	Χιλιοστοϊσοδύναμα
Κάλιο (K^+)	0,7750	0,775
Νάτριο (Na^+)	2,087	2,087
Αμμώνιο (NH_4^+)	0,0011	0,0011



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»
Κυλίκς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

Ασβέστιο (Ca^{2+})	8,6841	7,368
Μαγνήσιο (Mg^{2+})	3,807	7,614
Σίδηρο (Fe^{2+})	0,0068	0,0136
Μαγγάνιο (Mn^{2+})	0,010	0,020
Αργίλιο (Al^{3+})	0,0026	0,0078
Σύνολο		27,886
Ανιόντων	Χιλιοστοϊόντα	Χιλιοστοϊσοδύναμα
Χλώριο (Cl^-)	0,970	0,970
Ιώδιο (I^-)	0,0001	0,0001
Θειϊκό (SO_4^{2-})	0,691	1,382
Υδροφωσφορικό (HPO_4^{2-})	0,0006	0,00012
Υδροανθρακικό (HCO_3^-)	25,533	25,533
Σύνολο		27,886
Μεταπυριτικό οξύ (H_2SiO_3)	0,350	
Ελεύθερου Οξυγόνου (O_2)	0,006	
Ελεύθερου ανθρακ. Οξέος (CO_2)	31,418	

ΟΓΚΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

(ενός χιλιογράμμου νερού, με θερμοκρασία πηγής 17,5° και πίεση 760 χιλιοστά)

Του ελεύθερου ανθρακικού οξέος	743,3 cm ³
Του ελεύθερου οξυγόνου	0,14 cm ³

Μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των πηγών πραγματοποίησαν εκτός από τον Μ. Περτέση, ομάδα του τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΑΠΘ (1998), το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ-2004), το εργαστήριο χημικών αναλύσεων AGROLAB με εντολή του ίδιου του Δήμου Κιλκίς (2014) και ο Γ. Γαβριηλίδης (2015). Από τις παραπάνω μετρήσεις γίνεται στη συνέχεια παράθεση των πιο πρόσφατων, δηλαδή αυτών που αντλήθηκαν από την υδρογεωλογική-γεωλογική μελέτη του Γ. Γαβριηλίδη, που πραγματοποιήθηκε το 2015, στα πλαίσια του προγράμματος «Αναγνώριση της πηγής «Γιάννες» στο Μεταλλικό, Κιλκίς, ως Ιαματικής».

Πίνακας 2. Μετρήσεις φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των πηγών «Γιάννες». Πηγή πληροφοριών: Γαβριηλίδης, 2015.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
	Θερμοκρασία (°C)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	pH
10/01/2015	15,20	2.150	6,40
18/05/2015	17,50	2.400	6,35
17/08/2015	22,10	2.550	6,15
07/12/2015	15,00	2.460	6,30

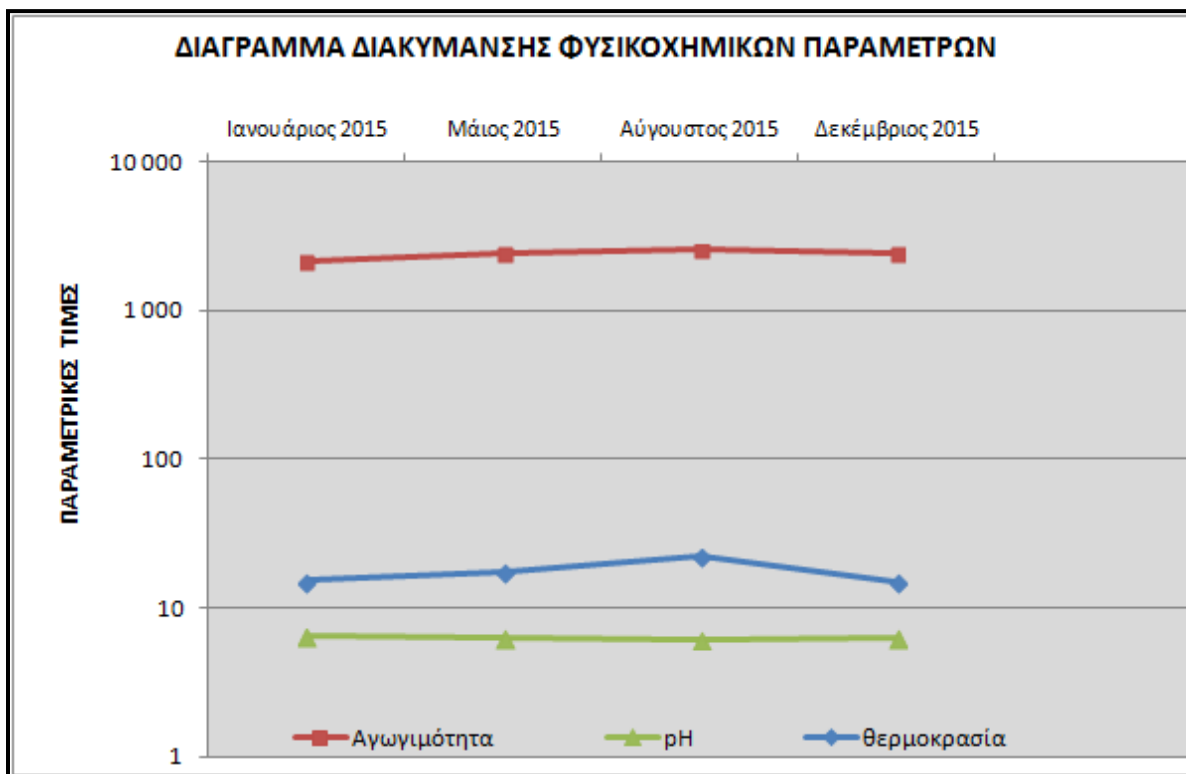
Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγει ο Γαβριηλίδης μετά τις μετρήσεις που πραγματοποίησε είναι ότι προκύπτει μια σταθερότητα των φυσικοχημικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, pH) του νερού στη διάρκεια του έτους, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που βρίσκεται παρακάτω (Εικόνα 1.25).

1.4.4 Κλιματικοί παράγοντες της περιοχής

Τόσο οι κλιματικές, όσο και οι εποχικές αλλαγές επηρεάζουν τον υδρολογικό κύκλο και κατά συνέπεια τον φυσικό εμπλουτισμό των υδροφορέων, τη στάθμη του υπόγειου νερού και την ποιότητά του. Όσον αφορά την περιοχή των πηγών υπολογίστηκε ότι οι μεταβολές του ποσού των κατακρημνισμάτων με την εναλλαγή των εποχών επιφέρουν σημαντικές διακυμάνσεις στο ύψος της στάθμης του νερού μέσα στα φρεάτια ανάβλυσης (Γαβριηλίδης, 2015).

Σύμφωνα με στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού «ΔΟΪΡΑΝΗ», ο οποίος βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 145 μέτρα, από το 1980 έως το 2001:

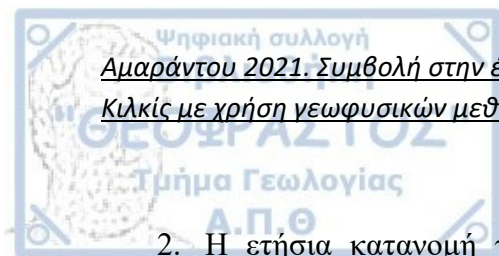
1. Οι βροχοπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή των πηγών παρουσιάζουν ετησίως απλή κύμανση με μέγιστο τους μήνες Νοέμβριο-Δεκέμβριο (68,4 mm) και ελάχιστο τον Αύγουστο (27,3 mm).
2. Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 14,81 °C.
3. Η ετήσια κατανομή της μέσης θερμοκρασίας παρουσιάζει και αυτή απλή κύμανση με μέγιστο τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο (25,4 °C) και ελάχιστο τους μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο (4,5 °C).



Εικόνα 1.25 Διακύμανση φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού της πηγής «Γιάννες». Είναι φανερή η σταθερότητα των τιμών τους κατά τη διάρκεια του έτους. Πηγή: Γαβριηλίδης, 2015.

Εκτός των παραπάνω στοιχείων, παρουσιάζονται παρακάτω λίγα στοιχεία για τις κλιματολογικές παραμέτρους της περιοχής των πηγών «Γιάννες», τα οποία αντλήθηκαν από την εργασία του γεωλόγου Γ. Γαβριηλίδη. Για την περίοδο 1975 έως 2004:

1. Η τιμή της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας υπολογίστηκε στα 64,13%.



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες»

Κυλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

2. Η ετήσια κατανομή της σχετικής υγρασίας παρουσιάζει μέγιστες τιμές την περίοδο από Νοέμβριο έως Φεβρουάριο (71%-76%) και ελάχιστες από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο (51-52%).
3. Η μέση ετήσια ηλιοφάνεια φτάνει τις 2.297 ημέρες.
4. Ο ουρανός της περιοχής παρουσιάζει τη μέγιστη νεφοκάλυψη (5/8) κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης ονομάζονται όλες εκείνες οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από τον κλάδο της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής για την μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού (Παπαζάχος, 1996). Κατά τη διάρκεια μιας γεωφυσικής διασκόπησης με κατάλληλα όργανα γίνονται μετρήσεις φυσικών μεγεθών, όπως είναι η διαφορά δυναμικού ενός ηλεκτρικού πεδίου (τεχνητά ή φυσικά παραγόμενου), η ένταση ενός μαγνητικού πεδίου ή του βαρυτικού πεδίου της Γης, οι χρόνοι διαδρομής τεχνητά παραγόμενων ελαστικών κυμάτων μέσα στα στρώματα του φλοιού της Γης κ.τ.λ. Στη συνέχεια οι μετρήσεις αυτές «μεταφράζονται» σε διαφορετικές φυσικές ποσότητες, όπως είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και η πυκνότητα των πετρωμάτων και η ταχύτητα διάδοσης των τεχνητά παραγόμενων ελαστικών κυμάτων μέσα σε αυτά, μέσα από τις οποίες υπάρχει η δυνατότητα πιο άμεσου χαρακτηρισμού των φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων και γενικότερα του υπεδάφους.

Οι μέθοδοι αυτές ανήκουν στις παρακάτω πέντε διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με τα μέσα που χρησιμοποιούν για τον εντοπισμό των διαφόρων δομών ενδιαφέροντος: 1. στις σεισμικές, 2. στις βαρυτικές, 3. στις μαγνητικές, 4. στις ηλεκτρικές και 5. στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους. Από αυτές τις μεθόδους, άλλες ανήκουν στην κατηγορία των παθητικών και άλλες σε αυτήν των ενεργητικών μεθόδων. Στις παθητικές μεθόδους ανήκουν εκείνες που βασίζονται σε φυσικά παραγόμενα πεδία για να διερευνήσουν ένα πιθανό στόχο (σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν σεισμικά κύματα από σεισμούς), ενώ οι ενεργητικές καταγράφουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την

εφαρμογή τεχνητά παραγόμενων πεδίων στο υπέδαφος (σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν τεχνητά παραγόμενα ελαστικά κύματα).

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει συνοπτική παρουσίαση των γεωφυσικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες». Πρόκειται για τις ηλεκτρικές μεθόδους του Φυσικού Δυναμικού (SP-Self Potential), της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (ERT-Electrical Resistivity Tomography/Imaging) και της Επαγόμενης Πόλωσης (IP-Induced Polarization). Ο λόγος για τον οποίο έγινε χρήση τριών διαφορετικών μεθόδων είναι γιατί ο συνδυασμός τους διευκολύνει την ερμηνεία των μετρήσεων και δίνει πιο ακριβή και ασφαλή συμπεράσματα. Επίσης, η αδυναμία της μεθόδου του φυσικού δυναμικού (την οποία εφαρμόσαμε αρχικά) να υπολογίσει ποσοτικά τα χαρακτηριστικά της δομής ενδιαφέροντος (μόνο ποιοτικός υπολογισμός είναι εφικτός), κάνει αναγκαία την εφαρμογή κι άλλης παράλληλης τεχνικής (αυτής της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης) για ακριβέστερο χαρακτηρισμό του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών. Η μέθοδος της Επαγόμενης Πόλωσης εφαρμόστηκε παράλληλα με αυτήν της Ειδικής Αντίστασης, αφού δεν απαιτούνταν κάποιος επιπλέον εξοπλισμός για τη διεξαγωγή τέτοιων μετρήσεων και κυρίως για να γίνει σαφές αν οι χαμηλές καταγεγραμμένες τιμές της αντίστασης αντιπροσωπεύουν περιοχή με παρουσία νερού ή αν πρόκειται περί αργιλικών στρωμάτων, αφού μόνο η μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης δεν μπορεί να διαγνώσει κάτι τέτοιο.

2.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

2.1.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος του φυσικού δυναμικού ανήκει όπως προαναφέρθηκε στις λεγόμενες ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης. Ανήκει, επίσης, στις μεθόδους που χαρακτηρίζονται ως παθητικές, επειδή χρησιμοποιεί φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα/πεδία για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Αποτελεί την πρώτη και

άρα την παλαιότερη μέθοδο ηλεκτρικής διασκόπησης που εφαρμόστηκε (αναπτύχθηκε αρχικά από τον Robert Fox, το 1830, για τον εντοπισμό κοιτασμάτων χαλκού στην Αγγλία).

Έχει εφαρμογές στη μεταλλευτική έρευνα κυρίως, αλλά και στη γεωθερμία, στην υδρογεωλογία καθώς και στην τεχνική γεωλογία. Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η χρήση της ιδιαιτέρως στον κλάδο της υδρογεωλογίας, αφού είναι το μόνο γεωφυσικό «εργαλείο» που ανταποκρίνεται άμεσα σε κίνηση ρευστών σε πορώδη συστήματα. Κάποια παραδείγματα εφαρμογών της μεθόδου αυτής είναι τα ακόλουθα: 1. Εντοπισμός κοιτασμάτων θειούχων ορυκτών, 2. Μελέτη γεωθερμικών πεδίων, 3. Εύρεση εγκοίλων στο υπέδαφος, 4. Εντοπισμός διαρροών από ταμιευτήρες, Χ.Υ.Τ.Α κ.τ.λ., 5. Εντοπισμός ροής νερού, ρυπαντών ή άλλων υγρών στοιχείων στο υπέδαφος, 6. Εντοπισμός καθιζήσεων του εδάφους κ.α.

Η απλότητα και η ευκολία στη χρήση της μεθόδου αυτής, καθώς επίσης και το χαμηλό κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται και η γρήγορη λήψη δεδομένων είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει και για τα οποία επιλέγεται συχνά από τους ερευνητές. Στον αντίποδα, κάποια από τα μειονεκτήματα που εμφανίζει είναι η πιθανότητα σύγχυσης του θορύβου με το επιθυμητό σήμα, αφού ο λόγος τους (σήμα/θόρυβος) είναι πολύ χαμηλός, καθώς και η επίδραση που έχουν στις μετρήσεις παράγοντες όπως τα τελλουρικά ρεύματα, οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος, η τοπογραφία της περιοχής, η άντληση νερού από κοντινή γεώτρηση κ.τ.λ.

2.1.2 Βασικές αρχές της μεθόδου

Η μέθοδος του φυσικού δυναμικού βασίζεται στην ύπαρξη φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων τοπικού χαρακτήρα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης. Η ύπαρξη αυτών προκαλεί διαφορά δυναμικού (τάση V) μεταξύ διαφορετικών σημείων του εδάφους. Η τάση αυτή μετριέται με ειδικά όργανα (ηλεκτρόδια, βολτόμετρο κ.τ.λ.), τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω, για την εύρεση του δυναμικού της περιοχής (περιφερειακό πεδίο) και τον εντοπισμό ανωμαλιών σε αυτό (τοπικό πεδίο).

Οι ανωμαλίες στο φυσικό δυναμικό μιας περιοχής μπορεί να αποτελούν ενδείξεις για την ύπαρξη ροών (νερού, ρύπων κ.τ.λ.) στο υπέδαφος, κοιτασμάτων μετάλλων, γεωθερμικών πεδίων και γενικότερα δομών ενδιαφέροντος.

2.1.3 Μηχανισμοί δημιουργίας φυσικού δυναμικού

Τα φυσικά αυτά ηλεκτρικά πεδία παράγονται από τρεις κυρίως μηχανισμούς: 1. από ηλεκτροκινητική δράση (ροή υγρών), 2. από ηλεκτροχημική δράση (ροή ιόντων) και 3. από θερμοηλεκτρική δράση (ροή θερμότητας).

Τα ηλεκτροκινητικά δυναμικά ή αλλιώς δυναμικά ροής οφείλονται σε κίνηση/ροή ηλεκτρολυτών ή νερού ή διαλυμάτων μέσα από πορώδεις σχηματισμούς του υπεδάφους. Για την πρόκληση τάσης είναι απαραίτητη συνθήκη η ροή των ηλεκτρολυτών να λαμβάνει χώρα παράλληλα στο όριο δύο γεωλογικών σχηματισμών διαφορετικής λιθολογίας (διαφορετικών χαρακτηριστικών). Η τάση που αναπτύσσεται μπορεί να μετρηθεί σε δύο διαφορετικά σημεία του πορώδους μέσου. Η ανωμαλία στις μετρούμενες τιμές του φυσικού δυναμικού είναι θετική όταν η ροή είναι ανοδική, ενώ αρνητική όταν είναι καθοδική. Αυτού του είδους τα δυναμικά χρησιμεύουν στον εντοπισμό διαρροών από φράγματα, πηγών, πτώσης ή ανόδου στη στάθμη κάποιου υδροφορέα, καρστικών σπηλαίων κ.τ.λ.

Τα ηλεκτροχημικά δυναμικά σχετίζονται είτε με τη διαφορά που παρατηρείται στη συγκέντρωση και στην κινητικότητα των ηλεκτρολυτών εντός του εδάφους (δυναμικό διάχυσης), είτε με την προσρόφηση ανιόντων από φλέβες χαλαζία ή πηγματίτη, είτε με την οξείδωση που παθαίνουν διάφορα θαμμένα μεταλλεύματα από το οξυγόνο που βρίσκεται μέσα στα υπόγεια νερά (η τελευταία περίπτωση καλείται και δυναμικό μεταλλευμάτων). Στην πρώτη περίπτωση το δυναμικό που παράγεται είναι της τάξης μερικών δεκάδων mV και έχει προσωρινό χαρακτήρα, αφού με το φαινόμενο της διάχυσης η διαφορά στη συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών εξαφανίζεται. Ο μηχανισμός που προκαλεί τη διαφορά δυναμικού στη δεύτερη περίπτωση δεν είναι απολύτως γνωστός, όμως τα δυναμικά που παράγονται έχουν ένα εύρος συνήθως από 20-40 mV και υπάρχει και η περίπτωση οι μετρούμενες

ανωμαλίες να φτάσουν τα 100 mV. Στην περίπτωση του δυναμικού μεταλλευμάτων το πιο οξειδωμένο πάνω μέρος του μεταλλεύματος (εξαιτίας της μεγαλύτερης εγγύτητας του στην επιφάνεια του εδάφους) λειτουργεί ως ο αρνητικός πόλος και το κάτω μέρος του (το λιγότερο οξειδωμένο) ως ο θετικός πόλος μιας μπαταρίας με αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρικών ρευμάτων στον περιβάλλοντα χώρο. Τέτοιου είδους δυναμικά έχουν σημαίνοντα ρόλο στον εντοπισμό κοιτασμάτων θειούχων μεταλλικών ορυκτών, όπως είναι ο σιδηροπυρίτης, ο χαλκοπυρίτης, ο γαληνίτης κ.τ.λ. Οι τιμές της τάσης σε αυτήν την περίπτωση μπορούν να φτάσουν και τα 2 V.

Τα θερμοηλεκτρικά δυναμικά προκαλούνται από ένα φαινόμενο που καλείται θερμοηλεκτρική ζεύξη. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται όταν σε μια μάζα πετρώματος εντοπίζεται διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα της. Η διαφορά αυτή δημιουργεί ροή ρεύματος και άρα διαφορά δυναμικού στο εσωτερικό του πετρώματος. Πιθανολογείται ότι αυτό οφείλεται στη διαφορική διάχυση των ιόντων που βρίσκονται στο υγρό του πορώδους ή/και στο πλέγμα του πετρώματος (φαινόμενο Soret).

2.1.4 Τρόποι μέτρησης του φυσικού δυναμικού

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων με τη μέθοδο του φυσικού δυναμικού ο απαραίτητος εξοπλισμός είναι σχετικά απλός και περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόδια (μη πολωμένα), ένα πολύμετρο-βολτόμετρο ακριβείας (της τάξης των mV), ένα μεγάλου μήκους μονωμένο καλώδιο, ένα καρούλι και ένα σκαπτικό εργαλείο για την κατάλληλη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο έδαφος. Παρακάτω περιγράφονται λίγο πιο αναλυτικά κάποια από αυτά τα όργανα.

Ηλεκτρόδια: Πρόκειται περί ειδικών ηλεκτροδίων τα οποία κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία τάσης επαφής μεταξύ αυτών και του εδάφους. Συνήθως, αποτελούνται από ένα μεταλλικό σύρμα (είτε χαλκού, είτε αργύρου, είτε μολύβδου, είτε ψευδαργύρου) βυθισμένο μέσα σε ημι-στερεό διάλυμα άλατος του μετάλλου (στη περίπτωση μας διάλυμα χλωριούχου μολύβδου-PbCl₂) και περιτριγυρισμένο από πλαστικό μονωτικό περίβλημα, το οποίο έχει στη βάση του

(στο σημείο δηλαδή που εφάπτεται με το έδαφος) πορώδες υλικό (συνήθως κεραμικό). Μέσω αυτής της πορώδους βάσης έρχονται σε επαφή τα ιόντα του διαλύματος με το έδαφος και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη ηλεκτρική επαφή.

Πολύμετρο-Βολτόμετρο: Οι τάσεις που μετριοούνται με αυτό έχουν ένα εύρος τιμών από 5-1000 mV. Το πολύμετρο είναι απαραίτητο να έχει υψηλή εμπέδηση ($\sim 10^8$ Ohms), ώστε να είναι μηδαμινό το παρασιτικό ηλεκτρικό ρεύμα που εισέρχεται από το έδαφος.

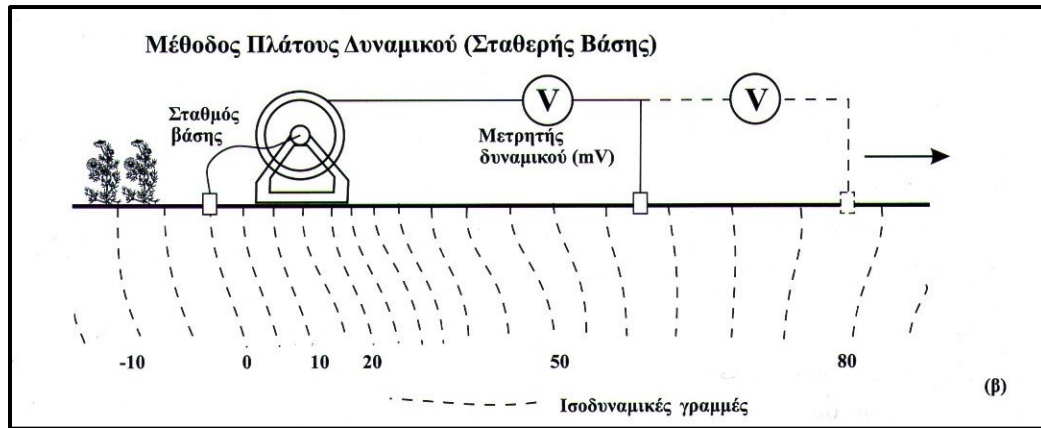
Δύο είναι οι βασικοί τρόποι μέτρησης που χρησιμοποιεί αυτή η ηλεκτρική μέθοδος στην ύπαιθρο και είναι οι εξής: 1. η τεχνική σταθερής βάσης-κινούμενου ηλεκτροδίου (ή πλάτους δυναμικού) και 2. η τεχνική βαθμίδας δυναμικού (ή leap-frog). Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά.

