

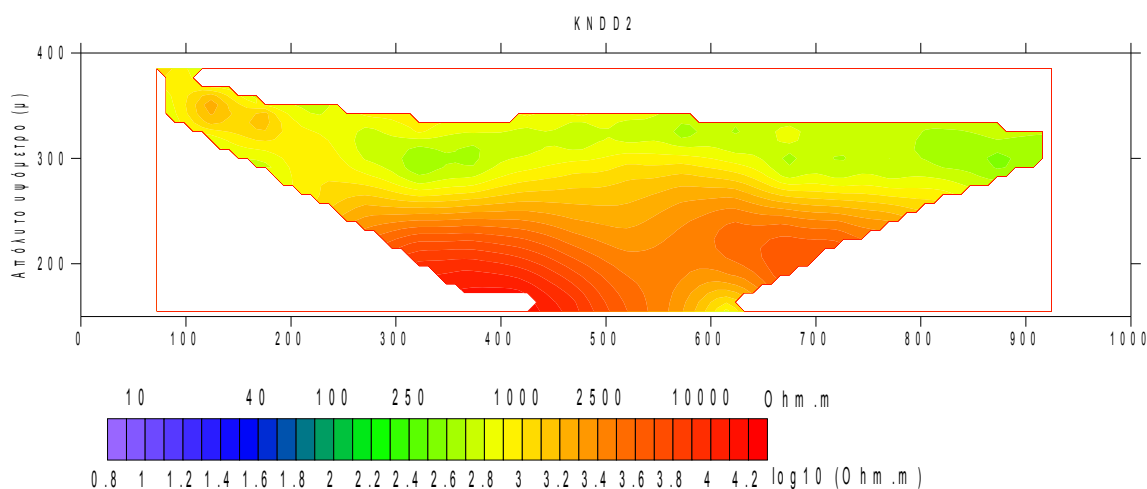


*ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ*

ANNA TZOGIA ΑΕΜ:3922

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## **Εφαρμογή Ηλεκτρικής Τομογραφίας Για εντοπισμό υδροφορίας στο Κοκκινοχώρι Ν. Καβάλας**



**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ**

**ΤΣΟΥΡΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ    ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

***Αναπ. Καθηγητής Α.Π.Θ.    Επίκ.Καθηγητής Α.Π.Θ.***

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Πρόλογος                                               | 3  |
| 2. Γενικά                                                 | 4  |
| 3. Περιοχή έρευνας                                        | 5  |
| 4. Γεωλογικά και Υδρογεωλογικά στοιχεία                   | 6  |
| 4.1. Γεωλογικά στοιχεία                                   | 6  |
| 4.2. Υδρογεωλογικά στοιχεία                               | 8  |
| 5. Γεωφυσική έρευνα                                       | 14 |
| 5.1. Γεωηλεκτρική διασκόπηση με τη μέθοδο της τομογραφίας | 14 |
| 5.1.1. Ερμηνεία με ψευδοτομή                              | 16 |
| 5.1.2. Ερμηνεία με αντιστροφή                             | 18 |
| 5.1.3. Επιλογή παραμέτρων μετρήσεων                       | 20 |
| 5.2. Εφαρμογή γεωφυσικής έρευνας                          | 22 |
| 5.2.1. Τομογραφία K1.                                     | 24 |
| 5.2.2. Τομογραφία K2.                                     | 26 |
| 6. Συμπεράσματα-Προτάσεις                                 | 31 |

# 1. Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία ασχολείται με την εφαρμογή μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας για τον εντοπισμό υδροφορίας στο Κοκκινοχώρι Ν. Καβαλας.

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή κ. Τσούρλο Παναγιώτη για τη σωστή καθοδήγησή του στη σύνταξη της παρούσας εργασίας, στην καθοριστική συμβολή του στην ανεύρεση βιβλιογραφίας και στην αμέριστη συμβολή του στην ορθή σύνταξη του τελικού κειμένου.

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν γεωφυσικά δεδομένα από διεξαχθέν ερευνητικό πρόγραμμα του Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., με θέμα *«Εντοπισμός υδροφορέα στο Κοκκινοχώρι με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης - Έκθεση ερευνητικού προγράμματος»* (Βαργεμέζης και συνεργάτες, 2008).

## 2. Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας που έγινε στην περιοχή Κοκκινοχωρίου, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος που εκτελέστηκε από τον Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και η οποία σαν στόχο είχε την συμβολή στην γεωλογική – υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής στα πλαίσια κατασκευής αρδευτικής υδρογεώτρησης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκμάθηση της σωστής διαδικασίας προσέγγισης ενός πραγματικού ερευνητικού αντικειμένου εφαρμογής ηλεκτρικής τομογραφίας, για την ανεύρεση εκμεταλλεύσιμου υπόγειου νερού, καθώς και η ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της τομογραφίας, με απώτερο στόχο την αποτελεσματική έρευνα και την σύνταξη περεταίρω προτάσεων ερεύνης.

Για τέτοιας φύσης υδρογεωλογική έρευνα, η πιο συνήθης πρακτική στη γεωφυσική έρευνα που προγραμματίζεται είναι η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση σύμφωνα με τη διάταξη ηλεκτροδίων Schlumberger. Η μέθοδος αυτή δίνει μονοδιάστατες πληροφορίες σε σχέση με την στρωματογραφία της υπό έρευνα περιοχής στα σημεία στα οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις. Η στρωματογραφία υπό μορφή τομών αξιολογείται βάσει κατασκευής ψευδοτομών, δηλαδή παράθεσης των μονοδιάστατων βυθοσκοπήσεων και συσχέτισης αυτών σε αντιστοιχία με την συσχέτιση γεωτρητικών στρωματογραφικών στηλών.

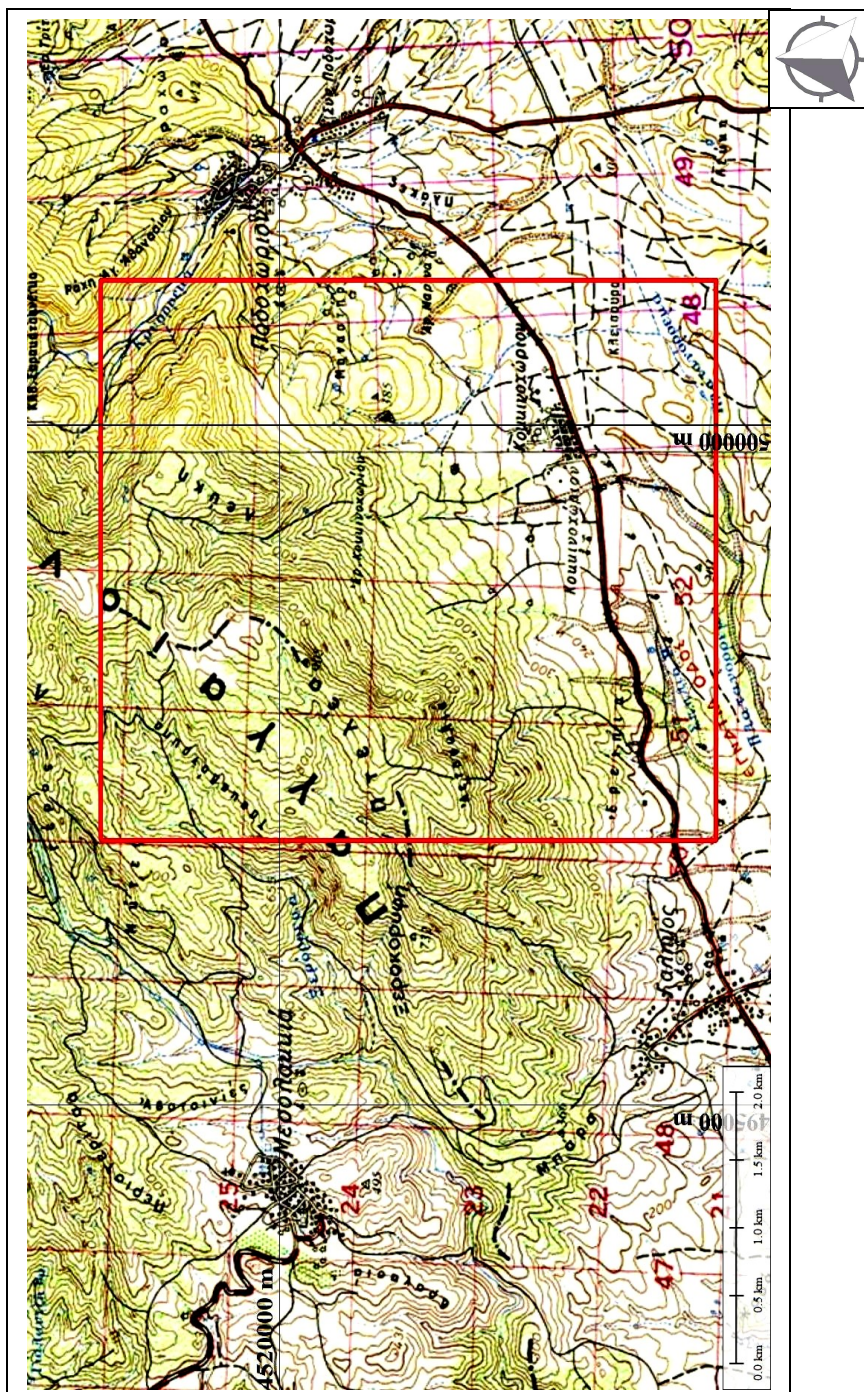
Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται η μέθοδος της γεωηλεκτρικής τομογραφίας, η οποία δίνει την δυνατότητα λήψης μετρήσεων σε δύο διαστάσεις και κατασκευής δισδιάστατων γεωηλεκτρικών μοντέλων σε μία περιοχή.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία με στόχο να μελετηθεί πλήρως σε δύο διαστάσεις η στρωματογραφική δομή της λεκάνης νοτίως του οικισμού Κοκκινοχωρίου καθώς και η βύθιση του σχηματισμού των μαρμάρων στην περιοχή βορείως του οικισμού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ερεύνης, καθώς γίνεται και μια συγκριτική προσέγγιση των εξαχθέντων αποτελεσμάτων με τα αναμενόμενα, τα οποία βασίζονται στις γεωλογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής.

### 3. Περιοχή έρευνας

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται νοτιοανατολικά του Ποδοχωρίου στις νότιες παρυφές του Παγγαίου όρους, με υψόμετρα που κυμαίνονται από 200 μέχρι 280 περίπου μέτρα (χάρτης Σχ. 1).



**Σχήμα 1.** Θέση περιοχής έρευνας (κόκκινο τετράγωνο) επί τοπογραφικού χάρτη ΓΥΣ (σύνθεση φύλλων Ροδολίβος & Νικήσιανη). Ο κানাβος συν/νων δίνεται σύμφωνα με το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87.



