



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

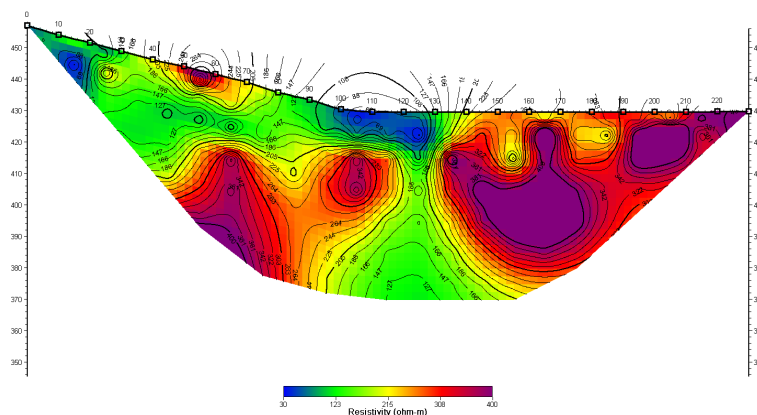


ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με θέμα:

«ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ Χ.Υ.Τ.Α. ΜΑΥΡΟΡΑΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ»



Φοιτητής:

Βίκτωρ Καρνιάτσος

A.E.M.: 3994

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Γ. Βαργεμέζης

Επίκουρος Καθηγητής

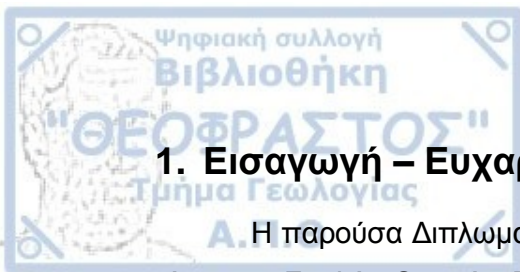
Π. Τσούρλος

Αναπληρωτής Καθηγητής



Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή – Ευχαριστίες	2
2. Αντικείμενο Διπλωματικής	3
3. Γεωλογικά – Υδρογεωλογικά – Μορφολογικά Στοιχεία Περιοχής	4
3.1. Γενικά Γεωλογικά Στοιχεία	4
3.2. Γενικά Υδρογεωλογικά – Υδρολογικά Στοιχεία	6
3.3. Γενικά Μορφολογικά Στοιχεία	11
4. Θεωρητικά Στοιχεία Γεωφυσικής Έρευνας	13
4.1. Ηλεκτρική μέθοδος	14
4.1.1. Περιγραφή βασικής μεθόδου	15
4.1.2. Διατάξεις μέτρησης	17
4.1.3. Ηλεκτρική Τομογραφία	19
4.1.3.1. Αντιστροφή των δεδομένων	21
4.1.3.2. Εξοπλισμός μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας	22
5. Εφαρμογή Ηλεκτρικής Τομογραφίας	24
5.1. Επιλογή παραμέτρων μέτρησης	25
5.2. Επεξεργασία των δεδομένων	26
5.3. Ερμηνεία γεωηλεκτρικών τομογραφιών	27
6. Μετρήσεις Φυσικού Δυναμικού	39
6.1. Μέθοδος Φυσικού δυναμικού	39
6.2. Προϋπάρχουσες Μετρήσεις Φυσικού Δυναμικού	41
7. Συμπεράσματα	43
 BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 46



1. Εισαγωγή – Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία ανατέθηκε στο φοιτητή του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., Βίκτωρ Καμνιάτσο (Α.Ε.Μ. 3994) από τους κ. Βαργεμέζη Γεώργιο και κ. Τσούρλο Παναγιώτη, Επίκουρο και Αναπληρωτή Καθηγητή αντίστοιχα, του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ..

Τα δεδομένα των γεωηλεκτρικών μεθόδων που αναλύονται πάρθηκαν τον Ιούλιο 2013, με την επίβλεψη των υπεύθυνων καθηγητών.

Στο σημείο αυτό θεωρώ σκόπιμο να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου κ. Βαργεμέζη Γεώργιο και κ. Τσούρλο Παναγιώτη για την ανάθεση του θέματος, για την πολύτιμη συμβολή τους στην κατανόηση των γεωηλεκτρικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν, για την βιβλιογραφική τους καθοδήγηση, για την καταλυτική τους συμβολή στη διεξαγωγή των επί τόπου γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων και για την αμέριστη τους συμπαράσταση.

2. Αντικείμενο Διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η γεωφυσική έρευνα τμήματος του κυττάρου 3 του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη Μαυροράχη Θεσσαλονίκης, με την εκτέλεση ηλεκτρικών τομογραφιών. Η παρούσα έρευνα αποτελεί συμπληρωματικό κομμάτι της αρχικής έρευνας που διεξήχθη στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος 88529 κατόπιν της προγραμματικής σύμβασης που υπογράφηκε μεταξύ του Ειδικού Λογαριασμού Κονδυλίων Έρευνας του ΑΠΘ και του Συνδέσμου ΟΤΑ Νομού Θεσσαλονίκης και διεξήχθη από το επιστημονικό τμήμα του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Τομέα Γεωλογίας (Βαργεμέζης, Γ., Τσούρλος, Π., 2012).

Εφαρμόστηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η διάταξη δισδιάστατης γεωηλεκτρικής τομογραφίας. Μετρήθηκαν συνολικά 3 γεωηλεκτρικές τομογραφίες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια και εφαρμόστηκαν ισοαποστάσεις ηλεκτροδίων 10 μέτρων.

Στόχος της αρχικής γεωφυσικής έρευνας ήταν η συμβολή στη λήψη αποφάσεων σε σχέση με τα μέτρα αντιμετώπισης προβλήματος που δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια διαμόρφωσης του εδάφους για την κατασκευή και λειτουργία του 3^{ου} κύτταρου του ΧΥΤΑ.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα επιχειρηθεί βάσει των συμπληρωματικών γεωφυσικών ερευνών που διεξήχθησαν, να συμπληρωθεί η αρχικά σχηματισθείσα εικόνα για τις γεωλογικές – υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο 3^ο κύτταρο του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη Μαυροράχη Θεσσαλονίκης, καθώς επίσης και να συγκριθούν τα εξαχθέντα αποτελέσματα με αυτά της προϋπάρχουσας έρευνας.

Θα επιχειρηθεί επίσης μια εκτίμηση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην εξετασθείσα περιοχή και θα αναλυθεί το πρόβλημα που αφορά την εκροή υπόγειου νερού στην επιφάνεια του κυττάρου, γεγονός που αναμένεται να δημιουργήσει πρόβλημα στην ασφάλεια της στεγανότητας του πυθμένα του ΧΥΤΑ. Βασικό ζήτημα στον σχεδιασμό των πλέον κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης ήταν η μελέτη του μηχανισμού ανάβλυσης των υπόγειων νερών, αντικείμενο στο οποίο κρίθηκε ότι η συμβολή της γεωφυσικής έρευνας είναι σημαντική.

Για την επεξεργασία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα DCPro Version 1.0 (2007), DC_2DPro Version 1.01 (Revised 2010) και DC_3DPro Version 1.0 (Revised 2010), που αναπτύχθηκε από τους Jung -Ho Kim & Mywong - Jong Yi (Geoelectric Imaging Lab., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources).



Για την ψηφιακή επεξεργασία των γεωλογικών, τοπογραφικών, και λοιπών χαρτών και αεροφωτογραφιών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Global Mapper v.12.00. Πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά των χαρτών και ψηφιακή αποτύπωση των γεωηλεκτρικών δεδομένων επί των χαρτών, ώστε η απεικόνιση και ο συσχετισμός των εξαχθέντων αποτελεσμάτων να είναι περισσότερο εποπτικός.

3. Γεωλογικά – Υδρογεωλογικά – Μορφολογικά Στοιχεία Περιοχής

3.1. Γενικά Γεωλογικά Στοιχεία

Η περιοχή εντοπίζεται γεωλογικά στη Σερβομακεδονική Ζώνη. Κύριο χαρακτηριστικό της Ζώνης αυτής αποτελεί η εκτεταμένη εξάπλωση μεταμορφωμένων πετρωμάτων Παλαιοζωικής Ηλικίας, τα οποία αποτελούνται από εναλλαγές γνευσίων και μαρμάρων, στα οποία διεισδύουν πυριγενή πετρώματα, όξινης κυρίως σύστασης, τεσσάρων διαφορετικών ηλικιών.

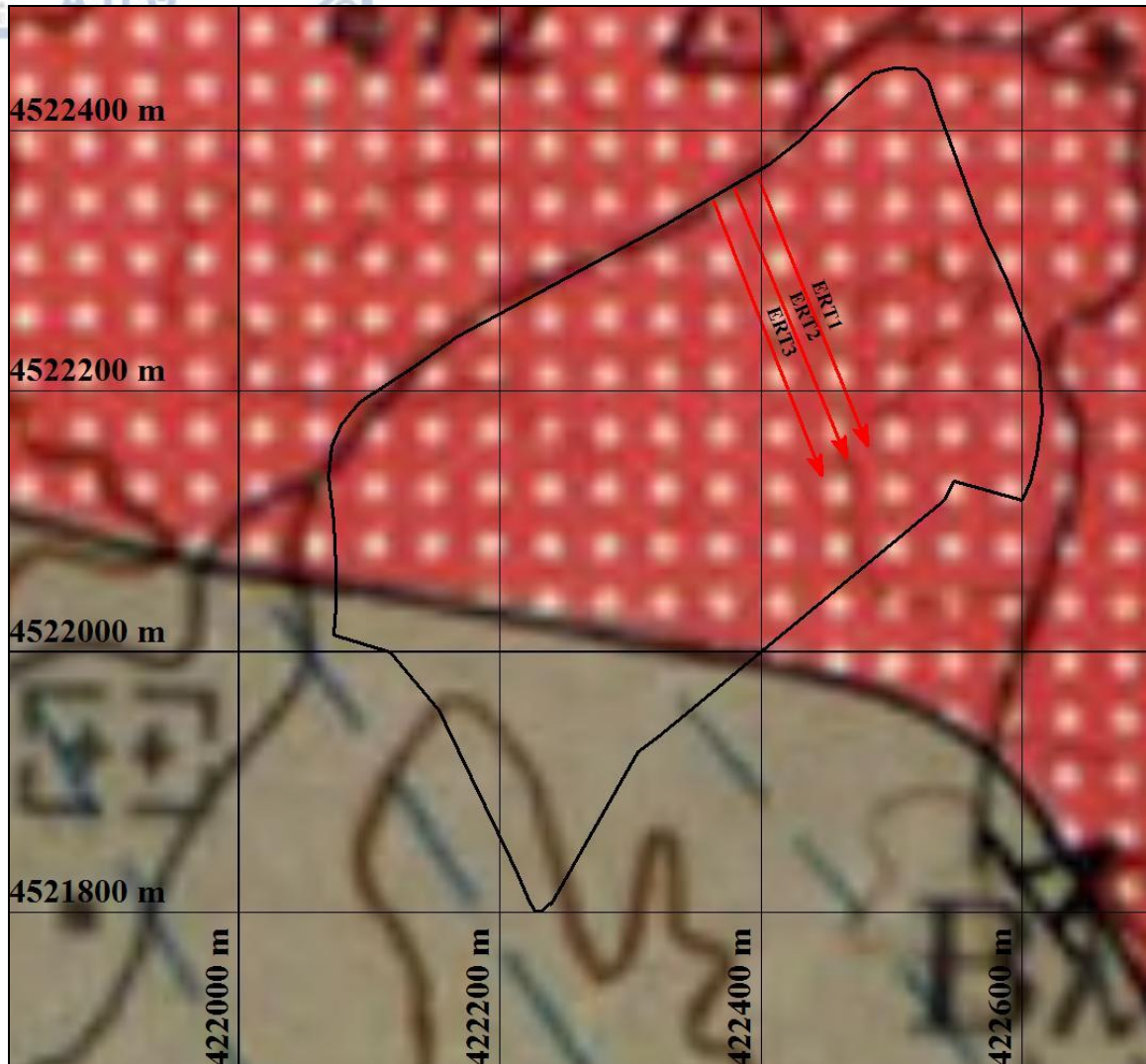
Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο γεωλογικό φύλλο του Ι.Γ.Μ.Ε. «ΛΑΧΑΝΑΣ», κλίμακας 1:50000. Τα όρια του 3^{ου} κύτταρου του Χ.Υ.Τ.Α. Μαυροράχης ψηφιοποιήθηκαν και με τη βοήθεια του GIS προγράμματος Global Mapper v. 12.00 και έγινε υπέρθεση των ορίων επί του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. Ομοίως αποτυπώθηκαν ψηφιακά και οι θέσεις διεξαγωγής των γεωηλεκτρικών τομογραφιών, οπότε προέκυψε ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής, που ακολουθεί (Χάρτης 3.1).

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη που προαναφέρθηκε η περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. καλύπτεται κατά το 83% από διμαρμαρυγικό και βιοτιτικό γρανίτη - τύπου Αρναίας (γ_2) ηλικίας Μεσοζωικού, ενώ το υπόλοιπο 17% της έκτασης καλύπτεται από μεταϊζήματα του σχηματισμού Βερτίσκου (gn_2), ηλικίας Παλαιοζωικού. Ακολουθεί απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. με τα όρια του Χ.Υ.Τ.Α.

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των επί τόπου μετρήσεων, εντοπίστηκε καθ' όλη την όδευση και τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, μανδύας αποσάθρωσης του γρανίτη, ο οποίος δεν είχε ικανοποιητικό πάχος, παρόλα αυτά ήταν εύκολα αναγνωρίσιμος. Ο μανδύας αυτός δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την εκτέλεση των μετρήσεων και εκτιμάται πως δεν επηρεάζει τις τελικές μετρήσεις.

ΧΑΡΤΗΣ 3.1

ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ «ΛΑΧΑΝΑΣ»



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΧΙΣΤΩΔΗ

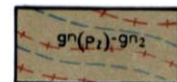
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ

Διμαρμαρυχικός και διοσιτικός γρανίτης (τύπου Άρνας): κόκκινο-κίτρινος, σχιστώδης, μεσόκοκκος έως πηγματιτικός (πλαγιόκλαστα με άνορθίτη 18-32%, περθητικοί καλιούχοι άστριοι, μικροκλινης, χαλαζίας, μοσχοβίτης, βιοτίτης, άπατίτης, μεταλλεύματα και ζιρκόνιο). Ανατολικά του Λαχανά επικρατεί γνευσιακός ίστος.



ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ (ή παλαιότερο)

Διμαρμαρυχικός και μοσχοβιτικός - πλαγιόκλαστικός - μικροκλινηκός γνεύσιος $g^h(p_2)$ έναλλασόμενος με μεταιζήματα του σχηματισμού Βερτίσκου (g^h_2), σε λεπτά φύλλα παράλληλα με το επίπεδο s (<50% γρανιτικό ύλικό).



ΟΡΙΑ Χ.Υ.Τ.Α. —————

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ —————→

*Ο κλίμακας συντεταγμένων δίνεται σε ΕΓΣΑ '87

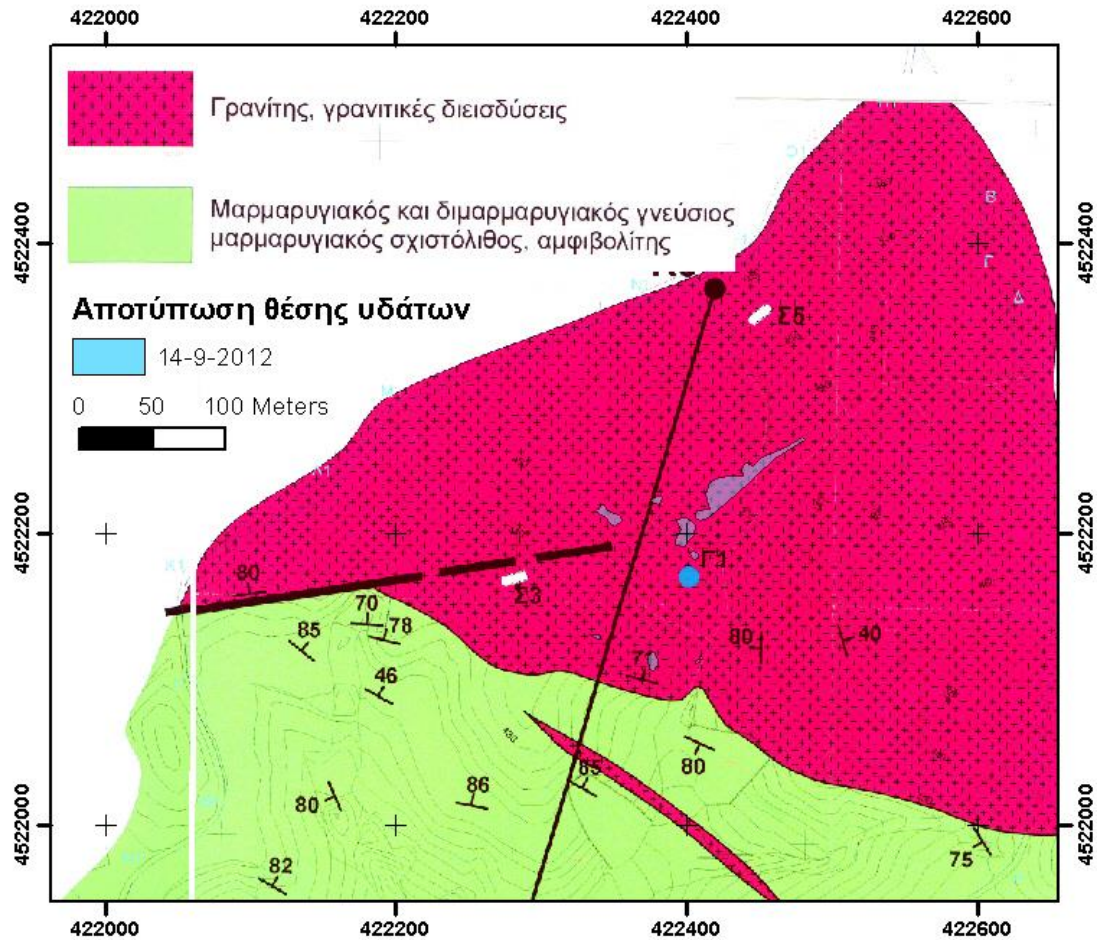
3.2. Γενικά Υδρογεωλογικά – Υδρολογικά Στοιχεία

Η περιοχή μελέτης καλύπτεται από θεωρητικά αδιαπέρατα πετρώματα με πολύ χαμηλό συντελεστή υδροπερατότητας, ο οποίος εντοπίζεται υψηλότερος σε θέσεις όπου η βραχομάζα είναι ιδιαίτερα κερματισμένη. Το δευτερογενές ρωγμώδες που αναπτύσσεται στα πετρώματα αυτά, αποτέλεσμα του έντονου τεκτονισμού που έχουν υποστεί, σε συνδυασμό με το βαθμό αποσάθρωσής τους, ευνοούν τη μερική κατείσδυση του νερού. Η ύπαρξη τεκτονισμένων ζωνών, αποτέλεσμα δράσης ενεργών ή και παλαιότερων ανενεργών ρηγμάτων, ευνοούν ιδιαίτερα την κατείσδυση των κατακρημνισμάτων.