Τεχνική Σταθερής Βάσης-Κινούμενου Ηλεκτροδίου (Εικόνα 2.1)

Αυτή η τεχνική εφαρμόστηκε στις μετρήσεις του φυσικού δυναμικού στην περιοχή του Μεταλλικού. Όταν εφαρμόζεται αυτή η τεχνική το ένα από τα δύο ηλεκτρόδια, με τα οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις, παραμένει σταθερό σε σημείο του εδάφους, το οποίο ονομάζουμε βάση, ενώ το άλλο μετακινείται σε προκαθορισμένες συνήθως θέσεις ενός νοητού κανονικού δικτύου μετρήσεων. Το σταθερό ηλεκτρόδιο συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του βολτομέτρου και το κινούμενο με τον θετικό. Το βολτόμετρο μετράει τη διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ της βάσης και του κινούμενου ηλεκτροδίου κάθε φορά που το τελευταίο αλλάζει θέση. Κάθε μέτρηση αντιστοιχίζεται στη θέση του κινούμενου ηλεκτροδίου. Σκοπός είναι η κατασκευή χάρτη ισοδυναμικών γραμμών για εντοπισμό του στόχου/της δομής που μας ενδιαφέρει και για την οποία γίνονται οι μετρήσεις.

Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι χρειάζεται να γίνει χρήση ενός αρκετά μεγάλου καλωδίου, αφού το ένα ηλεκτρόδιο παραμένει σταθερό και το άλλο μπορεί να απομακρυνθεί ακόμα και χιλιάδες μέτρα από τη βάση.

Στα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής εντάσσεται το χαμηλό επίπεδο αθροιστικού λάθους στις μετρήσεις (το οποίο αποτελεί πρόβλημα για την τεχνική βαθμίδας) καθώς και η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις και από ένα μόνο άτομο.



Εικόνα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής σταθερής βάσης. Πηγή σχήματος: Τσελέντης, Παρασκευόπουλος, 2013.

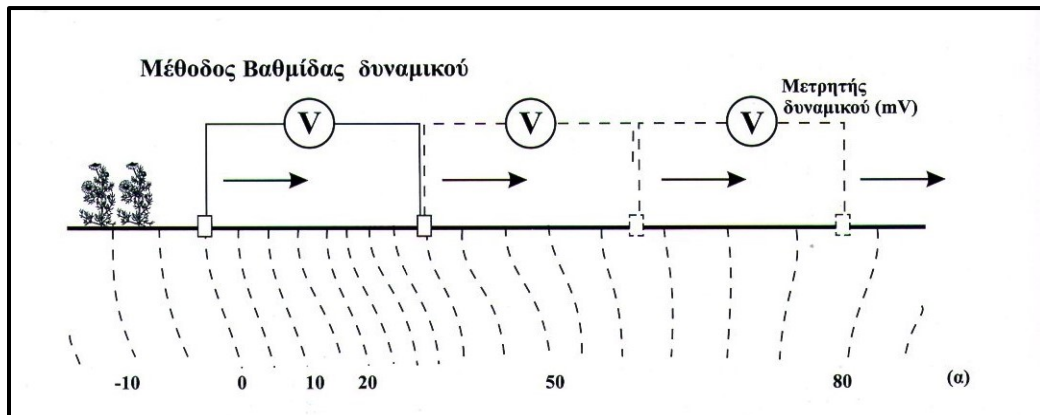
Τεχνική Βαθμίδας (Εικόνα 2.2)

Η τεχνική αυτή κάνει και πάλι χρήση δύο ηλεκτροδίων (κινούμενων), τα οποία όμως διατηρούν τη μεταξύ τους απόσταση σταθερή (5-10 μέτρα). Οι μετρήσεις γίνονται με οδεύσεις (σταθερού βήματος) πάνω σε νοητή οριζόντια γραμμή συνήθως, της οποίας η διεύθυνση είναι κάθετη στη διεύθυνση που πιστεύουμε ότι θα έχει ο γεωλογικός στόχος. Ένα βολτόμετρο συνδεδεμένο στο σύστημα των ηλεκτροδίων μετράει την τάση που αναπτύσσεται μεταξύ τους και εν συνεχεία την διαιρεί με την απόσταση που τα χωρίζει, ώστε να προκύψει η βαθμίδα του δυναμικού ($\text{gradV} = \text{mV/m}$). Κάθε μέτρηση αντιστοιχίζεται στο σημείο που βρίσκεται ακριβώς στη μέση της απόστασης των ηλεκτροδίων. Στόχος είναι η χάραξη συγκεντρικών ισοδυναμικών καμπύλων για εντοπισμό της δομής που μας ενδιαφέρει.

Το βασικότερο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η συσσώρευση των σφαλμάτων καθώς προχωράνε οι μετρήσεις (αθροιστικά λάθη). Το αποτέλεσμα είναι η παρουσίαση ψευδών ανωμαλιών στα τελικά συμπεράσματα. Επίσης, η

συγκεκριμένη διάταξη των ηλεκτροδίων απαιτεί τη συμβολή δύο τουλάχιστον ατόμων.

Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι το μικρού μήκους καλώδιο που απαιτείται, αφού η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερή.



Εικόνα 2.2 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής βαθμίδας. Οι διακεκομμένες γραμμές κάτω από την επιφάνεια του εδάφους είναι οι ισοδυναμικές γραμμές. Πηγή σχήματος: Τσελέντης, Παρασκευόπουλος, 2013.

2.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

2.2.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι κι αυτή μία από τις μεθόδους ηλεκτρικής γεωφυσικής διασκόπησης. Εντάσσεται στην κατηγορία των ενεργητικών μεθόδων, αφού οι μετρήσεις της βασίζονται σε τεχνητά παραγόμενα ηλεκτρικά πεδία. Η πρώτη εφαρμογή της πραγματοποιήθηκε το 1912 από τα αδέρφια Schlumberger για τον εντοπισμό πετρελαιοφόρων θέσεων.

Είναι από τις μεθόδους με την ευρύτερη εφαρμογή. Χρησιμοποιείται στην υδρογεωλογική έρευνα, στη γεωθερμική έρευνα, στην επίλυση μεταλλευτικών και τεχνικών προβλημάτων, αλλά και στην κοιτασματολογία, την αρχαιομετρία και την περιβαλλοντική γεωλογία. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή, σε συνδυασμό και με άλλες μεθόδους έχει εφαρμογή : 1. Στον εντοπισμό και στην αποτύπωση υδροφόρων στρωμάτων, μη περατών σχηματισμών ή και αποσθρωμένων οριζόντων, 2. Στον

εντοπισμό της διαφορετικής λιθολογίας του υπεδάφους, 3. Στον εντοπισμό ρηξιγενών ζωνών, 4. Σε έρευνες για διαρροή από ταμιευτήρες, 5. Για τον εντοπισμό του βάθους του υποβάθρου, 6. Για εύρεση θαμμένων στερεών αποβλήτων, 7. Στον εντοπισμό κοιτασμάτων φυσικού αερίου (όταν οι υδρογονάνθρακες βρίσκονται σε βάθη περίπου 1 χιλιομέτρου) κ.α.

Μερικά θετικά στοιχεία που παρουσιάζει η χρήση αυτής της μεθόδου διασκόπησης συνοψίζονται στα εξής:

1. Ο εξοπλισμός της είναι φθηνός και μεταφέρεται με σχετική ευκολία.
2. Η σχετική ποιοτική ερμηνεία των δεδομένων είναι εύκολη και γρήγορη (ξεκινάει ήδη από το πεδίο έρευνας).
3. Μπορεί να εφαρμοστεί και για βυθοσκοπήσεις και για οδεύσεις.
4. Είναι ευέλικτη, με μεγάλο εύρος εφαρμογών σε έρευνες πολλών διαφορετικών κλάδων (π.χ. υδρογεωλογία, τεχνική γεωλογία κ.τ.λ.) και για πολλά διαφορετικά βάθη.
5. Οι μετρήσεις είναι σύντομες, όταν οι έρευνες γίνονται σε μικρά βάθη.

Κάποια από τα αρνητικά στοιχεία αυτής της μεθόδου είναι τα παρακάτω:

1. Δεν μπορεί να διακρίνει αν μια περιοχή με πολύ χαμηλές αντιστάσεις αντιστοιχίζεται σε παρουσία νερού ή σε αργιλικούς σχηματισμούς. Οπότε είναι απαραίτητη η χρήση κι άλλης παράλληλης μεθόδου, όπως είναι αυτή της Επαγόμενης Πόλωσης.
2. Η απευθείας χρήση των μετρήσεων της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι παρακινδυνευμένη. Γι' αυτό η ποσοτική ερμηνεία των δεδομένων εξάγεται μόνο μετά από ειδική επεξεργασία των μετρήσεων που λήφθηκαν στο ύπαιθρο και συνήθως συνυπολογίζοντας κι άλλες υπάρχουσες πληροφορίες, τις οποίες παίρνουμε από γεωλογικούς χάρτες, από γεωτρήσεις κ.τ.λ.
3. Οι μετρήσεις που γίνονται για μεγάλα βάθη απαιτούν χρόνο και μεγάλα σε μήκος καλώδια.
4. Οι έρευνες σε περιοχές με πολύπλοκη γεωλογική δομή είναι δύσκολες και παράγουν ανακριβή αποτελέσματα.

5. Η παρουσία στο υπέδαφος μεταλλικών αγωγών, καλωδίων ρεύματος, τμημάτων φραχτών κ.τ.λ. μπορεί να δυσκολέψουν την ερμηνεία των μετρήσεων.
6. Η ακρίβεια στα ποσοτικά αποτελέσματα είναι μικρότερη απ' ότι αυτή των σεισμικών μεθόδων.

2.2.2 Βασικές αρχές της μεθόδου

Με τη μέθοδο της ειδικής αντίστασης επιχειρείται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους (δηλαδή της κατανομής της ειδικής αντίστασης μέσα σε αυτό), μέσω της οποίας επιτυγχάνεται ο τελικός στόχος που είναι η εύρεση της γεωλογικής δομής και ο εντοπισμός δομών ενδιαφέροντος. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού (με ειδικά όργανα τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω), η οποία προκαλείται από την εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (έντασης από μερικά milliAmpere έως μερικά Ampere) με τεχνητό τρόπο μέσα στη γη. Γνωρίζοντας επομένως την ένταση και την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος βρίσκουμε για κάθε μέτρηση την ηλεκτρική αντίσταση.

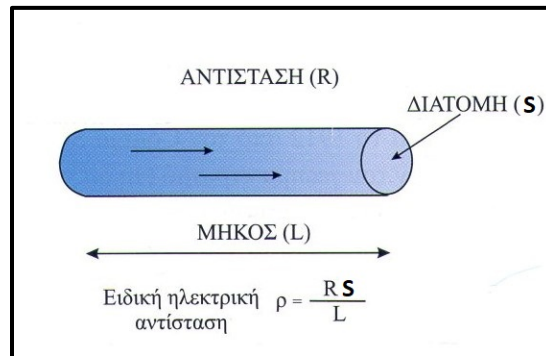
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον πολύ γνωστό νόμο του Ohm, σύμφωνα με τον οποίο αν εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού (τάση V) στα άκρα ενός αγωγού αντίστασης R θα αρχίσει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I. Η αντίσταση του αγωγού είναι ίση με το λόγο της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού προς την ένταση του ρεύματος. Ο τύπος ο οποίος εκφράζει το νόμο αυτό είναι ο παρακάτω:

$$R \text{ (Ohm)} = \frac{V \text{ (Volt)}}{I \text{ (Ampere)}}$$

Αν οι διαστάσεις και η θερμοκρασία του αγωγού παραμείνουν σταθερές, τότε το παραπάνω πηλίκο μένει σταθερό, όσο κι αν μεταβάλλουμε την τάση. Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι η αντίσταση δεν εξαρτάται μόνο από το υλικό του αγωγού. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία για τη μελέτη του εσωτερικού της γης η εισαγωγή μιας έννοιας που δεν εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μέσου. Αυτή λέγεται ειδική ηλεκτρική

αντίσταση, συμβολίζεται με ρ και για κυλινδρικό κομμάτι πετρώματος διατομής S και μήκους L (Εικόνα 2.3) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\rho (\Omega m) = \frac{R (\Omega m) * S (m^2)}{L (m)}$$



Εικόνα 2.3 Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση πετρώματος σχήματος κυλίνδρου διατομής S και μήκους L . Πηγή εικόνας: Τσελέντης, Παρασκευόπουλος, 2013, ίδια επεξεργασία.

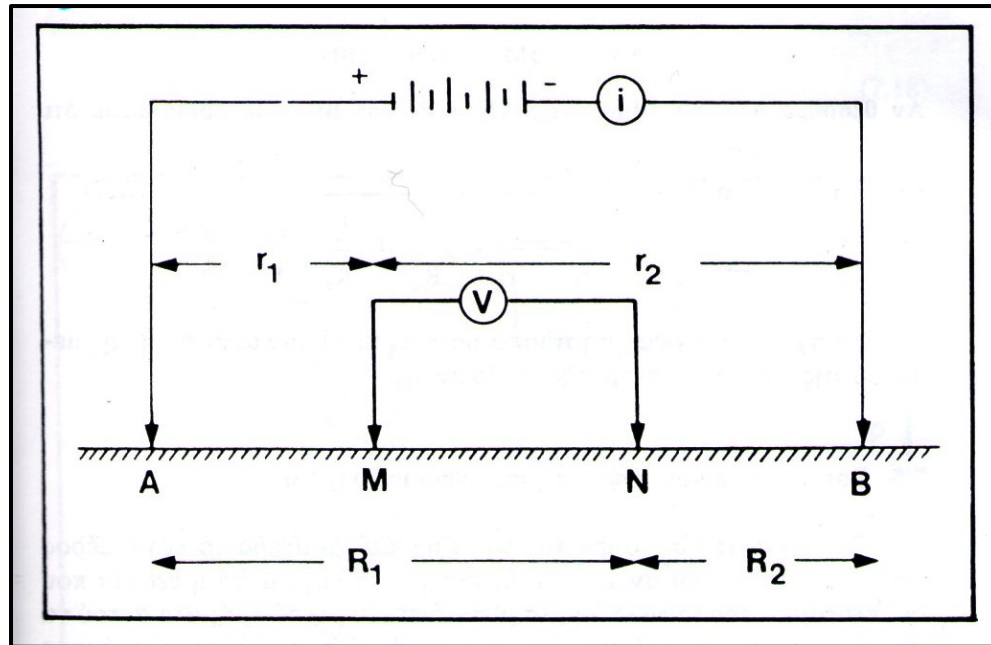
Θεωρώντας τη Γη ως ομογενές μέσο ειδικής αντίστασης ρ , εισάγουμε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I με δύο ηλεκτρόδια ρεύματος $A(+)$, $B(-)$. Με δύο διαφορετικά ηλεκτρόδια δυναμικού M, N μετράμε την τάση V που προκαλείται στο έδαφος (Εικόνα 2.4). Τότε η ειδική αντίσταση θα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\rho = \frac{2\pi V}{I * K}$$

όπου K είναι γεωμετρικός παράγοντας, ο οποίος εξαρτάται από την διάταξη των ηλεκτροδίων.

Στην πραγματικότητα όμως, η Γη είναι ανομοιογενές μέσο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μέγεθος που υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση να μην είναι η πραγματική ειδική αντίσταση, αλλά μια φανταστική ποσότητα που ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a) και μεταβάλλεται ανάλογα με τη διάταξη που χρησιμοποιούμε. Το μέγεθος αυτό παρουσιάζει μια παραμορφωμένη εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους και δεν χρησιμοποιείται αυτούσιο για εξαγωγή συμπερασμάτων. Γι' αυτό, είναι απαραίτητη η επεξεργασία της τιμής της ρ_a μέσω

ειδικών προγραμμάτων υπολογιστών για τον υπολογισμό της κατανομής της πραγματικής ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.



Εικόνα 2.4 Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λήψης μετρήσεων με τη μέθοδο της Ειδικής Αντίστασης. Μέσω των ηλεκτροδίων ρεύματος A (+) και B (-) διαβιβάζουμε ρεύμα στο έδαφος και με τα ηλεκτρόδια δυναμικού M και N (τα οποία συνδέονται με βολτόμετρο) μετράμε την τάση που αναπτύσσεται. Πηγή εικόνας: Παπαζάχος, 1996.

Νόμος του Archie

Η ποσότητα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων εξαρτάται από το πορώδες (πρωτογενές και δευτερογενές) του πετρώματος, τη θερμοκρασία του, τη συγκέντρωση των διαλυμένων ενώσεων στο νερό των πόρων και την πίεση. Για να ληφθούν υπόψη αυτοί οι παράγοντες, ο Gus Archie πρότεινε την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$\rho = \rho_v \alpha \varphi^{-m} S^{-n}$$

όπου ρ_v η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού των πόρων (ή οποιουδήποτε ρευστού),
 α σταθερά εξαρτώμενη από τη λιθολογία (παίρνει τιμές μεταξύ 0,6-2),
 φ το πηλίκο όγκος πόρων/ολικό όγκο πετρώματος (το πορώδες),

Σ ο βαθμός κορεσμού των πόρων σε ρευστό,
m ο συντελεστής στερεοποίησης (παίρνει τιμές από 1,3-2,2)
n συντελεστής που συνήθως ισούται με 2.

Ο νόμος αυτός δεν ισχύει όταν το πέτρωμα είναι αργιλικό. Εξαιτίας του νόμου αυτού που συνδέει την αντίσταση με το πορώδες του πετρώματος η μέθοδος τη ειδικής αντίστασης χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε υδρογεωλογικές έρευνες.

2.2.3 Η διεξαγωγή των μετρήσεων στο πεδίο έρευνας

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στο ύπαιθρο ο απαραίτητος εξοπλισμός περιλαμβάνει αρκετά ηλεκτρόδια, ένα σφυρί για το κάρφωμα των ηλεκτροδίων στο έδαφος, μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, καλώδια, ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο (τα δύο τελευταία συνήθως περιλαμβάνονται σε ειδικό όργανο λήψης μετρήσεων). Παρακάτω θα περιγραφούν συνοπτικά κάποια από αυτά τα όργανα.

Ηλεκτρόδια (Εικόνα 2.5): Είναι ατσάλινες ή χάλκινες ράβδοι. Έχουν μήκος που φτάνει τα 60 εκατοστά και συνδέονται μέσω των καλωδίων με το όργανο μέτρησης, αλλά και μεταξύ τους (Εικόνα 2.6). Το βάθος διείσδυσης τους στο έδαφος είναι συνήθως 5-10 εκατοστά. Επειδή κατά την εισαγωγή τους στο έδαφος δεν επιτυγχάνεται τέλεια επαφή μεταξύ αυτών και του εδάφους οι θέσεις των ηλεκτροδίων συνήθως βρέχονται με αλατόνερο, ώστε να μειωθεί η αντίσταση επαφής.

Πηγή ηλεκτρικού ρεύματος: Χρησιμοποιείται συνήθως για τη τροφοδοσία του οργάνου μέτρησης μια 12 V μπαταρία αυτοκινήτου.

Καλώδια: Πρόκειται περί δεσμίδας καλωδίων (Εικόνα 2.6), το μήκος της οποίας φτάνει τα 230 μέτρα στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Μεταλλικό. Το κάθε καλώδιο αποτελείται από χαλκό και περιβάλλεται από μονωτικό υλικό.

Όργανο λήψης μετρήσεων: Υπάρχουν πολλά όργανα που χρησιμοποιούνται για την λήψη μετρήσεων. Κάποια από αυτά είναι το TERRAMETER SAS 300B της ABEM και το SYSCAL PRO της IRIS INSTRUMENTS, τα οποία χρησιμοποιούνται από τον τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ. Για τις μετρήσεις στην περιοχή του Μεταλλικού



Εικόνα 2.5 Μεταλλικές ράβδοι ηλεκτροδίων.
Πηγή: διαδίκτυο.



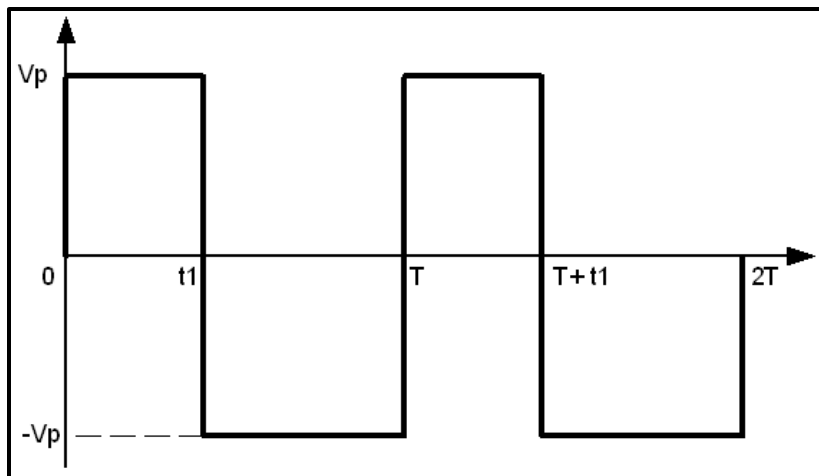
Εικόνα 2.6 Ηλεκτρόδιο καρφωμένο στο έδαφος και συνδεδεμένο με πολύκλωνο καλώδιο.

χρησιμοποιήθηκε το SYSCAL PRO (Εικόνα 2.7). Αυτό έχει ενσωματωμένο ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο για τον έλεγχο της έντασης του ρεύματος που εισάγουμε στη γη και για υπολογισμό της τάσης που προκαλείται, αντίστοιχα. Το ρεύμα που εισάγαμε στη γη είναι παλμικής μορφής (τετραγωνικοί παλμοί, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.8, με χαρακτηριστικά και εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος) και μπορεί να φτάσει η ένταση του μέχρι 2A. Έχει πηγή μέγιστης τάσης εξόδου 800V και η μετρήσιμη ακρίβεια της τάσης είναι 0,2% με ανάλυση 1 nanoVolt. Περιλαμβάνεται επίσης, πολυπλέκτης 48 θέσεων, ο οποίος επιτρέπει την πραγματοποίηση πολλών μετρήσεων του δυναμικού ταυτόχρονα. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε εσωτερικό σκληρό δίσκο, μέχρι να μεταφερθούν σε εξωτερικό υπολογιστή για επεξεργασία. Μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι 20.000 καταγραφές. Το όργανο περιέχει εσωτερική μπαταρία, αλλά τροφοδοτείται και εξωτερικά από μπαταρία των 12V.



Εικόνα 2.7 Φωτογραφία του οργάνου λήψης μετρήσεων Syscal Pro. Στο κέντρο βρίσκεται η οθόνη, όπου αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Κάτω αριστερά βρίσκονται οι θέσεις τοποθέτησης των καλωδίων από τους πόλους της εξωτερικής μπαταρίας, για την τροφοδοσία του οργάνου. Στην ράχη του οργάνου βρίσκονται διάφορες υποδοχές καλωδίων, μέσω των οποίων συνδέονται τα ηλεκτρόδια στο όργανο. Κάτω δεξιά φαίνεται το πληκτρολόγιο από το οποίο ελέγχεται το μηχάνημα. Πηγή: διαδίκτυο.

Εικόνα 2.8 Σχηματική αναπαράσταση των τετραγωνικών παλμών τάσης. Κατά τη διάρκεια κάθε παλμού το ρεύμα είναι συνεχές και αλλάζει κατεύθυνση όταν αλλάζει ο παλμός. Πηγή: διαδίκτυο.

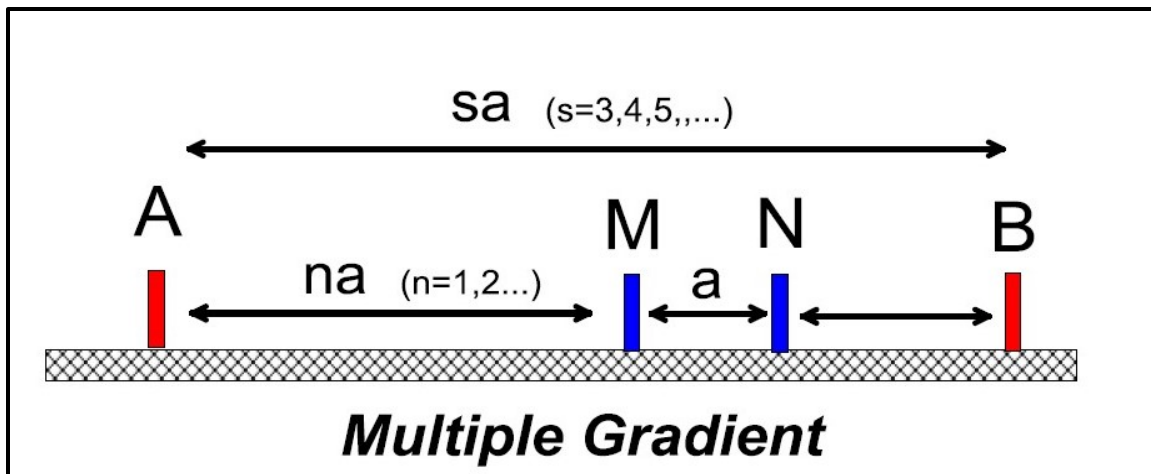


Στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σημαντικός παράγοντας, που επηρεάζει κατά πολύ το αποτέλεσμα των μετρήσεων, είναι ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετήσουμε τα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, ανάλογα με τις ανάγκες της έρευνας, το βάθος στο οποίο είναι ο στόχος που μας ενδιαφέρει και τη φύση του, την ισχύ του σήματος, τις τοπικές συνθήκες κ.τ.λ. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στις έρευνες είναι οι παρακάτω: 1.