**Σχήμα 2.** Δορυφορικές εικόνες περιοχής έρευνας.

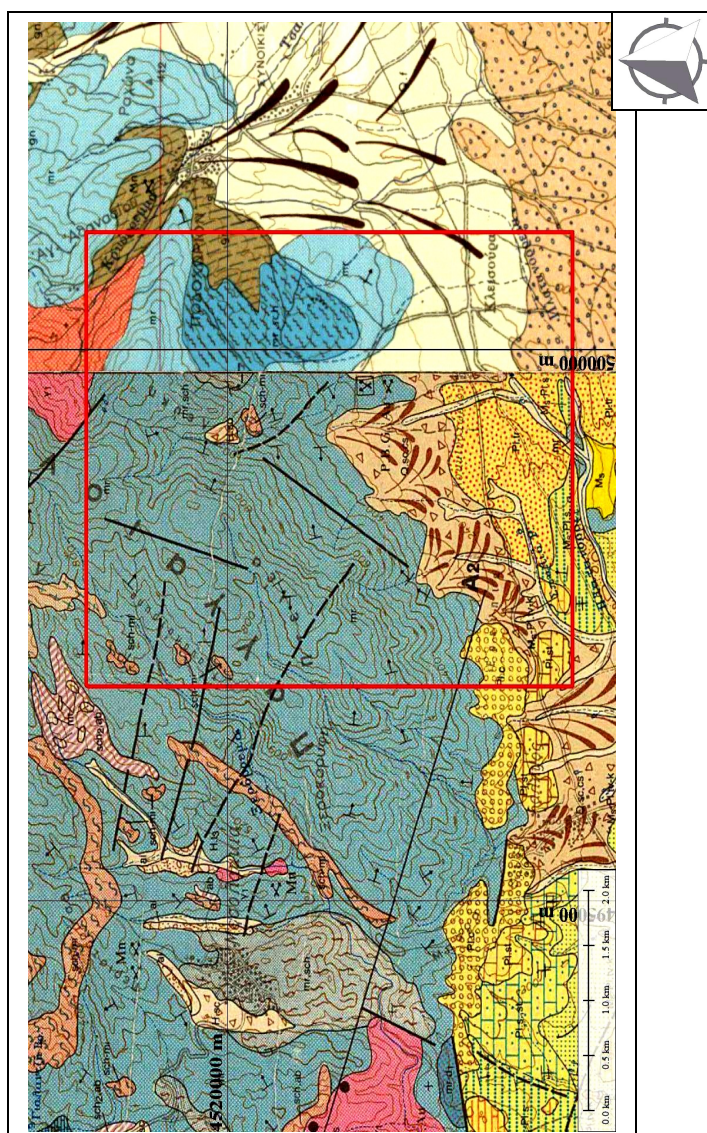
Πάνω: Κάτοψη & Κάτω: τρισδιάστατη άποψη προς Βορρά (πηγή: Google Earth).

## 4. Γεωλογικά-Υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας.

### 4.1 Γεωλογικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, φύλλα «ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ (ΛΟΥΤΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ)» και «ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ» κλίμακας 1:50.000, στην περιοχή έρευνας (σχ. 3), συναντώνται ο σχηματισμός των αλλουβιακών ριπιδίων ο οποίος υπέρκειται του κρυσταλλικού υπόβαθρου.

Ακολουθεί απόσπασμα των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ, με την περιοχή έρευνας, καθώς και το αντίστοιχο υπόμνημα.

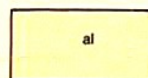


**Σχήμα 3.** Θέση περιοχής έρευνας (κόκκινο τετράγωνο) επί γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ (σύνθεση φύλλων Ροδολίβος & Νικήσιανη). Ο κλίμακας συν/νων δίνεται σύμφωνα με το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87.

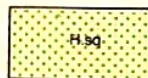
#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΟΛΟΚΑΙΝΟ

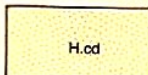
**Σύγχρονες προσχώσεις:** ασύνδετα, κυρίως, υλικά από αμμοχάλικα και κροκάλες στις κοίτες των ποταμών, χειμάρων και ρεμάτων.



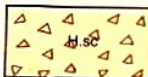
**Σύγχρονες δελταϊκές προσχώσεις** του ποταμού Στρυμώνα από άμμους και αμμοχάλικα.



**Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις:** ανατολικά του Στρυμωνικού Δέλτα κυρίως, άμμοι και χαλίκια και δυτικά αυτού, κυρίως κροκάλες και χαλίκια.



**Πλευρικά κορήματα:** λατούπες και ημιχαλαρά λατυποπαγή με ασβεστιτική συνδετική ύλη.

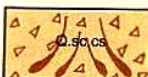


**Ρυτίδια στις εκβολές των ρεμάτων που διασχίζουν νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς:** κυρίως από αμμοχάλικα και κροκάλες με φακούς χαλαρών κροκαλοπαγών.



Πάχος: 2-6 m.

**Ρυτίδια στις εκβολές των ρεμάτων που διασχίζουν το κρυσταλλοσχιστώδες:** ογκόλιθοι, κροκάλες, χαλίκια και άμμοι.



Πάχος: μέχρι και 20 m.

**Σύγχρονα λιμναία ιζήματα της αποξηρανθείσας λίμνης Αχινού:** ιλύς, αμμούχες άργιλοι και άμμοι.



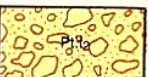
Πάχος: 2-6 m.

**Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων:** στις περιοχές του κρυσταλλοσχιστώδους αποτελείται από κροκάλες, άμμους και ογκόλιθους, ενώ στις περιοχές των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών από αμμοχάλικα και κροκάλες. Το ύψος του από τις σημερινές κοίτες των χειμάρων φτάνει μέχρι 10m.



### ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

**Μεσαίο σύστημα αναβαθμίδων:** η βάση του βρίσκεται σε ύψος μέχρι 15m πάνω απ' τη κοίτη των ρεμάτων. Αποτελείται από άμμους, αμμοχάλικα, αμμούχες αργίλους και κροκάλες.



Πάχος: μέχρι 20m.

**Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων:** η βάση του βρίσκεται σε ύψος 30-40m πάνω από τη σημερινή κοίτη των ρεμάτων πάνω σε επίπεδες επιφάνειες σχηματισμών του νεογενούς, αποτελείται κυρίως από αμμούχες αργίλους με διάσπαρτα χαλίκια, από άμμους και από μάργες με συχνές παρεμβολές φακών ασβεστιτικών τόφων και χαλαρών κροκαλοπαγών.



Πάχος: μέχρι 10m.

## ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

**Ερυθρογή με στρώσεις κροκαλοπαγών (χερσαία):** οριζόντιες στρώσεις ερυθρογής, πάχους μερικών μέτρων, που συχνά εναλλάσσονται με στρώσεις ημιχαλαρών ή και ασύνδετων κροκαλοπαγών πάχους μέχρι 1m. Όλο το σύστημα επικάθεται με γωνιώδη ασυμφωνία σε υποκείμενους σχηματισμούς του νεογενούς.



Πάχος: 40 μέχρι 80m.

**Κροκαλοπαγή Γαλιψού (μάλλον παράκτια):** εμφανίζονται στην περιοχή της Γαλιψού στον κόλπο του Ορφανού, σε πάγκους μερικών μέτρων. Ιδιαίτερα συνεκτικά, με κροκάλες κυρίως από μάρμαρο και λιγότερο από γνεύσιους, σχιστόλιθους, γρανοδιορίτες και αμφιβολίτες.



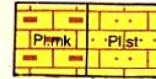
Πάχος: 35 μέχρι 65m.

### ΑΝΩΤ. ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ – ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Αποθέσεις κυρίως υφάλμυρες με διαβαθμίσεις από λιμναίες μέχρι υφάλμυρες και με βραχυχρόνιες παρεμβολές θαλάσσιας φάσης. Στη βάση καθαρά χερσαίες αποθέσεις. Μεγάλη ποικιλία και γρήγορη μεταβολή παρατηρείται στο λιθοφασικό και βιοφασικό χαρακτήρα στα διάφορα στρώματα, αλλά και πλευρικά στα ίδια στρώματα.

#### Αποθέσεις λιμναίες

**Μαργαίκοι ασβεστόλιθοι (Pl.mk):** με χαρακτηριστικό λευκότεφρο χρώμα. Συνήθως ογκώδεις και έντονα κατακερματισμένοι, κατά θέσεις σε τράπεζες, πάχους περίπου 1m. Πλευρική μετάδοση σε σκληρές μάργες του ίδιου χρώματος ή σε αμμώδεις ψαθυρές μάργες κιτρινωπού χρώματος.  
Πάχος: περίπου 30m.



**Ασβεστιτικοί ψαμίτες: (Pl.st):** σε τράπεζες, εναλλασσόμενοι με ασβεστιτικές χονδρόκοκκες άμμους με καλή κοκκοδιαβάθμιση και φακούς ασβεστιτικών τόφφων.  
Πάχος των επί μέρους σχηματισμών από 1-2m.  
Συνολικό πάχος: 35-65m.

#### Αποθέσεις λιμναίες μέχρι υφάλμυρες με βραχυχρόνιες παρεμβολές θαλάσσιων αποθέσεων.

**Πυριτικές άμμοι:** λεπτόκοκκες, με καλή κοκκοδιαβάθμιση και στρώση, πάχους μερικών μέτρων με παρεμβολές πρασινότεφων αργίλων πάχους 10-20cm. Κατά θέσεις μερικές στρώσεις κροκαλοπαγών, πάχους μερικών μέτρων και δελταικές αποθέσεις χονδρόκοκκων άμμων.  
Στην περιοχή μεταξύ Δραβιάκου και Μυρίνης υπάρχει πλήρης σχεδόν, πλευρική μετάδοση του σχηματισμού σε πρασινότεφρες αργίλους λεπτοστρωμένες οι οποίες περιέχουν φυτικά υπόλοιπα και γύψο.  
Απολιψώματα:



*Cyprideis thessalonikae* KRISTIC, *Camptocyprina balcanica* (Limnocardium sp., *Ostrea* sp., Gastropods, Echinoid spines.

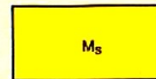
Συνολικό πάχος: 400m περίπου.

**Άμμοι εμποτισμένες με οξείδια σιδήρου (Ms.s1):** χονδρόκοκκες, άστρωτες, συχνά με φακοειδείς παρεμβολές χονδρόκοκκου ψαμίτη. Χαρακτηριστικό του σχηματισμού είναι η πληθώρα νεφροειδών κονδύλων από τεφρή άργιλο ή οξείδια σιδήρου διαστάσεων μερικών εκατοστών.  
Συνολικό πάχος: 80-100m.

**Κροκαλοπαγή, ψαμίτες και μικροκροκαλοπαγή σε εναλλαγές στρώσεων (Ms.c):** τα κροκαλοπαγή είναι αδιαβάθμητα και συνεκτικά, οι ψαμίτες μεσόκοκκοι και ιδιαίτερα σκληροί. Πάχος των επί μέρους σχηματισμών 1-3m. Κατά θέσεις επικρατούν χονδρόκοκκοι άμμοι και ψαμίτες.  
Συνολικό πάχος: 100m περίπου.

#### Αποθέσεις χερσαίες

**Κροκάλες, χάλικες, μικροκροκαλοπαγή και ογκόλιθοι:** αδιαβάθμητα με φακούς από χονδροκροκαλοπαγή, αμμώδεις μάργες και ασβεστιτικούς τόφφους.  
Συνολικό πάχος: 400-450m.



### ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΗΣ ΜΑΖΑ ΡΙΛΑ ΡΟΔΟΠΗΣ

#### ΣΕΙΡΑ ΠΑΓΓΑΙΟΥ

**Μάρμαρα Παγγαίου:** τεφρά μέχρι υπόλευκα, λεπτοκρυσταλλικά μέχρι αδροκρυσταλλικά, συνήθως στρωσιγενή, σπανιότερα άστρωτα, κατά θέσεις πλακώδη ή με λατυποπαγοειδή ιστό, πολύ σπάνια με βιοτίτη και κερσιτιδίτη (σιπολίνες).  
Πάχος: περίπου 800m.



**Μάρμαρα δολομιτικά:** συνήθως λευκά, σπάνια με κιτρινή χροιά, ζαχαρώδη, μικροκρυσταλλικά, λεπτοστρωματώδη, έντονα κατακερματισμένα.