Σύμφωνα με τον Σούλιο (1986):

- I) Ο συντελεστής κατείσδυσης σε γρανιτικά πετρώματα κυμαίνεται 5-12%, ενώ σε γνευσιακής σύστασης πετρώματα 3-7%.
- II) Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής σε γρανιτικά πετρώματα κυμαίνεται 15-35%, ενώ σε γνευσιακής σύστασης πετρώματα 15-45%.

Στο σχήμα που ακολουθεί, οι θέσεις ανάβλυσης των νερών που αποτέλεσαν το έναυσμα για την έρευνα που πραγματοποιήθηκε μέσω του ερευνητικού προγράμματος 88529, που αναφέρεται στο κεφάλαιο «Αντικείμενο Διπλωματικής». Παρατηρείται ότι η επιμήκης μορφή των αναβλύσεων βρίσκεται στη συνέχεια ρήγματος που είχε εντοπιστεί και χαρτογραφηθεί από την γεωλογική μελέτη που είχε γίνει στην φάση της αρχικής μελέτης του χώρου (λευκή γραμμή).

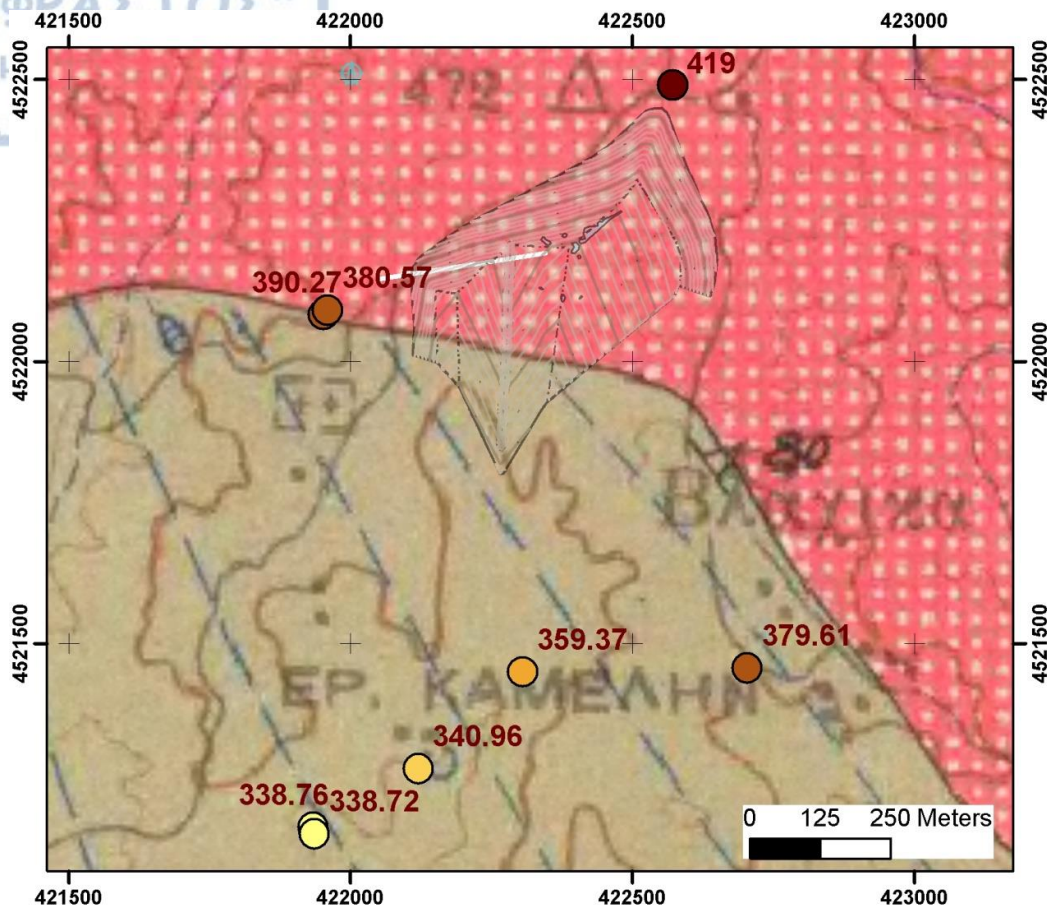


Σχήμα 3.2 Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας κλίμακας 1:5.000 (Ανατολική ΑΕ, από Βαργεμέζη & Τσούρλο, 2012).

Με βάση την γεωλογική δομή της περιοχής, η υπόγεια υδροφορία αναμένεται να αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο σε ρηξιγενείς δομές των βραχωδών σχηματισμών από τους οποίους και συνίσταται. Υδροφορία αναμένεται επίσης στον αποσαθρωμένο μανδύα των σχηματισμών αυτών που ειδικά στον σχηματισμό του γρανίτη αναμένεται να είναι κυρίως τριχοειδούς μορφής, λόγω της καοлинιτίωσης του αποσαθρωμένου γρανίτη.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατίθενται στην τελική γεωφυσική έρευνα που διεξήχθη από τον Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., το 2012, η χωρική συσχέτιση των εκροών όπως αυτές χαρτογραφήθηκαν την 14^η Σεπτεμβρίου του 2012 με το ρήγμα που χαρτογραφήθηκε στην αρχική μελέτη της περιοχής, όπου –όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2- βρίσκεται στην ανατολική συνέχεια του ρήγματος.

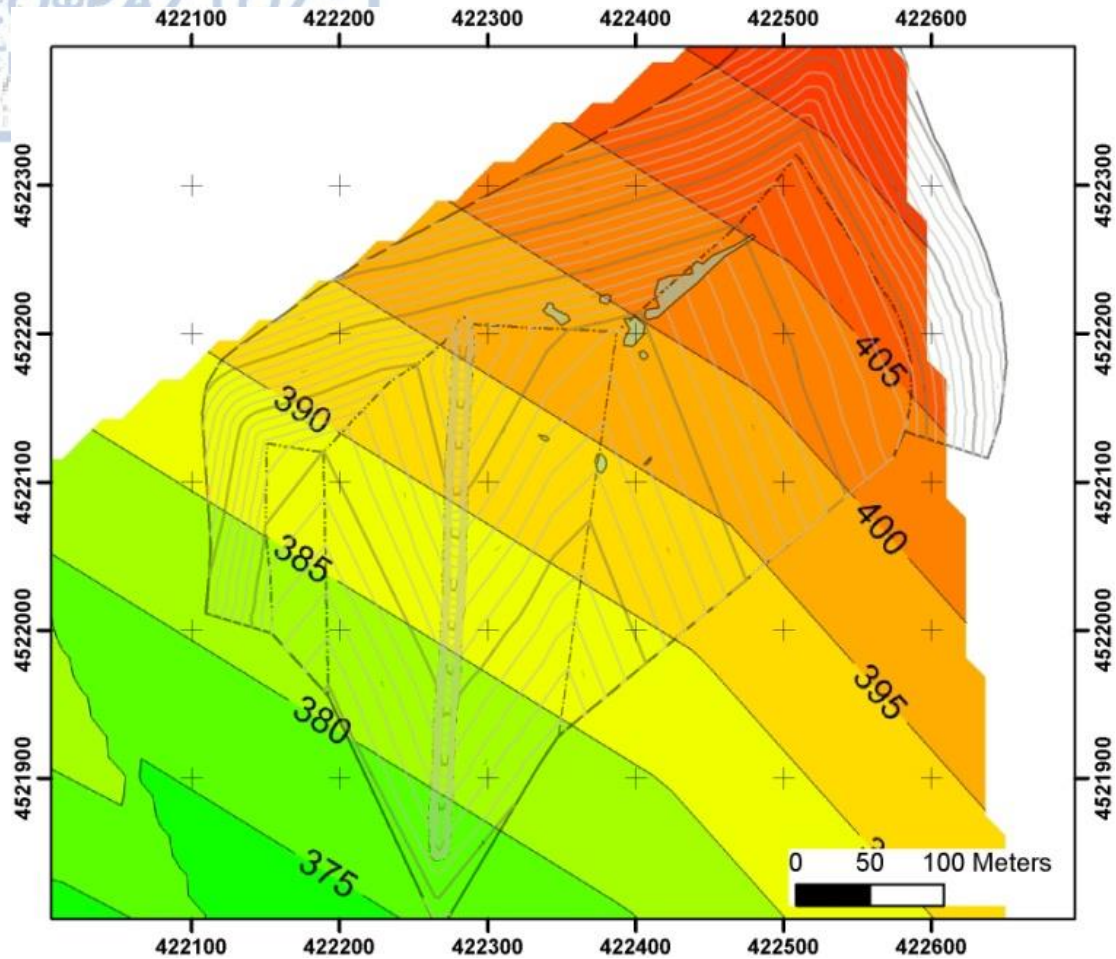
Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων που ελέγχονται από τις υπηρεσίες του Συνδέσμου προκύπτει σταδιακή ταπείνωση της στάθμης του νερού που συναντάται στις γεωτρήσεις (βλ. Σχήμα 3.3).



Σχήμα 1.3 Στάθμη νερού στις γεωτρήσεις της περιοχής στις 6 Ιουνίου 2008 (Στοιχεία του Συνδέσμου ΟΤΑ Ν. Θεσ/νίκης, από Βαργεμέζη & Τσούρλο, 2012).

Η στάθμη του υπόγειου νερού παρουσιάζει συνεπή ταπείνωση από τα ΒΑ προς τα ΝΔ, παρότι κάτι τέτοιο δεν αναμένεται, λόγω της λειτουργίας των βραχωδών σχηματισμών ως υδροφόρων και ειδικά από το γεγονός ότι στην περιοχή συναντώνται δύο διαφορετικοί σχηματισμοί.

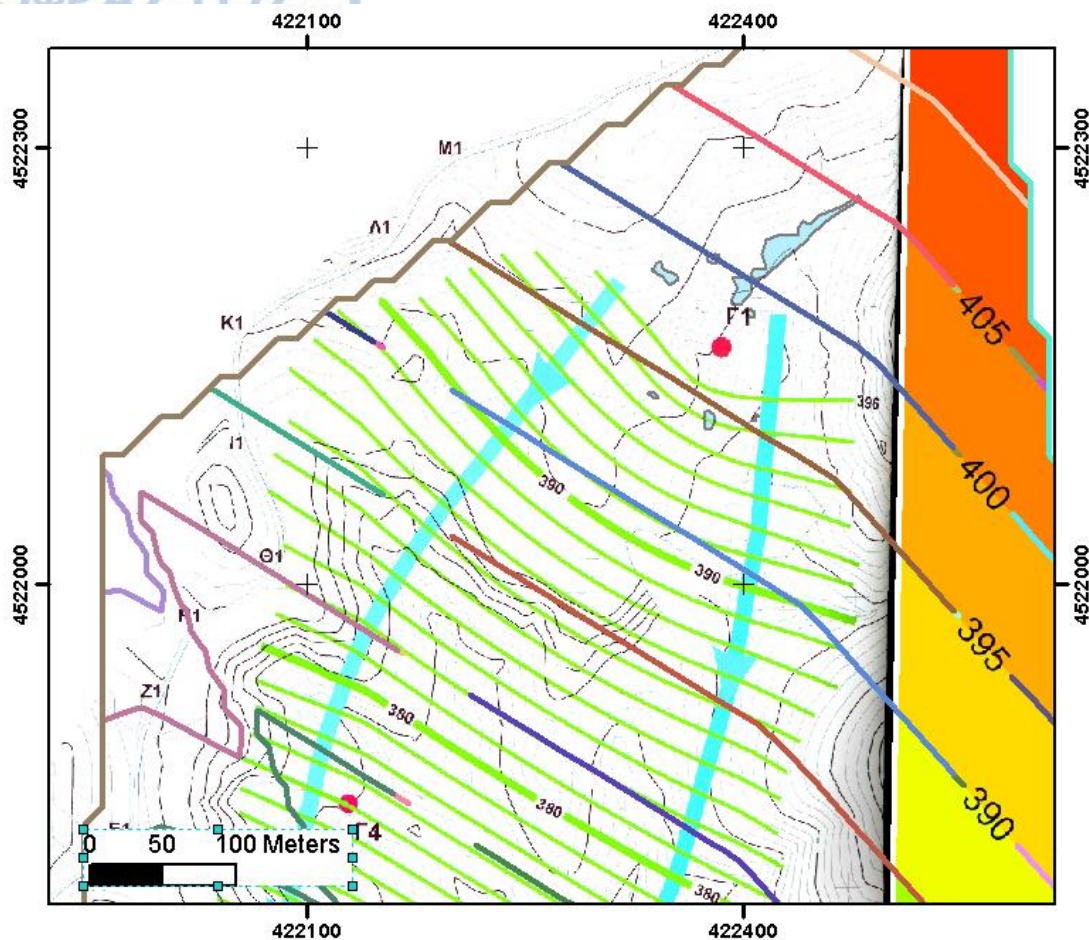
Η στάθμη του υπόγειου νερού ακολουθεί την γενική κλίση της περιοχής που είναι από ΒΑ προς ΝΔ. Αντίστοιχης διεύθυνσης είναι τα κύρια ρέματα της ευρύτερης περιοχής, όπως φαίνεται και στο χάρτη υδρογραφικού δικτύου της περιοχής που παρατίθεται παρακάτω. Χαρακτηριστικό είναι ότι η υπόγεια στάθμη «διακόπτεται» από γραμμικές μορφολογικές ταπεινώσεις με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, που πιθανά συνδέονται με ρηξιγενείς δομές.



Σχήμα 3.4 Υποθετική πιεζομετρική επιφάνεια με βάση τις μετρήσεις της 6 Ιουνίου 2008 (από Βαργεμέζη & Τσούρλο, 2012).

Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τον σύνδεσμο Ο.Τ.Α. Νομού Θεσ/νίκης, οι μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στις 06/06/2008 δείχνουν πως η αναμενόμενη στάθμη στις θέσεις ανάβλυσης είναι 400-405m, ενώ η στάθμη των αναβλύσεων βρίσκεται στα 425m. Με βάση τα δεδομένα αυτά συμπεραίνεται ότι η στάθμη βρίσκεται γενικά σε ανεβασμένα επίπεδα, γεγονός που πιστοποιείται από την γεώτρηση που βρίσκεται στην βορειοανατολική γωνία του χώρου, η οποία στον Ιούνιο του 2008 είχε στάθμη σε απόλυτο υψόμετρο 419m, την περίοδο των γεωφυσικών μετρήσεων είχε στάθμη περί τα 430m, στάθμη αντίστοιχη με τις επιφανειακές αναβλύσεις.

Παρατηρούμε ότι η στάθμη του υπόγειου νερού δεν έχει μεταβληθεί στις δύο διαφορετικές χρονιές και εποχές που μετρήθηκαν.



Σχήμα 3.5 Συσχέτιση στάθμης υπόγειου νερού, Δεκέμβριος 2000-Σεπτέμβριος 2012 (από Βαργεμέζη & Τσούρλο, 2012).

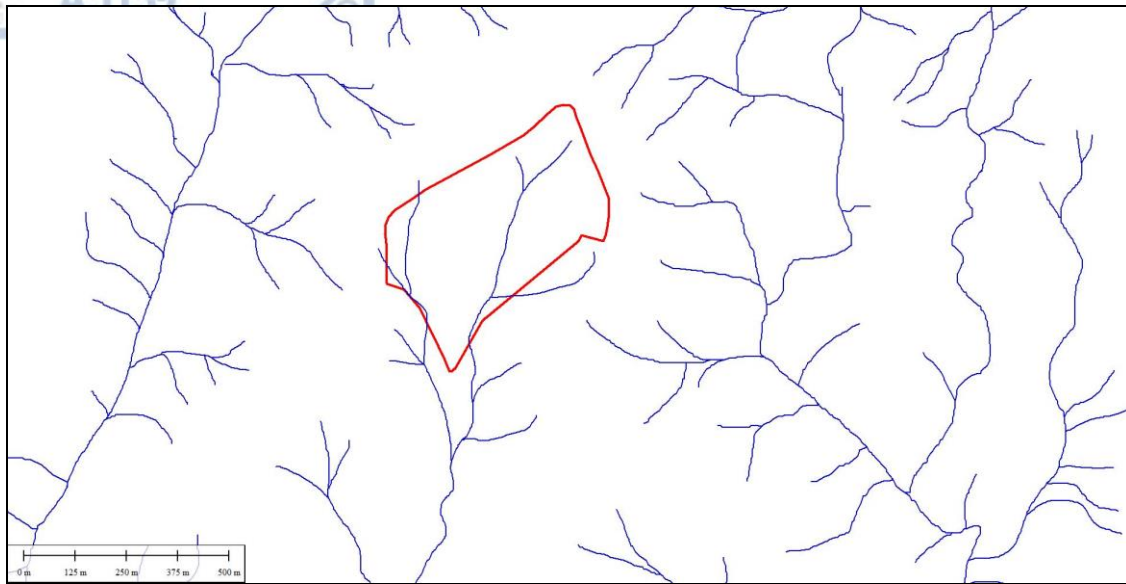
Σε κάθε περίπτωση στην περιοχή που μας ενδιαφέρει υπολογίζεται σε απόλυτο υψόμετρο 400m ενώ οι εκροές σημειώνονται σε υψόμετρο 425m. Η παρατήρησή αυτή πιθανά δηλώνει ότι πρόκειται για δύο διαφορετικής προέλευσης υδροφορίες με την σύγχρονη επιφανειακή να οφείλεται σε επιφανειακό σύστημα τροφοδοσίας.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι δενδριτικής μορφής, όπως προκύπτει από τους αντίστοιχους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:5000. Έπειτα από ψηφιοποίηση των υδρορεμάτων, προέκυψε ο χάρτης υδρορεμάτων της περιοχής που δίνεται παρακάτω (Χάρτης 3.6).

Σύμφωνα με τον Howard, D.A. (1967), αυτής της μορφής το υδρογραφικό δίκτυο επικρατεί σε περιοχές με ομοιογένεια στη γεωλογική σύσταση, σε ήπιο γενικά ανάγλυφο, χωρίς τεκτονική επίδραση και δηλώνει την επικράτηση της επιφανειακής απορροής έναντι της κατείσδυσης.

ΧΑΡΤΗΣ 3.6

ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΓΓΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



3.3. Γενικά Μορφολογικά Στοιχεία

Η περιοχή όπου αναπτύσσεται το 3^ο κύτταρο του Χ.Υ.Τ.Α. Μαυροράχης χαρακτηρίζεται από ήπιο σχετικά ανάγλυφο. Ακολουθεί αεροφωτογραφία της περιοχής (από ΕΚΧΑ Α.Ε. - <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>) με τα όρια του Χ.Υ.Τ.Α., τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο της περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α., όπως προέκυψε από υπέρθεση της αεροφωτογραφίας στο ψηφιακό υπόβαθρο SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) της NASA (grid 30m) και τοπογραφικές τομές που προέκυψαν από το ίδιο ψηφιακό υπόβαθρο.