Διάταξη Wenner, 2. Διάταξη Schlumberger, 3. Διάταξη διπόλου-διπόλου, 4. Διάταξη πόλου-διπόλου (ή τριών σημείων), 5. Διάταξη πόλου-πόλου, 6. Διάταξη Lee και 7. Τετραγωνική διάταξη. Παρακάτω θα αναλυθούν κατά το δυνατόν οι διατάξεις που εφαρμόστηκαν στις μετρήσεις στην περιοχή των πηγών «Γιάννες».

Διάταξη πολλαπλής βαθμίδας

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Μεταλλικού, έγινε χρήση της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας (multiple gradient array) για τομογραφία. Πρόκειται περί υβριδικής διάταξης, αφού συνδυάζει τη διάταξη Wenner με την Schlumberger. Η διάταξη αυτή έχει καλή διακριτική ικανότητα και δίνει τη δυνατότητα για πολύ μεγάλο αριθμό μετρήσεων. Σε αυτήν την διάταξη όλες οι μετρήσεις των διπόλων δυναμικού MN λαμβάνονται για κάθε διαφορετικό συνδυασμό AB ηλεκτροδίων ρεύματος. Ως αποτέλεσμα, η πυκνότητα των δεδομένων είναι αρκετά μεγάλη. Έτσι, σε περίπτωση που χαθούν κάποια δεδομένα ή αφαιρεθούν αναγκαστικά (π.χ. εξαιτίας μη καλής επαφής κάποιων ηλεκτροδίων με το έδαφος) δεν θα επηρεαστεί σημαντικά το τελικό μοντέλο.

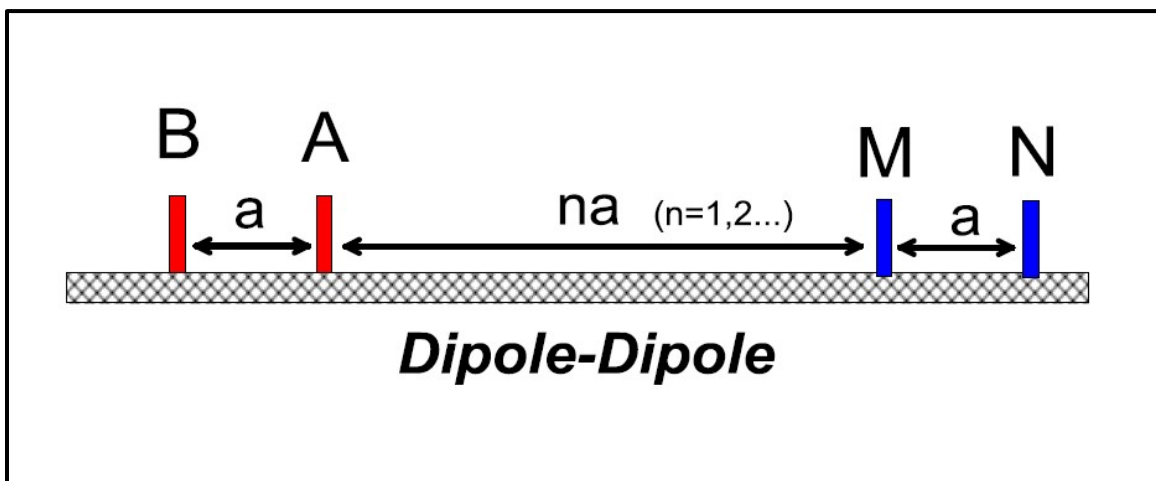


Εικόνα 2.9 Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης πολλαπλής βαθμίδας (multiple gradient). Πηγή εικόνας: Γεωφυσική Έρευνα Στην Περιοχή Τεναγών Φιλίππων, 2014.

Διάταξη διπόλου-διπόλου

Στην περιοχή του Μεταλλικού εφαρμόστηκε και η διάταξη διπόλου-διπόλου (Dipole-Dipole). Για την εφαρμογή αυτής της διάταξης είναι απαραίτητα δύο δίπολα

ηλεκτροδίων. Το ένα δίπολο διαβιβάζει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στη γη και τα ηλεκτρόδια του καλούνται ηλεκτρόδια ρεύματος (A και B) και το άλλο μετράει τη διαφορά δυναμικού και τα ηλεκτρόδια του λέγονται ηλεκτρόδια δυναμικού (M και N). Το δίπολο ρεύματος είναι απομακρυσμένο από αυτό του δυναμικού. Τα ηλεκτρόδια σε κάθε δίπολο απέχουν μεταξύ τους μικρή απόσταση. Η κάθε μέτρηση αντιστοιχίζεται στο μέσο της απόστασης των δύο διπόλων. Το βάθος διερεύνησης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των διπόλων. Το πλεονέκτημα αυτής της διατάξεως είναι ότι δεν χρειάζονται μεγάλου μήκους καλώδια, αφού τα δίπολα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Ο μόνος περιορισμός είναι ο εδαφικός θόρυβος, ο οποίος μπορεί να υπερκαλύψει το επιθυμητό σήμα αν τα δίπολα απομακρυνθούν πολύ.



Εικόνα 2.10 Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης διπόλου-διπόλου (Dipole-Dipole). Πηγή εικόνας: Γεωφυσική Έρευνα Στην Περιοχή Τεναγών Φιλίππων, 2014.

2.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΟΜΕΝΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ

2.3.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος της Επαγόμενης Πόλωσης ανήκει στις ενεργές ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, αφού για την εφαρμογή της προηγείται η εισαγωγή, με τεχνητό τρόπο, ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη γη. Το φαινόμενο από το οποίο πήρε το όνομά της και πάνω στο οποίο βασίζεται η μέθοδος αυτή παρατηρήθηκε αρχικά από ηλεκτροχημικούς επιστήμονες, οι οποίοι το αποκαλούσαν φαινόμενο «υπέρτασης». Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως παράλληλα με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, έτσι ώστε να καλυφθεί η αδυναμία της τελευταίας να διακρίνει αν οι πολύ χαμηλές αντιστάσεις της υπεδάφιας δομής αφορούν υδάτινες μάζες ή αργιλικούς σχηματισμούς. Για να γίνουν μετρήσεις με αυτή τη μέθοδο, παράλληλα με την μέθοδο της ειδικής αντίστασης, κατά την αλλαγή της κατεύθυνσης του ρεύματος (λόγω αλλαγής της πολικότητας της τάσης στους τετραγωνικούς παλμούς) αφήνουμε για ελάχιστο χρόνο την τιμή του στο μηδέν. Έχει εφαρμογές κυρίως στον εντοπισμό κοιτασμάτων μεταλλευμάτων, αλλά και σε υδρογεωλογικές έρευνες.

2.3.2 Μηχανισμός δημιουργίας του φαινομένου της Επαγόμενης Πόλωσης

Το φαινόμενο της επαγόμενης πόλωσης ή πολικότητας στις γεωηλεκτρικές μεθόδους παρατηρείται όταν διακοπεί απότομα το ηλεκτρικό ρεύμα που διαβιβάζουμε με τεχνητό τρόπο μέσα στη γη. Τότε, η μετρούμενη τάση παρουσιάζει απότομη μείωση, όπως αναμένεται, μέχρι ενός σημείου V_0 από το οποίο ξεκινάει εκθετική μείωση της με το χρόνο, έως ότου μηδενιστεί τελείως. Ο χρόνος που χρειάζεται για τον πλήρη μηδενισμό της τάσης μπορεί να διαρκέσει ακόμη και αρκετά λεπτά. Αυτό σημαίνει ότι το υπέδαφος ενεργεί ως φορτισμένος πυκνωτής, ο οποίος εκφορτίζεται σταδιακά.

Δύο είναι οι μηχανισμοί που παρατηρήθηκε ότι προκαλούν το φαινόμενο αυτό. Ο πρώτος και σημαντικότερος, από γεωφυσικής απόψεως, μηχανισμός λέγεται πόλωση των ηλεκτροδίων. Ο δεύτερος μηχανισμός καλείται πόλωση μεμβράνης.

Πόλωση ηλεκτροδίων: Όταν διαβιβάζουμε ρεύμα μέσω ηλεκτροδίων σε πορώδη πετρώματα που περιλαμβάνουν κόκκους μεταλλικών ορυκτών, τότε οι κόκκοι αυτοί φορτίζονται λόγω της συσσώρευσης θετικών και αρνητικών ιόντων στα άκρα τους. Αν μηδενίσουμε το εξωτερικό ρεύμα τα ιόντα αυτά τείνουν να επανέλθουν στις αρχικές τους θέσεις με αργό ρυθμό με αποτέλεσμα η τάση που παράγουν να ελαττώνεται εκθετικά με το χρόνο. Με βάση τις μετρήσεις που παίρνουμε από την πόλωση των ηλεκτροδίων γίνεται ο εντοπισμός κοιτασμάτων σουλφιδίων.

Πόλωση μεμβράνης: Εντοπίζεται συνήθως όταν υπάρχει στο υπέδαφος αργιλικός σχηματισμός. Το μέγεθος των πόρων των σχηματισμών αυτών είναι αρκετά μικρό, ώστε να εμποδίζεται η κίνηση των αρνητικά φορτισμένων ιόντων (τα οποία είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από τα θετικά) με αποτέλεσμα τη δημιουργία δυναμικού. Αν εφαρμόσουμε εξωτερική τάση στο πέτρωμα, τότε παρατηρείται ανακατανομή των ιόντων, η οποία δημιουργεί την πόλωση. Όταν το εξωτερικό ρεύμα διακοπεί τα ιόντα τείνουν να επανέλθουν στις αρχικές τους θέσεις, όχι ακαριαία, αλλά μετά από ορισμένο χρόνο. Μέχρις ότου γίνει αυτό παρατηρείται το φαινόμενο της επαγόμενης πόλωσης, το οποίο στην περίπτωση αυτή καλείται πόλωση μεμβράνης. Αυτού του είδους η πόλωση θεωρείται παρασιτικό φαινόμενο (θόρυβος) στις μεταλλευτικές έρευνες, αφού δεν μπορεί να διακριθεί από την πόλωση ηλεκτροδίων.

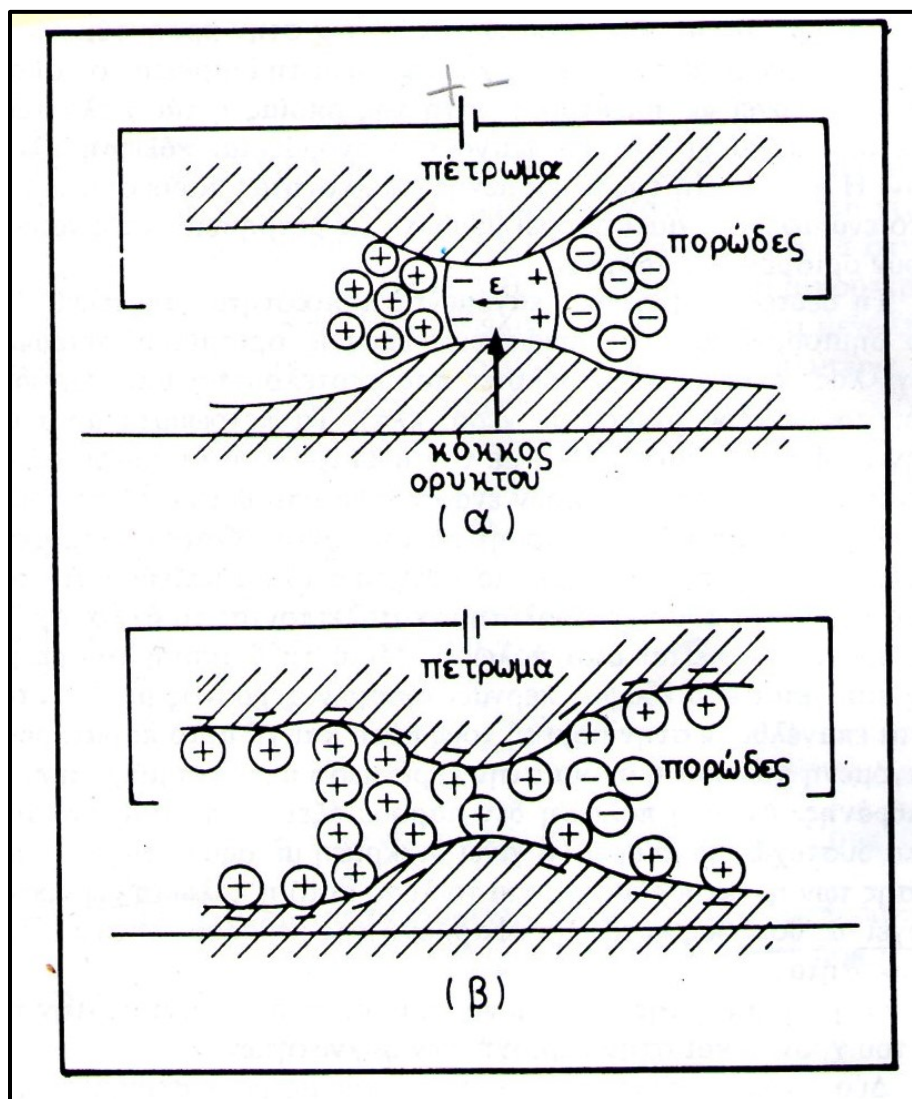
2.3.3 Φορτιστικότητα

Ένα μέγεθος το οποίο υπολογίζουμε με τη μέθοδο της επαγόμενης πόλωσης είναι η φορτιστικότητα M (chargeability). Ως φορτιστικότητα ορίζεται το πηλίκο A/V_c , όπου A το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη εκθετικής μείωσης της τάσης μεταξύ δύο χρόνων t_1 και t_2 και η αρχική τιμή της τάσης κατά το χρόνο διακοπής του ρεύματος. Ο τύπος που εκφράζει την ποσότητα αυτή είναι ο εξής:

$$M = \frac{A}{V_c} = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt$$

Η μονάδα μέτρησης της φορτιστικότητας μετριέται σε mV/V . Υψηλές τιμές φορτιστικότητας είναι πιθανόν να δείχνουν σχηματισμό με μεταλλικά στοιχεία/κόκκους

ή αργιλικά πετρώματα, ποτέ όμως κορεσμένα σε νερό εδάφη. Χαμηλές τιμές μπορεί να δηλώνουν παρουσία αδρόκοκκου υλικού (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες κ.τ.λ.).



Εικόνα 2.11 Σχηματική αναπαράσταση των δύο μηχανισμών με τους οποίους δημιουργείται το φαινόμενο της επαγόμενης πόλωσης. Το πάνω σχήμα (α) δείχνει την πόλωση ηλεκτροδίων και το κάτω (β) την πόλωση μεμβράνης. Πηγή: Παπαζάχος, 1996.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει συνοπτική παρουσίαση του τρόπου διεξαγωγής των μετρήσεων στο ύπαιθρο, των δεδομένων που λήφθηκαν από τις μετρήσεις αυτές, της επεξεργασίας που υπέστησαν προκειμένου να βγουν τα τελικά αποτελέσματα καθώς και των ίδιων των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μετρήσεις στο ύπαιθρο πραγματοποιήθηκαν την 20^η Φεβρουαρίου 2020. Η περιοχή στην οποία διεξήχθησαν αυτές βρίσκεται στο σημείο ανάβλυσης των πηγών «Γιάννες» και φαίνεται στην Εικόνα 1.4. Η πρώτη μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν αυτή του Φυσικού Δυναμικού και στη συνέχεια οι μέθοδοι της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης. Για την επιλογή των μεθόδων αυτών έγινε πρώτα εκτίμηση των προϋπαρχόντων δεδομένων που είχαμε στην κατοχή μας από έρευνες άλλων μελετητών, παράλληλα με πληροφορίες που μας έδιναν οι γεωλογικοί χάρτες της περιοχής. Συνεκτιμήθηκαν επίσης, παράγοντες όπως η τοπογραφία και η δυνατότητα που μας παρείχε αυτή για την πραγματοποίηση των συγκεκριμένων μεθόδων διασκόπησης καθώς και η καταλληλότητα των μεθόδων αυτών για την επίτευξη του στόχου αυτής της εργασίας, δηλαδή της καλύτερης κατανόησης του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών.

Αρχικά, θα γίνει περιγραφή της εφαρμογής της μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού, αφού αυτή εφαρμόστηκε πρωτίτερα των άλλων δύο και εν συνεχεία θα περιγραφούν με τη σειρά η Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης μέθοδος και η Επαγόμενη πόλωση.

3.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός:

1. ένα πολύμετρο που μετρούσε τη διαφορά δυναμικού, 2. δύο μη πολωμένα ηλεκτρόδια,
3. ένα καρούλι με καλώδιο πολύ μεγάλου μήκους, 4. μια συσκευή GPS (Garmin) για ακριβή εντοπισμό των συντεταγμένων της κάθε θέσης μέτρησης και 5. ένα σφυρί για καθαρισμό της θέσης μέτρησης από πέτρες, χόρτα κ.τ.λ.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογή της τεχνικής σταθερής βάσης-κινούμενου ηλεκτροδίου. Αρχικά το ηλεκτρόδιο, που αποτελούσε τη βάση, τοποθετήθηκε στο έδαφος και θάφτηκε σε μικρό βάθος, λίγων εκατοστών (Εικόνα 3.1). Το ηλεκτρόδιο αυτό παρέμενε συνεχώς συνδεδεμένο μέσω του μεγάλου μήκους καλωδίου με το πολύμετρο. Το κινούμενο ηλεκτρόδιο συνδέονταν με το πολύμετρο κάθε φορά που πραγματοποιούνταν μια νέα μέτρηση. Η πρώτη μέτρηση πάρθηκε κοντά στο ηλεκτρόδιο βάσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν ανά 10 μέτρα, πάνω σε



Εικόνα 3.1 Φωτογραφία από το θαμμένο σταθερό ηλεκτρόδιο βάσης. Δίπλα του το σφυρί που χρησιμοποιήθηκε για την εκσκαφή.

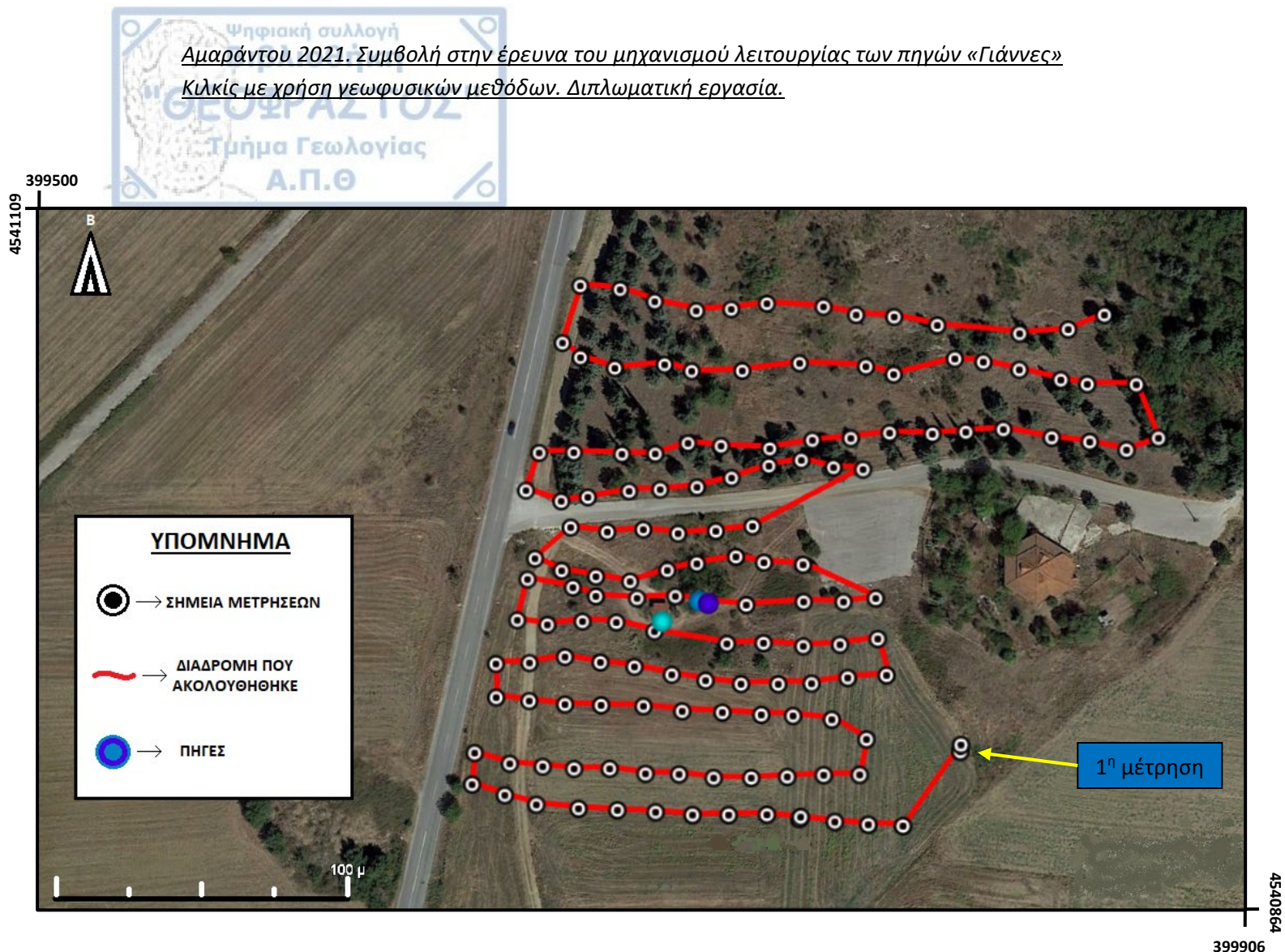
νοητό δίκτυο, όπως φαίνεται στον χάρτη της Εικόνας 3.3. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 142 μετρήσεις. Κάθε μέτρηση αποθηκεύονταν στο GPS, μαζί με τις συντεταγμένες της θέσης μέτρησης.



Εικόνα 3.2 Φωτογραφία από την πρώτη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε κοντά στο ηλεκτρόδιο βάσης.

3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Μετά τη λήψη των δεδομένων στο ύπαιθρο, αυτά μεταφέρθηκαν από το GPS σε υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Αποθηκεύτηκαν σε αρχείο Excel και στη συνέχεια μέσω ενός προγράμματος GIS μετατράπηκαν από μεμονωμένα δεδομένα συγκεκριμένων σημείων σε χάρτη ισοδυναμικών γραμμών-περιοχών. Για τη μετατροπή έγινε χρήση της μεθόδου παρεμβολής Kriging. Η μετατροπή αυτή είναι απαραίτητη για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων και τη σύγκριση αυτών με τα αποτελέσματα των άλλων μεθόδων που εφαρμόστηκαν.