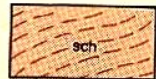
**Μάρμαρα βιτουμινούχα:** σκούρα τεφρά μέχρι μαύρα, μικροκρυσταλλικά, πλακώδη και ελαφρά τεκτονισμένα.



**Μάρμαρα δολομιτικά και αγκεριτωμένα:** κιτρινόφαια, λεπτοκρυσταλλικά, συμπαγή, εμποτισμένα από λιπιωνίτη, με πολλές φλέδες ασβεσίτη και σπάνιες βαρίτη. Απαντρών κοντά στον γρανодиόριτη.



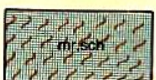
**Σχιστόλιθοι (πρασινισχιστόλιθοι κλπ) και γνευσισχιστόλιθοι:** χρώμα κυρίως τεφρό, κατά θέσεις καστανό ή πράσινο, μικροκρυσταλλικοί μέχρι μεσοκρυσταλλικοί, σε εναλλαγές στρώσεων πάχους 1-2m. Κατά θέσεις στους γνευσισχιστόλιθους παρατηρούνται επιμήκεις «οφθαλμοί» με λευκοκρατικά ορυκτά. Σπάνιες ενστρώσεις σιπολινών.



**Παραγενέσιοι με ενστρώσεις μαρμάρων:** οι παραγενέσιοι είναι τεφροί μέχρι κιτρινοκάστανοι, αδροκρυσταλλικοί, με κύρια ορυκτά καλιούχους άστριους, χαλαζία, μοσχολίτη ή και βιοτίτη.  
Πάχος: περίπου 100m.



**Μάρμαρα Παγγαίου με παρεμβολές των παραπάνω σχιστολίθων ή παραγενέσιων.**



**Σχιστόλιθοι με παρεμβολές παραγνεύσεων, μαρμάρων και σιπολινών.**

**Πρασινοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες με παρεμβολές μαρμάρων:** οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι πράσινοι έως βαθυπράσινοι, μεσοκρυσταλλικοί και μεσοστρωματώδεις.

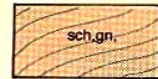
Χαρακτηριστικές είναι οι εναλλαγές ζωνών, πάχους περίπου 1m, στις οποίες άλλοτε επικρατούν πλαγιόκλαστα και χαλαζιάς και άλλοτε βιοτίτης και επίδοτο. Σχετικά ελαφρά τεκτονισμένοι.

**Σχιστόλιθοι με παρεμβολές πρασινοσχιστολίθων και αμφιβολιτών:** οι αμφιβολίτες είναι βαθυπράσινοι, μικρο μέχρι μεσοκρυσταλλικοί με ευκρινή σχιστότητα και με έντονες εναλλαγές μεταξύ ζωνών πλουσίων σε λευκοκρατικά ορυκτά, άλλων ανοικτοπράσινων πλούσιων σε επίδοτο και άλλων βαθυπράσινων πλούσιων σε κερσοτίλη.

**Διμαρμαρυγικοί χλωριτικοί σχιστόλιθοι:** χρώμα κυρίως καστανό μέχρι πρασινωπό, μικροκρυσταλλικοί μέχρι μεσοκρυσταλλικοί, τοπικά μικροπτυχωμένοι.

#### ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

**Γρανодиρίτης έως χαλαζιακός μονζονίτης:** χρώμα γκριζο μέχρι-κοκκινωπό, συμπαγής, αδροκρυσταλλικός. Στην περιφέρεια του όμως, συνήθως λόγω τεκτονισμού, παρουσιάζει γενεσιοειδή ιστό. Κύρια ορυκτά άσπερι (καλιούχοι και πλαγιόκλαστα), χαλαζιάς, βιοτίτης, σπανιότερα μοσχοδίτης και πράσινη κερσοτίλη.

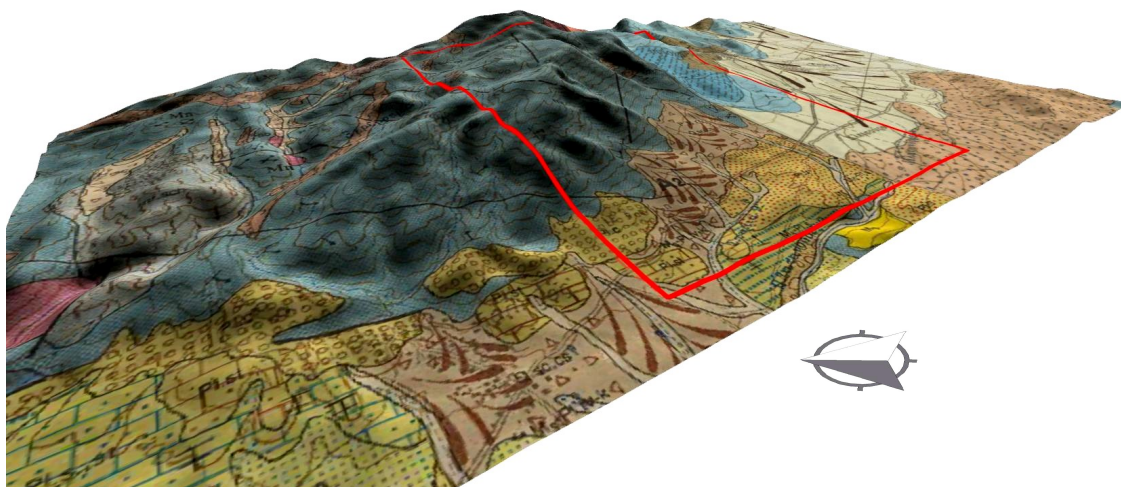


Ο σχηματισμός των ριπιδίων προκαλείται από υλικά αποσάθρωσης γνευσίων και μαρμάρων, μεταφοράς των υλικών αυτών και απόθεσης προς τα κατάντη. Τοπικά συναντώνται και συνεκτικά λατύποπαγή από μάρμαρα, ογκόλιθοι, χαλαρά κροκαλοπαγή και ερυθρές άργιλοι.

Οι πλειστοκαινικές αποθέσεις συνίστανται από την χερσαία αναβαθμίδα που αποτελείται από ερυθρόχρωμη αμμώδη άργιλο με κροκάλες και λατύπες μαρμάρων και από τη θαλάσσια δάση που αποτελείται από άργιλο, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και ασβεστολιθικούς τόφφους, οι οποίοι επικάθονται ασύμφωνα επί των πλειοκαινικών σχηματισμών.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από μάρμαρα παλαιοζωικής ηλικίας, που εμφανίζονται μερικώς στρωμένα, κατά θέσεις πτυχωμένα ή και συμπαγή και ο σχηματισμός των μαρμάρων και μαρμαρυγικών σχιστόλιθων, ίδιας ηλικίας, που εμφανίζονται σαν εναλλαγές μαρμάρων και μαρμαρυγικών σχιστολίθων με επικράτηση των τελευταίων. Ο έντονος τεκτονισμός που έχει υποστεί η Ενότητα Παγγαίου, καθιστά τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής έντονα τεκτονισμένα και κερματισμένα κατά θέσεις.

Ακολουθεί τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωλογικού χάρτη, με τα όρια της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.** Τρισδιάσταση απεικόνιση του γεωλογικού χάρτη, με τα όρια της περιοχής έρευνας.

## 4.2 Υδρογεωλογικά Στοιχεία

Από υδρογεωλογικής άποψης η περιοχή δομείται στα ανάντη από μάρμαρα του Παγγαίου όρους, τα οποία θεωρούνται υδροπερατά πετρώματα. Η υδροπετρατότητά τους είναι αποτέλεσμα του δευτερογενούς πορώδους, που προκλήθηκε από τον τεκτονισμό της περιοχής. Η ανθρακική σύσταση των πετρωμάτων αυτών τα καθιστά επιδεκτικά για τη δημιουργία καρστικών δομών, με αποτέλεσμα να υπερισχύει η κατεισδυση έναντι της επιφανειακής απορροής. Η αποστράγγιση των υδάτων που κατεισδύουν εκδηλώνεται προς τα κατόντη με την ύπαρξη πηγών, οι οποίες εμπλουτίζουν τους επιφανειακούς υδροφόρους ορίζοντες που εντοπίζονται κατόντη των νοτίων παρυφών του Παγγαίου όρους.

Οι σχηματισμοί των ριπιδίων στα κατόντη, καλύπτουν το βραχώδες υπόβαθρο των μαρμάρων και φιλοξενούν εποχιακή υδροφορία, η οποία έχει μικρή σχετικά δυναμικότητα, συγκριτικά με την υδροφορία εντός των καρστικοποιημένων μαρμάρων.

Στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται πέντε υφιστάμενες γεωτρήσεις, οι θέσεις των οποίων παρουσιάζονται στο χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5).

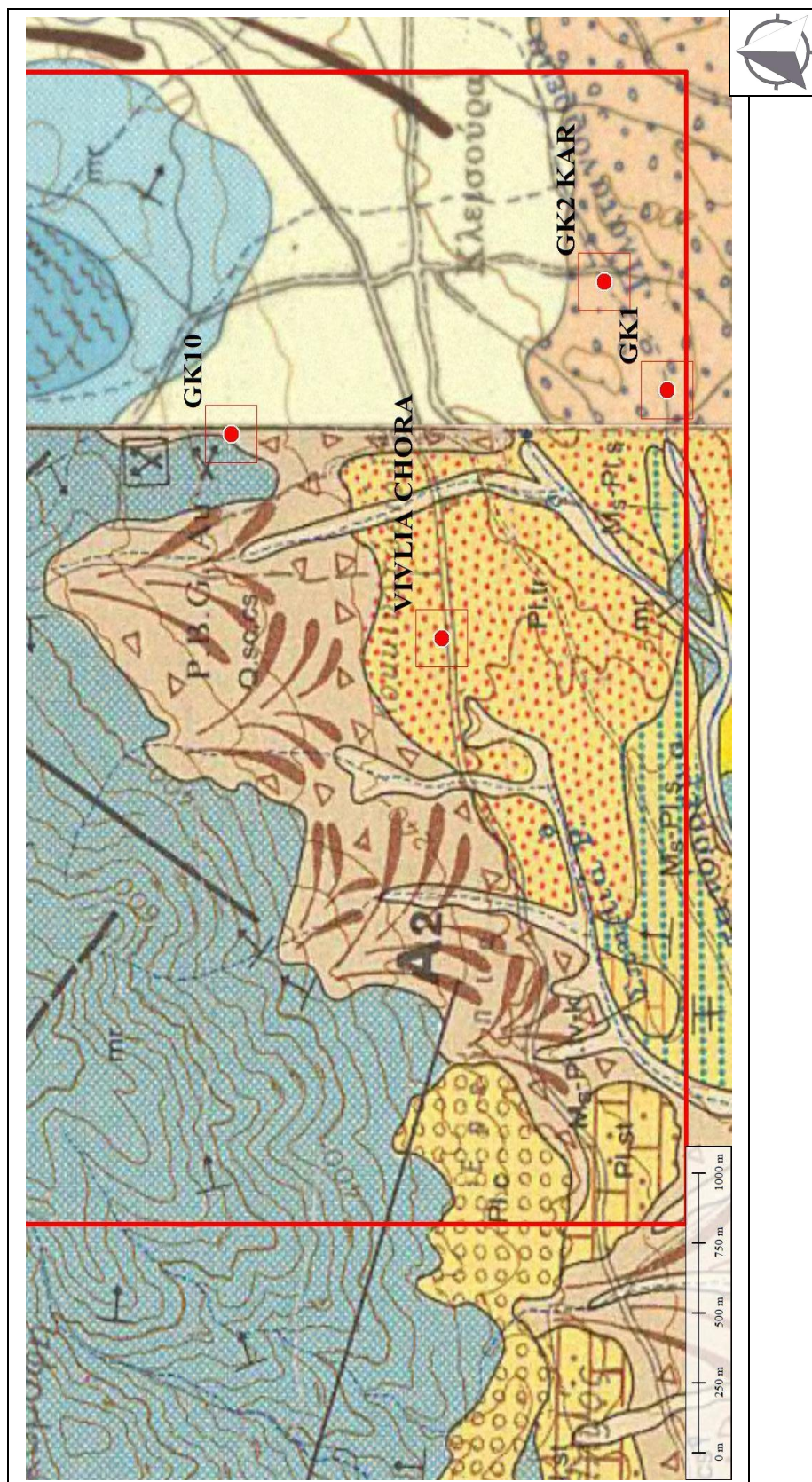
Οι GK1 και GK2KAR χαρακτηρίζονται σαν επιτυχημένες γεωτρήσεις με παροχή περίπου 50 κ.μ./ώρα και βάθος περίπου 120 μέτρων. Η GK10 χαρακτηρίζεται από την σχετικά μικρή παροχή της που είναι περί τα 10 κ.μ./ώρα.