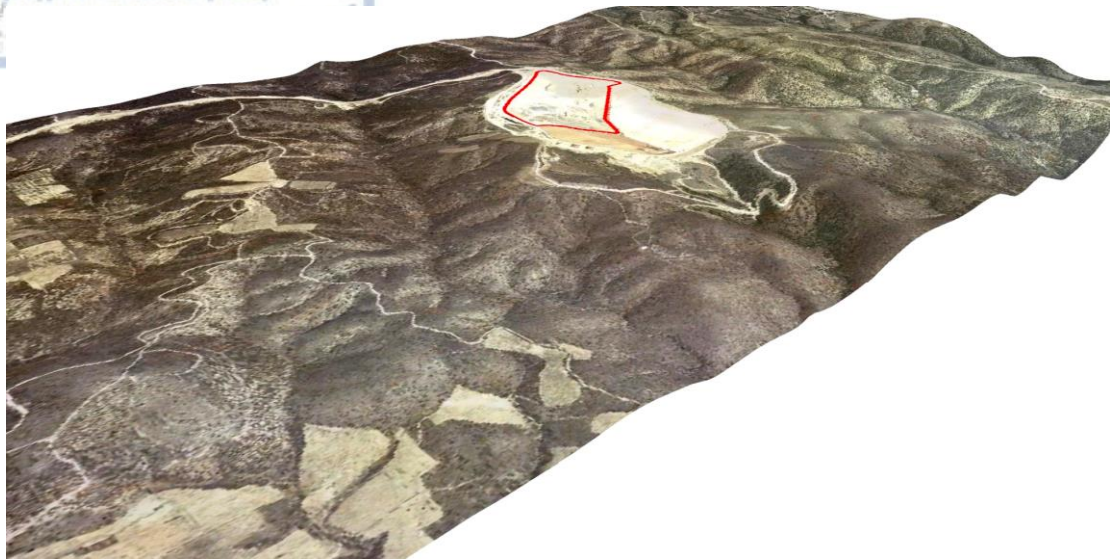
ΧΑΡΤΗΣ 3.7 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>

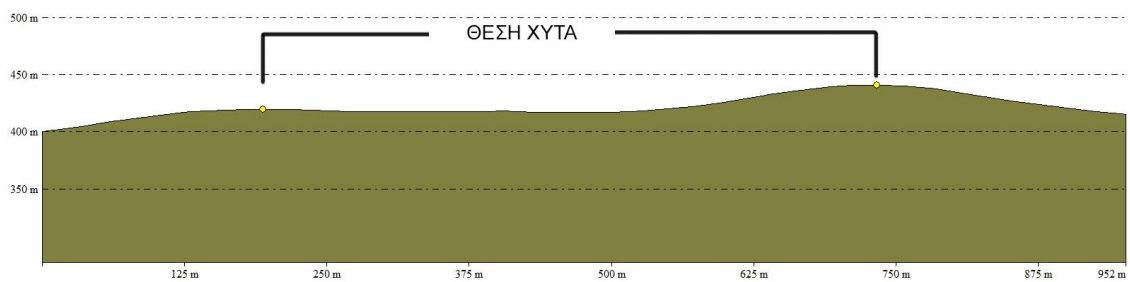
ΧΑΡΤΗΣ 3.8

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΥΤΕΡΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ Χ.Υ.Τ.Α.

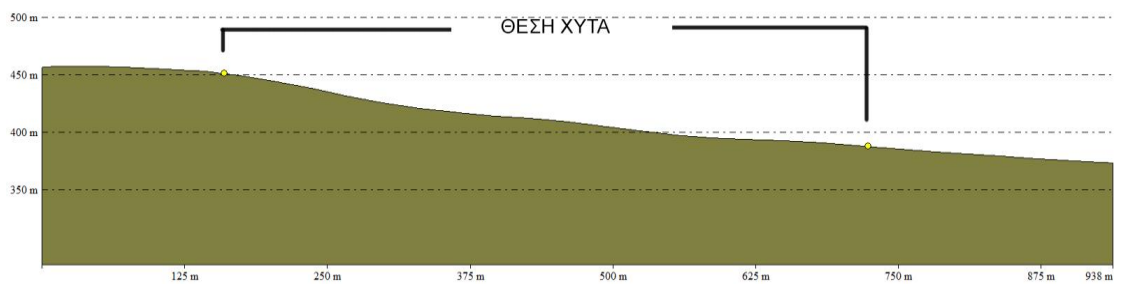


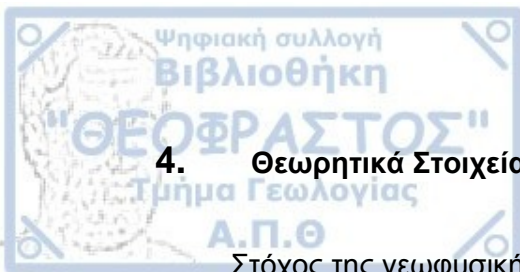
ΣΧΗΜΑΤΑ 3.9 & 3.10 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΧΩΡΟΥ ΧΥΤΑ

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΜΗ Δ-Α



ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΜΗ ΒΒΑ-ΝΝΔ





4. Θεωρητικά Στοιχεία Γεωφυσικής Έρευνας

Στόχος της γεωφυσικής έρευνας είναι ο εμπλουτισμός της ήδη υπάρχουσας μελέτης με περισσότερα δεδομένα, η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας με αυτά της προηγούμενης και ο εντοπισμός του μηχανισμού της υπόγειας ροής του νερού μέχρι τα σημεία ανάβλυσής του στα συγκεκριμένα σημεία.

Η φυσική ιδιότητα η οποία επηρεάζεται περισσότερο από την παρουσία νερού είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Σύμφωνα με τον Archie (1952), η παρουσία νερού στο πορώδες των γεωλογικών σχηματισμών καθορίζει και την ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού.

Κάθε γεωλογικός σχηματισμός έχει μία συγκεκριμένη τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ) που προκύπτει από τη σχέση 4.1 και έχει μονάδα μέτρησης το $1\Omega\text{m}$. Πρόκειται για μία ηλεκτρική ιδιότητα που εξαρτάται από τη γεωλογική ηλικία του σχηματισμού, το πορώδες (πρωτογενές και δευτερογενές), τη θερμοκρασία του καθώς και το χημισμό των ρευστών που φιλοξενεί. Σύμφωνα με το νόμο του Archie η ειδική αντίσταση ενός σχηματισμού αυξάνει όταν ελαττώνεται το πορώδες του πετρώματος και περιγράφεται από τη σχέση 4.2.

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (4.1)$$

$$\rho = \alpha\rho_v\phi^{-m} \quad (4.2)$$

Όπου R: η ηλεκτρική αντίσταση ενός κομματιού πετρώματος με κυλινδρικό σχήμα

S: η διατομή του κυλίνδρου

L: το μήκος του κυλίνδρου

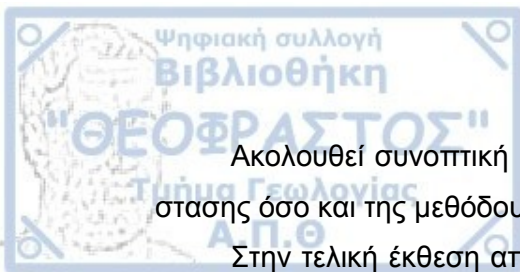
ρ_v : η ειδική αντίσταση του νερού που περιέχεται στους πόρους του πετρώματος

ϕ : το πορώδες του σχηματισμού

α, m : σταθερές με τιμές ($\alpha=1, m=2$)

Στόχος συνεπώς της γεωφυσικής έρευνας είναι η χαρτογράφηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των υπεδάφινων σχηματισμών με σκοπό την μελέτη της κατανομής της.

Ο καλύτερος δυνατός τρόπος για να αποτυπωθεί το γεωλεκτρικό - γεωλογικό μοντέλο στη περιοχή έρευνας είναι η εφαρμογή της γεωηλεκτρικής τομογραφίας.



Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή, τόσο της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης όσο και της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Στην τελική έκθεση αποτελεσμάτων του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., περιγράφεται συνοπτικά και η μέθοδος του φυσικού δυναμικού η οποία εφαρμόστηκε ως δεύτερη γεωφυσική μέθοδος. Η διαφορετική λειτουργία της μεθόδου αυτής μας δίνει πληροφορίες για την ύπαρξη και κίνηση του υπόγειου νερού.

Στα πλαίσια μιας πιο ολοκληρωμένης προσέγγισης του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται ορισμένα από τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου φυσικού δυναμικού, όπως δίνονται στην τελική έκθεση, με στόχο την ακριβέστερη τεκμηρίωση των γεωλογικών-υδρογεωλογικών συνθηκών της υπό μελέτης περιοχής.

4.1 Ηλεκτρική μέθοδος

Με την εφαρμογή ηλεκτρικών μεθόδων επιδιώκεται ο καθορισμός της κατανομής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους και έτσι έμμεσα μπορούν να ληφθούν πληροφορίες για τη γεωλογική δομή του υπεδάφους. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων. Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται (Σχήμα 4.1). Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται ως το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία με τη σειρά της μας επιτρέπει τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν και διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η γνώση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έμμεση εύρεση της γεωλογικής δομής και τον εντοπισμό ειδικών στόχων.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους κατά κύριο λόγο εξαρτάται από την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα. Επομένως η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι συνδυασμός παραγόντων που επηρεάζουν τη συγκέντρωση, σύσταση του νερού που βρίσκεται στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς. Ειδικότερα εξαρτάται από: τις υδρολογικές - υδρογεωλογικές συνθήκες, τη χημική σύσταση του νερού, το μέγεθος των πόρων (πορώδες) των σχηματισμών, τις πιθανές διαρρήξεις - διακλάσεις - ρήγματα των σχηματισμών, τη θερμοκρασία και την πίεση.

Επομένως η ερμηνεία των μετρήσεων της ειδικής αντίστασης πρέπει να γίνεται με προσοχή.

Η μελέτη της ειδικής αντίστασης μπορεί να δώσει ασφαλή συμπεράσματα για τη δομή μόνο όταν η ερμηνεία γίνεται συνυπολογίζοντας όλες τις υπάρχουσες πληροφορίες για την υπό μελέτη περιοχή (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις αναλύσεις κ.α.).

4.1.1 Περιγραφή βασικής μεθόδου

Η βασική διαδικασία μέτρησης είναι η εξής:

Χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια (συνήθως μεταλλικοί πάσσαλοι) τα οποία εισάγονται στο έδαφος σε ένα βάθος μερικών εκατοστών (~10cm) και σε αποστάσεις μεταξύ τους που ποικίλουν από μερικά μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Χρησιμοποιείται όργανο μέτρησης το οποίο συνδέεται με τα ηλεκτρόδια μέσω καλωδίων. Διαβιβάζεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I_{AB} (ποικίλλει από μερικά milli-Ampere έως μερικά Ampere) μέσα στη γη με δυο ηλεκτρόδια ρεύματος A, B και μετράται σε διάφορες θέσεις η διαφορά δυναμικού V_{MN} μεταξύ δυο ηλεκτροδίων δυναμικού M, N (βλ. Σχήμα 4.1). Βρίσκεται έτσι για κάθε μέτρηση η ηλεκτρική αντίσταση R.

$$R = \frac{V_{MN}}{I_{AB}}$$

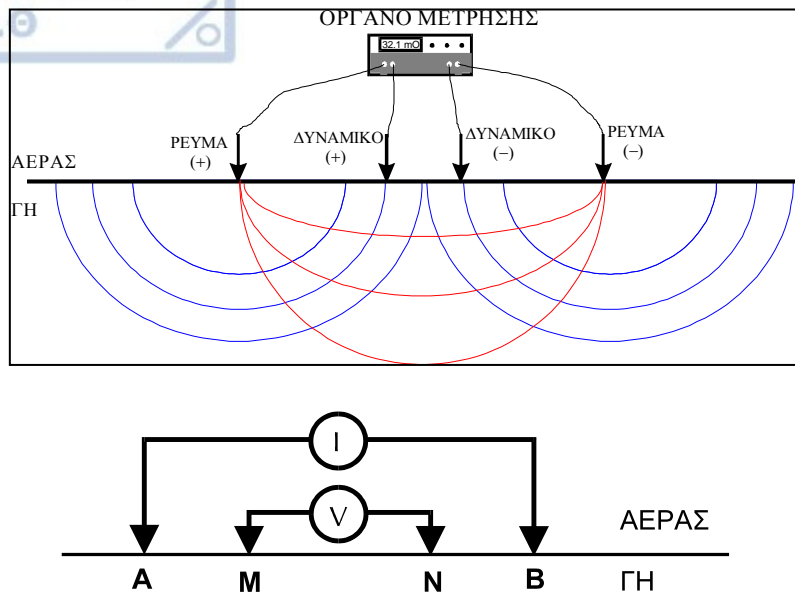
Το βάθος διείσδυσης του ρεύματος (άρα και το βάθος της διασκόπησης) είναι ανάλογο με την απόσταση των ηλεκτροδίων. Επειδή η γη είναι γεωηλεκτρικά ανομοιογενής, η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση:

- της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους
- της γεωμετρίας της μέτρησής μας (Θέσεις A, B, M, N)

Για να λάβουμε υπόψη την επίδραση της γεωμετρίας εισάγεται ο όρος της Φαινόμενης Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης ρ_a .

$$\rho_a = \frac{V_{MN}}{I_{AB}} K$$

Όπου K είναι ο λεγόμενος γεωμετρικός παράγοντας – παράγοντας που εξαρτάται από τις αποστάσεις AB, AM, BM, BN. Στην πράξη, η φαινόμενη αντίσταση ρ_a αποτελεί (σε μια πρώτη προσέγγιση) ένα είδος «μέσου όρου» των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Κατά συνέπεια, δε δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια «παραμορφωμένη» εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Η πραγματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία.



Σχήμα 4.1. Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.

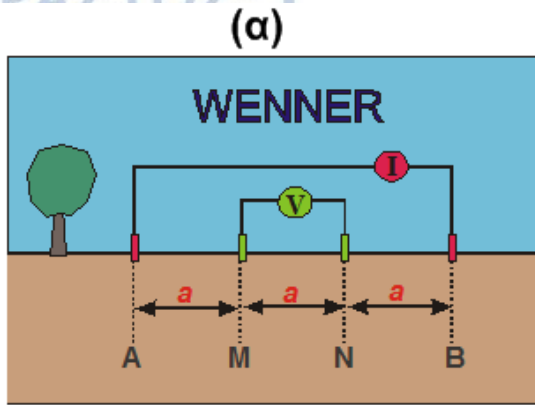
4.1.2 Διατάξεις μέτρησης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι διάταξης των τεσσάρων ηλεκτροδίων A, B, M, N στην επιφάνεια του εδάφους. Έχουν προταθεί πάρα πολλές διατάξεις με σχετικά θεωρητικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διατάξεις που έχουν εσωτερική συμμετρία και ελαχιστοποιούν τις μετρήσεις καλωδίων στο ύπαιθρο. Τυπικές διατάξεις παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2.

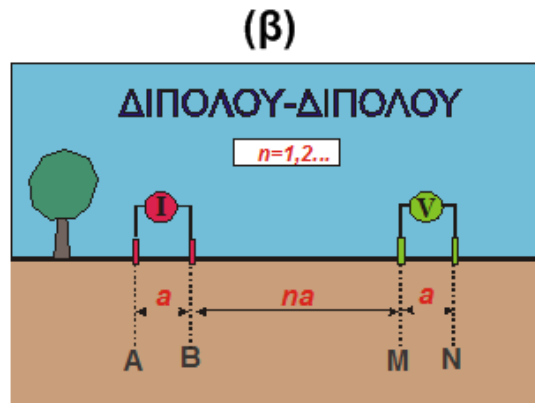
Η διάταξη Wenner (Σχ. 4.2α) είναι χαρακτηριστική καθώς τα ηλεκτρόδια δυναμικού MN εμπερικλείονται στα ηλεκτρόδια ρεύματος AB. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάταξη να έχει ισχυρό σήμα και γενικά μικρό γεωμετρικό παράγοντα σε σχέση με άλλες ισοδύναμες διατάξεις. Επίσης δεν παρουσιάζει τόσο καλή διακριτική ικανότητα στις πλευρικές μεταβολές της αντίστασης όμως εμφανίζει πολύ καλή κατακόρυφη ανάλυση.

Στη διάταξη Διπόλου-Διπόλου (Σχ. 4.2β) το δίπολο ρεύματος AB ξεχωρίζει από το δίπολο δυναμικού MN. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάταξη να έχει σχετικά αδύναμο σήμα και γενικά μεγάλο γεωμετρικό παράγοντα σε σχέση με άλλες ισοδύναμες διατάξεις. Παρουσιάζει όμως πολύ καλή διακριτική ικανότητα στις πλευρικές μεταβολές της αντίστασης και για αυτό είναι δημοφιλής για τον εντοπισμό δισδιάστατων στόχων.

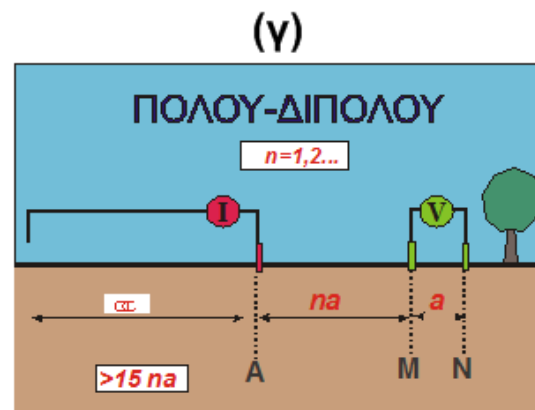
Στη διάταξη Πόλου-Διπόλου (Σχ. 4.2γ) το ηλεκτρόδιο ρεύματος B είναι αρκετά μακριά (στο «άπειρο») και παραμένει σταθερό στη διάρκεια της διασκόπησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάταξη να έχει μέτριο σήμα και γενικά μέτρια μεγάλο γεωμετρικό παράγοντα σε σχέση με άλλες ισοδύναμες διατάξεις. Παρουσιάζει όμως καλή διακριτική ικανότητα στον εντοπισμό τόσο των πλευρικών όσο και των κατακόρυφων μεταβολών της αντίστασης. Η διάταξη αυτή μπορεί να αναπτυχθεί σε δυο διαφορετικές διαμορφώσεις (A-MN και NM-A) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



WENNER: >>>R <<<K
Καλό σήμα – μικρή ευαισθησία



ΔΙΠΟΛΟΥ: <<<R >>>K
Κακό σήμα – μεγάλη ευαισθησία



ΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ <R >K
Μέτριο σήμα – καλή ευαισθησία

ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΣΤΟ «ΑΠΕΙΡΟ» – ΜΑΚΡΙΑ

Σχήμα 4.2 Τυπικές διατάξεις ηλεκτροδίων.