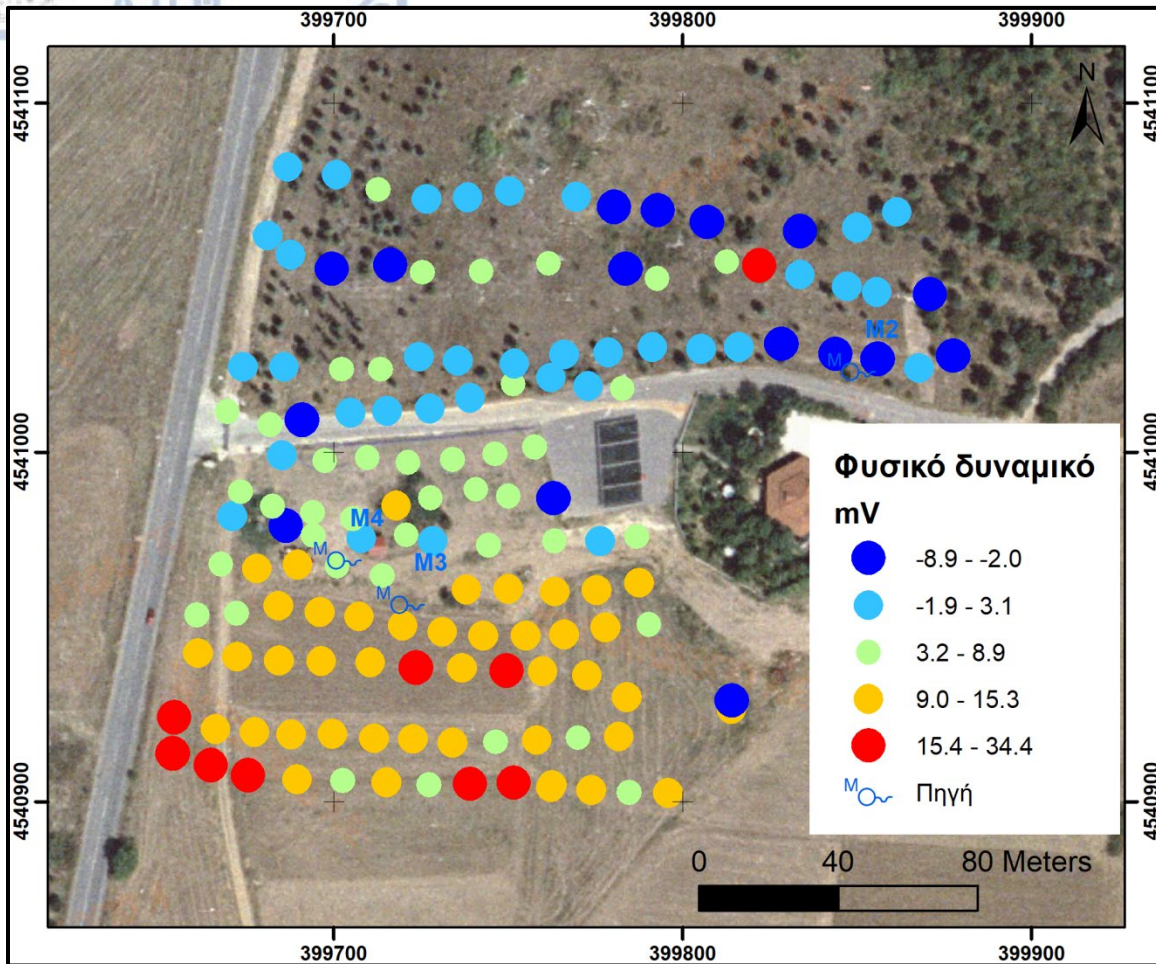


Εικόνα 3.3 Χάρτης με το δίκτυο των μετρήσεων της μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού. Στο σημείο όπου πάρθηκε η 1^η μέτρηση βρίσκεται το ηλεκτρόδιο βάσης. Πηγή εικόνας: Google Earth, ίδια επεξεργασία.

Παρακάτω παρουσιάζονται 1. ο χάρτης με τις μετρήσεις του φυσικού δυναμικού και 2. ο χάρτης με την κατανομή των τιμών του φυσικού δυναμικού, μετά την επεξεργασία που υπέστησαν αυτές, ώστε να υπολογιστούν οι τιμές και στα σημεία που δεν υπήρχαν μετρήσεις.

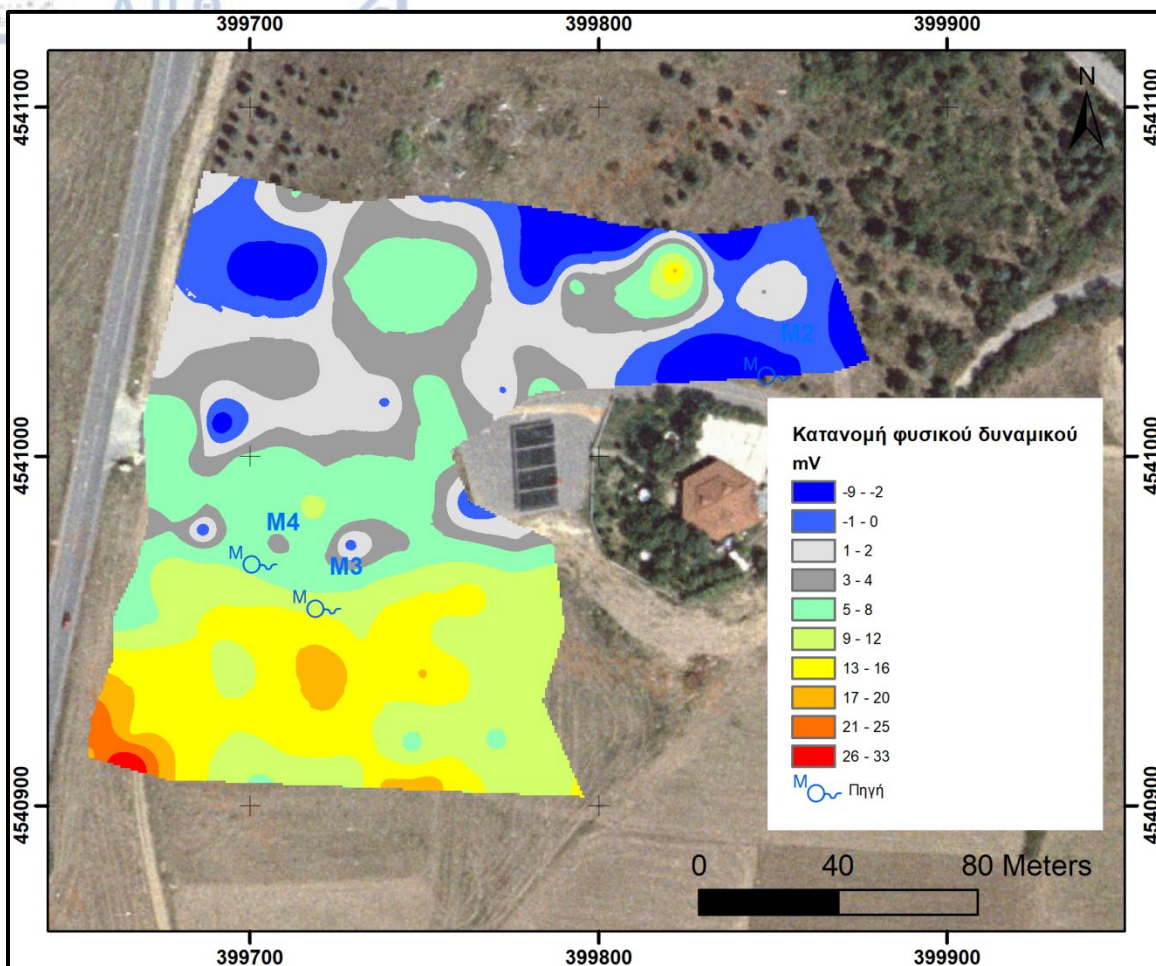
Κάποιες παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να ειπωθούν για τον χάρτη ισοδυναμικών γραμμών της Εικόνας 3.5, είναι οι παρακάτω:

1. Οι υψηλότερες τιμές της τάσης (θετικές) εντοπίζονται νοτίως των πηγών, σε περιοχή όπου βρίσκονται καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης. Οφείλονται πιθανώς σε άνοδο ρευστών.
2. Οι χαμηλότερες τιμές της τάσης (αρνητικές) εντοπίζονται βορείως των πηγών, στην ακαλλιεργήτη περιοχή. Οφείλονται πιθανώς σε καθοδική ροή ρευστών.



Εικόνα 3.4 Χάρτης κατασκευασμένος σε περιβάλλον GIS. Τα σημεία των μετρήσεων παρουσιάζονται ως κύκλοι διαφόρων χρωμάτων και μεγεθών, ανάλογα με την τιμή του φυσικού δυναμικού που μετρήθηκε στο κάθε ένα από αυτά.

3. Στην περιοχή που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τις επιφανειακές εμφανίσεις των πηγών εντοπίζονται οι ενδιαμέσες τιμές της τάσης. Η περιοχή αυτή φαίνεται ως μεταβατική μεταξύ των χαμηλότερων τιμών και των υψηλότερων τιμών.
4. Μια περιοχή με συχνή εμφάνιση αρκετά υψηλών τιμών εντοπίζεται νοτιο-δυτικά των πηγών.
5. Βόρεια των πηγών, στην περιοχή όπου επικρατούν οι χαμηλές τιμές του φυσικού δυναμικού, παρατηρούνται δύο συγκεντρώσεις (με μικρή απόσταση μεταξύ τους) στις οποίες οι τιμές παρουσιάζουν θετικές ανωμαλίες.



Εικόνα 3.5 Χάρτης κατανομής του φυσικού δυναμικού στην περιοχή των πηγών «Γιάννες». Ο χάρτης κατασκευάστηκε σε περιβάλλον GIS.



Εικόνα 3.6 Φωτογραφία από την περιοχή των πηγών. Στο βάθος διακρίνεται το υπόστεγο που καλύπτει τον μεγαλύτερο κρατήρα ανάβλυσης.



Εικόνα 3.7 Φωτογραφία από την περιοχή των μετρήσεων.

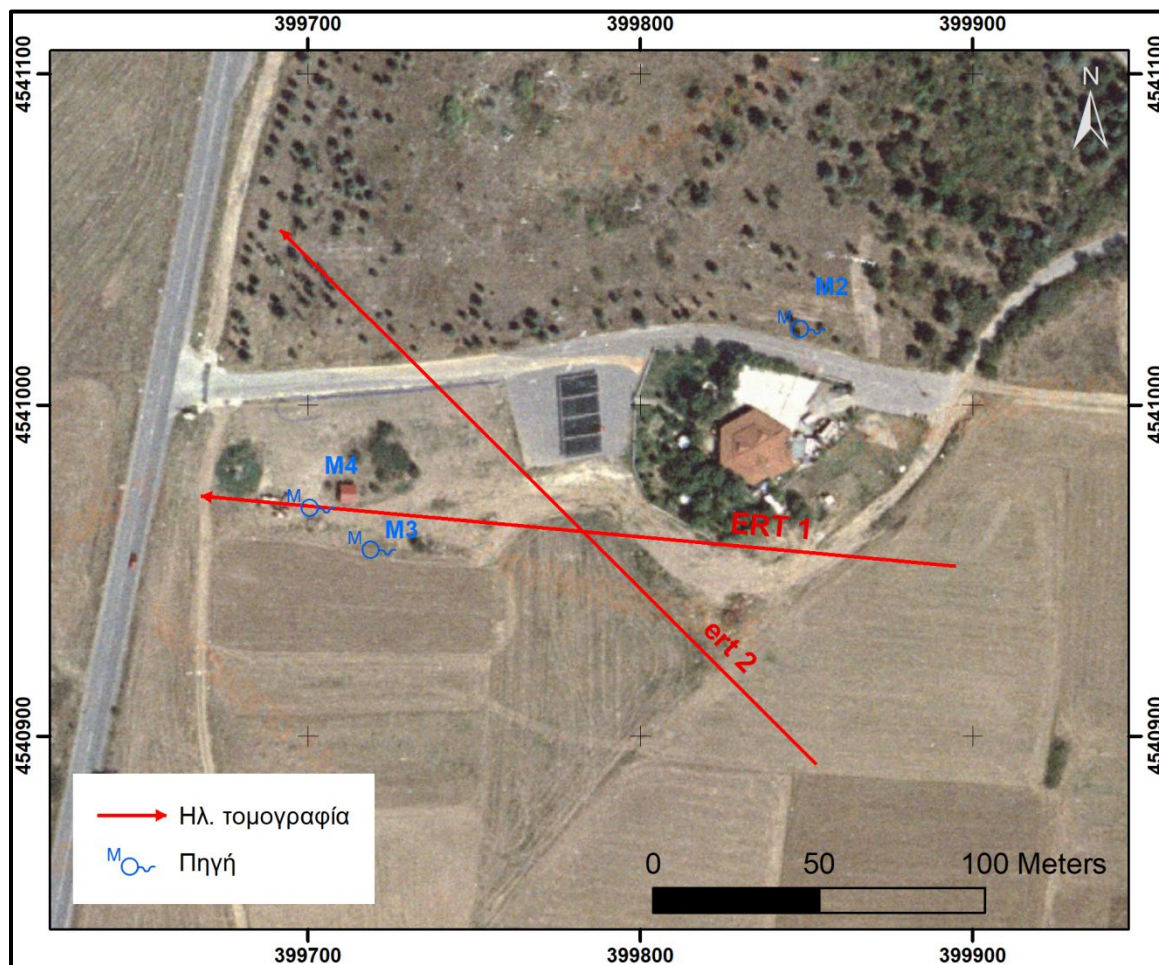
3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΙΣΤΑΣΗΣ

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η δεύτερη μέθοδος που εφαρμόσαμε στην ύπαιθρο ήταν αυτή της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. Ο εξοπλισμός που χρειαστήκαμε για την διεξαγωγή αυτών των μετρήσεων αποτελούνταν από τα παρακάτω υλικά: 1. 24 ηλεκτρόδια, 2. ένα πολυκάναλο καλώδιο 230 μέτρων, 3. ένα σφυρί για το κάρφωμα των ηλεκτροδίων στο έδαφος, 4. το όργανο μέτρησης Syscal Pro και 5. μια εξωτερική μπαταρία 12 V (Εικόνα 3.8).

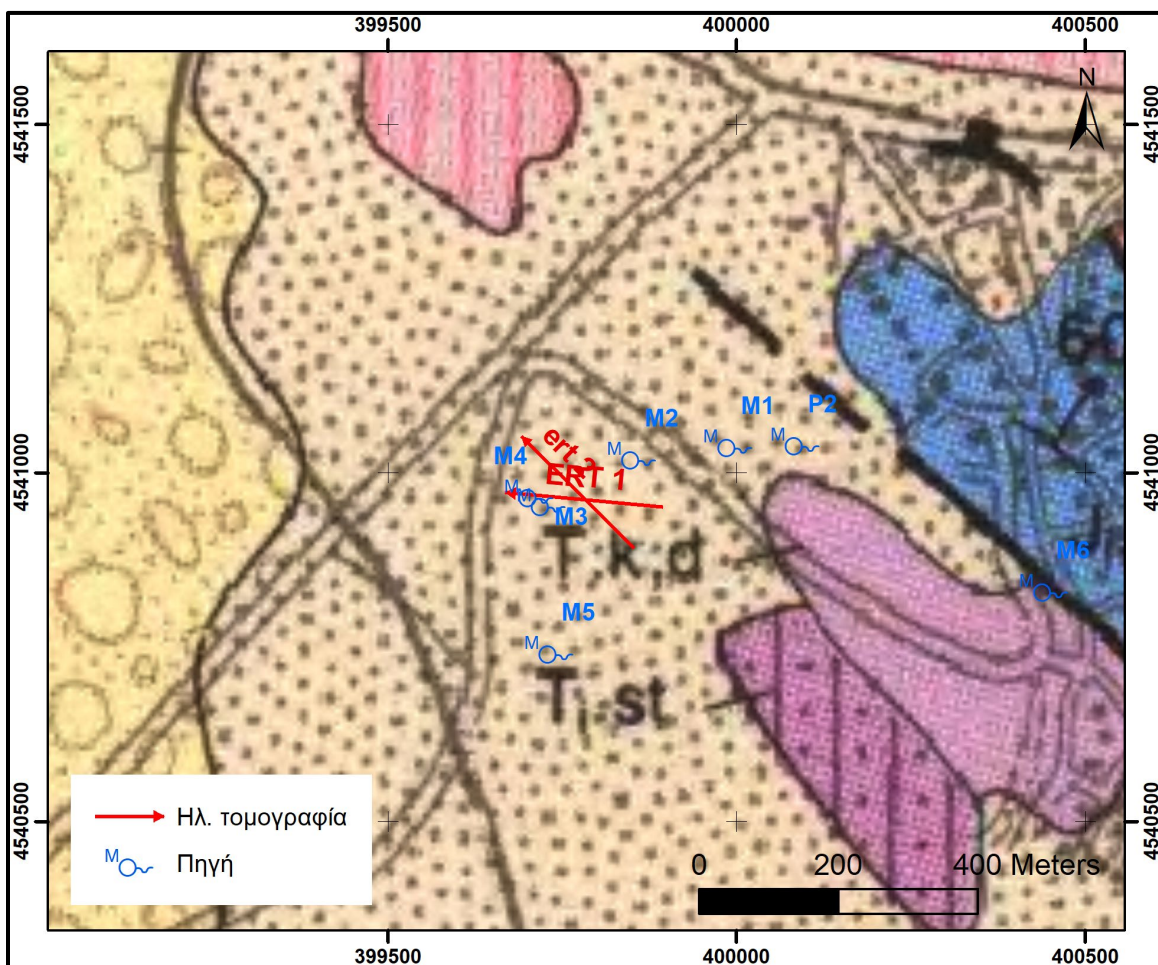


Εικόνα 3.8 Φωτογραφία του οργάνου μέτρησης, της εξωτερικής μπαταρίας με την οποία αυτό συνδέθηκε και του πολυκάναλου καλωδίου.

Πραγματοποιήθηκαν δύο διασταυρούμενες τομογραφίες (συνδυασμός όδευσης/οριζοντιογραφίας και βυθοσκοπήσης) των 230 μέτρων η κάθε μια, όπως φαίνεται στο χάρτη της Εικόνας 3.9. Για κάθε τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια, τα οποία απείχαν μεταξύ τους απόσταση 10 μέτρων. Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις χάρτες με τις θέσεις των δύο τομογραφιών. Ο πρώτος έχει κατασκευαστεί σε περιβάλλον GIS και εκτός από τη παράταξη έχει και τη φορά των τομογραφιών, ο δεύτερος έχει επίσης κατασκευαστεί με πρόγραμμα GIS και παρουσιάζει τις τομογραφίες πάνω σε γεωλογικό χάρτη, ενώ ο τρίτος δείχνει τις θέσεις των ηλεκτροδίων πάνω στις τομές.



Εικόνα 3.9 Χάρτης με τις δύο τομογραφίες, κατασκευασμένος σε περιβάλλον GIS. Η πρώτη τομογραφία που πραγματοποιήθηκε είναι η ERT 1 με φορά από ανατολή προς δύση και η δεύτερη είναι η ERT 2, με φορά από νοτιο-ανατολικά προς βόρειο-δυτικά.

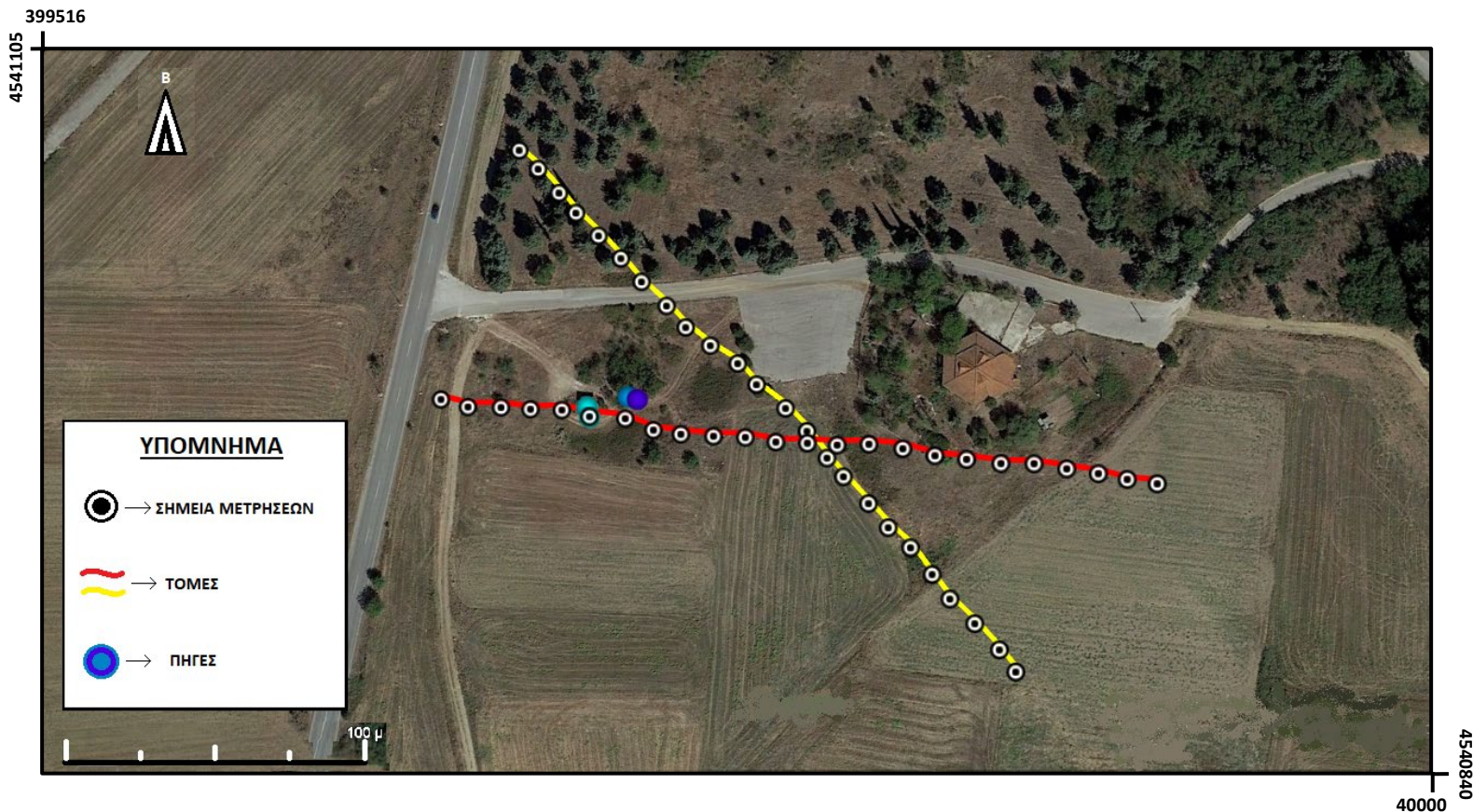


Εικόνα 3.10 Γεωλογικός χάρτης με τις δύο τομογραφίες ERT 1 και ERT 2. Κατασκευασμένος σε περιβάλλον GIS.

Οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ήταν, όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, η πολλαπλής βαθμίδας και η διπόλου-διπόλου. Τα δεδομένα που ανακτήθηκαν από την εφαρμογή της διάταξης διπόλου-διπόλου δεν ήταν καλύτερα ποιοτικά από τα αντίστοιχα που λάβαμε από την εφαρμογή της πολλαπλής βαθμίδας και έτσι δεν θα γίνει περαιτέρω αναφορά σε αυτά.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, το όργανο μέτρησης ελέγχει, ανάλογα με τη διάταξη που επιλέξαμε να εφαρμόσουμε, ποια ηλεκτρόδια θα λειτουργήσουν ως ηλεκτρόδια ρεύματος και ποια ως δυναμικού για κάθε μεμονωμένη μέτρηση. Όταν

λάβουμε μέτρηση για κάθε επιθυμητό συνδυασμό ηλεκτροδίων, ολοκληρώνεται η τομογραφία.



Εικόνα 3.11 Χάρτης με τις δύο τομογραφίες και τις θέσεις των ηλεκτροδίων. Πηγή εικόνας: Google Earth, ίδια επεξεργασία.



Εικόνα 3.12 Φωτογραφία του οργάνου Syscal Pro. Στην οθόνη του παρουσιάζεται η αποτύπωση μιας μέτρησης με τη μορφή καμπύλης.

3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

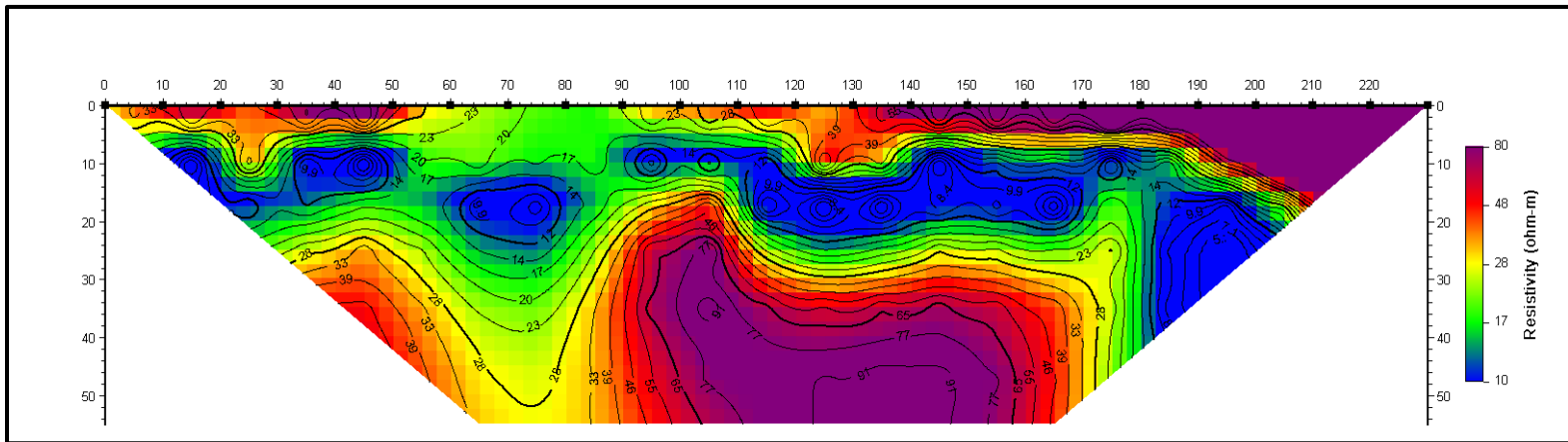
Αφού λήφθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα, αποθηκεύτηκαν σε εξωτερικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων ήταν το DC2DPro. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα αντιστροφής των δεδομένων της φαινόμενης αντίστασης, ώστε να προκύψουν οι τιμές της πραγματικής ειδικής αντίστασης και να μπορέσει να γίνει σωστή ερμηνεία της γεωλογικής δομής του υπεδάφους, αφού είναι γνωστό ότι η φαινόμενη αντίσταση παρουσιάζει μια αλλοιωμένη εικόνα αυτού.