Δυτικά της θέσης που σημειώνεται σαν VIVLIA CHORA και αντιστοιχεί στην είσοδο του οικοδομικού συγκροτήματος του οινοποιείου BIBΛΙΑ ΧΩΡΑ υποδείχθηκαν δύο γεωτρήσεις (μίας μονάδας πουλερικών και του οινοποιείου) που χαρακτηρίζονται από ικανοποιητικές παροχές.

Το νερό που αντλείται σύμφωνα με τις πληροφορίες συναντάται σε Πλειοκαινικές ιζηματογενείς αποθέσεις, οι οποίες αποτελούνται από εναλλαγές περισσότερο με λιγότερο υδροπερατά στρώματα. Πιθανότατα ορισμένα από τα υδροφόρα στρώματα να βρίσκονται υπό πίεση, λόγω της κάλυψής τους από πρακτικά αδιαπέρατα αργιλικά κατά το πλείστον στρώματα.

Η ιζηματογενής λεκάνη που αναπτύσσεται νοτίως του Παγγαίου όρους και εντοπίζεται στην περιοχή έρευνας, αποτελείται από εναλλαγές διαπερατών και σχετικά αδιαπέρατων σχηματισμών. Η υδροφορία στην περιοχή δεν αναμένεται να εκδηλώνεται υπό μορφή ενός ενιαίου υδροφορέα. Οι εναλλαγές των υδροπερατών με αδιαπέρατα στρώματα είναι συχνές, με αποτέλεσμα τη δημιουργία εγκλωβισμένων υδροφόρων στρωμάτων τα οποία τροφοδοτούνται από ανάντη. Σαφώς στο σύνολό τους, τα ιζηματογενή πετρώματα που υπέρκεινται των μαρμάρων μπορούν να ομαδοποιηθούν και να θεωρηθούν ως πακέτο ιζηματογενών πετρωμάτων που εντάσσονται σε ένα ενιαίο υδροφόρο σύστημα, το οποίο όμως διατηρεί έντονη ανομοιογένεια αναφορικά με τις υδραυλικές παραμέτρους του. Κατά συνέπεια, αναμένεται η ύπαρξη υπόγειου νερού σε ορισμένες θέσεις και βάθη της περιοχής, δίχως αυτό να σημαίνει ότι μπορούμε να γενικεύσουμε τα συμπεράσματα για όλη τη λεκάνη και να δεχθούμε την ύπαρξη παρόμοιας υδρογεωλογικής συμπεριφοράς.

Οι προαναφερθείσες γεωτρήσεις υποδηλώνουν την ανομοιογένεια αυτή, με τη διαφορετική τελική παροχή τους. Παρόλα αυτά παράγοντες όπως η σωστή κατασκευή τους, η σωστή ανάπτυξή του πριν την αρχική τους λειτουργία (με τη μέθοδο του airlift), καθώς και η σωστή συντήρηση του δικτύου άντλησης συμβάλλουν σημαντικά στη μέγιστη απόδοση των γεωτρήσεων.

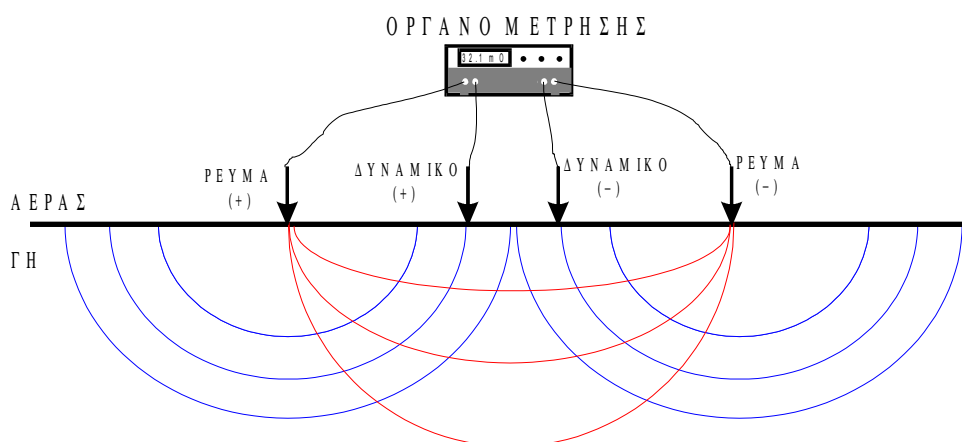


**Σχήμα 5.** Θέσεις υπαρχουσών γεωτρήσεων.

## 5. Γεωφυσική έρευνα

### 5.1. Γεωηλεκτρική διασκόπηση με τη μέθοδο της τομογραφίας

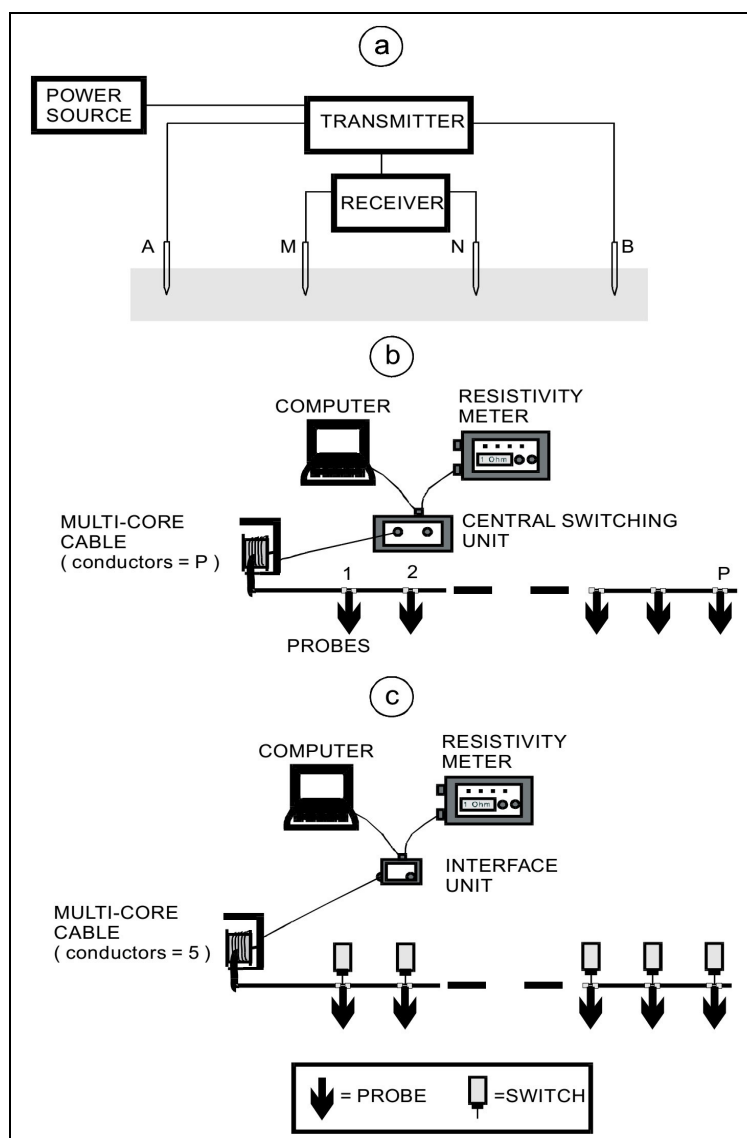
Με την εφαρμογή ηλεκτρικών μεθόδων επιδιώκεται ο καθορισμός της κατανομής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων (Σχήμα 6). Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται σαν 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. Στην παρούσα έρευνα αξιοποιούνται οι διατάξεις τομογραφίας που μας επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις (οριζόντια και κατακόρυφη).



**Σχήμα 6.** Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.

Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο «παραδοσιακών» τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκόπησης. 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.



**Σχήμα 7.** Η βασική διάταξη της ηλεκτρικής τομογραφίας.

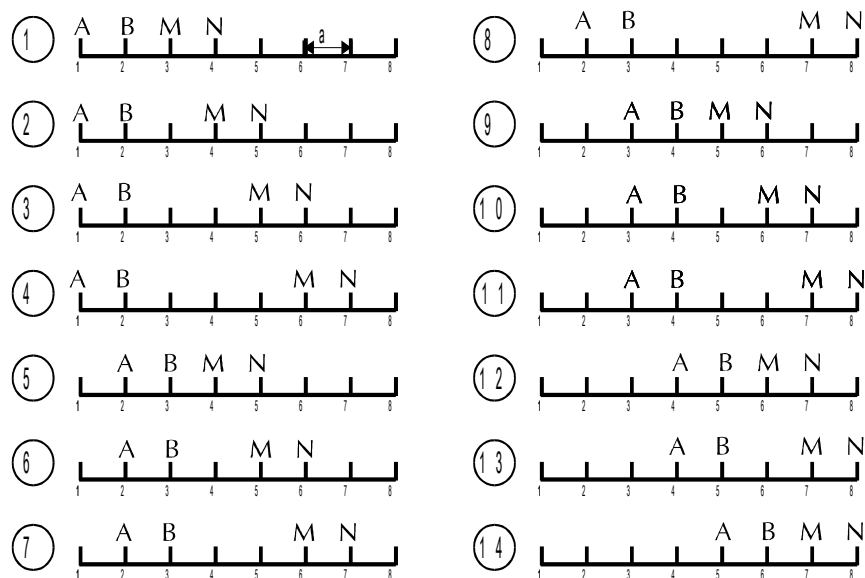
Πρόδρομος της HT είναι η μέθοδος της «ψευδοτομής» που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards, 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al., 1990). Στην διαδικασία της «ψευδοτομής» μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (δίπολου-δίπολου, Wenner, πόλου-δίπολου). 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). 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 γι' αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα (τουλάχιστον έξι) έχουν αναπτυχθεί 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.