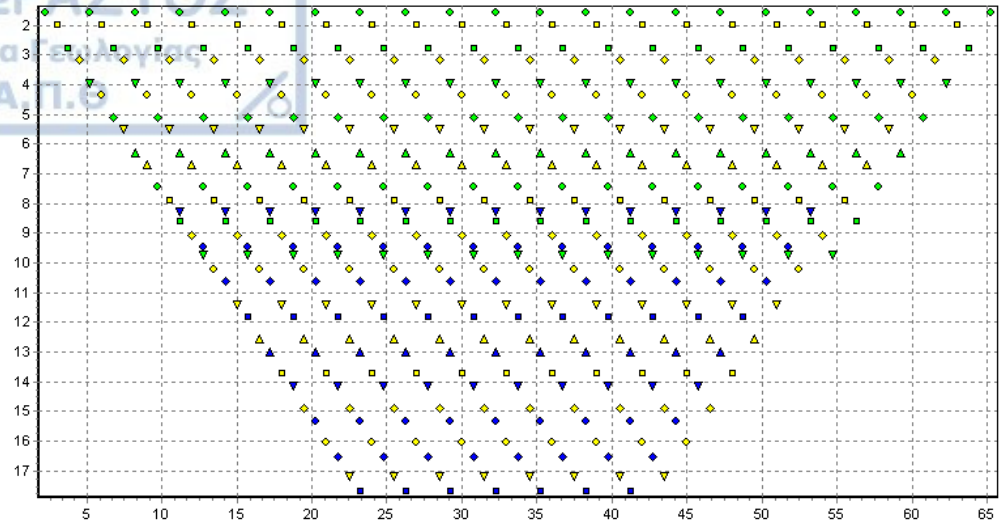
Σχήμα 4.3 Οι δυο διαμορφώσεις της διάταξης πόλου-διπόλου.

4.1.3 Ηλεκτρική Τομογραφία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αξιοποιούνται οι διατάξεις τομογραφίας που μας επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις (οριζόντια και κατακόρυφη). Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (HT) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο «παραδοσιακών» τεχνικών μέτρησης: της οδευσης και της βυθοσκοπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη «εικόνα» του υπεδάφους.

Πρόδρομος της HT είναι η μέθοδος της «ψευδοτομής» που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards, 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al., 1990). Στην διαδικασία της «ψευδοτομής» μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου). Η HT όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις (π.χ. Shima, 1992).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της HT είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων άρα και χρήσιμης πληροφορίας (βλ. Σχ. 4.4). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων, και επομένως χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών με πολυκάναλα καλώδια (Σχ. 4.5). Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα (τουλάχιστον έξι) έχουν αναπτύχθει και κυκλοφορούν στην αγορά από το 1990 και μετά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της HT. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι χρήση αυτών των οργάνων αυξάνει αναπόφευκτα το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.



Σχήμα 4.4 Κατανομή μετρήσεων στην τομογραφία βάσει του σχεδιασμού λήψης μετρήσεων από τον αυτόματο πολυπλέκτη (διάταξη Πόλου-Διπόλου).

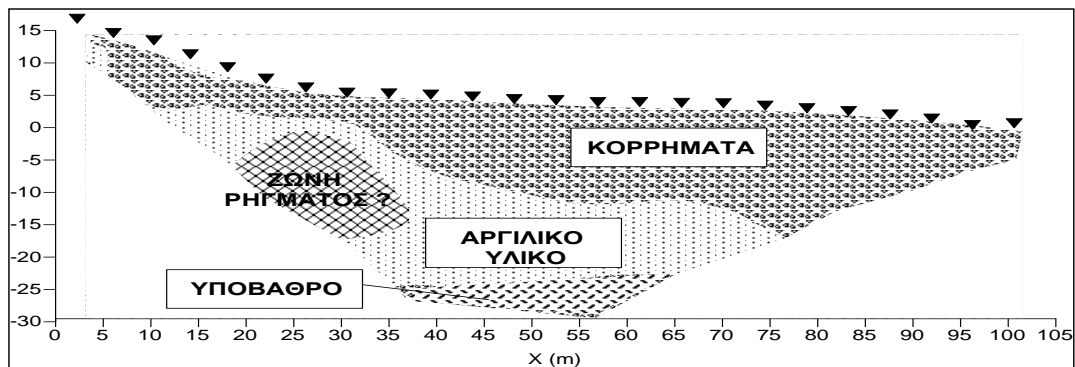
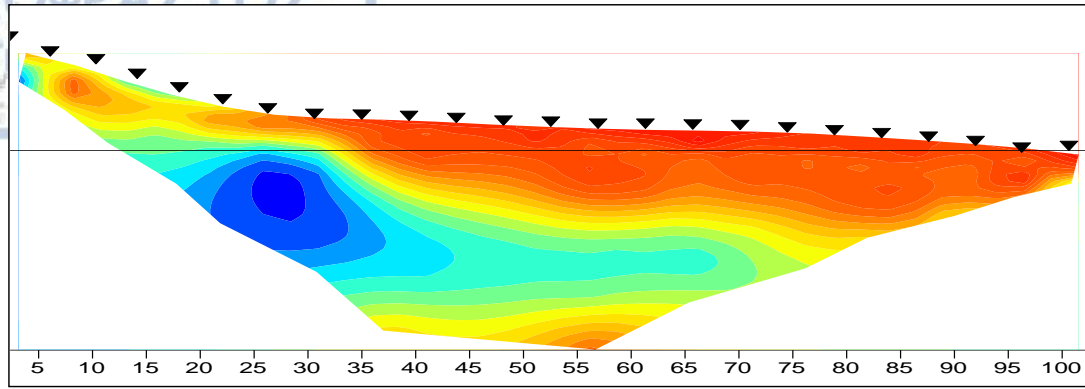


Σχήμα 4.5 Πολυκάναλο σύστημα λήψης μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας.

Δεδομένου ότι οι μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελούν μια «παραμορφωμένη» εικόνα των πραγματικών ηλεκτρικών αντιστάσεων του υπεδάφους είναι απαραίτητο να υποστούν μια ειδική, πολύπλοκη μαθηματικά και υπολογιστικά, διαδικασία η οποία ονομάζεται αντιστροφή. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές. Προϋπόθεση η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη, είναι ένας αλγόριθμος πεπερασμένων στοιχείων ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή γη. Η αντιστροφή μπορεί να γίνει σε δυο (δισδιάστατη) ή τρεις (τρισδιάστατη) διαστάσεις.

Στην γεωηλεκτρική μέθοδο λόγω της μη γραμμικής φύσης του αντιστρόφου προβλήματος, οι αλγόριθμοι αντιστροφής είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά, η περιοχή ενδιαφέροντος διακριτοποιείται σε ένα δίκτυο από παραμέτρους στις οποίες και αποδίδεται μια αρχική τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Βάσει αυτού του μοντέλου υπολογίζονται τα αντίστοιχα συνθετικά δεδομένα, τα οποία και συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα. Λαμβάνεται έτσι μια εκτίμηση του λάθους $dy = (\text{πραγματικά δεδομένα} - \text{συνθετικά δεδομένα})$. Στη συνέχεια με μια διαδικασία αντιστροφής πινάκων γίνεται διόρθωση του αρχικού μοντέλου αντίστασης και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το λάθος dy μεταξύ των πραγματικών και συνθετικών δεδομένων ελαχιστοποιηθεί. Το τελικό μοντέλο αντίστασης θεωρείται ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική κατανομή των γεωηλεκτρικών αντιστάσεων και με βάση τις υπάρχουσες γεωλογικές συνθήκες ερμηνεύεται ώστε οι αντιστάσεις να μετατραπούν σε λιθολογικές και τεκτονικές τομές του υπεδάφους (Σχ. 4.6).



Σχήμα 4.6 Παράδειγμα γεωλογικής τομής (κάτω) που προκύπτει από την ερμηνεία αποτελεσμάτων αντιστροφής δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας (πάνω).

4.1.3.2 Εξοπλισμός μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας

Για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL Pro της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS. Πρόκειται για πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σχεδιασμένο για έρευνα με μεθόδους συνεχούς ρεύματος. Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος της αντιστάθμισης του φυσικού δυναμικού, η ψηφιακή υπέρθεση για την ενίσχυση του σήματος και η προβολή του σφάλματος κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων που προσφέρονται από το συγκεκριμένο όργανο, εξασφαλίζουν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. Έχει τη δυνατότητα σύγχρονης καταγραφής 10 διαφορών δυναμικού καθιστώντας ταχύτατη τη διαδικασία μέτρησης. Το συγκεκριμένο όργανο έχει μέγιστη τάση εξόδου 800 V και επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που τυπικά ξεπερνάει τα 1000 mA, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει και σημαντικά μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος (έως 1500mA).



Σχήμα 4.7 Το γεωηλεκτρικό όργανο SYSCAL-Pro της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων. (αριστερά). Ο εξοπλισμός με τη συνδεσμο-λογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης (δεξιά).

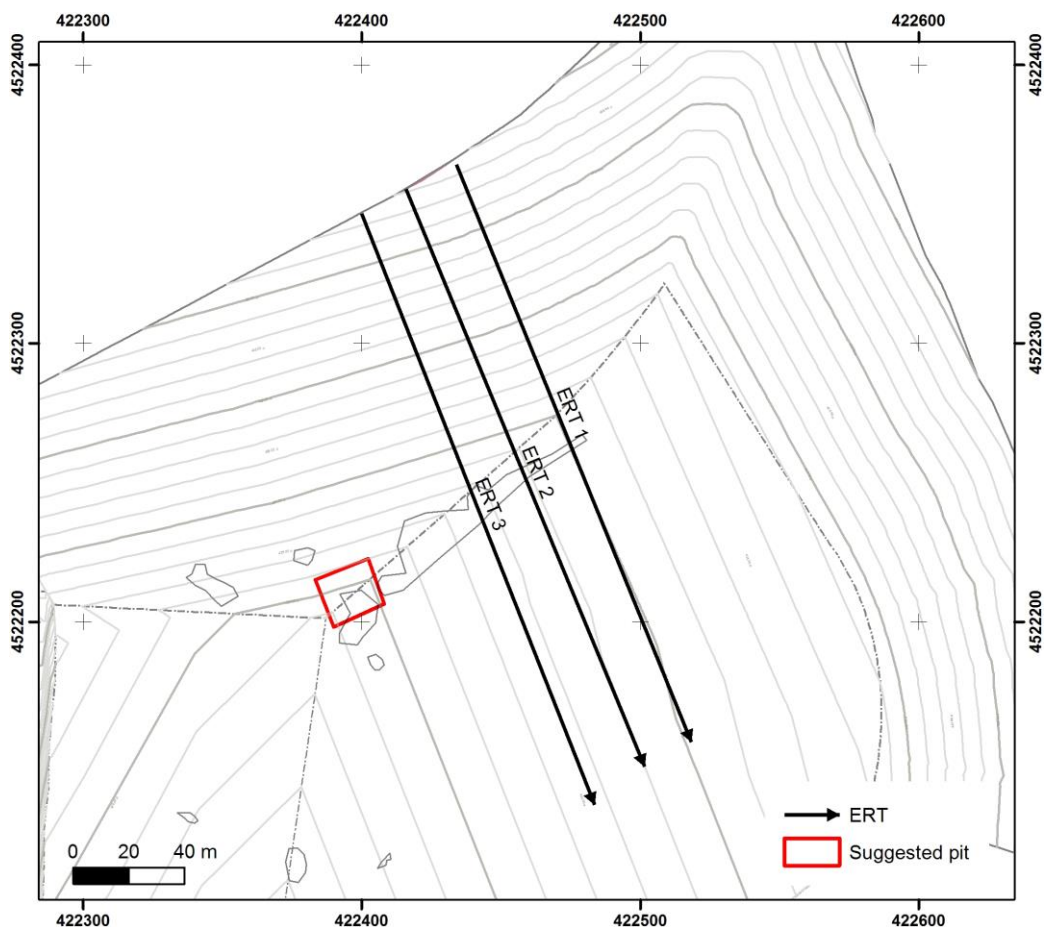
Τέλος έχει τη δυνατότητα να εκτελεί συμπληρωματικά μετρήσεις επαγόμενης πό-λωσης. Το όργανο μέτρησης παρουσιάζεται στο Σχ. 4.7. Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα πολυκαναλικά καλώδια ειδικά ηλεκτρόδια ατσαλιού (υ-ψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας).

5. Εφαρμογή Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Από τη τεχνική υπηρεσία του Συνδέσμου παραχωρήθηκε το τοπογραφικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας όπου είχαν χαρτογραφηθεί οι επιφανειακές εκδηλώσεις του υπόγειου νερού.

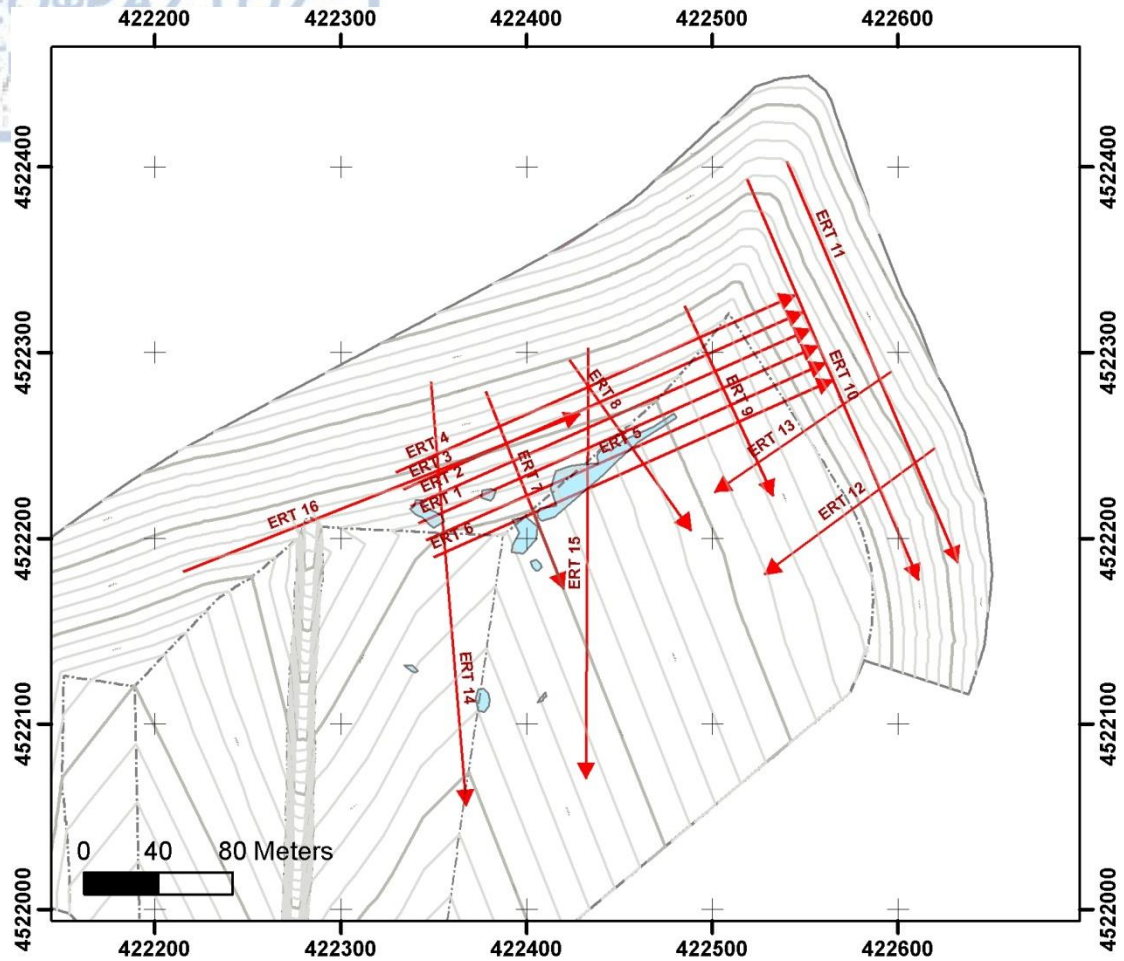
Ο χάρτης αυτός αποτέλεσε το υπόβαθρο βάσει του οποίου έγινε ο αρχικός σχεδιασμός έρευνας που στη συνέχεια εξελίχθηκε με βάση τα στοιχεία που προέκυπταν από την συνεχή τροφοδοσία με τα στοιχεία της έρευνας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) γεωηλεκτρικές τομογραφίες, οι θέσεις των οποίων δίνονται στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 5.1 Θέσεις γεωφυσικών μετρήσεων, που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος που διεξήχθη από τον Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., διεξήχθησαν δεκαέξι (16) γεωηλεκτρικές τομογραφίες, οι θέσεις των οποίων δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.2 Θέσεις γεωφυσικών μετρήσεων, που διεξήχθησαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του Α.Π.Θ.

Οι περιοχές με μπλε χρώμα δείχνουν τις εμφανίσεις του υπόγειου νερού, ενώ οι κόκκινες γραμμές δείχνουν τις θέσεις των γεωηλεκτρικών τομογραφιών. Όπως φαίνεται και στο σχήμα ακολούθησαν δύο κύριες διευθύνσεις ΑΒΑ-ΔΝΔ και Β-Ν.

Στόχος του συγκεκριμένου σχεδιασμού ήταν ο εντοπισμός πιθανών ρηξιγενών ζωνών μέσα από τις οποίες θα ήταν δυνατή η κατείσδυση και κυκλοφορία υπόγειου νερού.

5.1 Επιλογή παραμέτρων μέτρησης

Λόγω της αναμενόμενης ύπαρξης έντονων ηλεκτρικών ανομοιογενειών επιλέχθηκε η διάταξη μέτρησης διπόλου-διπόλου (Σχήμα 4.2γ), η οποία χαρακτηρίζεται από άριστη διακριτική ικανότητα τόσο στις πλευρικές όσο και στις κατακόρυφες μεταβολές της υπεδάφιας αντίστασης αλλά έχει σχετικά μικρό σήμα.

Οι παράμετροι σχεδιασμού της γεωηλεκτρικής τομογραφίας μέσα στο ΧΥΤΑ καθορίστηκαν με βάση τον υπάρχοντα χώρο για την ανάπτυξη της γραμμής μέτρησης. Βάσει του αρχικού σχεδιασμού (επιθυμητό βάθος έρευνας, διακριτική ικανότητα, κλπ.) οι παράμετροι μέτρησης που επιλέχθηκαν για τις τομογραφίες στο χώρο του κυττάρου είναι :

1. Απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων (a) 10 μέτρα.
2. Απόσταση ηλεκτροδίων ρεύματος – δίπολου μέτρησης δυναμικού (n^*a) με μέγιστο n ίσο με 7.
3. Χρήση αποστάσεων 2^*a και 3^*a με ίδιο n ($=7$)

Γενικά η ποιότητα των μετρήσεων κρίνεται ιδιαίτερα καλή καθώς σε πολύ μικρό ποσοστό (<3%) το σφάλμα επανάληψης ήταν >1%. Ακόμα και στις μετρήσεις με τη διάταξη διπόλου-διπόλου, όπου λόγω του χαμηλού της σήματος αναμενόταν προβλήματα, οι μετρήσεις αποδείχτηκαν πολύ καλές καθώς οι ικανοποιητικές αντιστάσεις επαφής στην περιοχή (τυπικά <0.5 K Ω) επέτρεψαν την εισαγωγή ρεύματος επαρκούς έντασης (>500 mA).

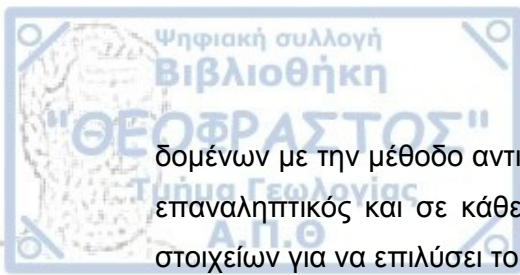
5.2 Επεξεργασία των δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά ελέγχθηκε η ποιότητα των μετρήσεων και απορρίφθηκαν μετρήσεις με μεγάλα σφάλματα. Γενικά η ποιότητα των μετρήσεων κρίνεται ικανοποιητική καθώς μόλις 3-5% των μετρήσεων τελικά απορρίφθηκαν.