Η διαδικασία της αντιστροφής εν συντομία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Τα δεδομένα των μετρήσεων εισάγονται στο πρόγραμμα αντιστροφής.
2. Το πρόγραμμα ξεκινάει την επεξεργασία δημιουργώντας ένα αρχικά απλό μοντέλο πραγματικών ειδικών αντιστάσεων.
3. Γίνεται υπολογισμός των φαινόμενων αντιστάσεων που θα προέκυπταν από αυτό το αρχικό μοντέλο.
4. Το πρόγραμμα συγκρίνει το μοντέλο των φαινόμενων αντιστάσεων που προέκυψε με τις τιμές των φαινόμενων αντιστάσεων που πήραμε από τις μετρήσεις στο ύπαιθρο.
5. Συνήθως τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν αρκετή απόκλιση το ένα από το άλλο και η διαδικασία συνεχίζεται με το πρόγραμμα να αλλάζει το αρχικό μοντέλο μέχρι να πετύχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ταύτιση με το μοντέλο των φαινόμενων αντιστάσεων που προέκυψε από τις μετρήσεις.
6. Όταν επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ταύτιση, το πρόγραμμα μας παρουσιάζει το μοντέλο των ειδικών αντιστάσεων που πέτυχε αυτήν την ταύτιση.
7. Από το μοντέλο των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων προκύπτει αργότερα, μετά από κατάλληλη ερμηνεία αυτού, η γεωλογική δομή του υπεδάφους.

Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζουν την κατανομή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους μεμονωμένα ως διαγράμματα ή πάνω σε χάρτη της περιοχής. Παρουσιάζονται επίσης τα δύο διαγράμματα σε τρισδιάστατο μοντέλο.

3.5.1 Τομογραφία 1η (ERT 1)



Εικόνα 3.13 Το διάγραμμα κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων της πρώτης τομογραφίας ERT 1 (αλλιώς η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους). Η τομή έχει κατεύθυνση από Ανατολή (0 μέτρα) προς Δύση (230 μέτρα).

Η πρώτη τομογραφία, η οποία παρουσιάζεται στην παραπάνω Εικόνα 3.13, μας δίνει πληροφορίες για την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι το βάθος των 54 μέτρων, περίπου. Οι πληροφορίες για την κατανομή αυτή μας δίνονται μέσω των διαφορετικών χρωμάτων που παρουσιάζουν οι διαφορετικές τιμές της αντίστασης. Οι χαμηλότερες τιμές των αντιστάσεων δείχνονται με έντονο μπλε χρώμα, ενώ οι υψηλότερες με μωβ. Κάποιες παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να γίνουν για το παραπάνω σχήμα είναι οι εξής:

1. Η περιοχή με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις ($> 77 \Omega\text{m}$), η οποία βρίσκεται από το 90ο μέτρο έως το 170ο μέτρο της τομογραφίας και σε βάθη από 20 έως 54 μέτρα, οφείλεται πιθανώς στον βαθύτερο (που εντοπίζει η τομογραφία) ημι-βραχώδη σχηματισμό της περιοχής (το οποίο, σύμφωνα με τη γεωλογική τομή της Εικόνας 1.19 και του γεωλογικού χάρτη της Εικόνας 1.17, αποτελείται από ψαμμίτες Τριαδικής ηλικίας).
2. Παρόμοιος ημι-βραχώδης σχηματισμός παρατηρείται και στην περιοχή μεταξύ του 32ου και του 62ου μέτρου της τομογραφίας και για βάθη από 24 έως 54 μέτρα.
3. Η περιοχή με τις χαμηλές αντιστάσεις ($< 33 \Omega\text{m}$), η οποία βρίσκεται μεταξύ του 62ου και 90ου μέτρου της τομογραφίας και για βάθη από 28 έως 54 μέτρα, διακόπτει την περιοχή με τις υψηλές αντιστάσεις του Τριαδικού ψαμμίτη και αντιστοιχεί πιθανώς σε ρηξιγενή αγωγίμη ζώνη (σύμφωνα και με τις παρατηρήσεις της έρευνας του

Παπαδόπουλου (2003) και του Γαβριηλίδη (2015), οι οποίοι αναφέρουν διασταυρούμενα ρήγματα στην περιοχή των πηγών).

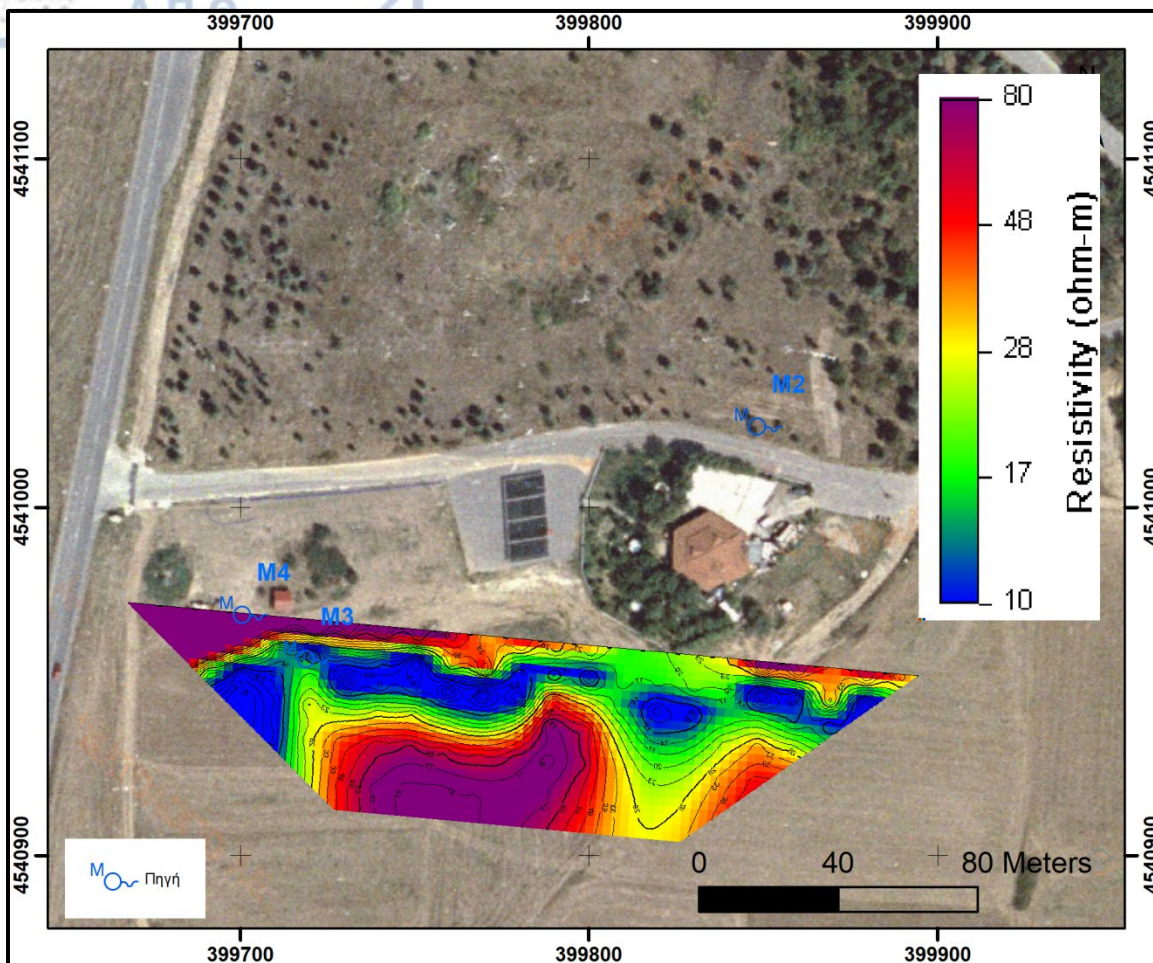
4. Παρόμοια περιοχή με χαμηλές αντιστάσεις, η οποία πιθανώς να αντιστοιχεί σε δεύτερη ρηξιγενή ζώνη εντοπίζεται και μεταξύ του 170ου και 210ου μέτρου της τομογραφίας και για βάθη από 20 μέτρα και κάτω. Οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές της αντίστασης σε αυτήν την περιοχή οφείλονται είτε σε νερό που κυκλοφορεί μέσα στο ρήγμα, είτε σε αργιλικό υλικό που το έχει πληρώσει.

5. Σχεδόν σε όλο το μήκος της τομογραφίας (παρατηρήσεις υπάρχουν από το 8ο έως το 210ο μέτρο της τομογραφίας) παρατηρείται μια ζώνη πάχους περίπου 16 μέτρων, από το βάθος των 4 μέτρων έως των 20 μέτρων, με πολύ χαμηλές αντιστάσεις. Πιθανώς να αντιστοιχεί σε στρώματα κορεσμένα σε νερό, δηλαδή σε υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος τροφοδοτεί τις πηγές «Γιάννες» στην επιφάνεια και είναι αρκετά αγωγίμος. Μπορεί, όμως, να οφείλεται και σε αργιλικά στρώματα, αφού οι τιμές που παίρνει η ειδική αντίσταση είναι ιδιαίτερα χαμηλές ($< 14 \Omega m$) και συνήθεις για τέτοιου είδους σχηματισμούς.

6. Η περιοχή με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις ($> 55 \Omega m$), η οποία εντοπίζεται από το 140ο έως το 230ο μέτρο της τομογραφίας και σε βάθη από 2 έως 16 μέτρα, είναι πιθανόν να οφείλεται σε άλατα (π.χ. τραβερτίνης) τα οποία έχουν συμπαγοποιηθεί και έχουν γενικά μεγάλη αντίσταση και αποτέθηκαν επιφανειακά εξαιτίας ροής του νερού των πηγών. Στην ίδια αιτία μπορεί να οφείλονται και τα σημεία με υψηλές αντιστάσεις που βρίσκονται αρκετά επιφανειακά στα πρώτα μέτρα της τομογραφίας (30ο-50ο μέτρο).

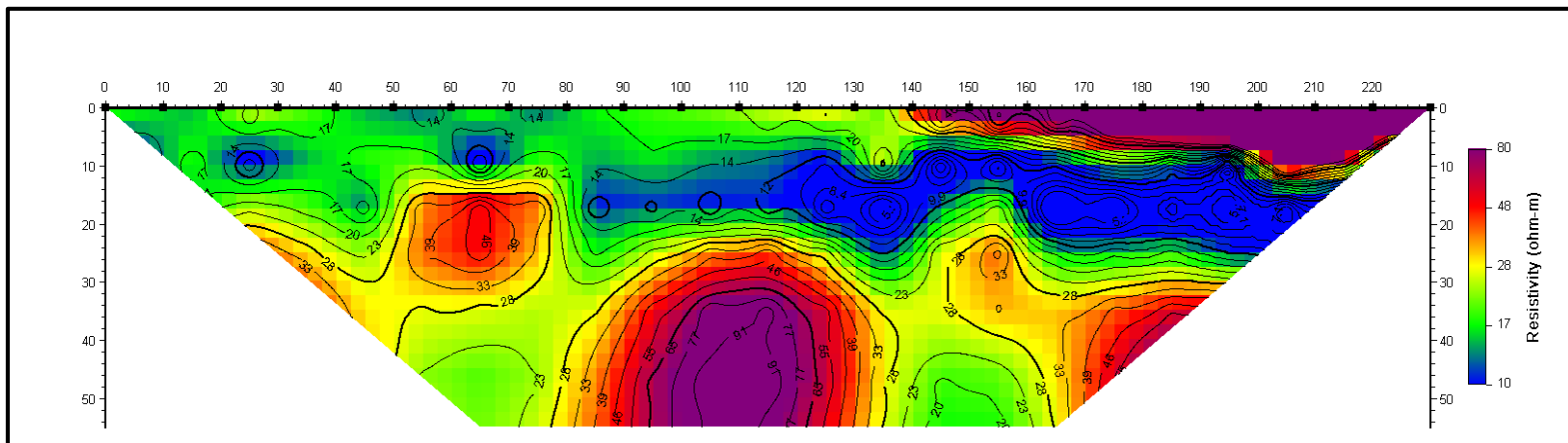
Παρακάτω παρατίθεται το σχήμα (Εικόνα 3.14) που παρουσιάζει την πρώτη τομή πάνω στο χάρτη με τις θέσεις των πηγών, ώστε να γίνει ευκολότερη η κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας τους.

Στο χάρτη φαίνεται ότι οι πηγές βρίσκονται ακριβώς πάνω από την περιοχή με τις υψηλές αντιστάσεις, την οποία ήδη προσπαθήσαμε να ερμηνεύσουμε στην παρατήρηση 6, παραπάνω. Η εγγύτητα των πηγών σε αυτό το σημείο επιβεβαιώνει την εικασία ότι οι αντιστάσεις αυτές σχετίζονται με αποθέσεις αλάτων, οι οποίες προήλθαν από επιφανειακή απορροή των νερών των πηγών. Επίσης, γίνεται πιο φανερό ότι οι πολύ χαμηλές αντιστάσεις, αμέσως κάτω από τις αρκετά υψηλές των τραβερτινοειδών αποθέσεων, οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα σε νερό (πλούσιο σε άλατα, αν λάβουμε υπόψη τις τιμές των αντιστάσεων, οι οποίες είναι ιδιαίτερα χαμηλές), το οποίο διέρχεται μέσω του ρήγματος που εντοπίζεται σε εκείνη την περιοχή και πληρώνει τον υδροφόρο ορίζοντα κάτω από τις πηγές.



Εικόνα 3.14 Χάρτης που απεικονίζει την πρώτη τομογραφία ERT 1 (στη διεύθυνση όπου αυτή πραγματοποιήθηκε) ταυτόχρονα με την θέση των πηγών «Γιάννες». Η απεικόνιση αυτή είναι χρήσιμη στην ερμηνεία του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών, αφού προσφέρει τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αντιστάσεων, ιδίως αυτών που βρίσκονται σε χαμηλό βάθος, με τις επιφανειακές συνθήκες.

3.5.2 Τομογραφία 2^η (ERT 2)



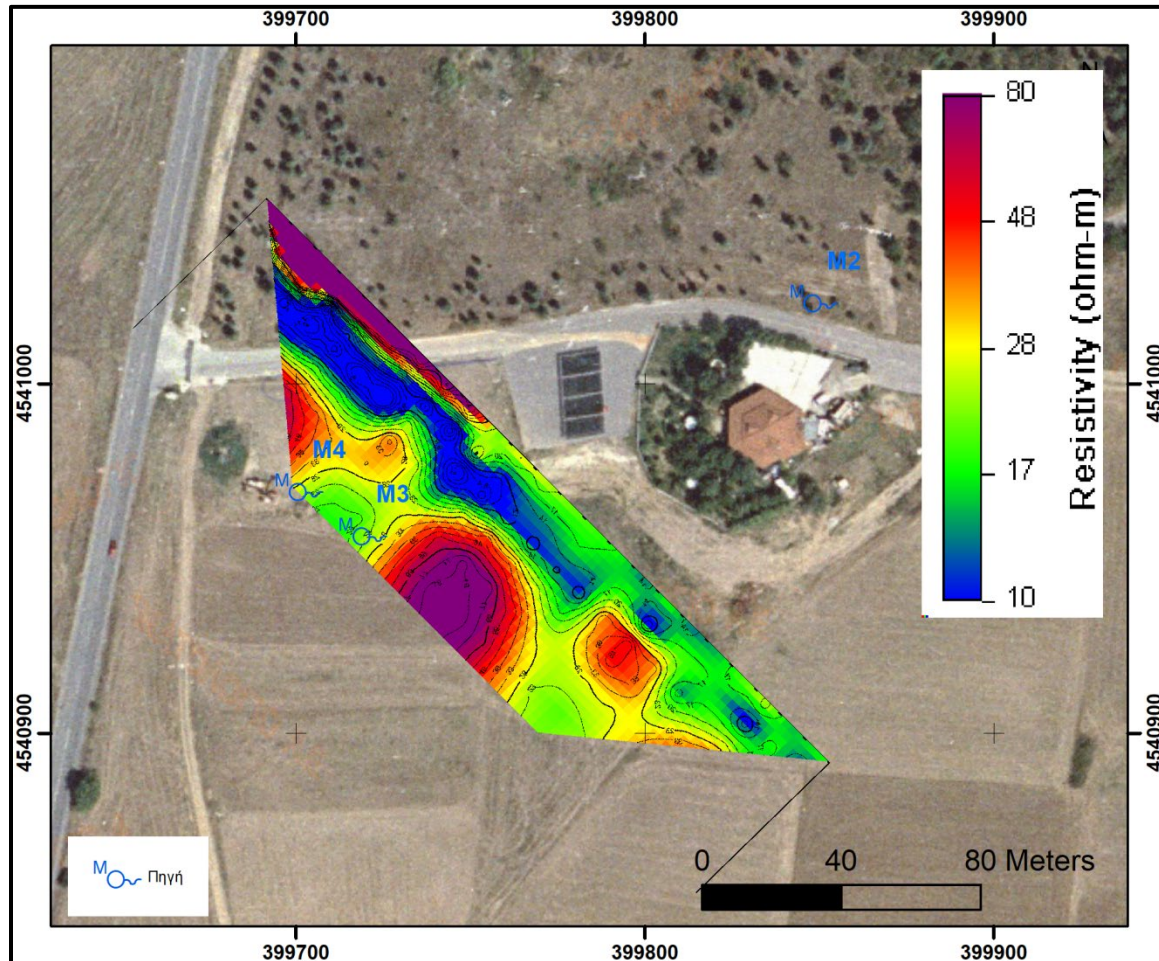
Εικόνα 3.15 Το διάγραμμα κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων της δεύτερης τομογραφίας ERT 2 (αλλιώς η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους). Η τομή έχει φορά από ΝΑ (0 μέτρα) προς ΒΔ (230 μέτρα).

Η δεύτερη τομογραφία είναι αυτή που παρουσιάζεται στην παραπάνω Εικόνα 3.15. Όπως και η πρώτη, μας δίνει πληροφορίες για τη γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους μέχρι το βάθος 54 μέτρων, περίπου. Παρόμοιες παρατηρήσεις, όπως και στην πρώτη τομογραφία, μπορούν να ειπωθούν κι εδώ.

1. Η περιοχή με τις υψηλές αντιστάσεις, από το βάθος των 30 έως των 54 μέτρων και από το 90ο έως το 130ο μέτρο της τομογραφίας, αντιστοιχεί σε ημι-βραχώδη σχηματισμό, παρόμοιας λιθολογίας με αυτόν που εντοπίστηκε στην πρώτη τομογραφία.
2. Ημι-βραχώδης σχηματισμός εντοπίζεται στο ίδιο βάθος με την παρατήρηση 1 στην περιοχή από το 170ο έως το 195ο μέτρο της τομογραφίας και από το 20ο έως το 45ο μέτρο της τομογραφίας για βάθη από 25 μέτρα και κάτω.
3. Πιθανή ύπαρξη ρηγμάτων εντοπίζεται σε δύο περιοχές. Η πρώτη μεταξύ του 50ου (σε βάθος 36 μέτρων) και 80ου μέτρου της τομογραφίας και η δεύτερη μεταξύ του 130ου και του 170ου μέτρου της τομογραφίας, για βάθη από 30 μέτρα και κάτω.
4. Το στρώμα με τις πολύ χαμηλές αντιστάσεις, που εντοπίζεται στην πρώτη τομογραφία, υπάρχει και στη δεύτερη και γίνεται αισθητό κυρίως από το 82ο έως το 220ο μέτρο της τομογραφίας με μέσο πάχος 16 μέτρα (ξεκινάει από το βάθος των 8 και φτάνει περίπου έως τα 24 μέτρα). Το στρώμα αυτό εντοπίζεται και νωρίτερα από το 82ο μέτρο της τομογραφίας με ελάχιστα πιο υψηλές τιμές αντιστάσεων, συγκριτικά με τις τιμές που εμφανίζονται στον κύριο όγκο αυτού.

5. Στην περιοχή μεταξύ του 140ου και του 230ου μέτρου της τομογραφίας (για βάθη μέχρι 10 μέτρα) εντοπίζονται πολύ υψηλές αντιστάσεις, σύμφωνες με τις αντίστοιχες της πρώτης τομογραφίας.

Παρακάτω παρατίθεται ο χάρτης με την δεύτερη τομογραφία και την θέση των πηγών, όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.

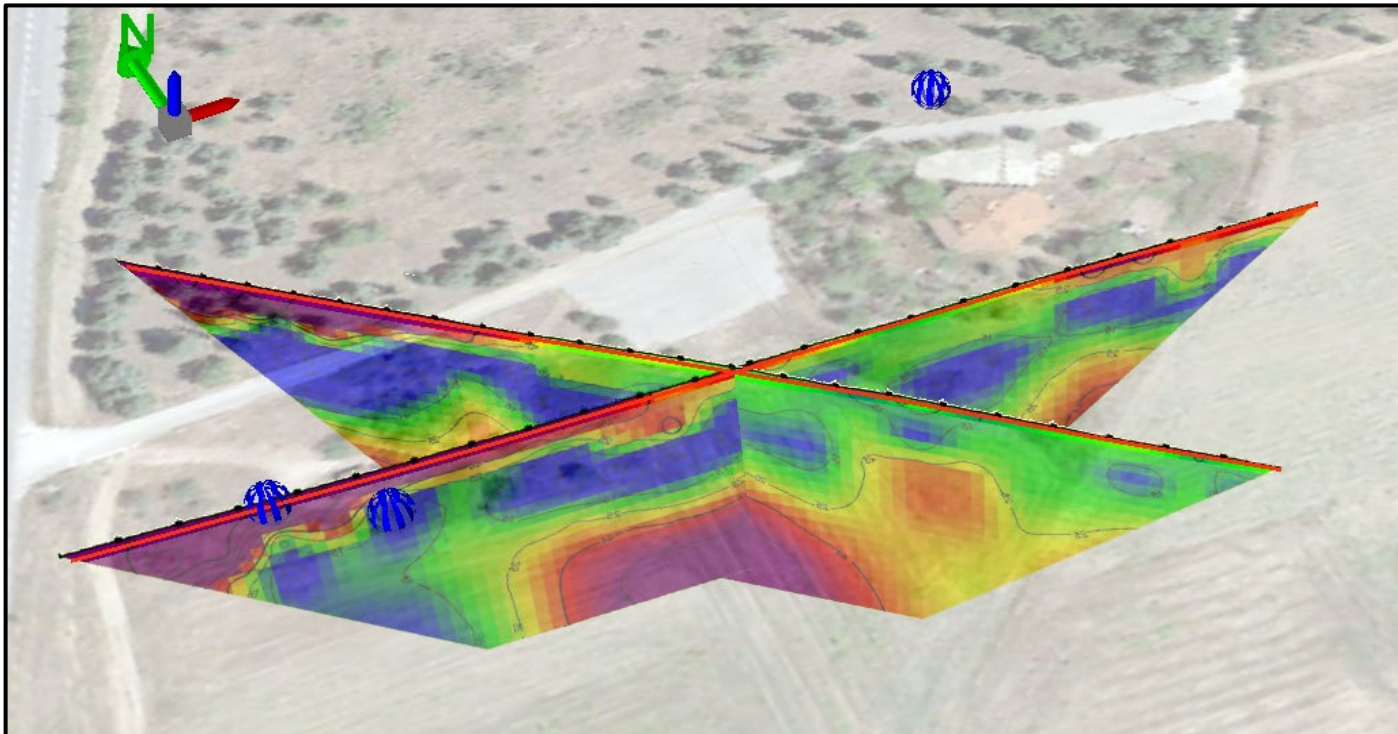


Εικόνα 3.16 Χάρτης που απεικονίζει τη δεύτερη τομογραφία παράλληλα με τη θέση των πηγών, ώστε να γίνει ευκολότερη η ερμηνεία της.