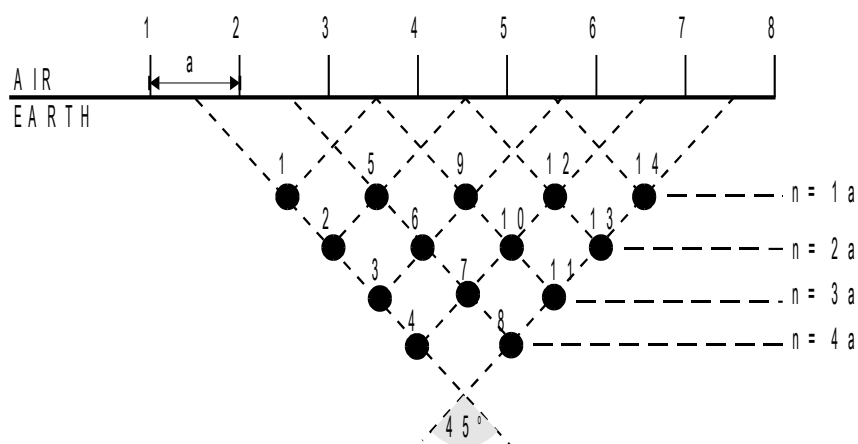
### **5.1.1. Ερμηνεία με ψευδοτομή**

Η ερμηνεία των μετρήσεων σε πρώτο στάδιο γίνεται με τη μέθοδο της ψευδοτομής. Αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των δίπολων ρεύματος και δυναμικού, η τιμή της διαφοράς δυναμικού που μετράται επηρεάζεται από βαθύτερα στρώματα. Έτσι, στην περίπτωση της διάταξης δίπολου-δίπολου κάθε μέτρηση της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται, κατά προσέγγιση, στο σημείο τομής των δύο ευθειών που ξεκινάνε με γωνία  $45^\circ$  από το μέσο της απόστασης AB και το μέσο της απόστασης MN. Η ερμηνεία όμως με τη μέθοδο της ψευδοτομής είναι ιδιαίτερα δύσκολη και επισφαλής γιατί η εικόνα της κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή έρευνας. (Σχήμα 8).

(a)



(b)



**Σχήμα 8.** Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου υλοποίησης των διαδοχικών μετρήσεων με τη μέθοδο διπόλου – διπόλου. Κάθε διαδοχική μέτρηση αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη θέση στο υπέδαφος και παράγεται η ψευδοτομή.

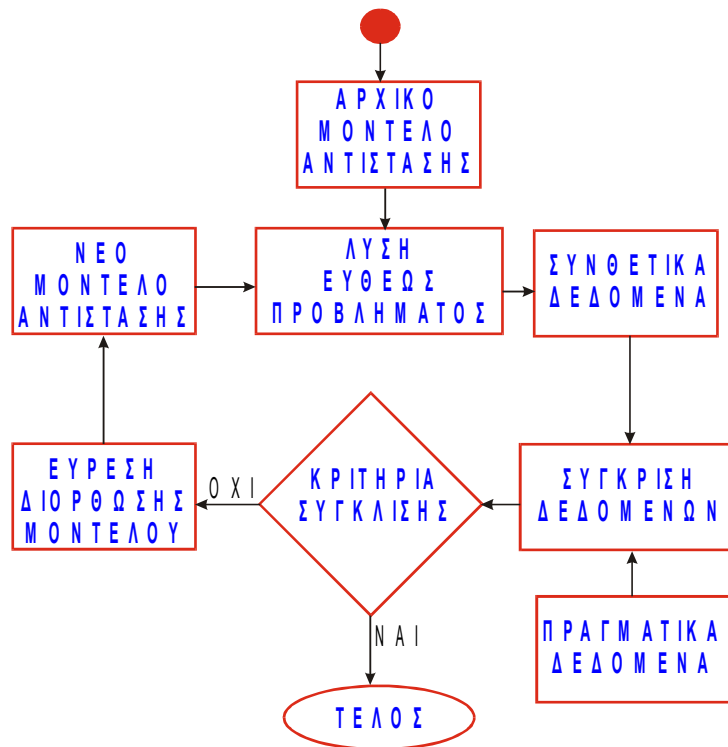
### 5.1.2. Ερμηνεία με αντιστροφή

Για αυτόν τον λόγο νέες τεχνικές ερμηνείας και επεξεργασίας έχουν προταθεί. Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Zhody-Barker, (Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al., 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (π.χ. Tripp et al., 1992) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της HT (Shima, 1990, Tsourlos et al., 1995).

Η πλέον δημοφιλής τεχνική για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας της γεωηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι αυτή της αντιστροφής. 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 δε δυο (δισδιάστατη) ή τρεις (τρισδιάστατη) διαστάσεις.

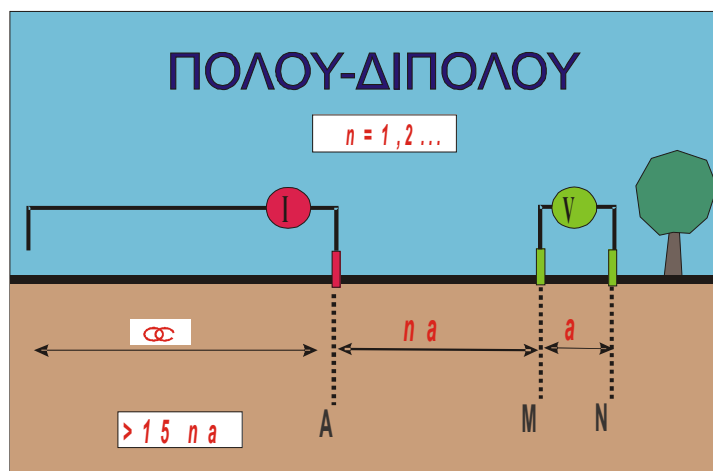
Στη γεωηλεκτρική μέθοδο λόγω της μη-γραμμικής φύσης του αντιστρόφου προβλήματος, οι αλγόριθμοι αντιστροφής είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία (Σχήμα 8). Αρχικά, η περιοχή ενδιαφέροντος διακριτοποιείται σε ένα δίκτυο από παραμέτρους στις οποίες και αποδίδεται μια αρχική τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Βάσει αυτού του μοντέλου υπολογίζονται τα αντίστοιχα συνθετικά δεδομένα, τα οποία και συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα. Λαμβάνεται έτσι μια εκτίμηση του λάθους  $\Delta y = (\text{πραγματικά δεδομένα} - \text{συνθετικά δεδομένα})$ . Στη συνέχεια με μια διαδικασία αντιστροφής πινάκων γίνεται διόρθωση του αρχικού μοντέλου αντίστασης και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το λάθος  $\Delta y$  μεταξύ των πραγματικών και συνθετικών δεδομένων ελαχιστοποιηθεί. Το τελικό μοντέλο αντίστασης θεωρείται ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική κατανομή των γεωηλεκτρικών αντιστάσεων.



**Σχήμα 9.** Σχηματοποιημένη διαδικασία μη γραμμικής αντιστροφής

Κατά την λήψη των μετρήσεων η απόσταση,  $a$ , μεταξύ του δίπολου δυναμικού MN παραμένει σταθερή και η ίδια όδευση επαναλαμβάνεται αυξάνοντας κάθε φορά την απόσταση  $n \cdot a$  μεταξύ του ηλεκτροδίου ρεύματος A και του ηλεκτροδίου δυναμικού M (ο  $n$  είναι ακέραιος). Η μέγιστη απόσταση  $n_{\max} \cdot a$  εξαρτάται από τη μέγιστη ένταση που μπορεί να δώσει η πηγή μας και από τη γεωλογία (γεωηλεκτρικές αντιστάσεις) της περιοχής σε συνάρτηση με το επιθυμητό βάθος έρευνας.



**Σχήμα 10.** Η διάταξη μέτρησης πόλου διπόλου.

### 5.1.3. Επιλογή παραμέτρων μετρήσεων

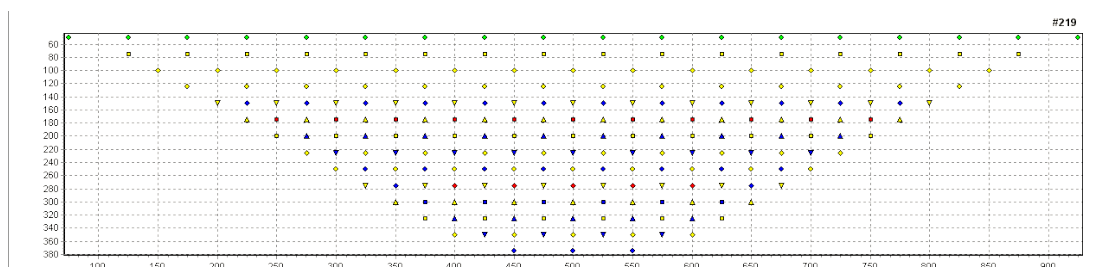
Ο σχεδιασμός των παραμέτρων των γεωηλεκτρικών τομογραφιών καθορίστηκε από τις διαστάσεις του στόχου και από το επιθυμητό βάθος έρευνας. Συγκεκριμένα η διακριτική ικανότητα μπορεί να είναι τουλάχιστον των 50 μέτρων με δεδομένο ότι το βάθος διασκόπησης πρέπει να φτάνει τα 200 μέτρα. Βάσει των απαιτήσεων αυτών οι παράμετροι αποφασίστηκαν να είναι:

Πλήθος ηλεκτροδίων = 21

Απόσταση ηλεκτροδίων ( $\alpha$ ) = 50 μέτρα

Αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος – δίπολων μέτρησης δυναμικού ποικίλουν σε ( $n \cdot \alpha$ ) ( $2n \cdot \alpha$ ) και ( $3n \cdot \alpha$ ) με τη μέγιστη τιμή του  $n$  ίση με 8.

Οι παραπάνω παράμετροι έχουν θεωρητικό αποτέλεσμα την κατασκευή μιας τραπεζοειδούς τομής γεωηλεκτρικών αντιστάσεων αποτελούμενη από 220 περίπου μετρήσεις, με συνολικό επιφανειακό μήκος 1000 μέτρα και μέγιστο βάθος διασκόπησης περίπου 200 μέτρα.



**Σχήμα 11.** Θεωρητική κατανομή των μετρήσεων βάσει του σχεδιασμού που επιλέχθηκε.

## **5.2. Εφαρμογή γεωφυσικής έρευνας**

Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν δύο (2) γεωηλεκτρικές τομογραφίες.

Με βάση τα στοιχεία των γεωτρήσεων και το δηλωμένο ενδιαφέρον των παραγωγών, αρχικά υποδείχθηκε στους ερευνητές από υπηρεσιακά στελέχη της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων του Νομαρχιακού Διαμερίσματος Καβάλας, περιοχή έρευνας νότια του οικισμού Κοκκινοχωρίου.

