

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

## ΤΑΣΟΥΛΑ ΕΛΕΝΑ – ΧΙΩΤΗ ΗΛΙΑΝΑ

Επιβλέπων : Αλεξόπουλος Ιωάννης, Επικ. Καθηγητής

AOHNA 2017

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα γεωφυσικά δεδομένα που επεξεργάστηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελούν δεδομένα προϋπάρχουσας γεωφυσικής έρευνας, που διεξήχθη στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της τέως λίμνης Κάρλας. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την γεωφυσική έρευνα είναι η γεωηλεκτρική μέθοδος ειδικής αντίστασης, με τη διάταξη Schlumberger. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 56 γεωηλεκτρικές βαθοσκοπήσεις και 5 γεωτρήσεις. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 55, διότι το βάθος της βαθοσκόπησης 11 δεν ήταν το επιθυμητό, ενώ τα δεδομένα των γεωτρήσεων επεξεργάστηκαν αλλά δεν λήφθηκαν υπ΄ όψιν.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία δομείται σε πέντε κεφάλαια, που αναπτύσσονται ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1 αναφέρονται η γεωγραφία και η γεωλογία της περιοχής καθώς επίσης η τεκτονική εξέλιξη της ανατολικής Θεσσαλίας.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται η γεωηλεκτρική θεωρία και δίνεται έμφαση στην ανάλυση της ηλεκτρικής μεθόδου.

Στο Κεφάλαιο 3 αναπτύσσονται, σε θεωρητικό επίπεδο, η επεξεργασία και η ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 4 αποδίδονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής και ποσοτικής επεξεργασίας των γεωηλεκτρικών δεδομένων, με τομές και χάρτες κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης καθώς και γεωηλεκτρικές τομές.

Στο Κεφάλαιο 5 διατυπώνονται τα συμπεράσματα, τα οποία βασίζονται σε δύο γεωλογικέςγεωηλεκτρικές τομές.

# ABSTRACT

The geophysical data that were edited in this thesis are data already existing in the geophysical research conducted in the broader region of the former Karla lake. The method chosen for the geophysical research is the geoelectrical resistivity method, using the Schlumberger Array. There were accomplished 56 geoelectrical soundings and 5 drills (i.e. in situ data) in total, from who only 55 were used, due to reason related to the depth of the sounding 11. The drill data were processed but not taken into consideration.

This thesis is organized in 5 chapters as followed:

In Chapter 1 we describe the geography, geology and the tectonic evolution of Eastern Thessaly.

In Chapter 2 we analyze the geoelectric theory with emphasis on the electrical method.

Chapter 3 contains the processing and interpretation of the geoelectric data in theory.

In Chapter 4 we present the results of the qualitative and quantitative processing of the geoelectrical data with sections and maps of apparent resistivity as well as geoelectrical sections.

In Chapter 5 we state the result obtained from 2 geological-geoelectrical sections.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ПРС	ΟΛΟΓ	ΟΣ		4						
ΕΙΣΑ	<b>ΑΓΩΓ</b> Η	1		5						
1.	1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ									
1	.1	ΓΕΩ	ΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	7						
1	.2	ΓΕΩ	ΟΓΙΚΗ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ Α. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ							
1	.3	ΓΕΩ	ΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	8						
	1.3.	1.	Μεταλπικοί σχηματισμοί	9						
	1.3.	2.	Αλπικοί σχηματισμοί – σχηματισμοί υποβάθρου							
2.	ΓΕΩ	ΗΛΕΚ	ΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ	. 11						
2	.1.	ΗΛΕ	ΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	. 11						
	2.1.	1.	Ηλεκτρονική μετάδοση	. 11						
	2.1.	2.	Ηλεκτρολυτική μετάδοση	. 11						
	2.1.	3.	Διηλεκτρική μετάδοση	. 12						
2	.2.	ΦAI	ΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	. 12						
2	.3.	ΔΙΑΤ	AEH SCHLUMBERGER	. 14						
2	.4.	ΓΕΩ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	. 15						
2	.5.	ПЕР	ΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	. 16						
	2.5.	1.	Φαινόμενο ισοδυναμίας	. 16						
	2.5.	2.	Φαινόμενο συμπίεσης	. 17						
2	.6.	BAG	ΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	. 17						
3.	ЕΠЕ	ΞΕΡΓ	ΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	. 19						
3	.1.	ЕΠΕ	ΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	. 19						
	3.1.	1.	Ποιοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων	. 20						
	3.1.	2.	Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων	. 22						
4.	ЕΦА	PMC	ΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	. 30						
4	.1.	ПОІ	ΟΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	32						
	4.1.	1.	Τομές Φαινόμενης Ειδικής Αντίστασης	. 32						
	4.1.	2.	Χάρτες Κατανομής Φαινόμενης Ειδικής Αντίστασης	. 36						
4	.2.	ΠΟΣ	ΟΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	142						
5.	ΣΥΙΛ	ΙΠΕΡΑ	ΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	. 46						
BIB	ΛΙΟΓΡ	ΑΦΙΑ	۹	. 48						