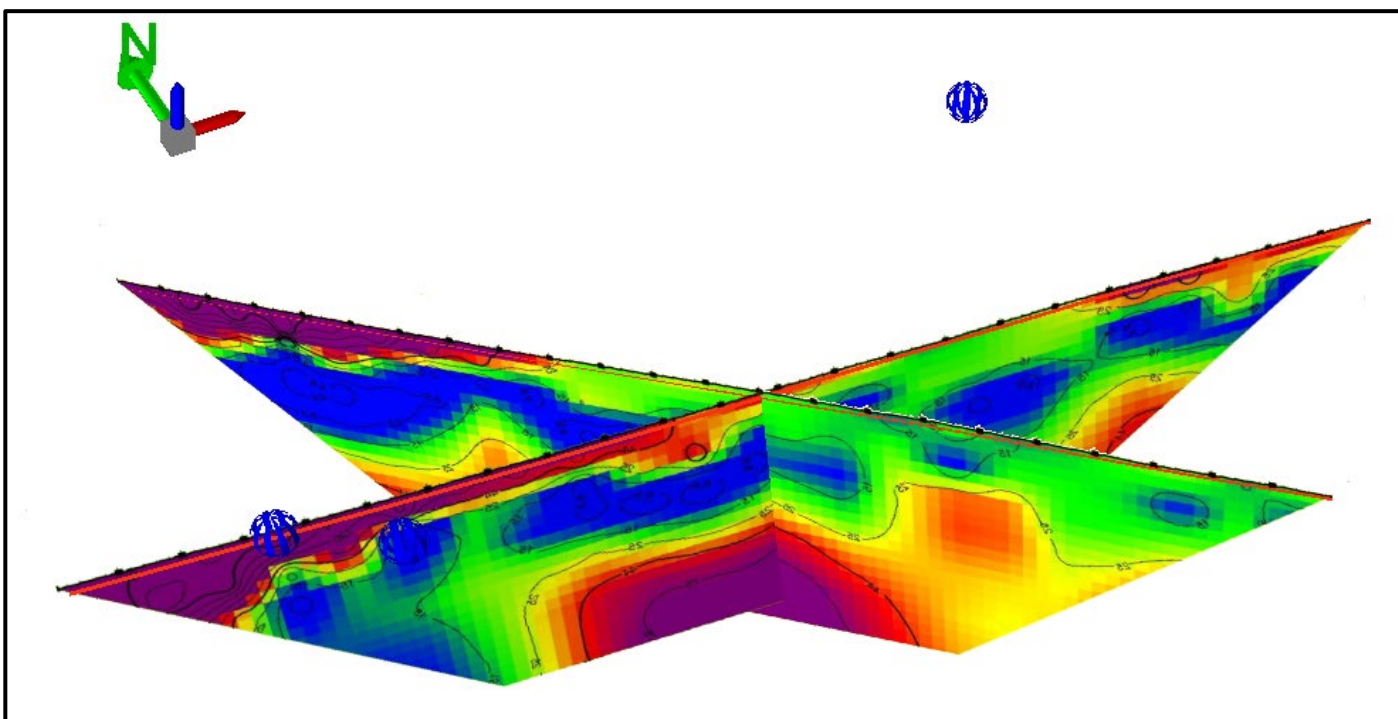
3.5.3 Τρισδιάστατες Προσομοιώσεις των τομογραφιών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρισδιάστατες προσομοιώσεις των διασταυρούμενων τομών για δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς, με ή χωρίς το χάρτη της περιοχής. Στα παρακάτω μοντέλα υπάρχει και αποτύπωση των θέσεων των πηγών, ως σφαίρες σκούρου μπλε χρώματος. Τα τρισδιάστατα μοντέλα διευκολύνουν ακόμη

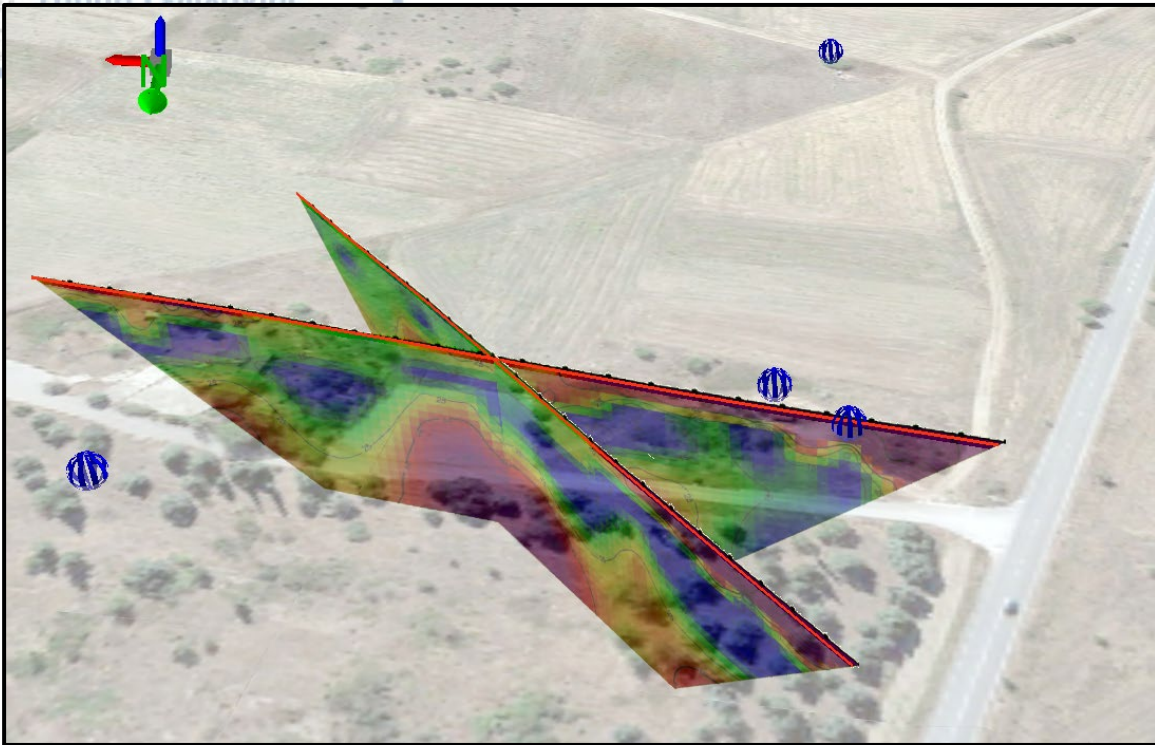
περισσότερο τους ερευνητές στην ερμηνεία του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών και γι' αυτό χρησιμοποιούνται συχνά.



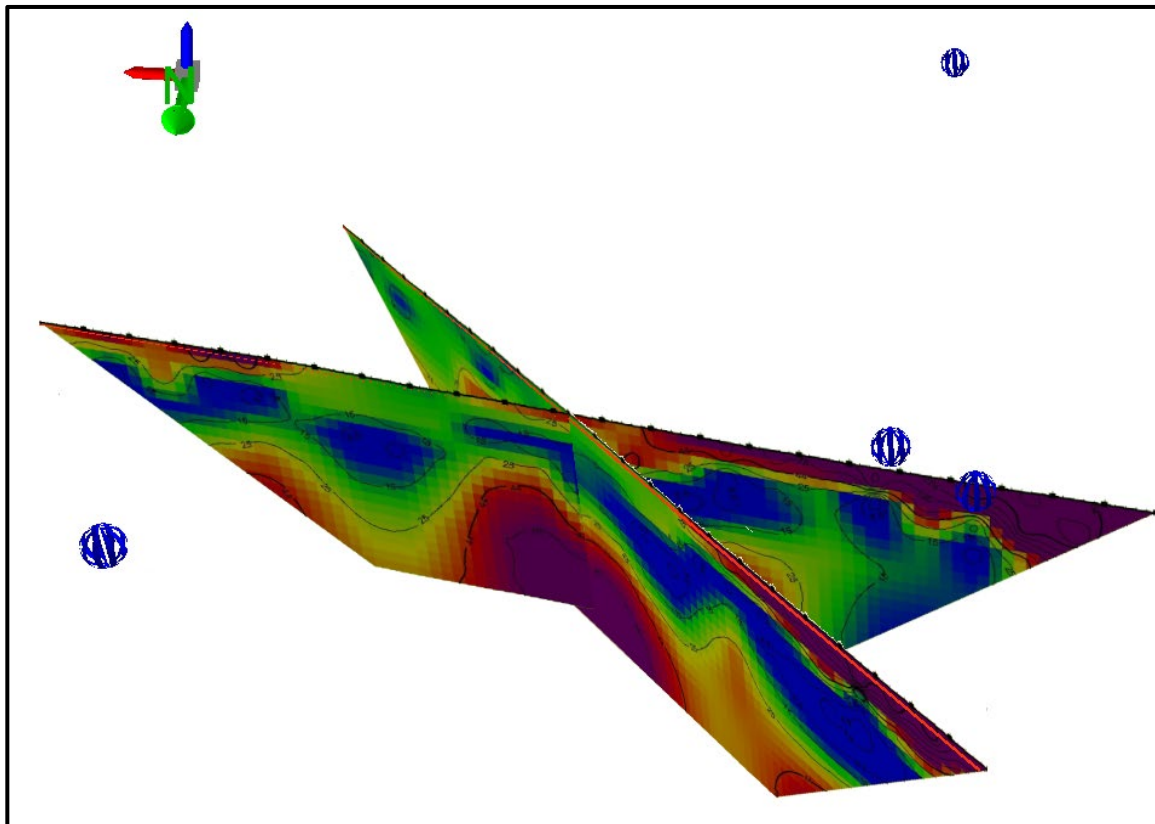
Εικόνα 3.17 Τρισδιάστατο μοντέλο που παρουσιάζει τις διασταυρούμενες τομογραφίες πάνω στο χάρτη της περιοχής. Οι πηγές δηλώνονται ως μπλε σφαίρες.



Εικόνα 3.18 Το τρισδιάστατο μοντέλο της Εικόνας 3.17, χωρίς το χάρτη της περιοχής.



Εικόνα 3.19 Τρισδιάστατο μοντέλο των διασταυρούμενων τομογραφιών. Η οπτική γωνία και ο προσανατολισμός είναι διαφορετικός από αυτόν της Εικόνας 3.17 και 3.18.



Εικόνα 3.20 Τρισδιάστατο μοντέλο των διασταυρούμενων τομογραφιών, χωρίς το χάρτη της περιοχής.

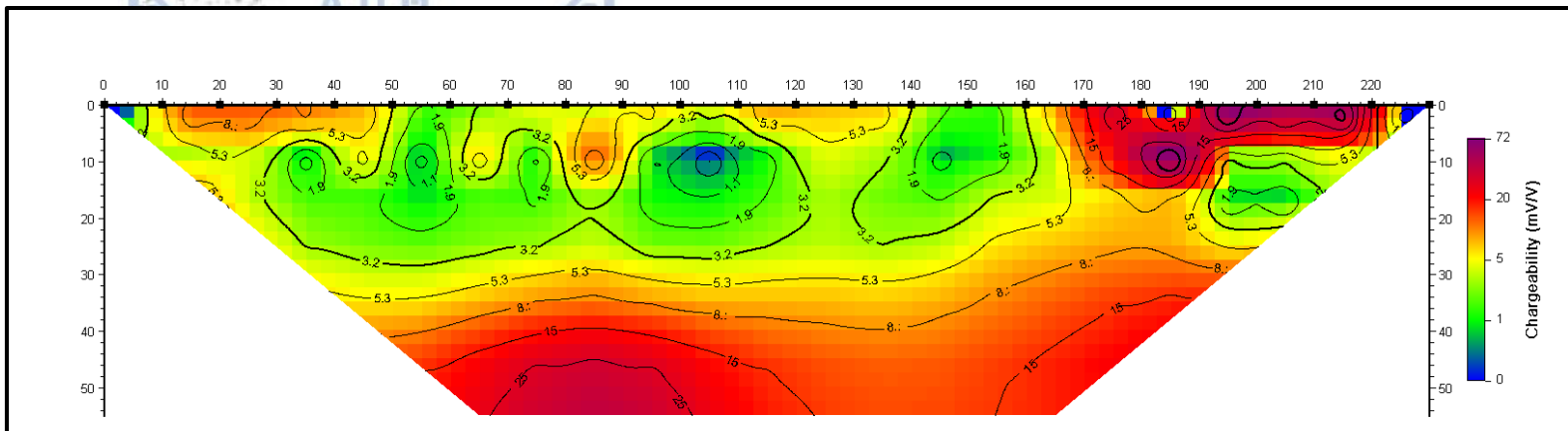
3.6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΠΑΓΟΜΕΝΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ

Η μέθοδος της Επαγόμενης Πόλωσης πραγματοποιήθηκε, όπως προαναφέρθηκε, κυρίως εξαιτίας της αδυναμίας που παρουσιάζει η μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης στη διάκριση μεταξύ των πολύ χαμηλών αντιστάσεων που εμφανίζουν αργιλικόι σχηματισμοί και μεταλλοφόρα σώματα από τις πολύ χαμηλές αντιστάσεις που παρουσιάζουν τα υδροφόρα στρώματα και ειδικά αυτά που είναι κορεσμένα σε νερό πλούσιο σε άλατα. Η μέθοδος της Επαγόμενης Πόλωσης καθιστά εφικτή αυτή τη διάκριση, γεγονός που γίνεται κατανοητό αν λάβουμε υπόψη το μηχανισμό δημιουργίας του φαινομένου της πόλωσης. Σύμφωνα με αυτόν, μετρήσιμες τιμές φορτιστικότητας λαμβάνουμε όταν στο υπέδαφος εντοπίζεται μεταλλοφορία ή και αργιλικόι σχηματισμοί. Αντιθέτως, η τιμές της φορτιστικότητας είναι μηδενικές ή πολύ χαμηλές όταν στο υπέδαφος δεν υπάρχουν οι παραπάνω σχηματισμοί. Έτσι, ο συνδυασμός μεγάλων τιμών φορτιστικότητας ($> 10 \text{ mV/V}$) και χαμηλών τιμών ειδικής αντίστασης συνεπάγεται την ύπαρξη αργιλικών σχηματισμών/μεταλλοφορίας στο υπέδαφος, ενώ ο συνδυασμός χαμηλών τιμών φορτιστικότητας ($< 10 \text{ mV/V}$) και χαμηλών τιμών αντίστασης συνεπάγεται την ύπαρξη υδροφόρου στρώματος.

Ο τρόπος και ο εξοπλισμός με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν διαφέρει από αυτόν της μεθόδου της Ειδικής Αντίστασης, οπότε δεν θα γίνει περαιτέρω περιγραφή αυτού. Το μόνο που θα τονιστεί ξανά είναι ότι χρησιμοποιήθηκε η διάταξη πολλαπλής βαθμίδας και ότι μετρήσεις πάρθηκαν μόνο για την τομογραφία 2, η οποία παρουσιάζεται με κίτρινη γραμμή στην Εικόνα 3.11.

3.7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΠΑΓΟΜΕΝΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ

Μετά την επεξεργασία που υπέστησαν τα δεδομένα που ελήφθησαν με τη μέθοδο αυτή, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3.21), το οποίο παρουσιάζει τη μεταβολή της τιμής της φορτιστικότητας στο υπέδαφος. Η τομή αυτή μας δίνει πληροφορίες μέχρι το βάθος των 54 μέτρων περίπου, όπως και οι τομές της Ειδικής Αντίστασης. Η πιθανότητα ύπαρξης μεταλλοφορίας στην περιοχή είναι αμελητέα για το βάθος των 54 μέτρων, οπότε δεν θα αναφερθούμε σε αυτήν. Κάποιες παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να γίνουν επ' αυτού είναι οι παρακάτω:

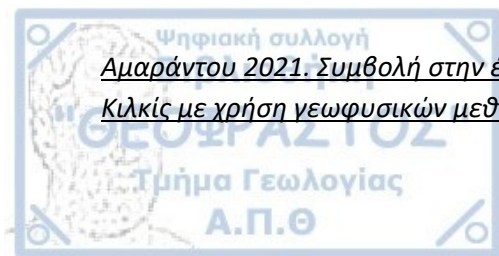


Εικόνα 3.21 Το διάγραμμα που προέκυψε μετά την επεξεργασία των δεδομένων της Επαγόμενης Πόλωσης. Η τομή αυτή αφορά την δεύτερη τομογραφία, η οποία στην Εικόνα 3.11 παρουσιάζεται με κίτρινη γραμμή.

1. Η τιμή της φορτιστικότητας σε ολόκληρη την τομή δεν παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα και παρατηρείται ομαλή μετάβαση από τις χαμηλές στις υψηλότερες τιμές και αντίστροφα. Παρόλα αυτά στην τομή εμφανίζονται περιοχές με αρκετά υψηλή τιμή φορτιστικότητας, αλλά και περιοχές με αρκετά χαμηλή τιμή.

2. Οι χαμηλές τιμές φορτιστικότητας, που εντοπίζονται μέχρι το βάθος των 30 περίπου μέτρων και από την αρχή της τομογραφίας μέχρι περίπου το 165ο μέτρο αυτής (αλλά και μεταξύ του 190ου και 220ου μέτρου, για βάθη από 10 έως 20 μέτρα), δείχνουν την απουσία αργιλικών σωμάτων. Σύμφωνα και με την γεωλογία της περιοχής, στο βάθος αυτό εντοπίζονται χαλαρά υλικά, αδρόκοκκα (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες) και αποσαθρώματα από σχιστολιθικά πετρώματα και υλικά ελουβιακού μανδύα. Μέσα σε αυτά, αν λάβουμε υπόψη μας και την αντίστοιχη τομή της Ειδικής Αντίστασης (Εικόνα 3.15), βρίσκεται ο υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος εμπλουτίζεται από τα διασταυρούμενα ρήγματα που προαναφέραμε.

3. Οι αρκετά υψηλές τιμές φορτιστικότητας, που εντοπίζονται από το 170ο έως το 220ο μέτρο της τομογραφίας από την επιφάνεια έως το βάθος των 12 περίπου μέτρων, συμπίπτει με την περιοχή πολύ υψηλών αντιστάσεων που εντοπίστηκε στην τομή της Εικόνας 3.15. Οι υψηλές αυτές τιμές της φορτιστικότητας, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, δηλώνουν την ύπαρξη αργιλικών σχηματισμών. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, η λιθολογία συνίσταται από τα υλικά που αναφέρθηκαν στην παρατήρηση 2. Σύμφωνα με τις υποθέσεις που κάναμε στην τομογραφία ERT 2, πρόκειται πιθανώς για αποθέσεις αλάτων από την επιφανειακή ροή του νερού των πηγών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει παράθεση των συμπερασμάτων στα οποία καταλήξαμε μετά από μελέτη των διαγραμμάτων της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης και των χαρτών του Φυσικού Δυναμικού. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου θα αναφερθούν μερικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στην περιοχή των πηγών, οι οποίες πιθανόν να συνέβαλαν αποτελεσματικότερα στην καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας αυτών.

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1.1 Εισαγωγή

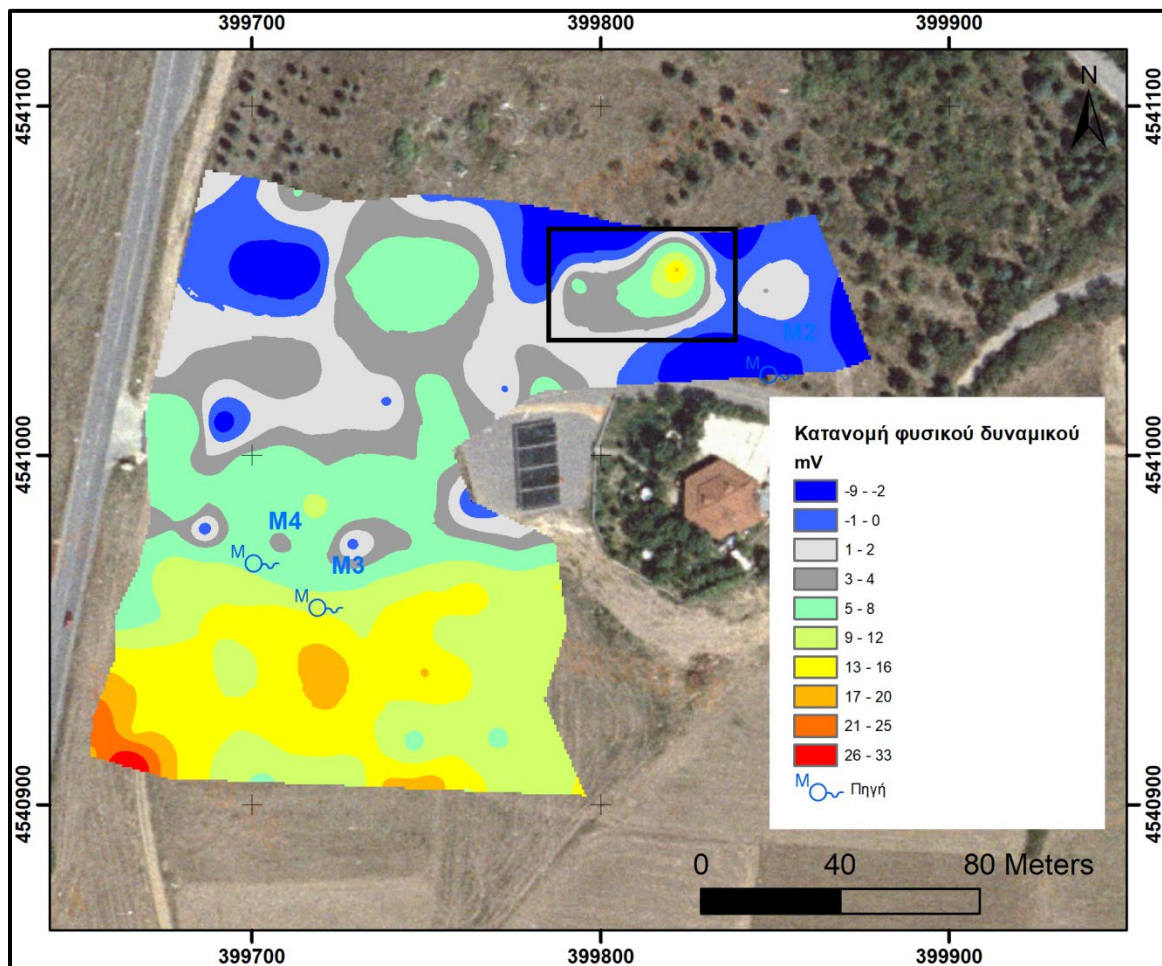
Σε αυτήν την παράγραφο θα γίνει παρουσίαση των συμπερασμάτων, τα οποία προέκυψαν από τις μετρήσεις που πάρθηκαν στην ύπαιθρο και την επεξεργασία που αυτές υπέστησαν, λαμβάνοντας υπόψη και τις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες που έχουμε από προγενέστερες μελέτες. Η παράθεση των συμπερασμάτων στα οποία καταλήξαμε θα ξεκινήσει από του Φυσικού Δυναμικού και θα ακολουθήσουν τα της Ειδικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης.