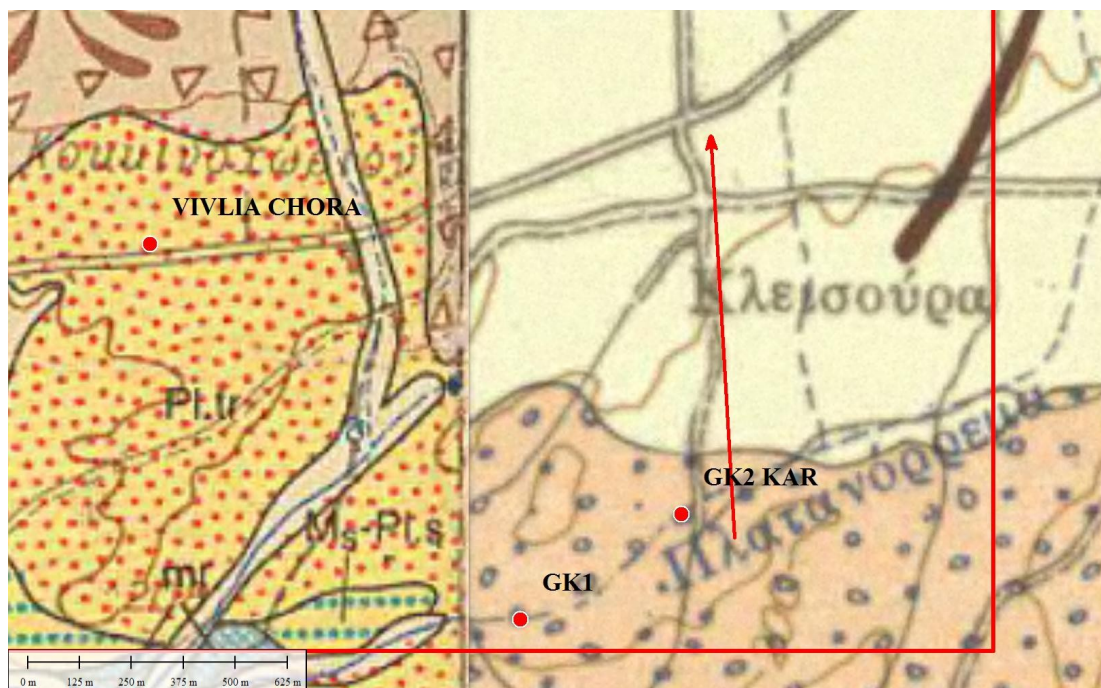
Στην περιοχή αυτή σχεδιάστηκε τομογραφία έτσι ώστε να δώσει ικανά στοιχεία για την γεωλογική δομή της περιοχής κυρίως σε ότι αφορά την πλευρική μεταβολή των ιζηματογενών αποθέσεων καθώς και του βάθους του υποβάθρου στην διεύθυνση Βορρά-Νότου.

Κατά την διάρκεια των εργασιών υπαίθρου και με δεδομένη την εικόνα της πρώτης τομογραφίας, αποφασίστηκε η συνέχεια της έρευνας σε περιοχή ανάντη (βόρεια) του Κοκκινοχωρίου και στην περιοχή της επαφής του σχηματισμού των μαρμάρων με τα πλευρικά κορήματα έτσι ώστε να μελετηθεί η τεκτονική συμπεριφορά των μαρμάρων και η σχέση τους με πιθανή κυκλοφορία υπόγειων νερών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα σε κάθε μία περιοχή ξεχωριστά δεδομένου ότι πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικό γεωλογικό περιβάλλον.

### 5.2.1. Τομογραφία K1.

Η τομογραφία που υλοποιήθηκε στην περιοχή αυτή (K1) παρουσιάζεται στον χάρτη του παρακάτω σχήματος.



**Σχήμα 42.** Θέση τομογραφίας K1.

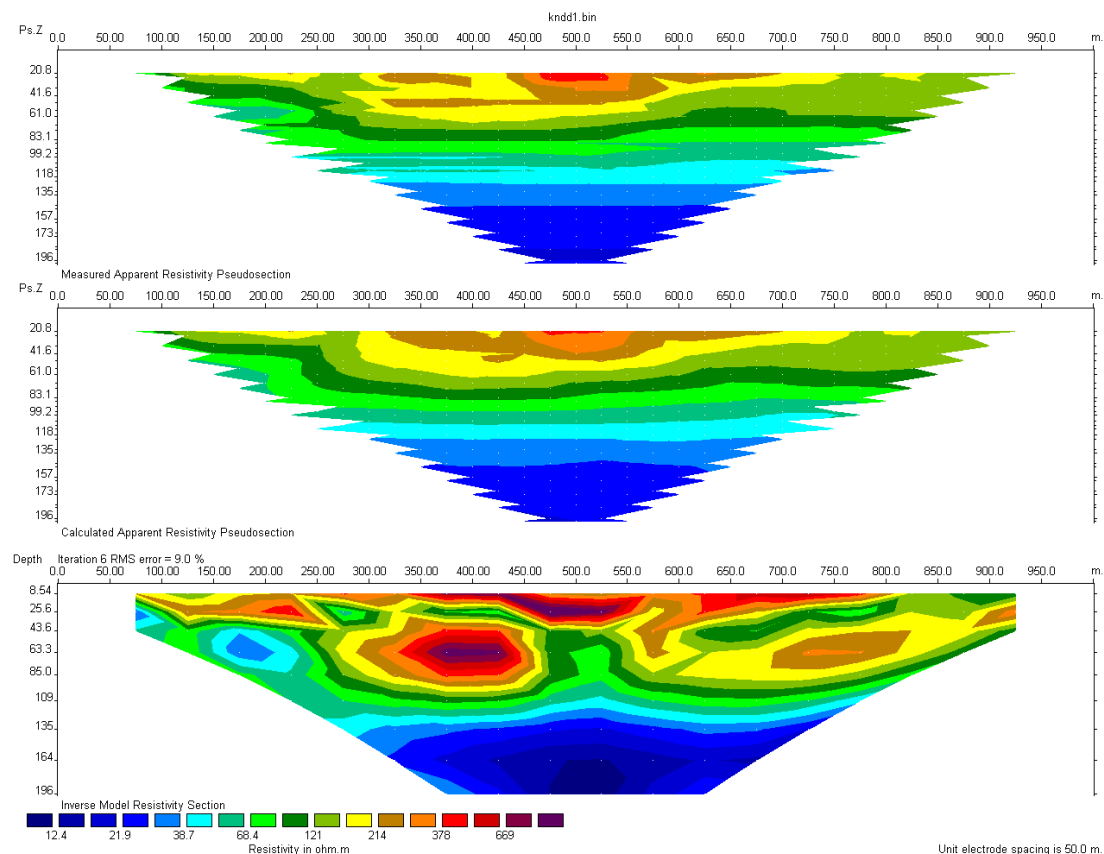
Στο παραπάνω σχήμα η θέση της τομογραφίας παρουσιάζεται σαν κόκκινο βέλος για να δείχνει και την διεύθυνση ανάπτυξης των ηλεκτροδίων.

Στη τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν 21 ηλεκτρόδια τα οποία απείχαν μεταξύ τους κατά 50 μέτρα. Έτσι έγινε δυνατή η επίτευξη της έρευνας στο βάθος των 200 μέτρων περίπου.

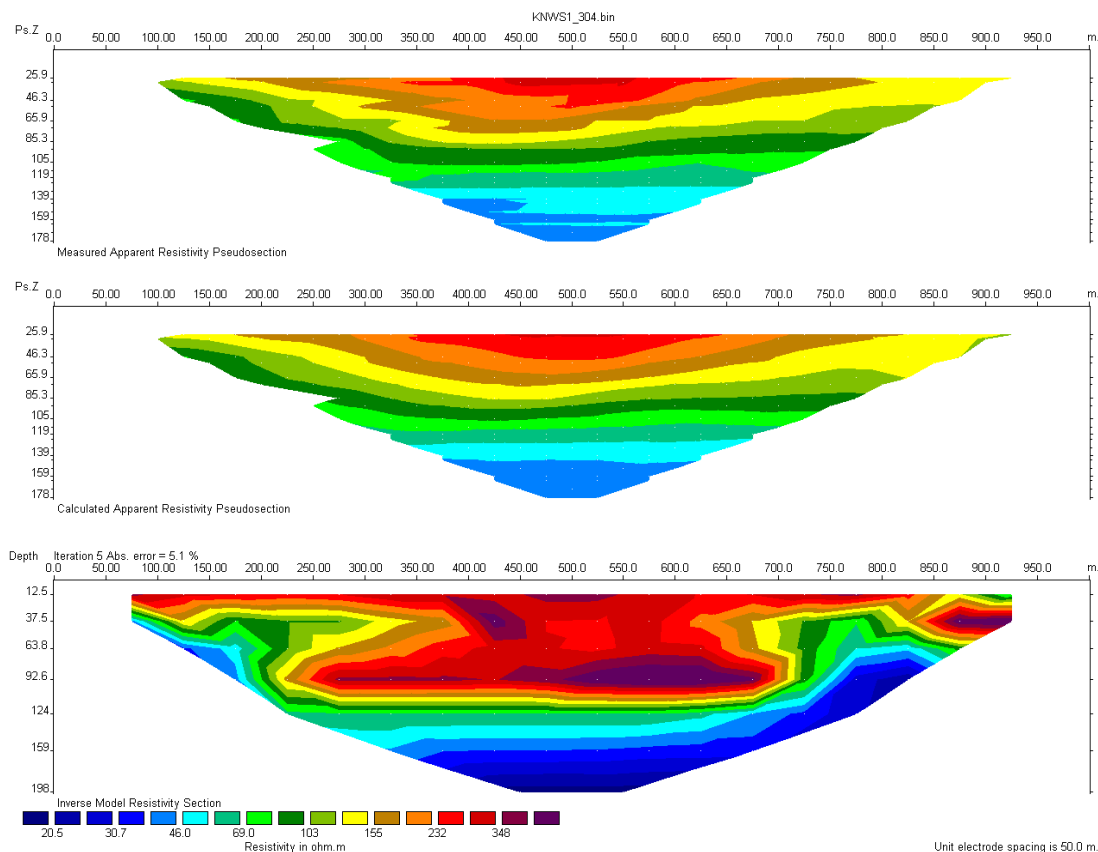
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία των μετρήσεων υπαίθρου, τα αποτελέσματα της ερμηνείας των και τέλος τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την ηλεκτρική τομογραφία.

Οι τομογραφίες μετρήθηκαν σύμφωνα με δύο δυνατές διατάξεις ηλεκτροδίων, την διάταξη Dipole-Dipole και αυτής της Wenner-Schlumberger.

Η επιλογή αυτή έγινε με στόχο την επιλογή της διάταξης που ανταποκρίνεται καλύτερα στο γεωλογικό-γεωηλεκτρικό μοντέλο της περιοχής.



**Σχήμα 13.** Αποτέλεσμα αντιστροφής της τομογραφίας K1 σύμφωνα με την διάταξη ηλεκτροδίων Dipole-Dipole. Στην κλίμακα χρωμάτων/ειδικής αντίστασης παρουσιάζεται η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο πάνω τμήμα παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, στο μεσαίο το αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο και στο κάτω το τελικό αποτέλεσμα της αντιστροφής.

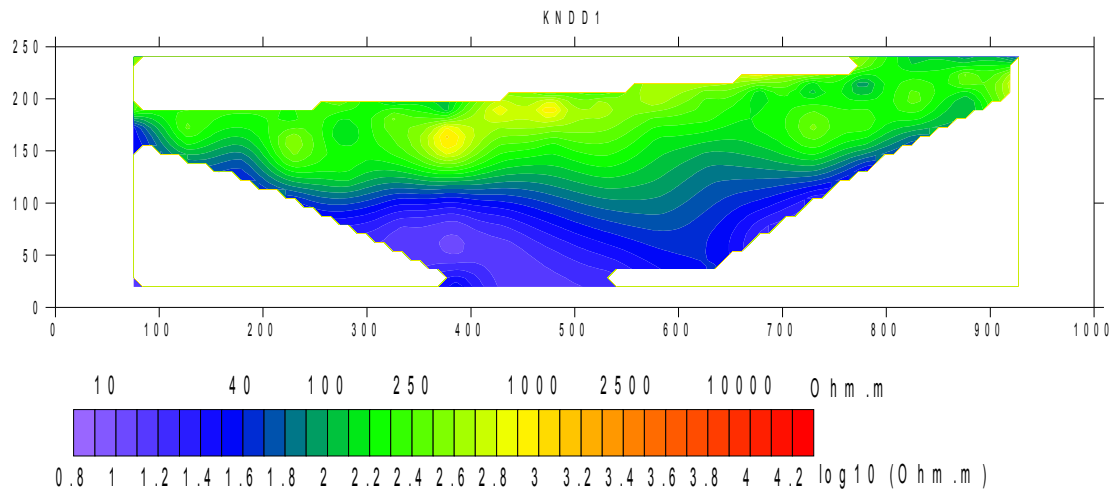


**Σχήμα 14.** Αποτέλεσμα αντιστροφής της τομογραφίας K1 σύμφωνα με την διάταξη ηλεκτροδίων Wenner-Schlumberger. Στην κλίμακα χρωμάτων/ειδικής αντίστασης παρουσιάζεται η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο πάνω τμήμα παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, στο μεσαίο το αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο και στο κάτω το τελικό αποτέλεσμα της αντιστροφής.