Δεδομένου ότι ήταν επιβεβλημένη η αναφορά των αποτελεσμάτων σε απόλυτα υψόμετρα έγινε αναγωγή όλων των μετρήσεων στο πραγματικό ανάγλυφο με ειδικό αλγόριθμο επεξεργασίας πεπερασμένων στοιχείων (Tsourlos et al, 1998). Οι σχετικές μεταβολές του ανάγλυφου που χρειάζονται για μια τέτοια διαδικασία ελήφθησαν από την πρόσφατη τοπογραφική αποτύπωση του χώρου που έγινε από Σύνδεσμο.

Τα δεδομένα, στη συνέχεια, υποβλήθηκαν σε δισδιάστατη αντιστροφή. (Tsourlos et al., 1998; Tsourlos and Ogilvy, 1999) με το λογισμικό DC-2DPro (Kim, 2010). Πρόκειται για αλγόριθμο που εκτελεί μη γραμμική δισδιάστατη αντιστροφή γεωηλεκτρικών δε-



δομένων με την μέθοδο αντιστροφής του Occam (Constable, 1987). Ο αλγόριθμος είναι επαναληπτικός και σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για να επιλύσει το ευθύ πρόβλημα.

Η τρισδιάστατη επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με το λογισμικό DC-3DPro (Yi and Kim, 2010) και επιτρέπει την πλήρως τρισδιάστατη μοντελοποίηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων εξασφαλίζοντας μεγαλύτερο βαθμό ρεαλιστικότητας στα παραγόμενα μοντέλα.

Τα αποτελέσματα της αντιστροφής χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα αξιόπιστα καθώς το % λάθος (RMS) για κάθε αντιστροφή κυμάνθηκε μεταξύ 2-6%, ενδεικτικό επίσης και της καλής ποιότητας των πρωτογενών δεδομένων.

Σε κάποιες περιπτώσεις διατάξεων μέτρησης το σφάλμα ήταν συστηματικά μεγαλύτερο κάτι το οποίο όμως όπως θα δείξουμε οφείλεται σε άλλα αίτια και όχι στην ποιότητα των δεδομένων η του αλγορίθμου αντιστροφής.

Η αντιστροφή για τις τομές επαναλήφθηκε αρκετές φορές με διαφορετικές παραμέτρους βάθους ώστε να επιτευχθεί μια σχετική ομοιομορφία στις μέγιστες τιμές και να διευκολυνθούν έτσι οι συγκρίσεις μεταξύ τομών. Τα τελικά αποτελέσματα και η ερμηνεία τους παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα με την μορφή τομών.

Στις τομές που παρουσιάζονται αποτυπώνονται τα πραγματικά βάθη και οι πραγματικές υπεδάφεις αντιστάσεις οι οποίες και παρουσιάζονται με χρωματική κλίμακα «ουρανίου τόξου» με τα ψυχρά χρώματα (μπλε) να αντιστοιχούν σε χαμηλές αντιστάσεις (π.χ. άργιλοι, νερό) και θερμά χρώματα (κόκκινα) να αντιστοιχούν σε σχετικά υψηλές αντιστάσεις (π.χ. γρανίτης). Ακολουθεί η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων για κάθε τύπο μετρήσεων ξεχωριστά.

5.3 Ερμηνεία γεωηλεκτρικών τομογραφιών

Τα αρχικά δεδομένα των γεωηλεκτρικών τομογραφιών υπέστησαν την διαδικασία της αντιστροφής με αποτέλεσμα την παραγωγή εικόνων που δείχνουν την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε κατακόρυφες τομές του υπεδάφους.

Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχίζονται με χρωματική κλίμακα έτσι ώστε να αποδίδεται παραστατικά η γεωηλεκτρική δομή.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι γεωηλεκτρικές δισδιάστατες εικόνες. Η σειρά που παρουσιάζονται είναι αντίστοιχη με την θέση που βρίσκονται οι τομογραφίες στον χώρο έτσι ώστε να επιτρέπεται η συγκριτική αξιολόγηση των τομογραφιών. Για τον ίδιο λόγο η

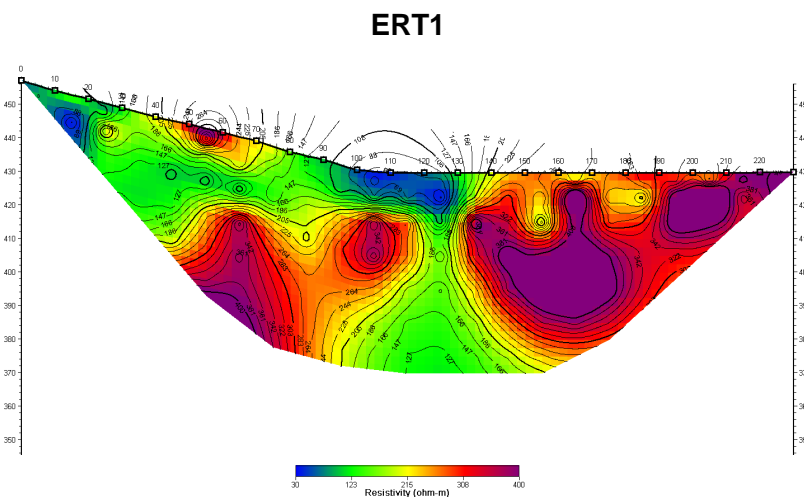
χρωματική κλίμακα σε σχέση με τις τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι ίδια για όλες τις τομογραφίες.

Η κλίμακα των τομογραφιών τόσο για την οριζόντια όσο και για την κατακόρυφη διάσταση είναι σε μέτρα η δε κατακόρυφη κλίμακα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο. Στην αντιστροφή των δεδομένων λήφθηκε υπόψη η μορφολογία και η επιφάνεια των τομογραφιών αντιστοιχεί στο πραγματικό μορφολογικό-υψομετρικό επίπεδο.

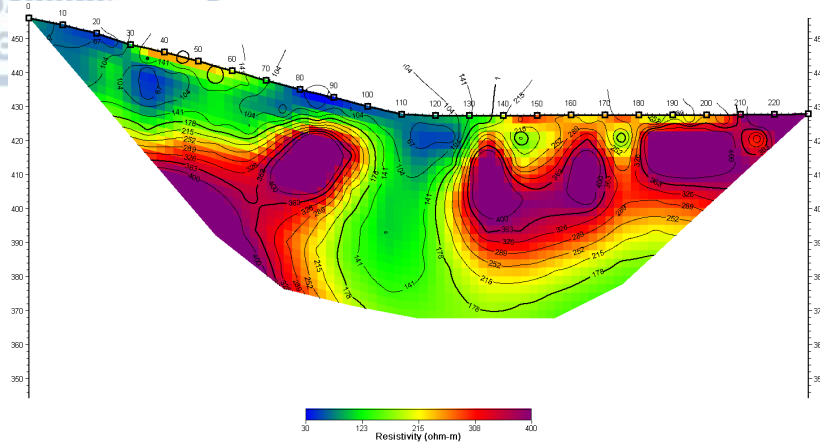
Για την αξιολόγηση των τομογραφιών με βάση την χρωματική κλίμακα, σημειώνεται ότι μεγάλες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχούν σε συμπαγείς βραχώδεις σχηματισμούς ενώ μικρές τιμές σε ρηξιγενείς/αποσαθρωμένες ζώνες που είναι πληρωμένες με αγώγιμο υλικό που μπορεί να είναι είτε υπόγειο νερό είτε αργιλικό, που στην συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να αντιστοιχεί σε καολινιτωμένο υλικό αποσάθρωσης του γρανίτη.

Για την διευκόλυνση της αξιολόγησης των τομογραφιών που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα σημειώνεται ότι:

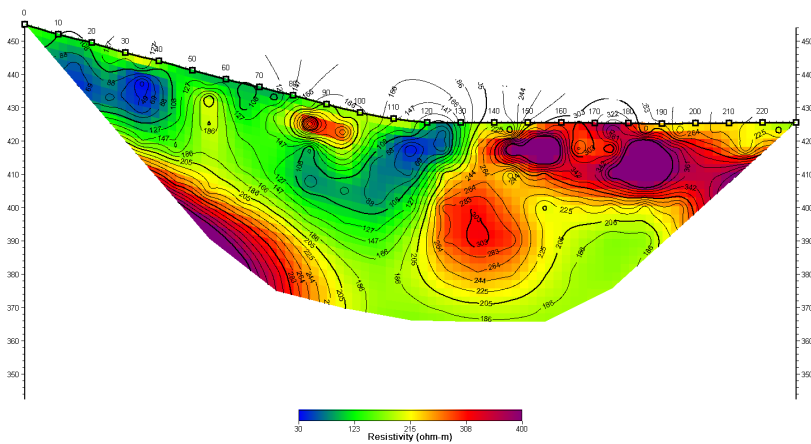
- Με κίτρινο, κόκκινο & μωβ χρώμα (>200 Ohm.m) εμφανίζεται ο συμπαγής γρανίτης που κυριαρχεί σαν βραχώδεις υπόβαθρο στην περιοχή έρευνας.
- Με πράσινο χρώμα (60-200 Ohm.m) εμφανίζεται ο αποσαθρωμένος γρανίτης και κατά τόπους (στο νότιο τμήμα της περιοχής) ο σχιστολιθικός σχηματισμός.
- Με μπλε χρώμα (<60 Ohm.m) εμφανίζονται οι περιοχές που είναι ενδεικτικές παρουσίας υπόγειου νερού. Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι ο αγώγιμος χαρακτήρας των ζωνών αυτών μπορεί να οφείλεται και στην κατά θέσεις καολινίτιωση του γρανίτη όπως επίσης και στην παρουσία γραφίτη (στην επαφή με τους σχιστόλιθους).



ERT2



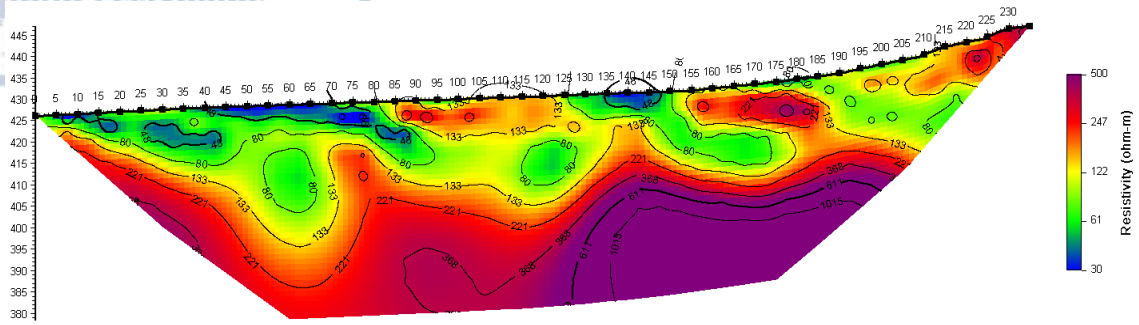
ERT3



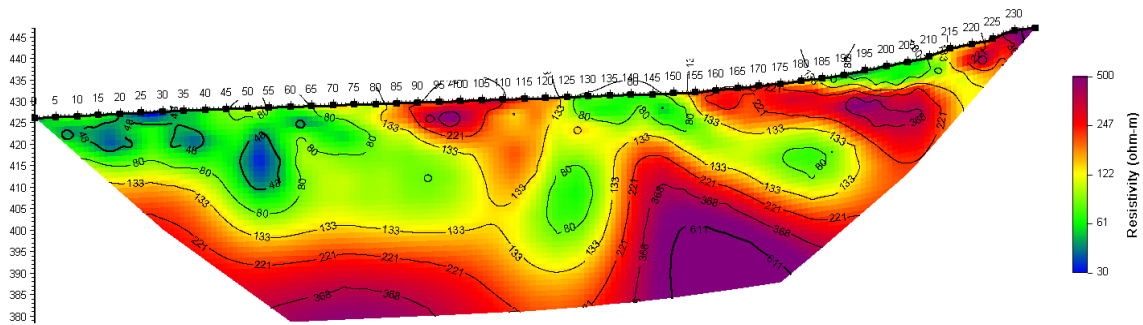
Σχήμα 5.3 Αποτελέσματα διδιάστατης αντιστροφής γεωηλεκτρικών δεδομένων, ηλεκτρικών τομογραφιών που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Ακολουθούν οι γεωηλεκτρικές δισδιάστατες εικόνες που προέκυψαν από τις ηλεκτρικές τομογραφίες που διεξήχθησαν στο ερευνητικό πρόγραμμα του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., με στόχο τη συσχέτιση με αυτές της παρούσας διπλωματικής.