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ», εκπονήθηκε από τις φοιτήτριες Τασούλα Έλενα και Χιώτη Ηλιάνα του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Αλεξόπουλο Ιωάννη, με σκοπό την υπεδαφική μελέτη των γεωλογικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής του ΝΑ τμήματος του Θεσσαλικού κάμπου.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μας στον κ. Αλεξόπουλο Ιωάννη για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθειά του, το ενδιαφέρον του αλλά και τον χρόνο που διέθεσε για την διεκπεραίωση και την συγγραφή της πτυχιακής μας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να απευθύνουμε στον κ. Δίλαλο Σπυρίδωνα, υποψήφιο διδάκτορα Γεωφυσικής και στις συναδέλφους και συμφοιτήτριές μας Μήτσικα Γεωργία και Καλαμπόκη Ευαγγελία για την βοήθειά τους στην διεκπεραίωση του εργαστηριακού μέρους και την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας.

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Κάρλα ήταν γνωστή από την αρχαιότητα (2.500 π.Χ.) με το όνομα Βοιβηίς. Στα μεσαιωνικά χρόνια η λίμνη άλλαξε όνομα και από Βοιβηίς έγινε Κάρλα. Κατά την περίοδο της τουρκοκρατίας την αναφέρουν ως Κάρλα Σου ή Κάρλα Γκιόλ, ενώ ο ντόπιος πληθυσμός αναφέρεται σε αυτή με το όνομα Βάλτος. Η Κάρλα ήταν μία από τις μεγαλύτερες λίμνες της Ελλάδας και για αρκετά χρόνια αποτελούσε τη 2<sup>n</sup> θέση ως υγρότοπος υψίστης σημασίας για τη Νότια Ευρώπη μετά τον Δούναβη.

Η περιοχή της Κάρλας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα, που έγινε κατά το Τεταρτογενές και στο οποίο εναποτέθηκαν τα πρώτα λιμναία ιζήματα. Ακολούθησε πλήρωση αυτού με προϊόντα διάβρωσης που μετέφεραν ο Πηνειός και άλλοι χείμαρροι από τη λεκάνη απορροής τους.

Πριν την αποξήρανσή της το εμβαδόν της λίμνης, που είχε μήκος 15 km και πλάτος 4-7 km, μεγάλωνε ή μίκραινε ανάλογα με τα νερά που δεχόταν το χειμώνα. Το χειμώνα του 1920-21, εξαιτίας των μεγάλων πλημμυρών του Πηνειού, η λίμνη κατέλαβε τη μεγαλύτερη έκταση, περίπου 180.000 στρέμματα. Το μέγιστο βάθος της Κάρλας πριν το 1940 ήταν περίπου 5,5 m και μειώθηκε στα 2 m το 1950-55.

Κατά τη διάρκεια των προϊστορικών χρόνων οι διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης ήταν έντονες, αποτέλεσμα των διαφόρων προσχώσεων σε αυτή. Κατά το 1938-39 πραγματοποιήθηκε η πρώτη οριοθέτηση ανώτερου (48,50 m) και κατώτερου (47,30 m) υψομέτρου της στάθμης με το Ν. 5800/33, ενώ κατά τα επόμενα έτη έλαβε χώρα νέος περιορισμός της έκτασης της λίμνης, λόγω των αντιπλημμυρικών αναχωμάτων στον ποταμό Πηνειό.