4.1.2 Συμπεράσματα από τη μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού, δηλαδή σύμφωνα με τον χάρτη ισοδυναμικών γραμμών ή

αλλιώς τον χάρτη κατανομής των ανωμαλιών του φυσικού δυναμικού (Εικόνα 3.5) προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

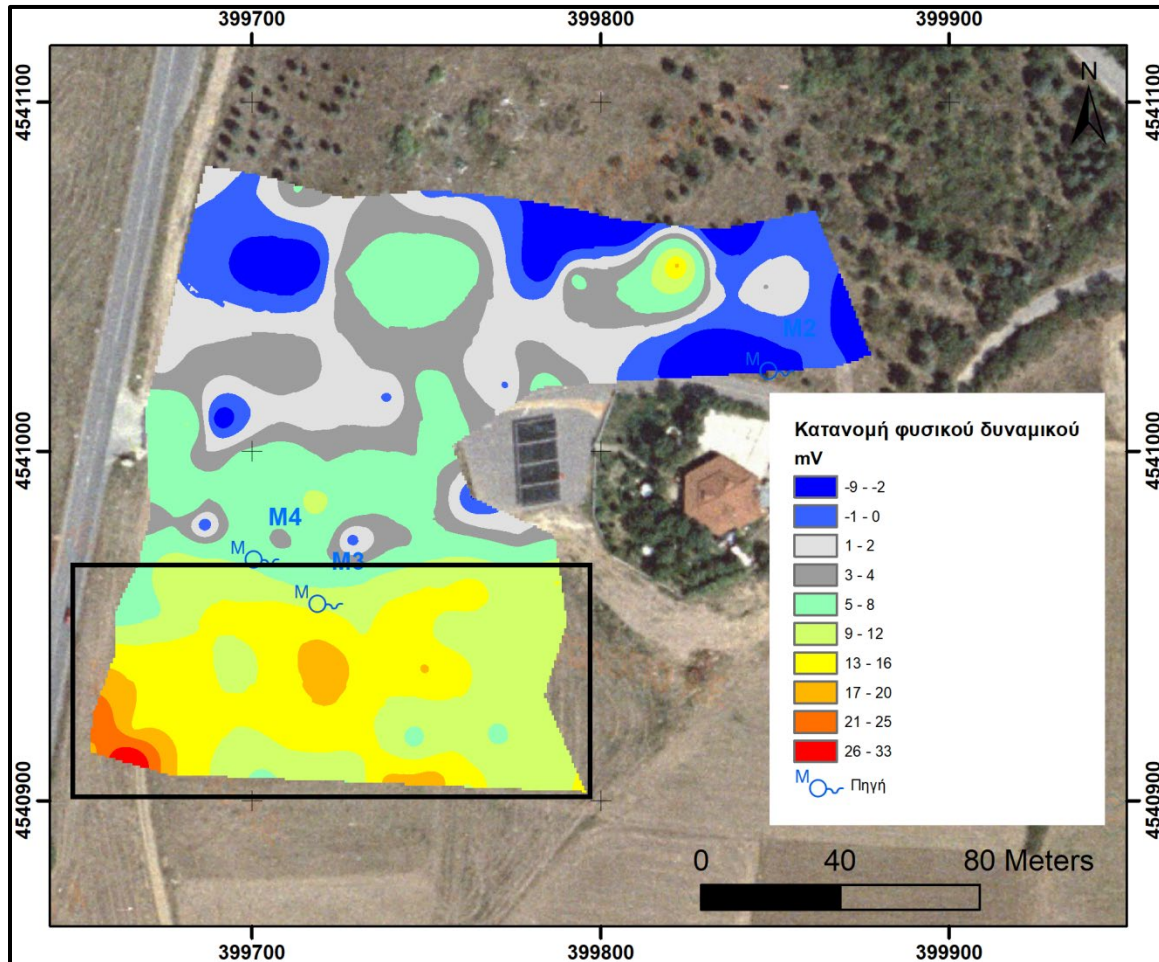
1. Η περιοχή που βρίσκεται μέσα στο μαύρο πλαίσιο, στην Εικόνα 4.1, και απέχει από τις πηγές περίπου 120 μέτρα προς τα βορειο-ανατολικά, παρουσιάζει θετική ανωμαλία, η οποία δηλώνει ανοδική ροή νερού ή τουλάχιστον απουσία καθοδικής ροής, σε αντίθεση με τις συνθήκες που επικρατούν στην γύρω περιοχή. Η ανωμαλία αυτή συμπίπτει με την ύπαρξη στην περιοχή αυτή της πηγής M2 (Εικόνα 3.9), η οποία έχει εντοπιστεί από παλαιότερες μελέτες και πιθανώς να μην εμφανίζεται πλέον επιφανειακά, αφού δεν στάθηκε δυνατή η εύρεση της κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου.



Εικόνα 4.1 Χάρτης κατανομής φυσικού δυναμικού.

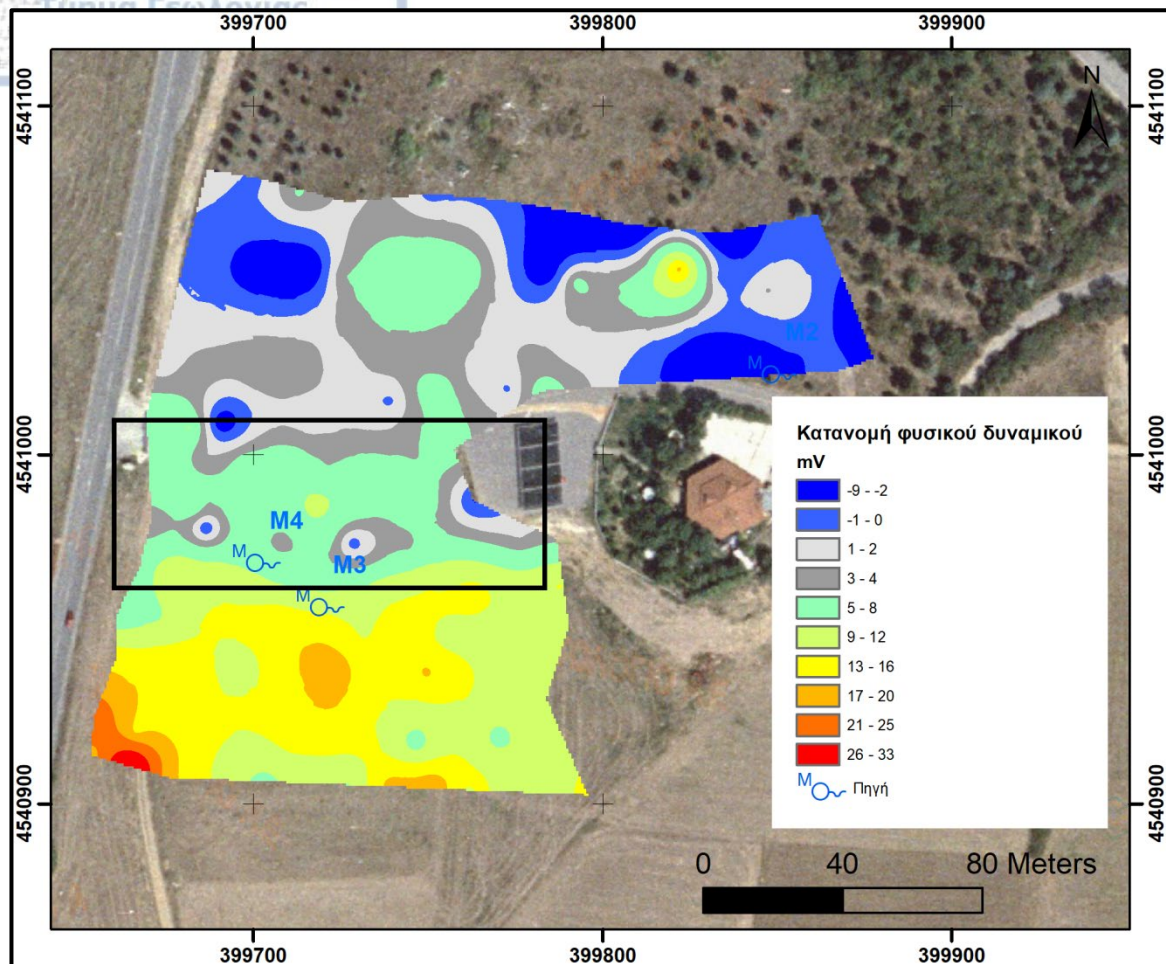
2. Η περιοχή, νοτίως των πηγών, παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές θετικών ανωμαλιών (Εικόνα 4.2). Αυτό σημαίνει ότι σε εκείνη την περιοχή υπάρχει μεγάλη άνοδος ρευστών

από τα βαθύτερα προς τα πιο επιφανειακά στρώματα. Το νερό που ανέρχεται τροφοδοτεί τον επιφανειακό υδροφόρα της περιοχής με αποτέλεσμα την επιφανειακή ανάβλυση των πηγών «Γιάννες», αλλά και όλων των άλλων πηγών που εντοπίζονται εκεί.



Εικόνα 4.2 Χάρτης κατανομής φυσικού δυναμικού. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται η περιοχή με τις θετικές ανωμαλίες.

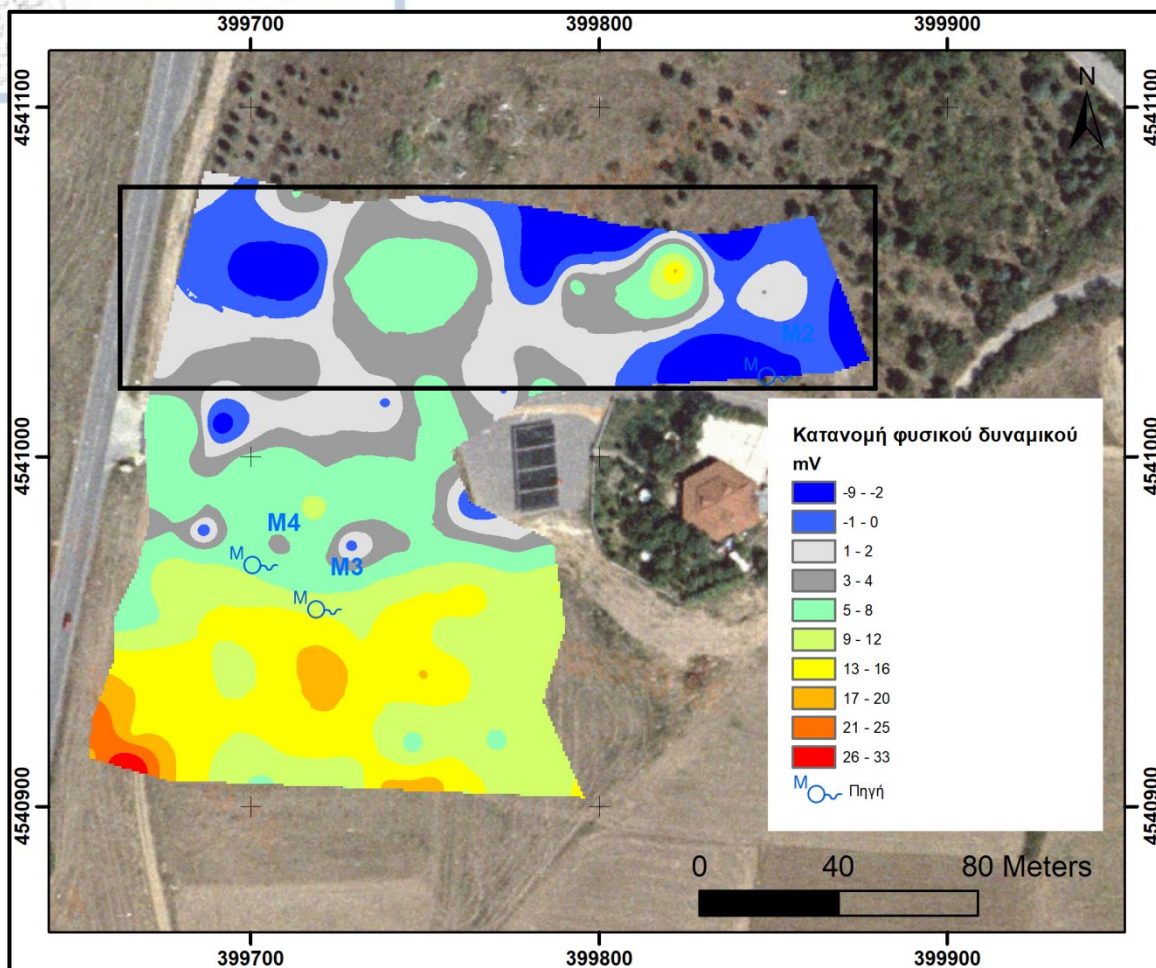
3. Η περιοχή με μικρές σχετικά τιμές θετικών ανωμαλιών (Εικόνα 4.3), η οποία βρίσκεται ακριβώς κάτω από τις επιφανειακές εμφανίσεις των πηγών «Γιάννες», δηλώνει πιθανώς την πλευρική ροή (και όχι ανοδική) του νερού μέσα στο επιφανειακό υδροφόρο στρώμα. Εκτόνωση αυτού του υδροφόρου στρώματος υπάρχει, όπως αναφέρθηκε ήδη, στα σημεία όπου αναβλύζουν οι πηγές.



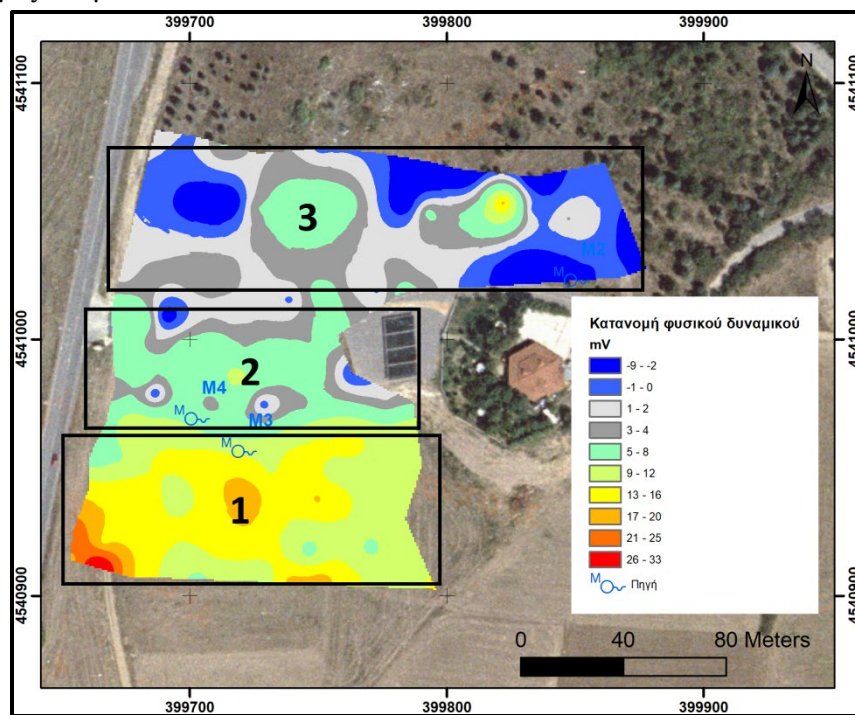
Εικόνα 4.3 Χάρτης κατανομής φυσικού δυναμικού. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται η περιοχή με τις μικρές τιμές θετικών ανωμαλιών.

4. Η περιοχή με τις αρνητικές τιμές ανωμαλιών (Εικόνα 4.4), βορείως των πηγών, δείχνει την ύπαρξη καθοδικής ροής/κατείσδυσης του νερού από το επιφανειακό στρώμα προς τα βαθύτερα.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι το εξής: Η κύρια ζώνη από την οποία ανέρχεται το μεταλλικό νερό και εμπλουτίζει τον επιφανειακό υδροφορέα εντοπίζεται στην περιοχή 1 (Εικόνα 4.5). Το νερό που ανεβαίνει από αυτήν τη ζώνη εξαπλώνεται με πλευρική/οριζόντια ροή στην περιοχή 2 (Εικόνα 4.5) και εκτονώνεται επιφανειακά στα σημεία των πηγών «Γιάννες». Στην περιοχή 3 (Εικόνα 4.5) το νερό αυτό κατεισδύει προς τα βαθύτερα στρώματα, πιθανώς μέσω ρηγμάτων.



Εικόνα 4.4 Χάρτης κατανομής φυσικού δυναμικού. Στο πλαίσιο βρίσκεται η περιοχή με τις αρνητικές τιμές ανωμαλιών.

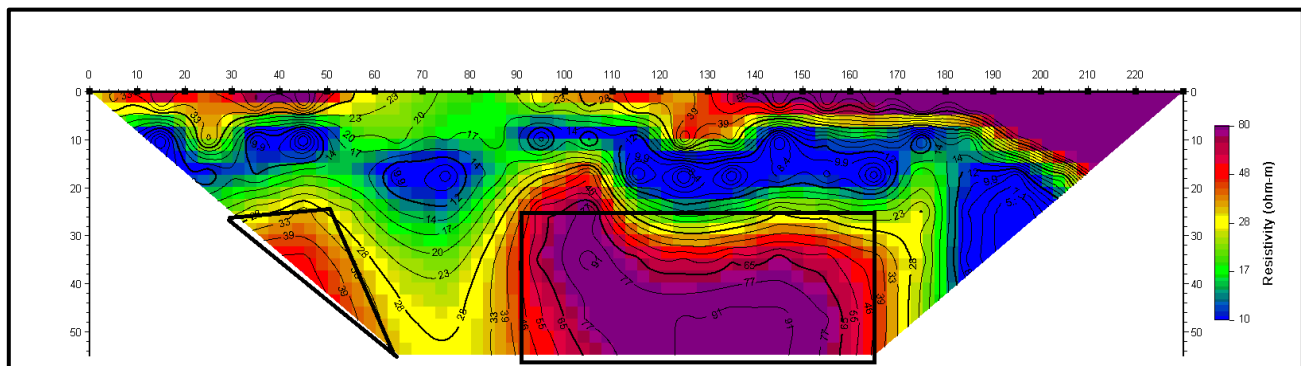


Εικόνα 4.5 Ο χάρτης κατανομής του φυσικού δυναμικού με τις περιοχές 1, 2 και 3, όπου παρατηρούνται διαφορές στις τιμές των ανωμαλιών.

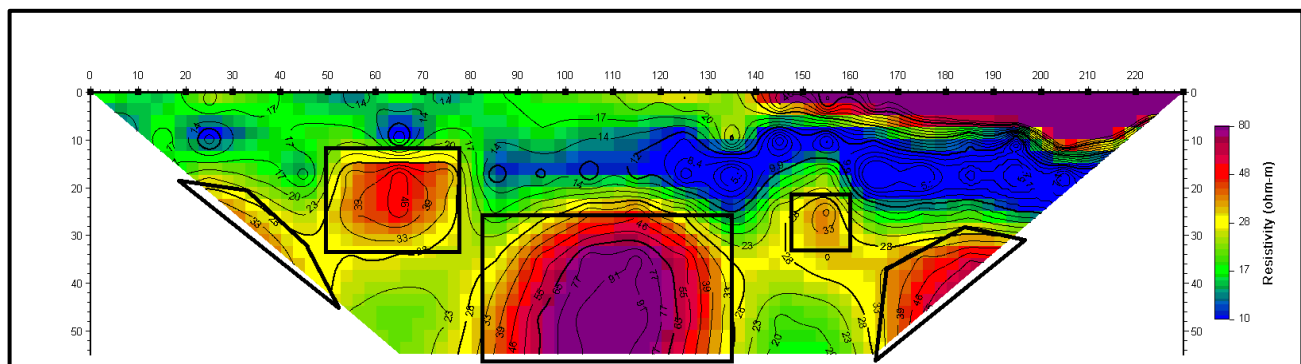
4.1.3 Συμπεράσματα από συνδυασμό των μεθόδων της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και της Επαγόμενης Πόλωσης

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν τα τελικά συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά από μελέτη των διαγραμμάτων της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης, τα οποία θα συνδυαστούν στη συνέχεια με αυτά της Επαγόμενης Πόλωσης.

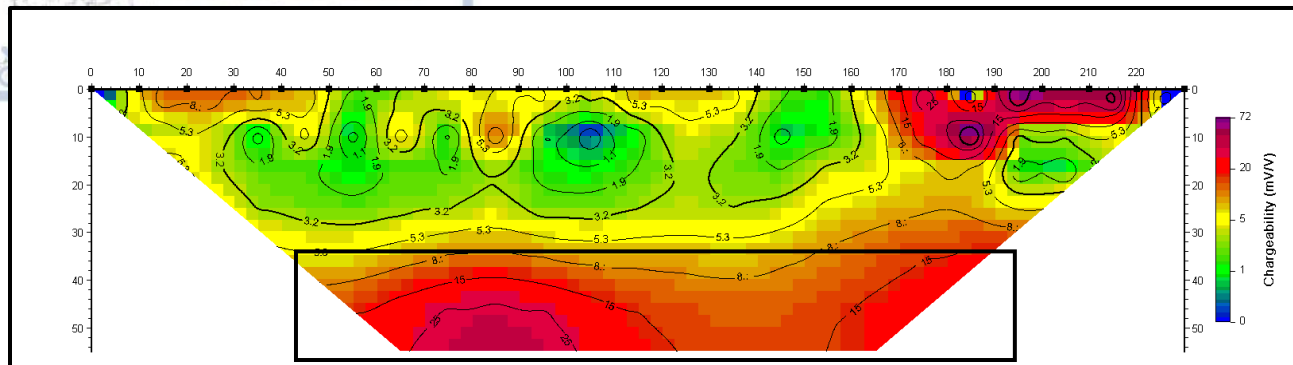
1. Οι περιοχές που βρίσκονται μέσα στα μαύρα πλαίσια και αντιπροσωπεύουν τις υψηλότερες αντιστάσεις που εμφανίζονται στις τομές (Εικόνα 4.6 και 4.7), αντιστοιχούν στον βαθύτερο και πιο συμπαγή σχηματισμό που συναντάται. Ο σχηματισμός αυτός είναι, σύμφωνα με τη γεωλογία της περιοχής, ψαμμίτης ηλικίας Τριαδικής. Λαμβάνοντας όμως υπόψη και τα αποτελέσματα της Επαγόμενης Πόλωσης (Εικόνα 4.8), παρατηρούμε ότι στην περιοχή που εντοπίζεται ο ημι-βραχώδης αυτός σχηματισμός, υπάρχουν μετρήσιμες τιμές φορτιστικότητας, γεγονός που δηλώνει την ύπαρξη αρκετής ποσότητας αργιλικών στοιχείων στο εσωτερικό του. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανώς να πρόκειται περί αργιλο-ψαμμίτη.



Εικόνα 4.6 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 1. Στα μαύρα πλαίσια βρίσκονται οι αντιστάσεις που αντιπροσωπεύουν τον ημι-βραχώδη σχηματισμό.

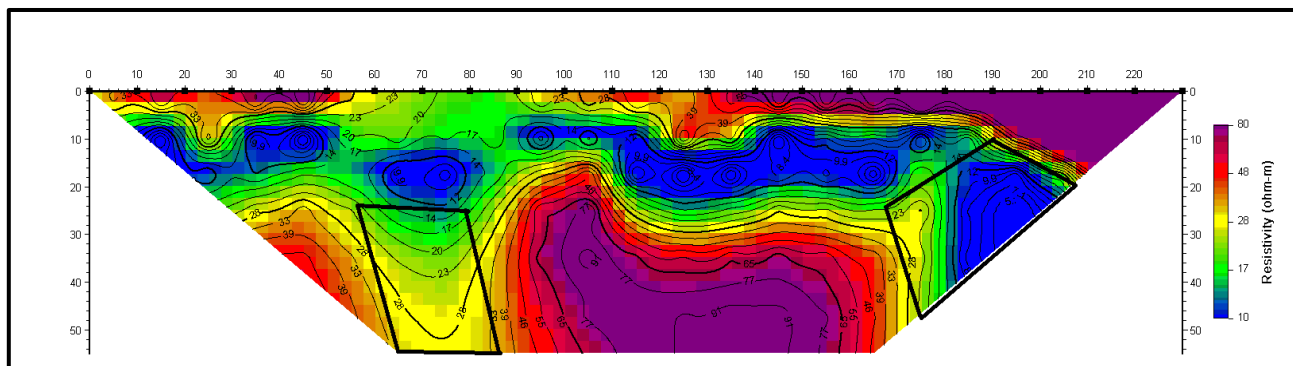


Εικόνα 4.7 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στα μαύρα πλαίσια βρίσκονται οι αντιστάσεις που αντιπροσωπεύουν τον ημι-βραχώδη σχηματισμό.

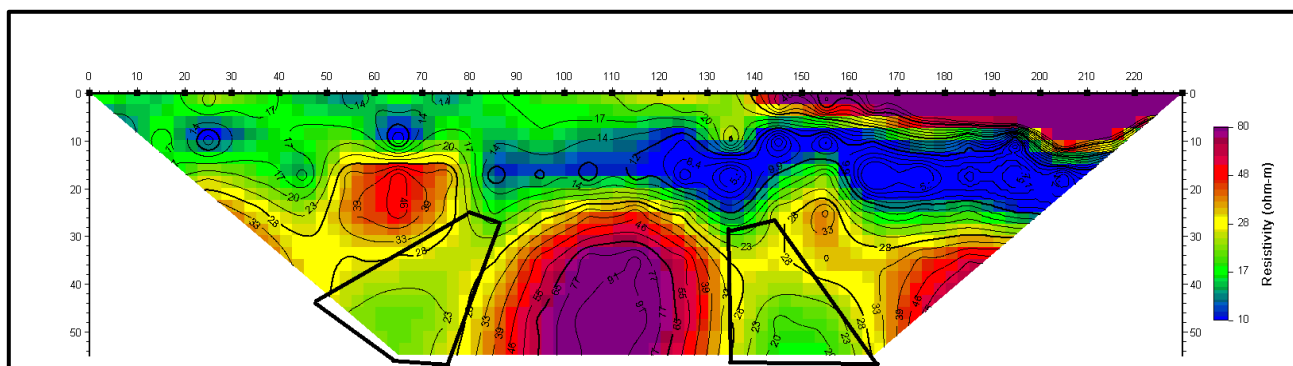


Εικόνα 4.8 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκονται οι τιμές φορτιστικότητας που αντιστοιχούν στον ημι-βραχώδη σχηματισμό.