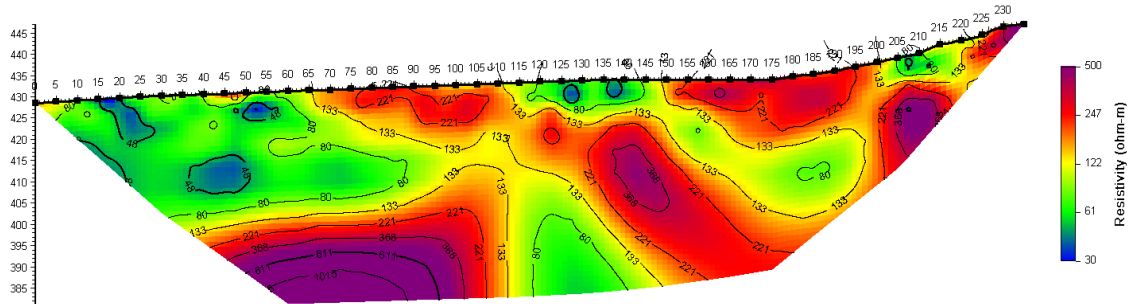
EPT1



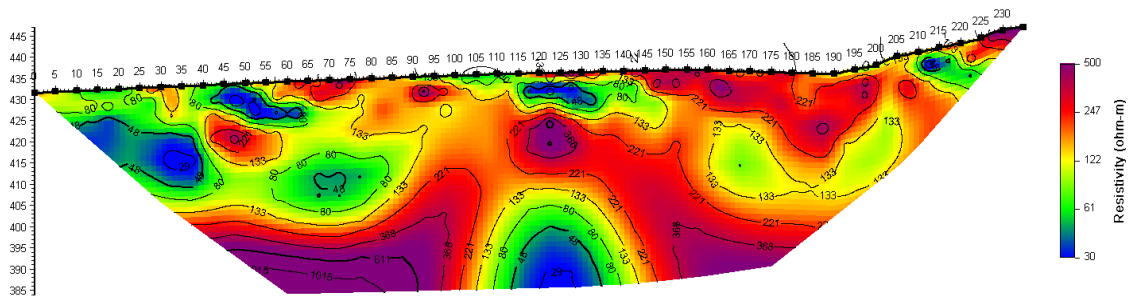
EPT2



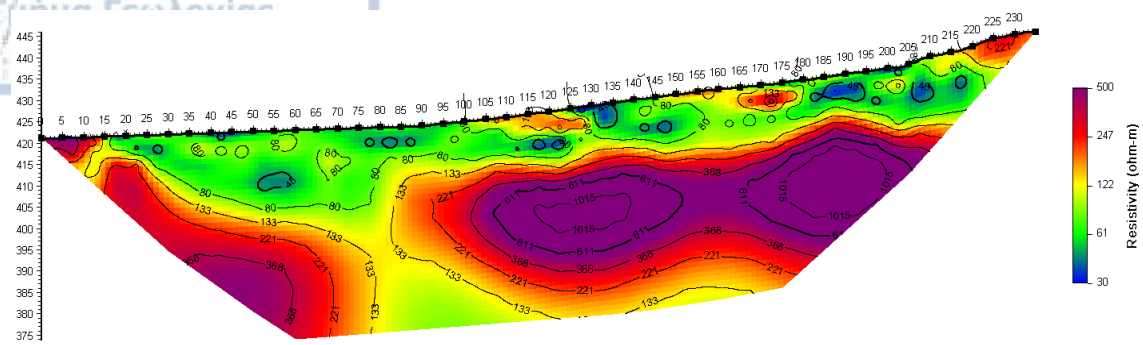
EPT3



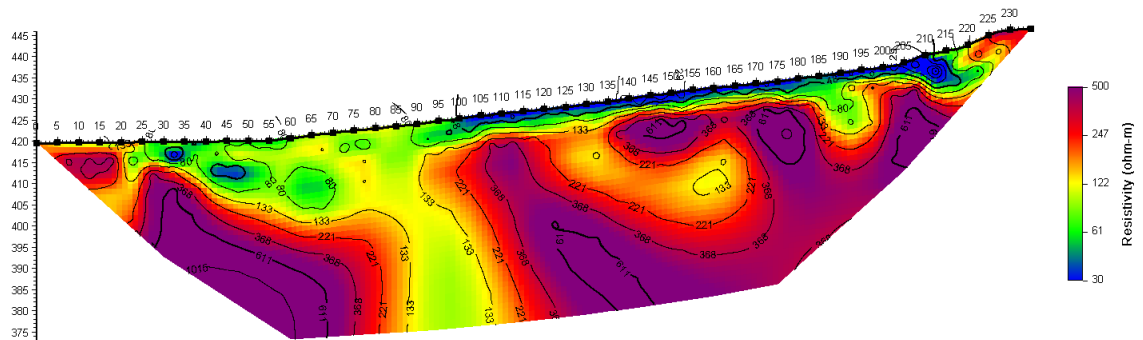
EPT4



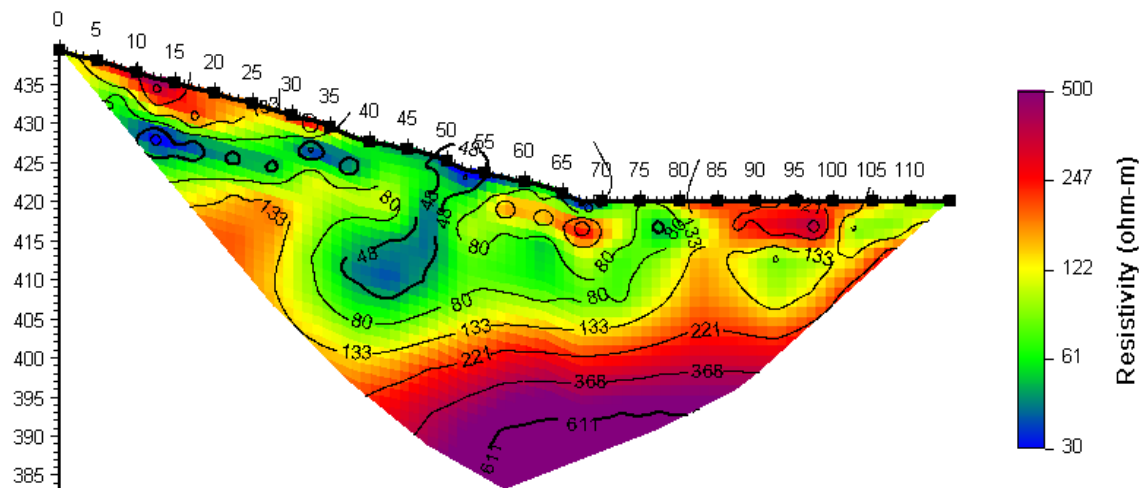
EPT5



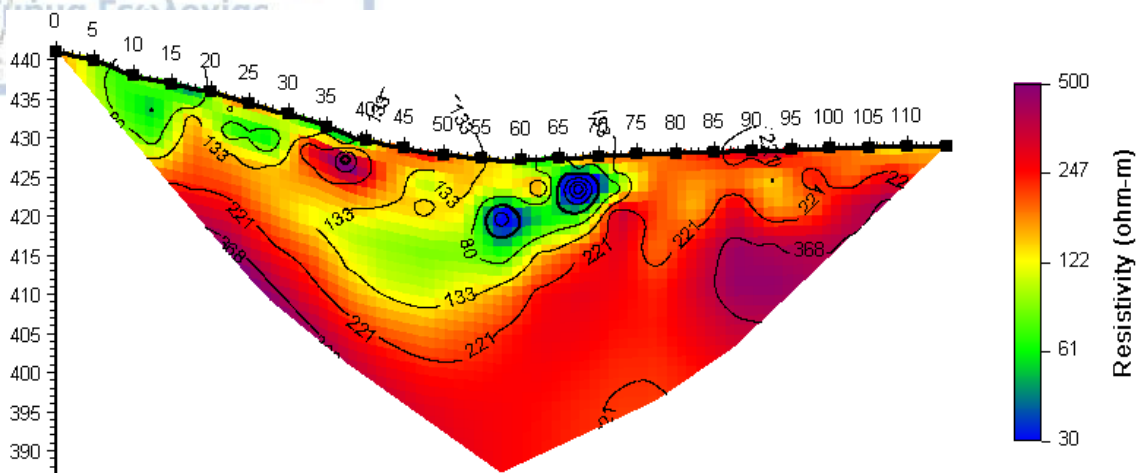
EPT6



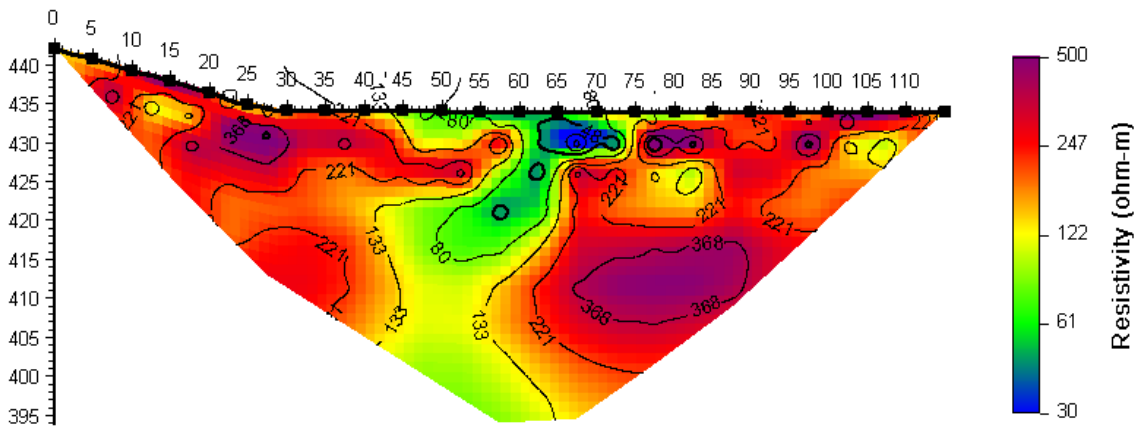
EPT7



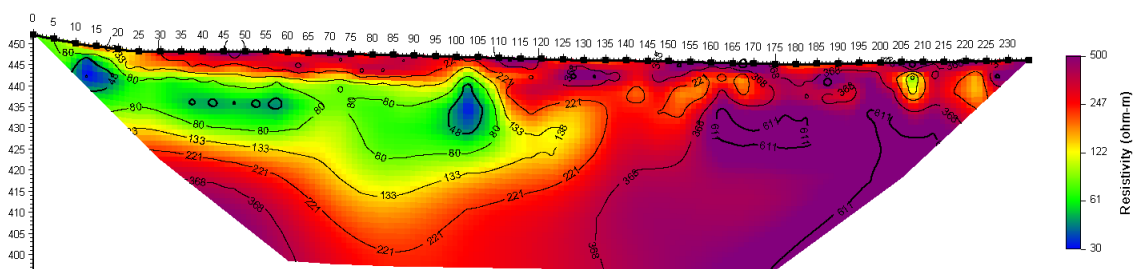
EPT8



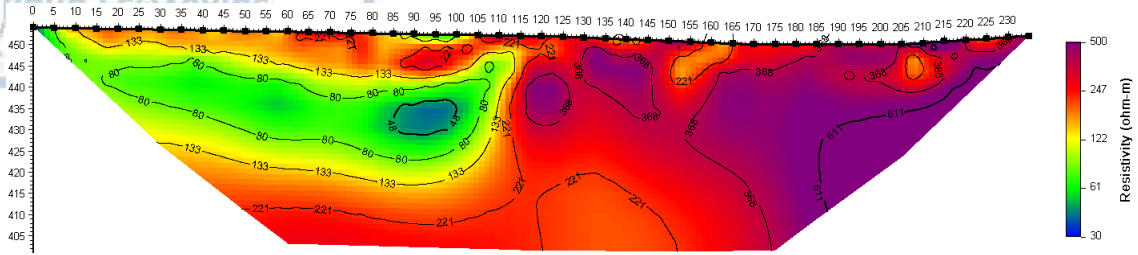
EPT9



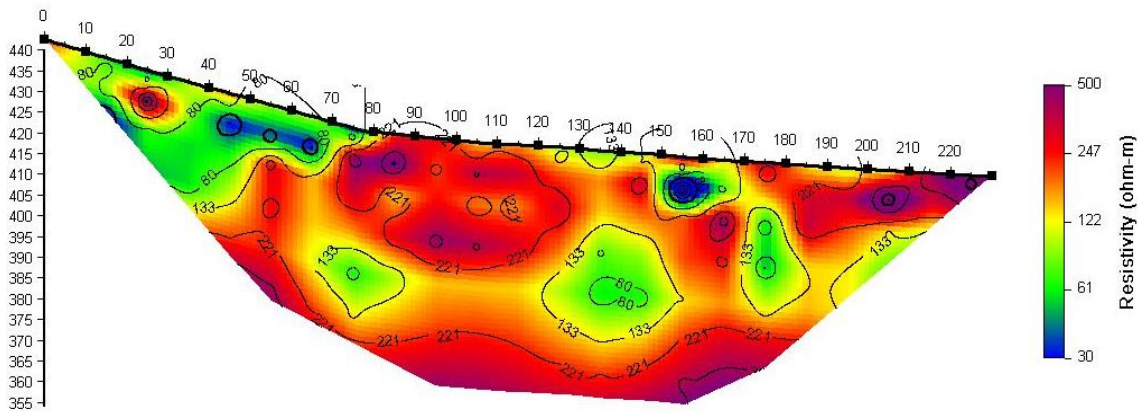
EPT10



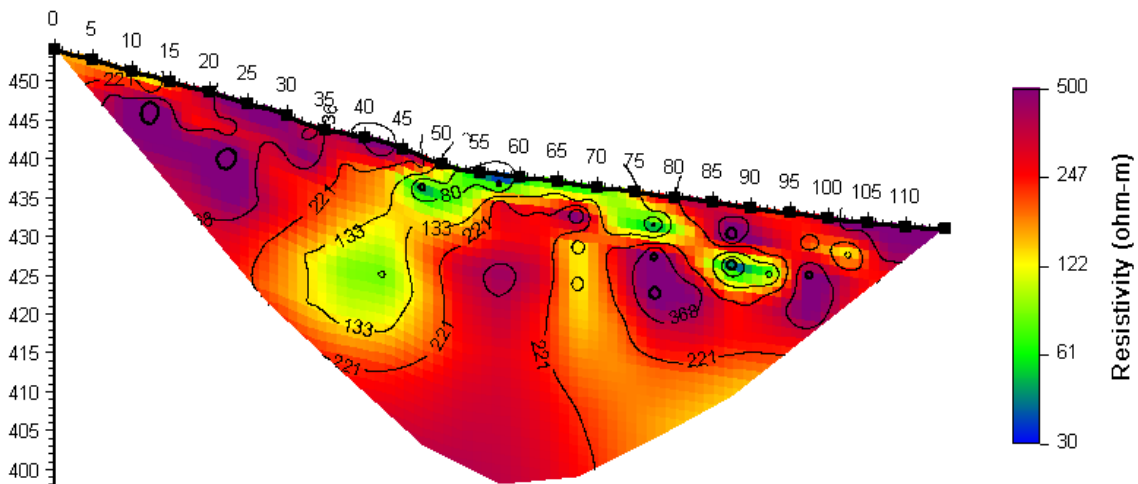
EPT11

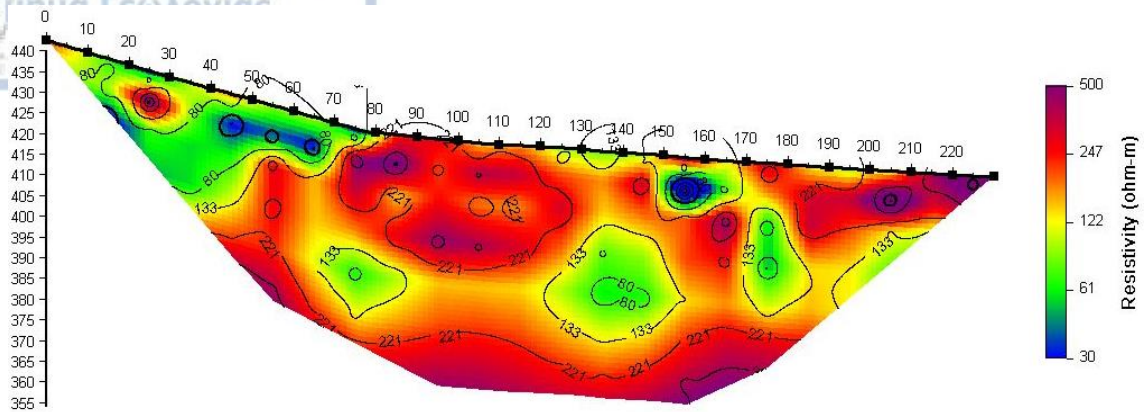


EPT12



EPT13





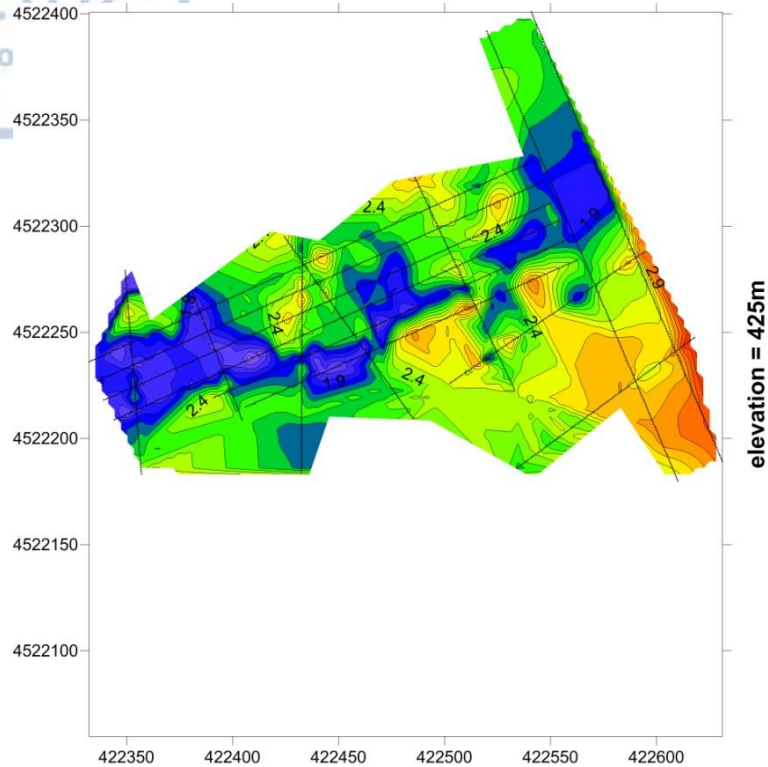
Σχήμα 5.4 Αποτελέσματα διδιάστατης αντιστροφής γεωηλεκτρικών δεδομένων, ηλεκτρικών τομογραφιών που διεξήχθησαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Η συγκριτική ανάλυση των τομογραφιών της ομάδας B-N δείχνει την παρουσία ρήγματος με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ η οποία μάλιστα ταυτίζεται με την επιμήκη σε επιφανειακή εξάπλωση εμφάνιση των επιφανειακών νερών.

Από τις τομογραφίες αυτές φαίνεται ότι ο κύριος όγκος του υπόγειου νερού περιορίζεται προς νότο από το ρήγμα αυτό στο ανατολικό τμήμα της περιοχής.

Στο δυτικό τμήμα (αριστερά) παρατηρούνται σχετικά αγωγίμες ζώνες και νοτιότερα του ρήγματος γεγονός που αποδίδεται και στην ύπαρξη του ρήγματος με διεύθυνση σχεδόν βορρά-νότου στην θέση αυτή.

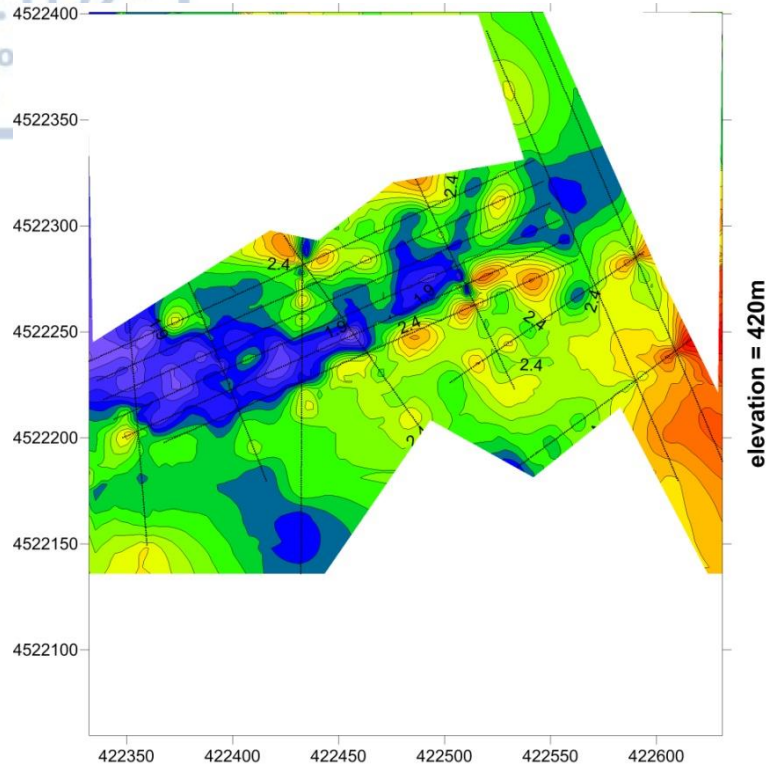
Για την καλύτερη μελέτη της περιοχής σε ότι αφορά την οριζόντια εξάπλωση των αγωγίμων, πιθανών υδροφόρων ζωνών, πραγματοποιήθηκε τρισδιάστατη επεξεργασία των αποτελεσμάτων και κατασκευή των οριζοντιογραφιών που παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Σχήμα 5.5 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 425 μέτρων.

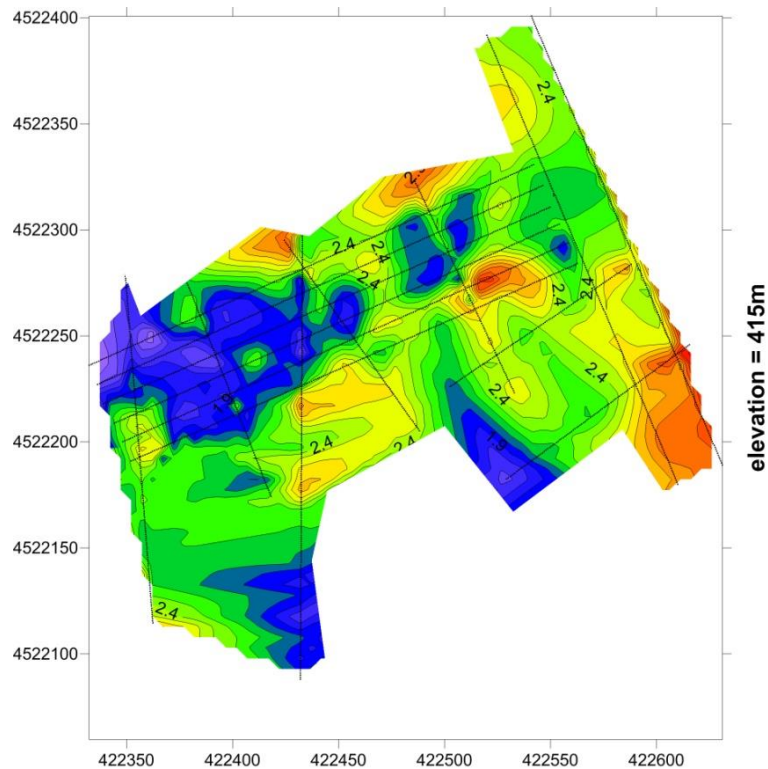
Στην παραπάνω οριζοντιογραφία είναι εμφανής η οριοθέτηση της εξάπλωσης του υδροφορέα στην νότια πλευρά από το ρήγμα ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης. Ο συμπαγής γρανίτης στο όριο του ρήγματος φαίνεται ότι λειτουργεί σαν φραγμός και ανακόπτει την ροή του υπόγειου νερού.

Εξαίρεση αποτελεί η εμφάνιση στο δυτικό τμήμα που συνδέεται με το ρήγμα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης.

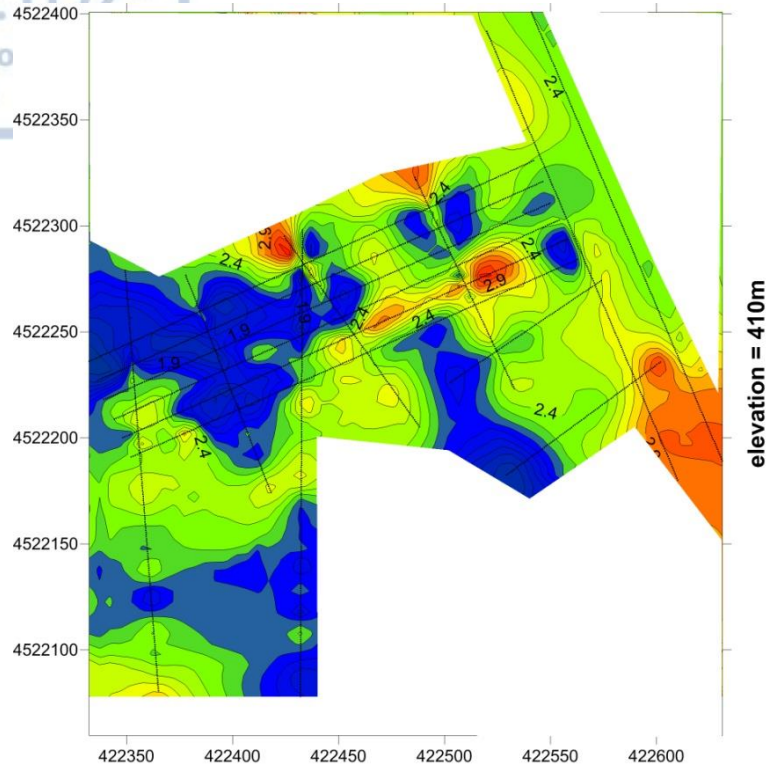


Σχήμα 5.6 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 420 μέτρων.