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζονται τα γεωηλεκτρικά μοντέλα που προκύπτουν στις τομογραφίες. Τονίζεται ότι το βόρειο τμήμα της τομογραφίας αντιστοιχεί στο 1000ό μέτρο ενώ το νότιο στο 0 μέτρο.

Έτσι, μετά την ερμηνεία των τομογραφιών και τη συσχέτισή τους με τα δεδομένα της περιοχής, επιλέχθηκε η διάταξη Dipole-Dipole σαν την πλέον αντιπροσωπευτική της στρωματογραφίας της περιοχής έρευνας.

Τα αποτελέσματα της τομογραφίας όπου η μορφολογία έχει ληφθεί υπόψη παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 15. Τομογραφία K1 (Dipole-Dipole).**

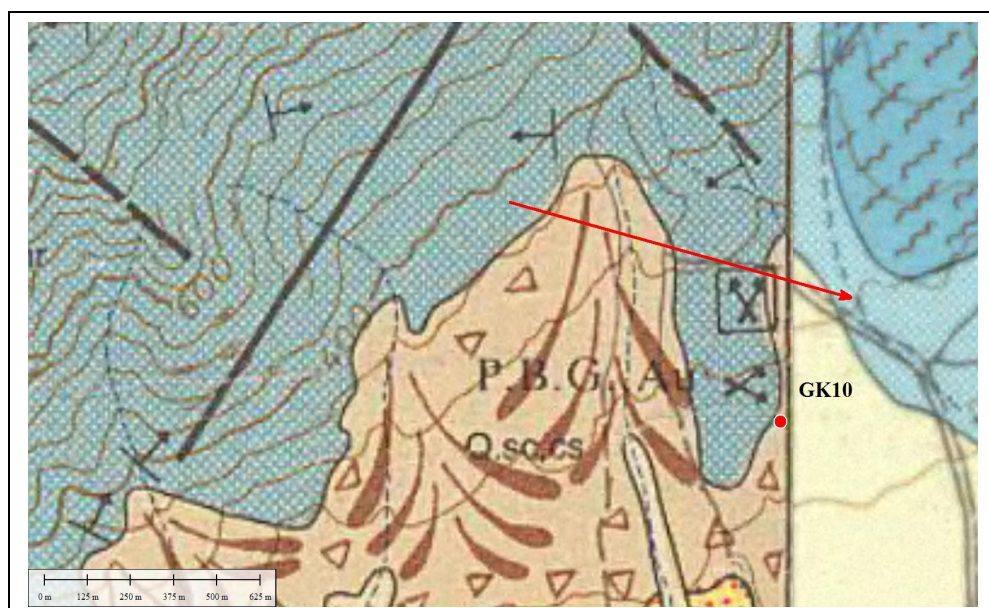
Η χρωματική κλίμακα αποδίδει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μικρότερες τις μωβ/μπλε (από 10 μέχρι 40 Ohm.m) και μεγαλύτερες τις κόκκινες (πάνω από 3000 Ohm.m). Σημειώνεται ότι η χρωματική κλίμακα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να περιγράφει τόσο την τομογραφία K1 όσο και την τομογραφία K2 που έγινε βόρεια του οικισμού σε διαφορετικό γεωλογικό περιβάλλον έτσι ώστε να είναι περισσότερο αντικειμενική η διάκριση των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις δύο διαφορετικές θέσεις.

Στο νότιο τμήμα της τομογραφίας παρατηρούμε ότι από την επιφάνεια και μέχρι το βάθος των 100 περίπου μέτρων (απόλυτο υψόμετρο) συναντάται περιοχή σχετικά μεγάλων αντιστάσεων, τουλάχιστον μεγαλύτερων των 100 Ohm.m. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές σχηματισμού που αποτελείται από αποθέσεις υλικών μεγάλης σχετικά διαμέτρου (κροκάλες, ογκόλιθοι). Λόγω του γεγονότος αυτού, η πιθανότητα υδροφορίας του σχηματισμού λόγω πλήρωσης του πρωτογενούς πορώδους με νερό κατείσδυσης αλλά και πλευρικής τροφοδοσίας είναι αυξημένη.

Υποκείμενος του σχηματισμού των πλευρικών κορημάτων (πράσινο χρώμα) εντοπίζεται σχηματισμός με αντίσταση που κυμαίνεται από 110 μέχρι 40 Ohm.m (μπλε χρώμα). Ο σχηματισμός αυτός συναντάται σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 100 μέτρων δηλαδή σε βάθος που κυμαίνεται από 100 περίπου μέτρα στη θέση που αντιστοιχεί στα 200 μέτρα της τομογραφίας και 140 μέτρα στη θέση που αντιστοιχεί στα 800 μέτρα της τομογραφίας. Ο σχηματισμός αυτός θεωρείται κατά βάση αργιλικός χωρίς να αποκλείεται και η ύπαρξη αδρόκοκκων στρωμάτων που παρεμβάλλονται με μικρά όμως πάχη. Γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν συμβάλει ιδιαίτερα στην δίαυτα των υπόγειων νερών και δεν έχει υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

### 5.2.2. Τομογραφία K2.

Η θέση της τομογραφίας K2 παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



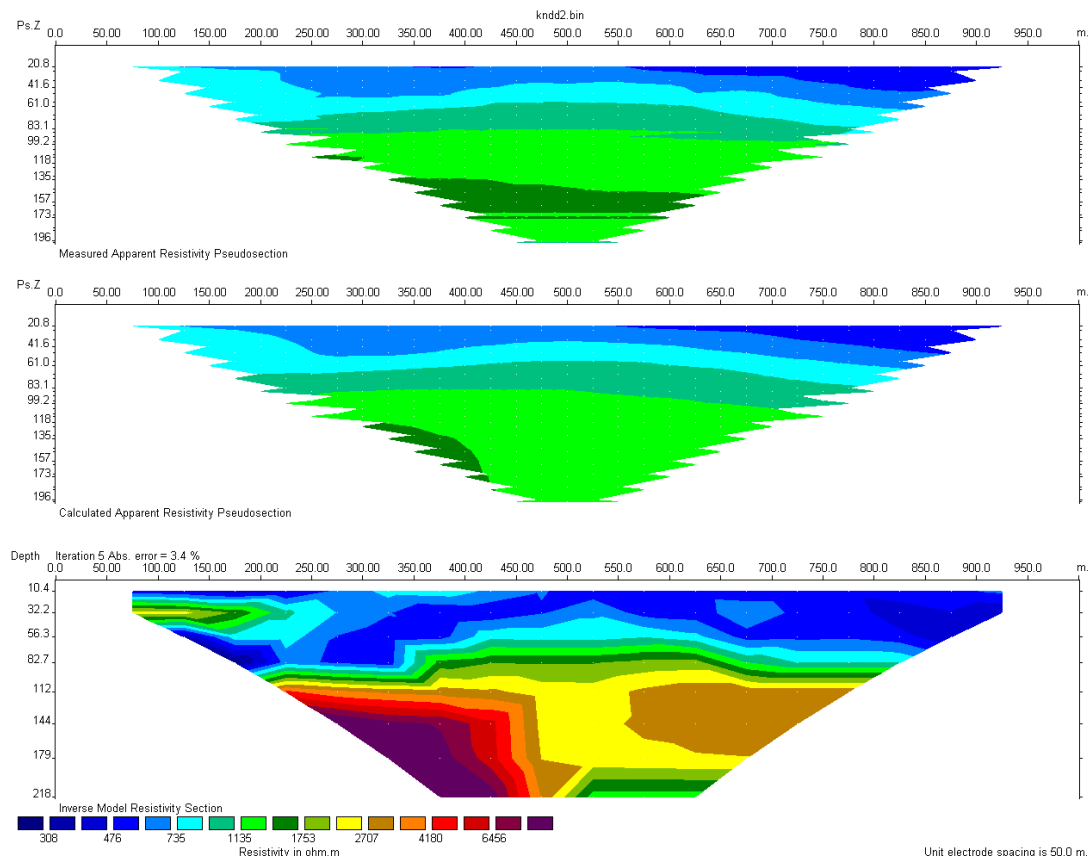
**Σχήμα 16.** Θέση τομογραφίας K2.

Η θέση και η διεύθυνση ανάπτυξης των ηλεκτροδίων από 1 έως 21 φαίνεται από το κόκκινο βέλος του παραπάνω σχήματος.

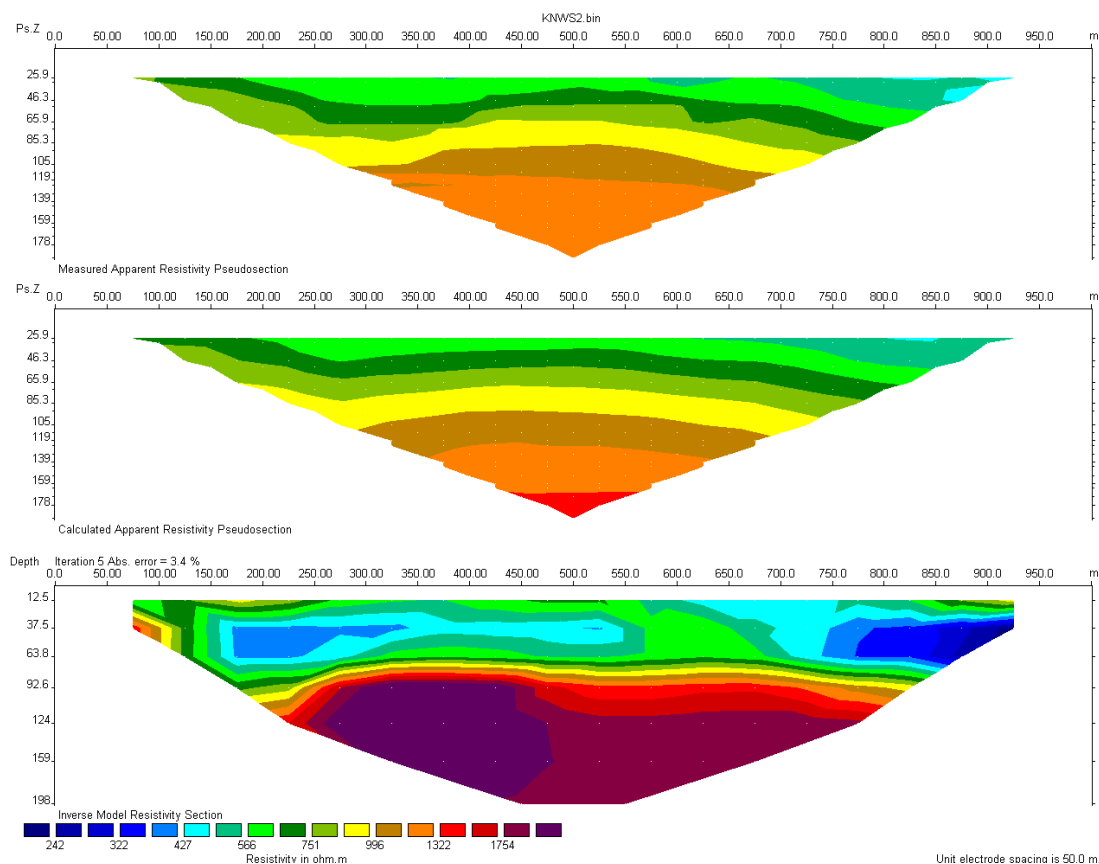
Με τον συμβολισμό GK10 παρουσιάζεται η θέση της γεώτρησης η οποία δεν απέδωσε περισσότερα των 10 κ.μ./ώρα.