2. Οι περιοχές που βρίσκονται μέσα στα μαύρα πλαίσια, στις Εικόνες 4.9 και 4.10, αντιστοιχούν στις ρηξιγενείς ζώνες μέσα από τις οποίες το μεταλλικό νερό ανέρχεται από τα βαθύτερα στρώματα προς τα πιο επιφανειακά και πληρώνει τον υδροφόρο ορίζοντα που βρίσκεται σε μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια.

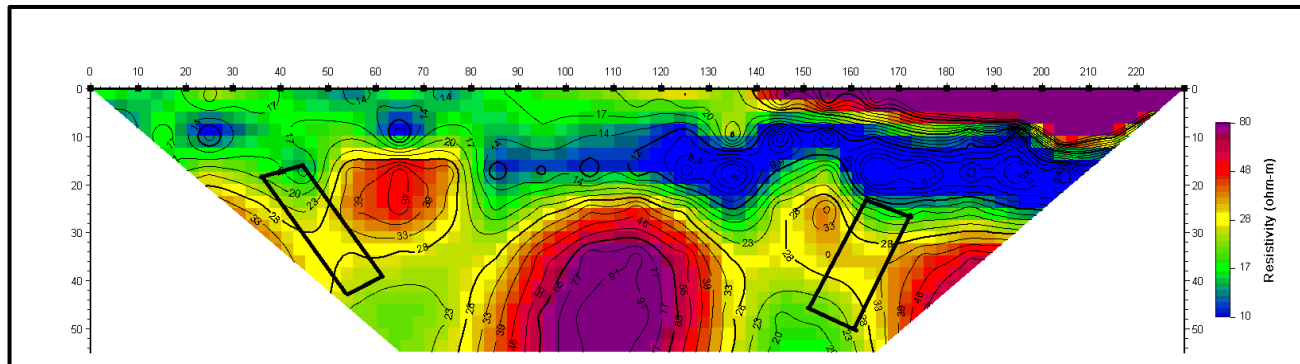


Εικόνα 4.9 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 1. Στα μαύρα πλαίσια βρίσκονται οι αντιστάσεις που αντιπροσωπεύουν τα ρήγματα.



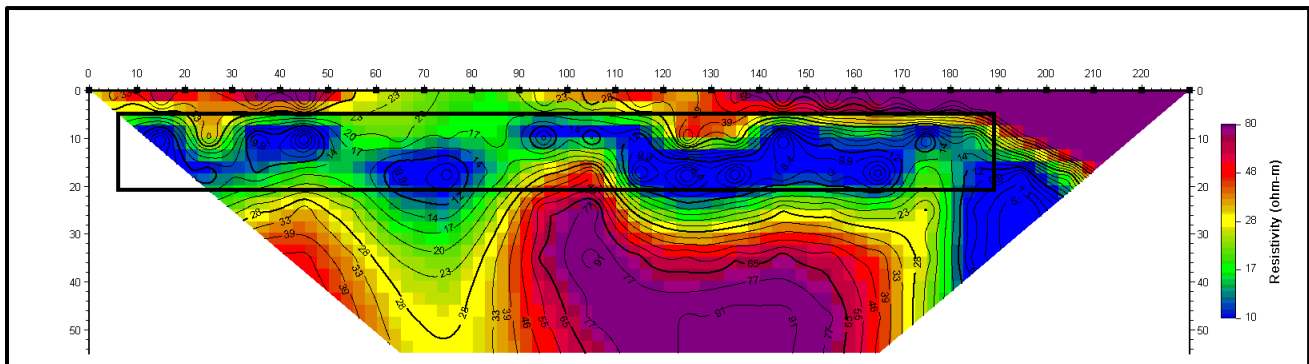
Εικόνα 4.10 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στα μαύρα πλαίσια βρίσκονται οι αντιστάσεις που αντιπροσωπεύουν τα ρήγματα.

3. Οι περιοχές που βρίσκονται μέσα στα μαύρα πλαίσια, της Εικόνας 4.11, αντιπροσωπεύουν ασθενείς αποσαθρωμένες ζώνες (του ημι-βραχώδους σχηματισμού) με μικρή αντίσταση, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τη μεγάλη ροή του νερού. Το νερό καθώς διέρχεται μέσω των ρηγμάτων βρίσκει πρόσφορο έδαφος για μεγαλύτερη αποσάθρωση σε εκείνα τα σημεία και δημιουργεί επιπλέον αγωγούς μέσω των οποίων διέρχεται για να τροφοδοτήσει τον επιφανειακό πορώδη σχηματισμό.

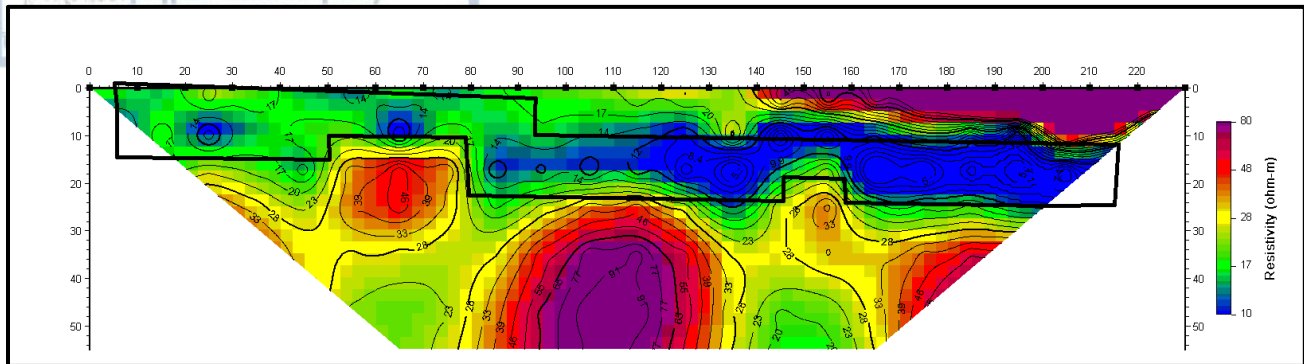


Εικόνα 4.11 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στα μαύρα πλαίσια βρίσκονται οι αντιστάσεις που αντιπροσωπεύουν τις πιο ασθενείς αποσαθρωμένες ζώνες.

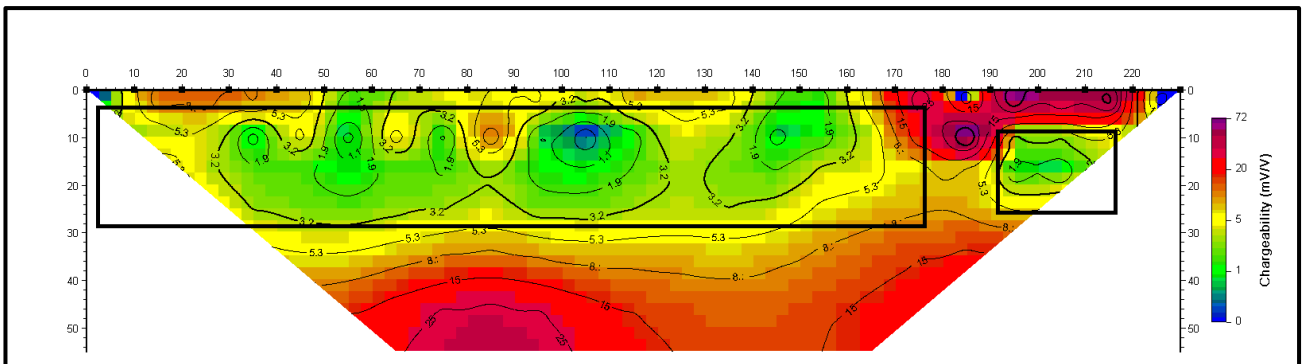
4. Τα μαύρα πλαίσια των Εικόνων 4.12, 4.13 και 4.14 αντιστοιχούν στο πολύ χαμηλών αντιστάσεων επιφανειακό υδροφόρο στρώμα. Πρόκειται για πορώδη σχηματισμό (αποτελούμενο, σύμφωνα με τη γεωλογία της περιοχής από αποσαθρώματα, υλικά ελουβιακού μανδύα), ο οποίος τροφοδοτεί με νερό τις πηγές. Οι πολύ χαμηλές τιμές αντίστασης που εμφανίζει οφείλονται στο μεγάλης αγωγιμότητας μεταλλικό νερό που περιέχει και όχι σε ύπαρξη αργιλικών συστατικών, αφού δεν εμφανίζει καθόλου φορτιστικότητα.



Εικόνα 4.12 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 1. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται ο υδροφόρος σχηματισμός.

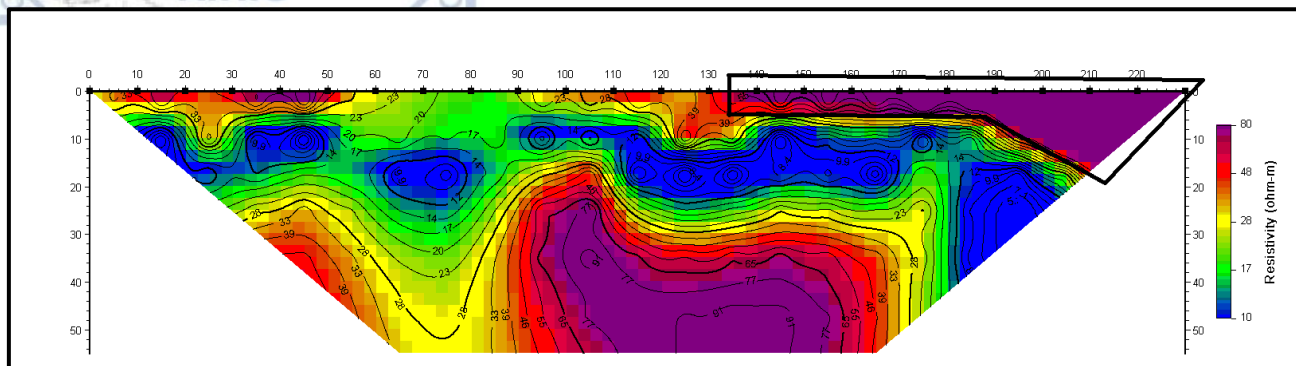


Εικόνα 4.13 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται ο υδροφόρος σχηματισμός.

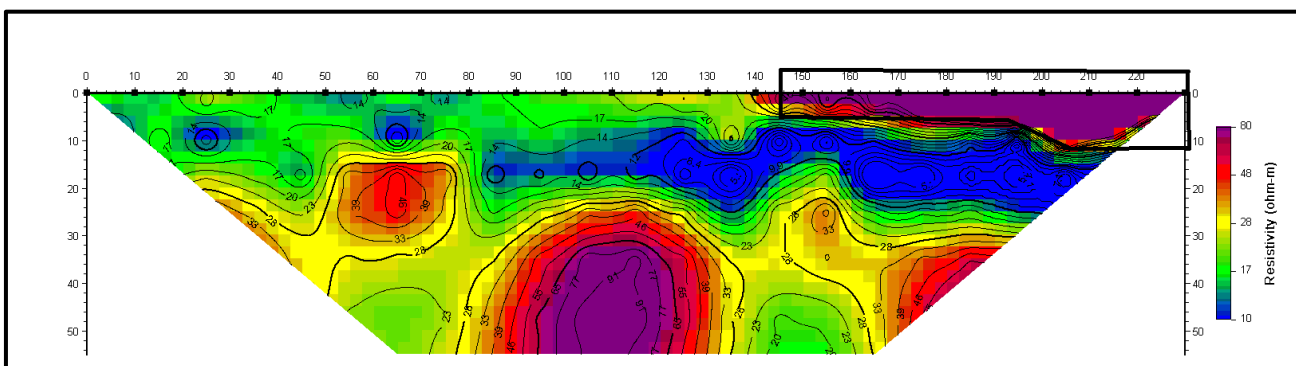


Εικόνα 4.14 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται ο υδροφόρος σχηματισμός. Η απουσία φορτιστικότητας αποδεικνύει την απουσία αργιλικών στοιχείων.

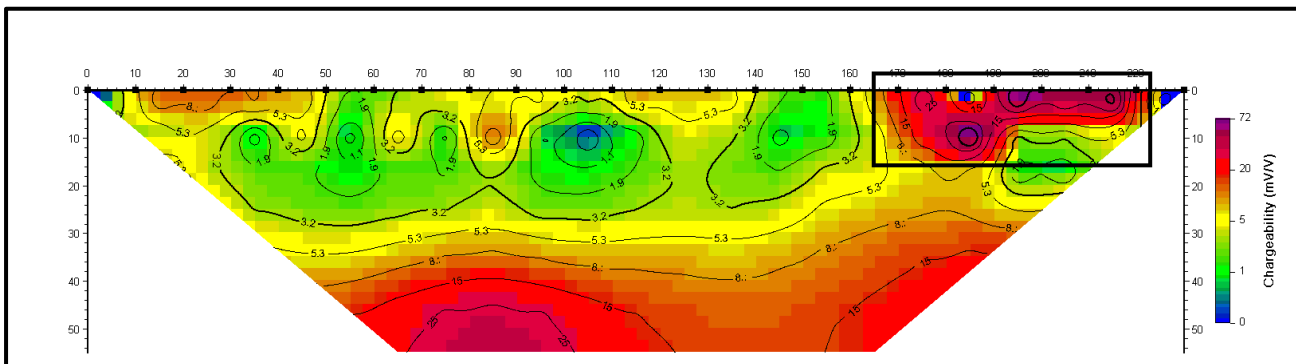
5. Η περιοχή που βρίσκεται μέσα σε πλαίσιο στις Εικόνες 4.15, 4.16 και 4.17 αντιστοιχεί σε περιοχή με πολύ υψηλές αντιστάσεις και τιμές φορτιστικότητας. Σύμφωνα με τις επί τόπου παρατηρήσεις, αλλά και με τη γεωλογία της περιοχής, πρόκειται για τραβερτινοειδείς αποθέσεις και ασβεστίτικα άλατα που δημιουργούνται από το νερό των πηγών. Σύμφωνα, όμως με τις τιμές της φορτιστικότητας, πρόκειται περί αργιλικού σχηματισμού (γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την πολύ υψηλή αντίστασης που εμφανίζει). Η ερμηνεία του σχηματισμού αυτού δεν είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί με τα υπάρχοντα δεδομένα. Μια υπόθεση που μπορεί να γίνει είναι ότι οι αποθέσεις του τραβερτίνη έχουν στα όρια τους/ στην επαφή τους με τον άλλο επιφανειακό σχηματισμό, πάνω στον οποίο αποτίθενται, μια αργιλική «κρούστα», με αποτέλεσμα τη δημιουργία πόλωσης μεμβράνης, η οποία εμφανίζει ολόκληρο το σχηματισμό ως αργιλικό.



Εικόνα 4.15 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 1. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται ο σχηματισμός με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις που αντιστοιχεί πιθανώς σε άλατα.



Εικόνα 4.16 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται ο σχηματισμός με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις που αντιστοιχεί πιθανώς σε άλατα.



Εικόνα 4.17 Διάγραμμα της τομογραφίας ERT 2. Στο μαύρο πλαίσιο βρίσκεται ο σχηματισμός με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις που αντιστοιχεί πιθανώς σε άλατα.

4.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

Κάποιες συμβουλές που θα μπορούσαμε να προτείνουμε για περαιτέρω έρευνες στην περιοχή, ώστε να διασαφηνιστεί ακόμη περισσότερο ο μηχανισμός λειτουργίας των συγκεκριμένων πηγών είναι οι παρακάτω:

1. Γεωτρήσεις δειγματοληπτικές/ερευνητικές μέχρι το βάθος των 55-60 μέτρων στην περιοχή των τομογραφιών, ώστε να γίνει γνωστή με ακρίβεια η φύση του ημι-βραχώδους σχηματισμού, τον οποίο αναφέραμε ως ψαμμίτη-αργιλοψαμμίτη, αλλά και του επιφανειακού πορώδους υδροφόρου στρώματος.
2. Δειγματοληπτική μελέτη της περιοχής που αναφέρεται στο συμπέρασμα 5 και εντοπίζεται στις Εικόνες 4.15, 4.16, 4.17, ώστε να εξακριβωθεί η ορυκτολογική σύσταση του σχηματισμού και επιπλέον έρευνες γεωφυσικής και άλλης φύσεως για την εξακρίβωση της αιτίας στην οποία οφείλεται η Επαγόμενη Πόλωση, ταυτόχρονα με την πολύ υψηλή αντίσταση.



Αμαράντου 2021. Συμβολή στην έρευνα του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών «Γιάννες» Κιλκίς με χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική εργασία.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αποστολίδης, Γ., 2011. Ανάλυση Μιγαδικών Χαρακτηριστικών στις Μετρήσεις Φυσικού Δυναμικού. *Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.*
- Αποστολίδου, Α., 2014. Εφαρμογή Σύγχρονων Γεωφυσικών Μεθόδων στη Μελέτη του Μηχανισμού Λειτουργίας των Πηγών Αραβησσού. *Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.*
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014. «Διαδριατικός Αγωγός (TAP)-Γεωφυσική Έρευνα στην Περιοχή Τεναγών Φιλίππων-Έρευνα Ηλεκτρικής Τομογραφίας (ERT): Προκαταρκτικά Αποτελέσματα»
- Βαργεμέζης, Γ., Τσούρλος, Π., 2018. Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης-Φυλλάδιο Ασκήσεων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.
- Βαφείδης, Δ., 2018. Στρατηγικό Σχέδιο Δήμου Κιλκίς. *Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων.*
- Βουδούρης, Κ., 2009. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης, Κ., 2013. Τεχνική Υδρογεωλογία-Υπόγεια Νερά. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γαβριηλίδης, Γ., 2015. Υδρογεωλογική-Γεωλογική Μελέτη για την Αναγνώριση της Ιαματικής Πηγής «Γιάννες», Δήμου Κιλκίς. Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών, Δήμου Κιλκίς.

Κατσαρού, Χ., Μασμανίδης, Β., Παπαδόπουλος, Κ., 2015. Γεωφυσική Διασκόπηση με τη Μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού σε Περιοχές που Παρουσιάζουν Υπόγειες Ροές. *Διπλωματική Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.*

Κουλτζιόγλου, Ε., 2018. Εφαρμογή της Μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού στην Διερεύνηση του Μηχανισμού Λειτουργίας των Γεωθερμικών Πηγών Αγκίστρου, Σερρών. *Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.*

ΚΥΑ Α. Π. οικ. 172594. 2013. «Έγκριση Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ 10)»

Κωνσταντίνου, Ξ., Παπαστεφάνου, Σ. 2013. Ηλεκτρικές Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης στον Εντοπισμό Υπόγειων Εστιών Ρύπανσης. *Διπλωματική Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Τμήμα Τεχνολογίας Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου.*

Λεγκίτσα, Σ.-Φ., 2014. Ιαματικές Πηγές - Θεσμικό Πλαίσιο. *Διπλωματική Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Τμήμα Διοίκησης Τουριστικών Επιχειρήσεων.*

Μήτσιοι, Χ., 2014. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Χωροταξικός Σχεδιασμός: Εφαρμογή στην Περιφερειακή Ενότητα Κιλκίς. *Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.*

Μουντράκης, Δ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

- Μουρατίδης, Θ., 2009. Διαχείριση Υδατικών Πόρων Νομού Κιλκίς με τη Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). *Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.*
- Μπάλας, Δ., 2009. Συμβολή στη Μελέτη Υπόγειας Υδροφορίας με Συνδυασμένη Ερμηνεία Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου VLF και Φυσικού Δυναμικού (SP). *Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.*
- Παπαδόπουλος, Η., 2003. Γεωφυσική Έρευνα στην Ευρύτερη Περιοχή Πηγών Μεταλλικού, Δήμου Κιλκίς. Ελληνική Θερμαλιστική Εταιρεία Α.Ε, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος, Β., 1996. Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος, Β., Παπαζάχου, Κ., 2003. Οι Σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Στρατήλας, Ι., 2018. Τα Ιαματικά Λουτρά. *Διπλωματική Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικοθεραπείας.*
- Τασκούδης, Δ., 2018. Μελέτη Περιοχής της Νυμφόπετρας (Μυγδονία Λεκάνη) με Εφαρμογή της Μεθόδου της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. *Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.*
- Τουμαζάτος, Α., 2011. Ο Τουρισμός Υγείας και Ευεξίας στην Ελλάδα. *Διπλωματική Εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Τουριστικών Επιχειρήσεων.*
- Τσελέντης, Α., Παρασκευόπουλος, Π., 2013. Εφαρμοσμένη Γεωφυσική. Εκδόσεις Liberal Books, Αθήνα.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. 2013. Έργο «Έλεγχος Χημικής Ποιότητας Αρδευτικών Υδάτων (Επιφανειακών και Υπόγειων) σε Κλίμακα Λεκανών Απορροής Ποταμών Μακεδονίας – Θράκης και Θεσσαλίας- Αποτελέσματα Λεκάνης Αξιού-Λουδία»

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. 2013. Έργο «Έλεγχος Χημικής Ποιότητας Αρδευτικών Υδάτων (Επιφανειακών και Υπόγειων) σε Κλίμακα Λεκανών Απορροής Ποταμών Μακεδονίας – Θράκης και Θεσσαλίας- Αποτελέσματα Λεκάνης Αξιού-Υδρογεωλογικά στοιχεία»

Υπουργείο Ανάπτυξης. 2003. «Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας»

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων. 2018. «Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας»

ΦΕΚ Β 182/2014 «Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας»

Αγγλική Βιβλιογραφία

Abhay, K.B., Pal, S.K., Saurabh, Singh, K.K.K., Singh, P.K., Amar, P., Tiwary, R.K., 2019. Groundwater prospecting by the inversion of cumulative data of Wenner–Schlumberger and dipole–dipole arrays: A case study at Turamdih, Jharkhand, India. *J. Earth Syst. Sci.*, 128:107.

Ahzegebobor, P.A., Kehinde, D.O., 2014. The use of the multiple-gradient array for geoelectrical resistivity and induced polarization. *Journal of Applied Geophysics*, 111, 364-376.

- Akwasi, A.A., Piotr, T., Sylvester, K.D., 2013. 2D Electrical Resistivity Tomography (ERT) Survey using the Multi-Electrode Gradient Array at the Bosumtwi Impact Crater, Ghana. *Journal of Environment and Earth Science*, vol.3, No.5.
- Dahlin, T., Zhou, B., 2006. Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. *Near Surface Geophysics*, 113-123.
- Hubbard, S.S., Rubin, Y., 2005. Introduction to Hydrogeophysics. *Y. Rubin and S. S. Hubbard (eds.), Hydrogeophysics, Springer. Printed in the Netherlands.* 3-21.
- Jinadasa, S.U.P., De Silva, R.P., 2009. Resistivity imaging and self-potential applications in groundwater investigations in hard crystalline rocks. *Jour. National Scientific Foundation*, v.37(1), pp.23-32.
- Lesmes, D.P., Friedman, S.P., 2005. Relationships between the Electrical and Hydrogeological Properties of Rocks and Soils. *Y. Rubin and S. S. Hubbard (eds.), Hydrogeophysics, Springer. Printed in the Netherlands.* 87-128.
- Owen, R.J., Gwavava, O., Gwaze, P., 2005. Multi-electrode resistivity survey for groundwater exploration in Harare greenstone belt, Zimbabwe. *Hydrogeology Journal*, 14: 244-252.

Διαδικτυακές πηγές

- Βικιπαίδεια - Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, <https://el.wikipedia.org/> (Ανάκτηση Εικόνας με το χάρτη της Ελλάδος, της σελίδας 16)
- Ελλάδα και χρυσός - νέα και ειδήσεις, <https://www.xrysoselladas.gr/> (Ανάκτηση Εικόνας με το χάρτη της Κεντρικής Μακεδονίας, της σελίδας 16)
- Παίζω και Μαθαίνω – Βίκη Καραγιώργου, <https://blogs.sch.gr/vilikar/> (Ανάκτηση του σχήματος προσανατολισμού που βρίσκεται στις Εικόνες 1.1 και 1.2)

Στα Πλάγια Παιονίας..., <http://plagia-paionias.blogspot.com/> (Ανάκτηση Εικόνας 1.1)

Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., <http://www.geo.auth.gr/> (Ανάκτηση των εικόνων των
πετρωμάτων, της σελίδας 41)

Ψηφιακός Θησαυρός Ελληνικής Ιστορίας και Πολιτισμού, <http://pandektis.ekt.gr/dspace/>

Iris Instruments - Geophysical Equipment Manufacturer, <http://www.iris-instruments.com/> (Ανάκτηση Εικόνας 2.7)

L and R Instruments – Resistivity Meters, <http://www.landrinstruments.com/>

Mastering Electronics Design, <https://masteringelectronicsdesign.com/> (Ανάκτηση
Εικόνας 2.8)

Search Workshop Supplies (e-shop), <https://www.swsni.com/> (Ανάκτηση Εικόνας 2.5)

Wikimapia, <http://wikimapia.org/8715023/Xino-Nero>