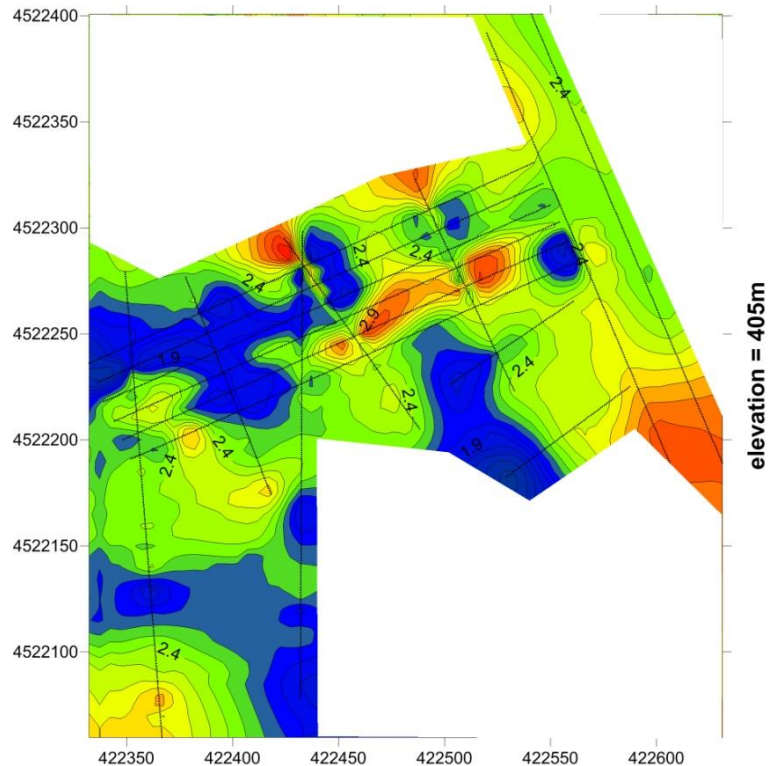
Παρατηρείται η ίδια με την προηγούμενη εικόνα με περισσότερο έντονη την παρουσία νερού στο ΒΒΔ-ΝΝΑ ρήγμα.



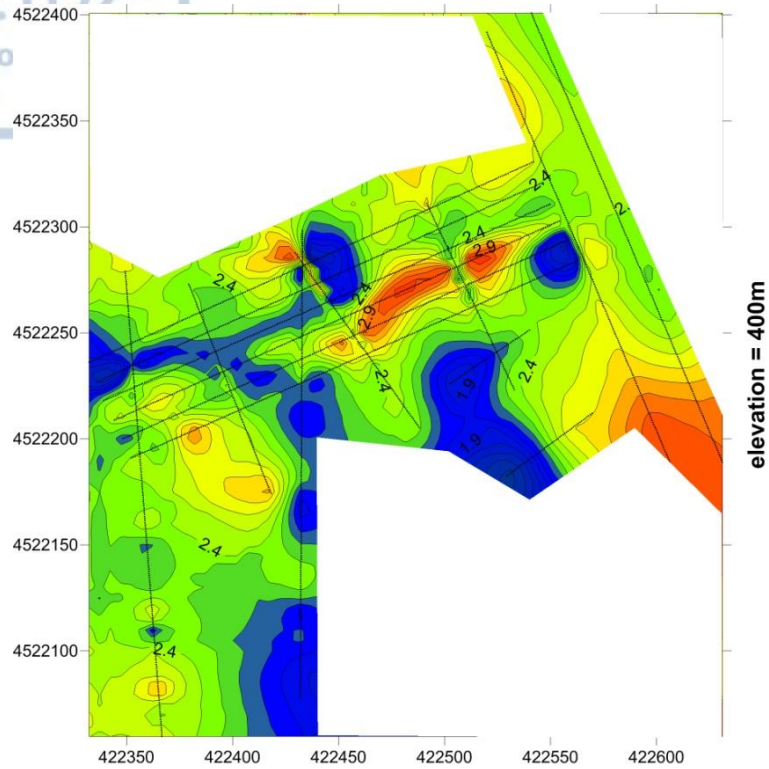
Σχήμα 5.7 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 415 μέτρων.



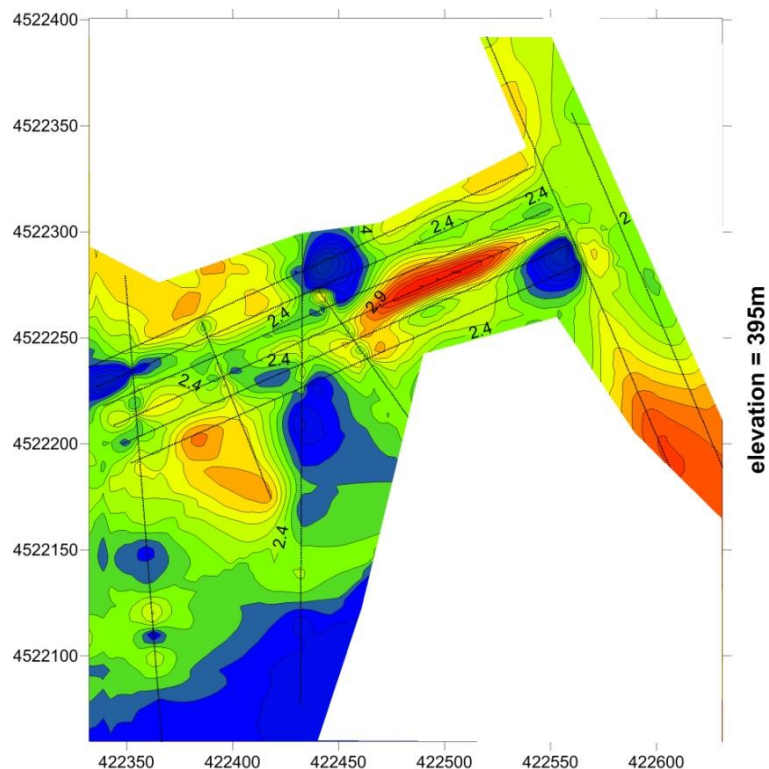
Σχήμα 5.8 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 410 μέτρων.



Σχήμα 5.9 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 405 μέτρων.



Σχήμα 5.10 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 400 μέτρων.



Σχήμα 5.11 Οριζόντια κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υψόμετρο των 395 μέτρων.

Στα 415, 410 και 405 μέτρα παρατηρείται ότι η κύρια εξάπλωση της υδροφορίας και πιθανά η ζώνη τροφοδοσίας είναι κύρια στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής.

Η επικοινωνία των δύο κύριων ρηγμάτων φαίνεται να συμβαίνει στο υψόμετρο των 400 μέτρων.

Σημειώνεται ότι οι κύριες εμφανίσεις των νερών παρατηρούνται σε υψόμετρο 420-425 μέτρων αλλά και 415 στο νότιο τμήμα.

Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές σημειώνεται ότι από την γεωηλεκτρική έρευνα με τις ηλεκτρικές τομογραφίες η περιοχή ενδιαφέροντος σε ότι αφορά την ενδεχόμενη παρέμβαση είναι αυτή γύρω από το σημείο με συντεταγμένες X:422400 και Y:4522200.

6. Μετρήσεις Φυσικού Δυναμικού

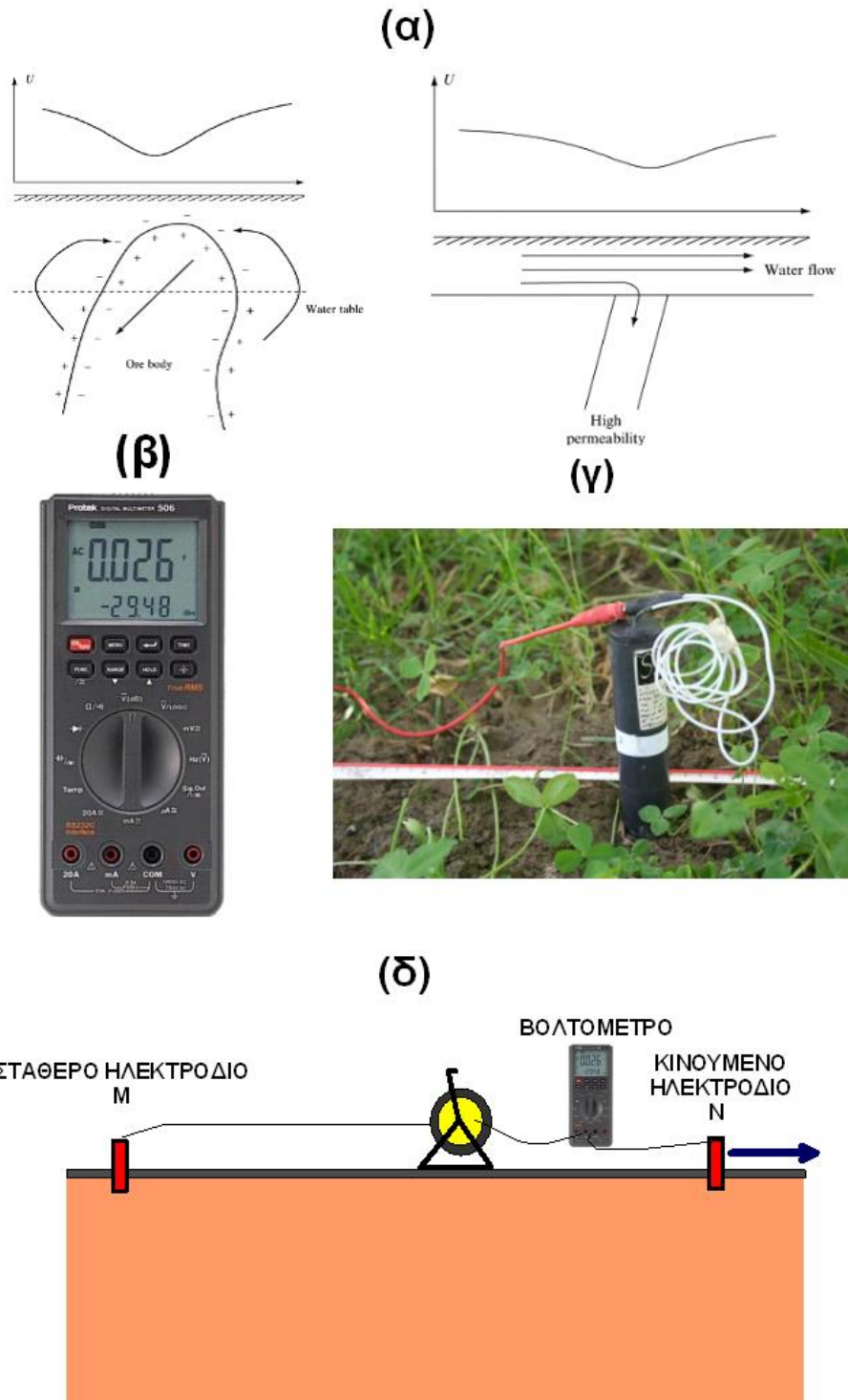
Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος που διεξήχθη από τον Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. στην περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α., πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φυσικού δυναμικού. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου και τα εξαχθέντα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου, με στόχο την ολοκληρωμένη προσέγγιση του θέματος.

6.1 Μέθοδος Φυσικού Δυναμικού

Η μέθοδος του φυσικού δυναμικού είναι μια παθητική γεωφυσική μέθοδος κατά την οποία μετρούμε τις διαφορές δυναμικού που παράγονται από φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα τοπικού χαρακτήρα. Τα ρεύματα αυτά παράγονται από πηγές μέσα στη γη λόγω ηλεκτροκινητικής (κίνηση νερού – διαλυμάτων) ή ηλεκτροχημικής (μεταξύ κόκκων μεταλλικών ορυκτών) δράσης. Έχουν αναφερθεί διάφορες θεωρίες γένεσης των φυσικών ρευμάτων τόσο λόγω χημικής δράσης (θεωρία του ηλ/κού στοιχείου, pH) όσο και λόγω κίνησης νερού (και ηλεκτρονίων) σε όρια γεωλογικών σχηματισμών, γεωτρήσεις κ.α. (Σχ. 6.1α)

Η μετρούμενη τάση δV που μετράμε με τη μέθοδο του φυσικού δυναμικού μπορεί να είναι από λίγα έως και εκατοντάδες mV (π.χ μεταξύ 5-1000 mV). Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση βολτομέτρου μεγάλης εμπέδησης (Σχ. 6.1β) και δύο ειδικών ηλεκτροδίων για αποφυγή πόλωσης (Σχ. 6.1γ). Συνήθως η μέτρηση εκτελείται με το ένα ηλεκτρόδιο δυναμικού (M) να παραμένει σταθερό και το άλλο (N) να κινείται σε κανονικό δίκτυο μετρήσεων (Σχ. 6.1δ). Τα μετρούμενα δυναμικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή χάρτη ισοδυναμικών γραμμών οι οποίοι και αξιολογούνται ποιοτικά με βάση τις περιοχές υψηλού και χαμηλού δυναμικού.

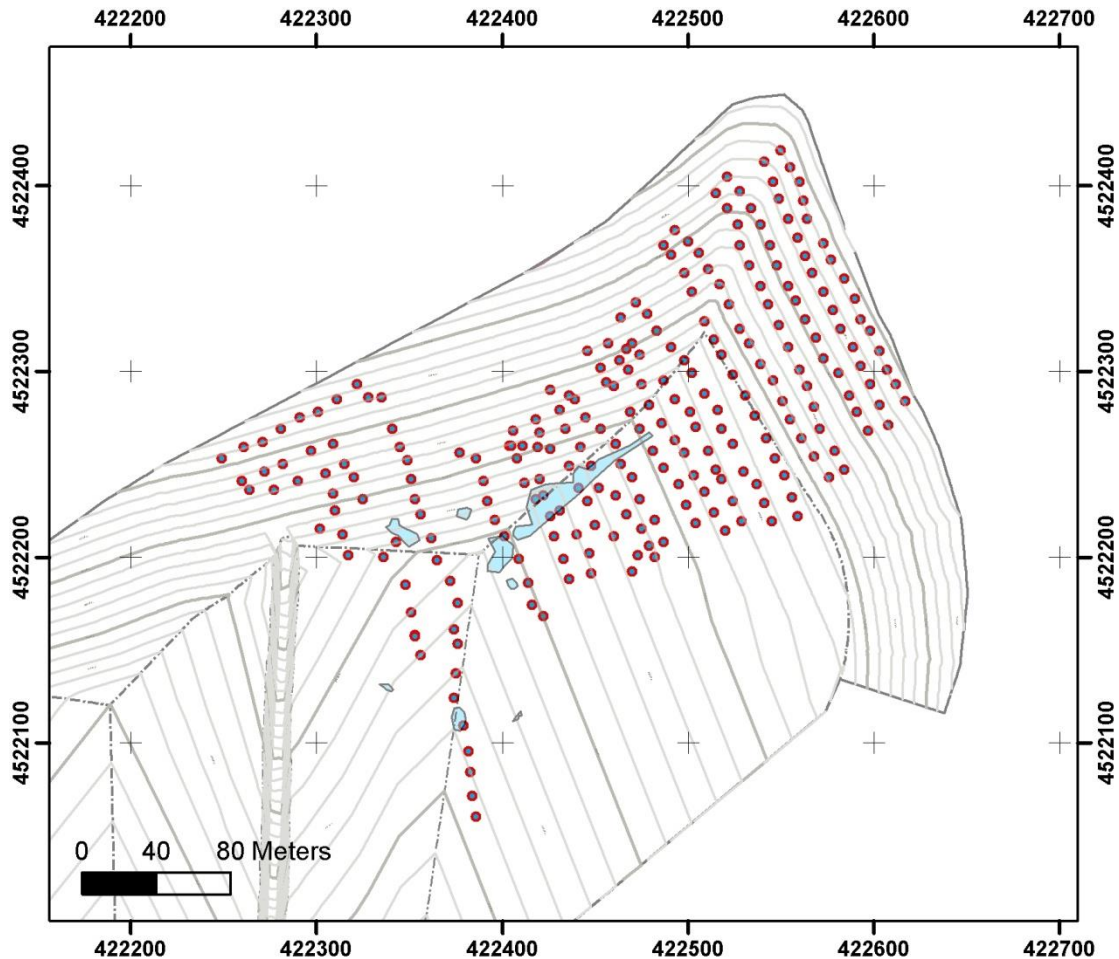
Εφαρμογές της τεχνικής αναφέρονται στη μεταλλευτική έρευνα, στην υδρογεωλογία και στον εντοπισμό διαρροών νερού και καθιζήσεων του εδάφους. Επίσης οι μετρήσεις φυσικού δυναμικού μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν τη μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων που συνδέονται με τη ροή των ρυπαντών στο υπέδαφος.



Σχήμα 6.1 Φυσικό δυναμικό: (α) ηλεκτροχημική προέλευση (αριστερά) και ηλεκτροκινητική προέλευση (δεξιά), (β) βολτόμετρο λήψης μετρήσεων Protek 506, (γ) μη πολούμενα ηλεκτρόδια, (δ) διαδικασία μέτρησης με σταθερό ηλεκτρόδιο.

6.2 Προϋπάρχουσες Μετρήσεις Φυσικού Δυναμικού

Οι μετρήσεις φυσικού δυναμικού που πραγματοποιήθηκαν με την χρήση δύο μη πολούμενων ηλεκτροδίων, εκ των οποίων το ένα λειτούργησε σαν σταθερό ενώ το μετακινούμενο τοποθετήθηκε στα σημεία που παρουσιάζονται στον σχετικό χάρτη.