Δυτικά της θέσης Vinvlia Chora αναφέρθηκαν δύο γεωτρήσεις με ικανοποιητική παροχή.

Όπως και στην προηγούμενη θέση η τομογραφία μετρήθηκε τόσο με την διάταξη Dipole-Dipole όσο και με τη διάταξη Wenner-Schlumberger. Τα αποτελέσματα των δύο διατάξεων παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα.



**Σχήμα 17.** Αποτέλεσμα αντιστροφής της τομογραφίας K2 σύμφωνα με την διάταξη ηλεκτροδίων Dipole-Dipole. Στην κλίμακα χρωμάτων/ειδικής αντίστασης παρουσιάζεται η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο πάνω τμήμα παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, στο μεσαίο το αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο και στο κάτω το τελικό αποτέλεσμα της αντιστροφής.

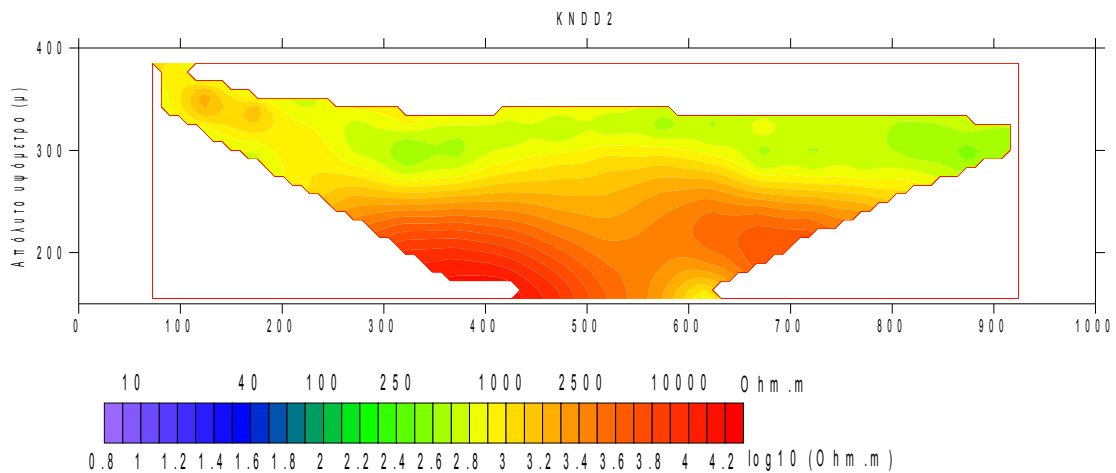


**Σχήμα 18.** Αποτέλεσμα αντιστροφής της τομογραφίας K2 σύμφωνα με την διάταξη ηλεκτροδίων Wenner-Schlumberger. Στην κλίμακα χρωμάτων/ειδικής αντίστασης παρουσιάζεται η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο πάνω τμήμα παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, στο μεσαίο το αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο και στο κάτω το τελικό αποτέλεσμα της αντιστροφής.

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζονται τα γεωηλεκτρικά μοντέλα που προκύπτουν στις τομογραφίες. Τονίζεται ότι το δυτικό τμήμα της τομογραφίας αντιστοιχεί στο 0 μέτρο ενώ το ανατολικό στο 1000ό μέτρο.

Έτσι, μετά την ερμηνεία των τομογραφιών και τη συσχέτισή τους με τα δεδομένα της περιοχής, επιλέχθηκε η διάταξη Dipole-Dipole σαν την πλέον αντιπροσωπευτική της στρωματογραφίας της περιοχής έρευνας.

Τα αποτελέσματα της τομογραφίας όπου η μορφολογία έχει ληφθεί υπόψη παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 19.** Τομογραφία K2 (Dipole-Dipole).

Η χρωματική κλίμακα των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην τομογραφία K1. Παρατηρείται εμφανώς η διαφορά της στάθμης των υπολογισμένων αντιστάσεων στις δύο τομογραφίες. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της διαφορετικής γεωλογικής δομής που συναντάται στις δύο περιοχές. Σε αντίθεση με την τομογραφία K1 όπου το 'υπόβαθρο' της τομογραφίας είναι αγωγίμο λόγω της αργιλικής σύστασής του, στην τομογραφία K2 ο σχετικά αγωγίμος σχηματισμός εντοπίζεται από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 70 περίπου μέτρων ενώ ακολουθεί ο σχηματισμός των μαρμάρων με αντίσταση που ξεπερνά τα 2000 Ohm.m.

Ο «αγωγίμος» σχηματισμός εμφανίζει αντιστάσεις από 250 μέχρι 1000 Ohm.m και από το στοιχείο αυτό σε συνδυασμό με τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη της περιοχής συμπεραίνεται ότι αντιστοιχεί στον σχηματισμό των πλευρικών κορημάτων χωρίς όμως να αναμένεται σημαντική υδροφορία παρά μόνο στις περιοχές πράσινου χρώματος όπου εμφανίζονται και οι μικρότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πιθανό αποτέλεσμα της ύπαρξης νερού που μειώνει την αντίσταση των κορημάτων.

Το σημαντικότερο ενδιαφέρον στην τομογραφία K2 εμφανίζει ο σχηματισμός των μαρμάρων στην περιοχή ανατολικά του σημείου στα 470 μέτρα της τομής και μέχρι τα 550 μέτρα. Στην περιοχή αυτή διακόπτεται η συνέχεια του σχηματισμού των μαρμάρων, κατά πάσα πιθανότητα λόγω της ύπαρξης τεκτονικού ρήγματος με κλίση σύμφωνα με την εικόνα της τομογραφίας προς τα ανατολικά.

Η αντίσταση των μαρμάρων στην περιοχή του ρήγματος μειώνεται από μεγαλύτερη των 4000 σε 1000 με 2000 Ohm.m, γεγονός ενδεικτικό της πιθανής κυκλοφορίας νερού χωρίς και να αποκλείεται η μερική πλήρωση του δευτερογενούς πορώδους από αργιλικό υλικό.

Σημειώνεται επίσης ότι στην μικρής έκτασης λεκάνη που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της τομογραφίας υφίσταται η γεώτρηση GK10 η οποία δεν χαρακτηρίστηκε από σημαντική παροχή νερού, ενώ αντίθετα οι γεωτρήσεις του ορνιθοτροφείου και του οινοποιείου αναφέρθηκε ότι παρέχουν σημαντικές ποσότητες νερού.

Οι πληροφορίες αυτές συνδέονται με το ρήγμα που εντοπίζεται στην τομογραφία και ορίζεται στο δυτικό άκρο της διείσδυσης των μαρμάρων μέσα στα πλευρικά κορήματα.

Με βάση τα παραπάνω δηλαδή, πιστεύεται ότι οι κύριες μάζες του υπόγειου νερού που κυκλοφορεί στην τεκτονική ζώνη παροχετεύονται στις αποθέσεις στις οποίες καταλήγει η λεκάνη που ορίζεται στο δυτικό τμήμα της τομογραφίας.

## 6. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Με στόχο την μελέτη της στρωματογραφίας σε περιοχές ενδιαφέροντος, νοτιοανατολικά και βόρεια του οικισμού Κοκκινοχωρίου και με έμφαση στην υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών, πραγματοποιήθηκαν δύο γεωηλεκτρικές τομογραφίες μήκους 1000 μέτρων σύμφωνα με τις διατάξεις Dipole-Dipole και Wenner-Schlumberger. Οι τομογραφίες έγιναν με διεύθυνση B-N και ΔΒΔ-ΑΝΑ αντίστοιχα με στόχο την πληρέστερη μελέτη της στρωματογραφικής δομής στην περιοχή έρευνας. Το τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο που επιλέχθηκε ήταν αυτό της Dipole-Dipole.

Από τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας προκύπτουν για κάθε περιοχή τα εξής:

### - *Περιοχή Κ1*

Βρίσκεται νοτιοανατολικά του οικισμού και αφορά την υδρογεωλογική συμπεριφορά των ιζηματογενών αποθέσεων της λεκάνης.

Από την γεωηλεκτρική έρευνα εντοπίστηκε αργιλικό υπόβαθρο σε μέσο βάθος περίπου 120 μέτρων (από 100 μέχρι 140), ενώ τα υπερκείμενα ιζήματα εμφανίζουν αντίσταση μεγαλύτερη των 100 Ohm.m.

Συνεπώς, με βάση τα στοιχεία της τομογραφίας το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον στην περιοχή ορίζεται μέχρι το βάθος που συναντάται το αργιλικό υπόστρωμα δηλαδή σε βάθη που κυμαίνονται από 100 μέχρι 140 μέτρα. Βαθύτερη γεώτρηση μέχρι του βάθους των 200 μέτρων δεν αναμένεται να αποδώσει σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες νερού αφού ο σχηματισμός που θα συναντά θα είναι κατά βάση αργιλικός. Δεν αποκλείεται σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη και σε επαφή με το ανθρακικό υπόβαθρο να συναντάται κροκαλοπαγές βάσης από το οποίο αναμένεται σημαντική υδροφορία αλλά το βάθος δεν είναι γνωστό αφού η γεωφυσική έρευνα περιορίστηκε στα 200 μέτρα.

- **Περιοχή Κ2**

Βρίσκεται βόρεια του Κοκκινοχωρίου και το ενδιαφέρον στην περιοχή αυτή ήταν η μελέτη του πάχους και της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των πλευρικών κορημάτων καθώς και η τεκτονική κατάσταση του σχηματισμού των μαρμάρων. Τα κορήματα βρέθηκαν να έχουν πάχος περίπου 70 μέτρων, ενώ εντοπίστηκε ρήγμα στον σχηματισμό των μαρμάρων με σημαντικές πιθανότητες υδροφορίας.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Bahrani, N., Adler, A. (2012).** *2.5D Finite Element Method for Electrical Impedance Tomography considering the Complete Electrode Model*. 25<sup>th</sup> IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering.

**Barker, R. (1992).** *A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface*. First Break, 10, (2), 53-63.

**Edwards, L.S. (1977).** *A Modified Pseudosection for Resistivity and IP*. Geophysics, vol. 42, pp.1020-1036.

**Griffiths D., Turnbull, J., and Olayinka, A. (1990).** *Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled Array*. First Break, 8 (4), 121-129.

**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. (1990).** *Two-dimensional automatic resistivity inversion technique using alpha centres*. Geophysics, 55, 682-694.

**Shima, H. (1992).** *2-D and 3-D resistivity image reconstruction using crosshole data*. Geophysics, 57, 1270-1281.

**Tripp, A., Hohmann, G., and Swift, C. (1984).** *Two-dimensional resistivity inversion*. Geophysics, 49, 1708-1717.

**Tsourlos, P., (1995).** *Modelling, interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data*. Thesis, University of York, U.K.

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

**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.

**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.

**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.

**Βαργεμέζης και συνεργάτες (2008).** *Εντοπισμός υδροφορέα στο Κοκκινοχώρι με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης.* Έκθεση ερευνητικού προγράμματος.

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

**ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (1978).** *ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟΝ ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ, 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.

[http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp762e/PDF/LEC5\\_NEW.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp762e/PDF/LEC5_NEW.pdf)