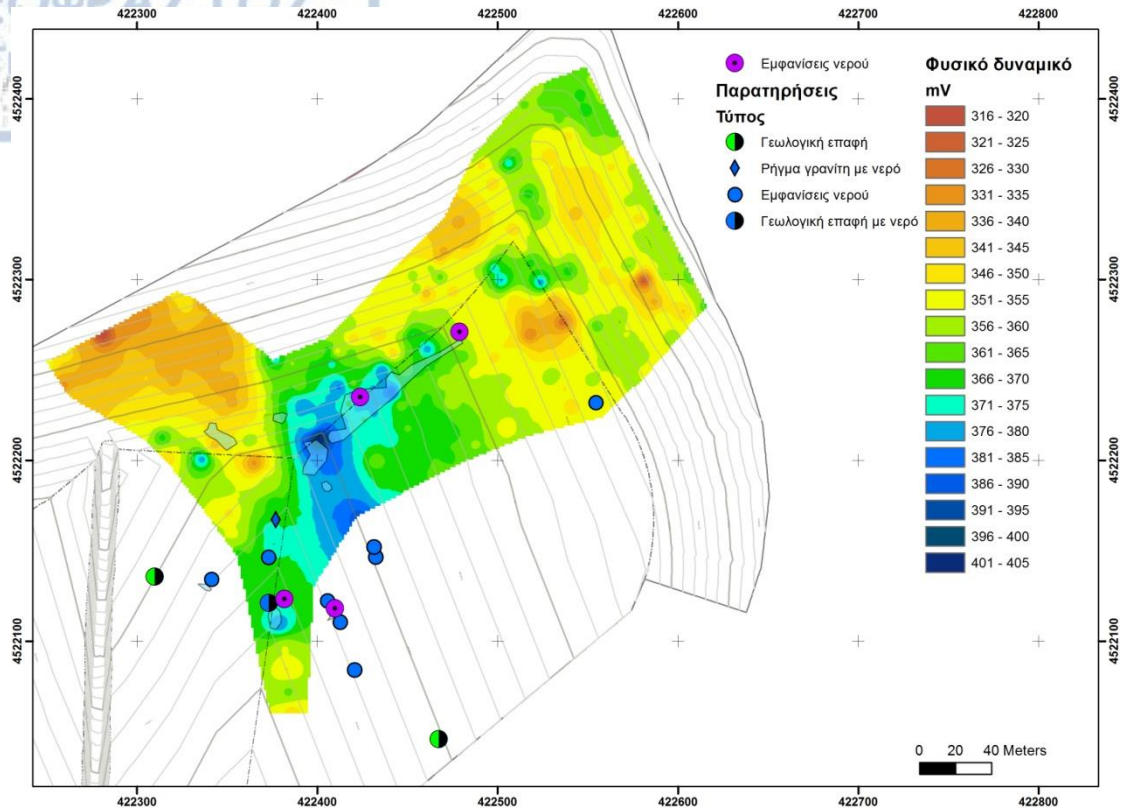
Σχήμα 6.2 Θέσεις μέτρησης φυσικού δυναμικού, που διεξήχθησαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του Α.Π.Θ.

Οι μετρήσεις αναφέρονται στη διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, σταθερού και μετακινούμενου.

Οποιαδήποτε μεταβολή οφείλεται στην παρουσία πηγής φυσικού ηλεκτρικού ρεύματος στην περιοχή του κινητού ηλεκτροδίου.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, αναμενόμενη πηγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι η ροή του υπόγειου νερού για την οποία η κατανομή του φυσικού δυναμικού μπορεί να μας δώσει πληροφορίες.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο χάρτης της κατανομής του φυσικού δυναμικού για την περιοχή έρευνας.



Σχήμα 6.3 Χάρτης κατανομής φυσικού δυναμικού.

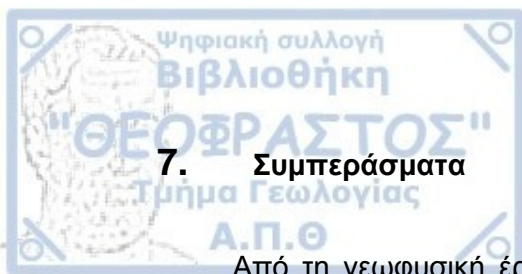
Το κυριότερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην περιοχή με το μπλε χρώμα που αντιστοιχεί στις θετικές ανωμαλίες του φυσικού δυναμικού (μεγάλες τιμές).

Στην περιοχή αυτή αναμένεται ανοδική πορεία του υπόγειου νερού γεγονός που πιστοποιείται από τις εμφανίσεις νερού.

Είναι χαρακτηριστική η ταύτιση των θετικών περιοχών του φυσικού δυναμικού με τις εμφανίσεις όπως χαρτογραφήθηκαν από την τεχνική υπηρεσία.

Φαίνεται ότι η κύρια τροφοδοσία είναι από ΒΔ ενώ συνεχίζεται με διεύθυνση Β-Ν και οριοθετείται στην επαφή γρανίτη-σχιστόλιθου.

Παρατηρούμε και στην κατανομή του φυσικού δυναμικού ότι η περιοχή ενδιαφέροντος ορίζεται στην κεντρική περιοχή με τις ίδιες συντεταγμένες που υποδεικνύει η έρευνα με τις γεωηλεκτρικές τομογραφίες.



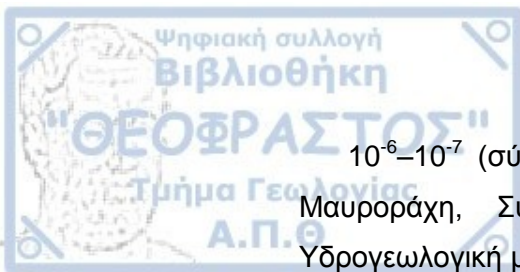
7. Συμπεράσματα

Από τη γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και από τα αποτελέσματα του ερευνητικού προγράμματος του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Η εξεταζόμενη περιοχή, δομείται γεωλογικά Μεσοζωικό γρανίτη και Παλαιοζωικό διμαρμαρυγιακό γνεύσιο.
- Τα πετρώματα αυτά θεωρούνται από υδρογεωλογικής άποψης πρακτικά αδιαπέρατα. Παρόλα αυτά, αρκετά μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού κατείσδουσιν στην περιοχή, λόγω του έντονου τεκτονικού κερματισμού των πετρωμάτων και του προκληθέντος δευτερογενούς πορώδους με τη δημιουργία διακλάσεων και τεκτονισμένων-ρηξιγενών ζωνών, που ευνοούν την κατείσδυση.
- Η ανάπτυξη ενός ικανού μανδύα αποσάθρωσης στα γρανιτικά και γνευσιακά πετρώματα της περιοχής, ευνοεί την κατείδυση και την κίνηση του υπόγειου νερού σε επιφανειακούς ορίζοντες.
- Το αναπτυσσόμενο υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή είναι δενδριτικής μορφής και επικρατεί σε περιοχές με ομοιογένεια στη γεωλογική σύσταση, σε ήπιο γενικά ανάγλυφο, χωρίς τεκτονική επίδραση και δηλώνει την επικράτηση της επιφανειακής απορροής έναντι της κατείσδυσης.
- Η αναπτυσσόμενη υδροφορία στην περιοχή συνεχίζεται σε σχετικά μεγάλο βάθος. Συγκεκριμένα αναμένεται μέχρι το υψόμετρο των 400 μέτρων στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.
- Προς νότο οριοθετείται από το ρήγμα ABA-ΔΝΔ διεύθυνσης που εντοπίστηκε και χαρτογραφήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του Α.Π.Θ.
- Στο δυτικό τμήμα υπάρχει ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης ΒΒΔ-NNA μέσω του οποίου συνεχίζεται ροή προς νότο.
- Η κύρια συγκέντρωση των υπόγειων νερών σαν συνέχεια των επιφανειακών βρίσκεται στο δυτικό τμήμα και στις συντεταγμένες Χ: 422400 και Υ: 4522200.

Από την αξιολόγηση των γεωλογικών υδρογεωλογικών στοιχείων της περιοχής προκύπτουν δύο στοιχεία:

- Η ροή των υπόγειων νερών -αν θεωρηθεί ο αποσαθρωμένος μανδύας σαν ελεύθερος υδροφόρος- είναι από ΒΑ προς ΝΔ.
- Η αναμενόμενες ταχύτητες ροής είναι σχετικά μικρές, της τάξης του



10^{-6} – 10^{-7} (σύμφωνα με τη Μελέτη ΧΥΤΑ ΒΔ Νομού Θεσ/νίκης Θέση: Μαυροράχη, Σύνδεσμος ΟΤΑ Μείζονος Θεσσαλονίκης, Γεωλογική-Υδρογεωλογική μελέτη).

Με βάση τα παραπάνω προτείνεται η κατασκευή αποστραγγιστικής τάφρου που σαν κύριο στόχο θα έχει να συγκεντρώσει τα υπόγεια νερά που κινούνται κατά μήκος των δύο διασταυρούμενων ρηξιγενών ζωνών (ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης).

Η αποστραγγιστική τάφρος θα πρέπει να εκσκαφτεί στην διασταύρωση των δύο ρηγμάτων.

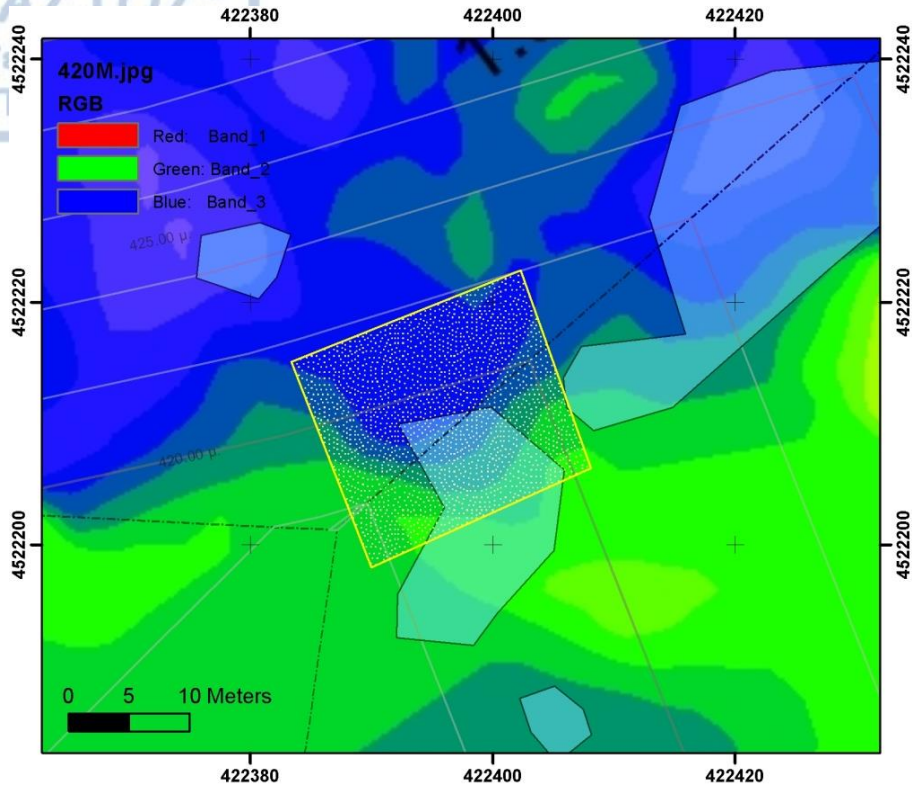
Τα στοιχεία χωροθέτησης της προτεινόμενης εκσκαφής είναι:

Συντεταγμένες κέντρου εκσκαφής:	X: 422395	Y: 4522210
Συντεταγμένες ΒΔ γωνίας:	X: 422383	Y: 4522215
Συντεταγμένες ΝΔ γωνίας:	X: 422390	Y: 4522198
Συντεταγμένες ΝΑ γωνίας:	X: 422408	Y: 4522206
Συντεταγμένες ΒΑ γωνίας:	X: 422402	Y: 4522222

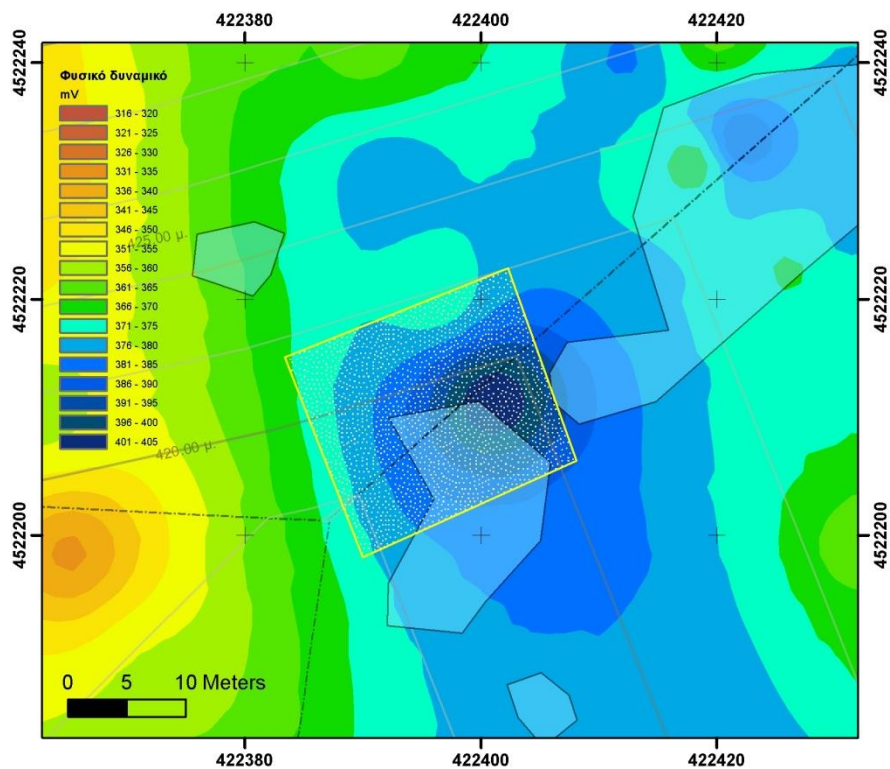
Έκταση: 360 τ.μ.

Περίμετρος περίπου 75 μέτρα.

Η θέση της εκσκαφής σε σχέση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα.

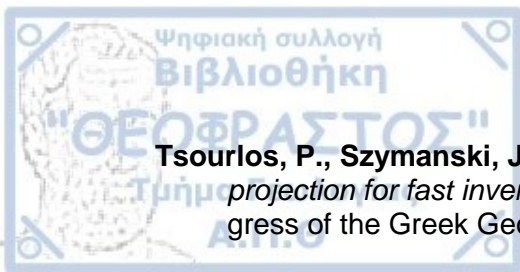


Σχήμα 7.1. Θέση αποστραγγιστικής τάφρου σε υπόβαθρο οριζοντιογραφίας κατανομής τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 7.2. Θέση αποστραγγιστικής τάφρου σε υπόβαθρο οριζοντιογραφίας κατανομής τιμών φυσικού δυναμικού.

- Bahrani, N., Adler, A. (2012).** *2.5D Finite Element Method for Electrical Impedance Tomography considering the Complete Electrode Model.* 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering
- Barker, R.D. (1992).** *A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface.* First Break, 10, 53-63.
- Edwards, L.S. (1977).** *A modified pseudosection for resistivity and IP.* Geophysics, 42, 1020-1036.
- Griffiths, D., Turnbull, J., and Olyianka, A. (1990).** *2-dimensional resistivity mapping with a computer controlled array.* First Break, 8, 121-129.
- Howard, D.A. (1967).** DRAINAGE ANALYSIS IN GEOLOGIC INTERPRETATION: A SUMMATION. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, vol. 51, No. 11 : pp. 2246-2259.
- Karous, M. and Hjelt, S.E. (1983).** *Linear filtering of VLF dip-angle measurements.* Geophys. Prosp., 31 : 782-794.
- Nissen, J., (1986).** *A versatile electromagnetic modelig program for 2-D structures.* Geophys. Prosp., 34 : 1099-1110.
- Papadopoulos, G.N., Yi, M.-J., Kim, J-H, Tsourlos, P. Tsokas, N.G. (2010).** *Geophysical investigation of tumuli by means of surface 3D Electrical Resistivity Tomography.* Journal of Applied Geophysics, vol. 70, pp. 192–205.
- Psomiadis, D., Tsourlos, P., Albanakis, K. (2009).** *Electrical resistivity tomography mapping of beachrocks: application to the island of Thassos (N. Greece).* Environmental Earth Sciences, vol. 59, pp.233–240.
- Shima, H. (1992).** *2-D and 3-D resistivity image reconstruction using crosshole data.* Geophysics, 1270-1291.
- Shima, H. (1990).** *2-D automatic resistivity inversion technique using alpha centers.* Geophysics, 55, 682-694.
- Tripp A., Hohm-mann, G. and Swift, c. (1992).** *2-D resistivity inversion.* Geophysics, 57, 1004-1013.
- Tsourlos, P. (1995).** *Modelling, interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data.* Thesis, University of York, U.K.
- Tsourlos, P., Dittmer, J. and Szymanski, J. (1995).** *A study of non-linear techniques for the 2-D inversion of earth resistivity data.* Expanded abstracts of the 57th meeting of the EAEG: Glasgow, Scotland, 29 May-2 June, 1995, P031.
- Tsourlos, P., Papadopoulos, N., Yi, M.-J., Kim, J.-H., Tsokas, G. (2014)** *Comparison of measuring strategies for the 3-D electrical resistivity imaging of tumuli.* Journal of Applied Geophysics, vol. 101, pp.77–85.



Tsourlos, P., Szymanski, J., Dittmer, J. and Tsokas, G. (1993). *The use of back-projection for fast inversion of 2-D resistivity data.* Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Florina Greece, 5-7 May, Vol. 1, 71-81.

Tsourlos, P., Szymanski, J., and Tsokas, G. (1999). *The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays.* GEOPHYSICS, vol. 64, No. 5 : pp. 1357-1363.

Tsourlos P., Szymanski J., Dittmer J., and Tsokas G. (1993). *The use of backprojection for fast inversion of 2-D resistivity data.* Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Florina, Greece, 5-7 May, 1993, vol. 1, 71-81.

Tsokas, G.N., Giannopoulos, A., Tsourlos, P., Vargemezis, G., Tealby, A. Sarris, J.M., Papazachos, C.B., Savopoulou, T. (1994). *A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (northern Greece).* Journal of Applied Geophysics, vol. 32, pp. 85-98.

Vargemezis, G., Tsourlos, P., Stampolidis, A., Fikos, I., Ballas, D., Papadopoulos, N. (2011). A focusing approach to ground water detection by means of electrical and EM methods: the case of Paliouri, Northern Greece. *Studia Geophysica et Geodaetica*, vol. 56, Issue 4, pp.1063-1078.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ. (1970). *ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΦΥΛΛΟ ΛΑΧΑΝΑΣ, κλίμακας 1:50.000.* ΑΘΗΝΑ.

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (1979). *ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟΝ ΛΑΧΑΝΑΣ, κλίμακας 1:50.000.*, ΑΘΗΝΑ.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Α.Γ. (2000). *ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ, ΤΟΜΟΣ Β΄ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ, Δεύτερη έκδοση.* ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ, 345 σελ. ΑΘΗΝΑ.

Μουντράκης, Μ.Δ. (1985). *ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.* UNIVERSITY STUDIO PRESS. ΘΕΣ/ΝΙΚΗ.

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ, Κ. Β. (1996). *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ.* Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ΘΕΣ/ΝΙΚΗ.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Χ.Γ. (1986). *ΓΕΝΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ, ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ.* UNIVERSITY STUDIO PRESS. Θεσ/νίκη.

Σύνδεσμος ΟΤΑ Μείζονος Θεσσαλονίκης (2012). Μελέτη ΧΥΤΑ ΒΔ Νομού Θεσ/νίκης Θέση: Μαυροράχη, Γεωλογική-Υδρογεωλογική μελέτη.

<http://www.sciencedirect.com>

<http://link.springer.com>

http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp762e/PDF/LEC5_NEW.pdf