Τα έργα της αποξήρανσης άρχισαν το 1956. Το 1959 ανατέθηκε μελέτη από το υπουργείο Γεωργίας για την αξιοποίηση της πεδιάδας της Κάρλας με δεδομένα την κατασκευή ταμιευτήρα 64.700 στρεμμάτων, σήραγγας και τάφρων πεδινών υδάτων. Η λίμνη θα χρησιμοποιούνταν για άρδευση με αρδευτικά κανάλια και θα τροφοδοτούνταν με νερά του Πηνειού. Αντί αυτού, όμως, τελικά κατασκευάστηκε σήραγγα 10 km για την ολοκληρωτική εκκένωση της λίμνης που άρχισε τον Ιανουάριο του 1957, ώστε να χαθούν τα νερά της στον Παγασητικό. Το 1960 έφυγε η πρώτη μεγάλη ποσότητα νερού. Η οριστική αποξήρανση της λίμνης έγινε το 1962 παρά τις σχετικές μελέτες που δεν προέβλεπαν κάτι τέτοιο, λόγω των διακυμάνσεων της στάθμης, των πλημμυρών της περιοχής, της δημιουργίας περιορισμού των επιδημιών ελονοσίας.

Οι επιπτώσεις της αποξήρανσης δεν άργησαν να φανούν. Τέτοιες είναι :

- Ραγδαία πτώση της υπόγειας υδροφορίας (πριν την αποξήρανση ο υδροφόρος βρισκόταν σε βάθος 0,50-3 m το πολύ, ενώ σήμερα για να βρεθεί νερό απαιτούνται βαθιές γεωτρήσεις που συνήθως φτάνουν τα 250-350 m)
- Εισχώρηση του θαλάσσιου μετώπου στον ευρύτερο χώρο της περιοχής της Κάρλας

- Ρύπανση και επιπτώσεις στον κλειστό Παγασητικό κόλπο και εμφάνιση φυτοπλαγκτού
- Εμφάνιση ρηγμάτων μεγάλου βάθους και καταστροφή κτισμάτων
- Επιπτώσεις στην πανίδα και την χλωρίδα της περιοχής
- Καταστροφή γεωτρήσεων και ξήρανση πηγών
- Αλλαγές στο μικροκλίμα της περιοχής
- Αδυναμία υδροδότησης πόλεων και οικισμών

Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η επανασύσταση της λίμνης Κάρλας και με αυτόν τον τρόπο άρχισε η υλοποίηση ενός από τα μεγαλύτερα έργα της Ελλάδος. Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκε ταμιευτήρας 42.000 στρεμμάτων στο χαμηλότερο τμήμα της τέως λίμνης κοντά στο χωριό Κανάλια. Για τη διαχείριση του ταμιευτήρα αλλά και των γύρω περιοχών, δημιουργήθηκε ο Φορέας Διαχείρισης της Περιοχής Οικοανάπτυξης Κάρλας – Μαυροβουνίου – Κεφαλόβρυσου - Βελεστίνου (Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε.). Τα αποτελέσματα της ανασύστασης της λίμνης αναμένονται να είναι :

- Η άνοδος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και η αποκατάσταση του υδάτινου δυναμικού
- Ο περιορισμός των εξαντλητικών αντλήσεων των υπόγειων υδροφορέων με παροχή υδάτων για άρδευση
- Η βελτίωση της ποιότητας των υδάτων
- Προστασία του Παγασητικού κόλπου λόγω του αντιπλημμυρικού σκοπού του ταμιευτήρα και της βελτίωσης των υπερχειλισμένων υδάτων
- Υποχώρηση του μετώπου θαλασσινού νερού που έχει εισχωρήσει στο εδαφικό στρώμα του Παγασητικού και έχει επηρεάσει τους υδροφόρους ορίζοντες
- Μερική αποκατάσταση του μικροκλίματος της περιοχής
- Μερική αποκατάσταση της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής.

# 1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

## 1.1 <u>ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</u>

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το ΝΑ τμήμα της Ανατολικής Θεσσαλίας. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από το βόρειο και κεντρικό τμήμα της τέως λίμνης Κάρλας (ή Βοϊβηίας) και το τμήμα του Θεσσαλικού κάμπου που εκτείνεται ΒΔ της λίμνης Κάρλας και ΝΑ της Λάρισας.



Εικόνα 1.1: Χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Google Earth)

## 1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ Α. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Η Θεσσαλία αποτελεί μια απέραντη πεδιάδα οριοθετούμενη από ορεινούς όγκους αλπικών σχηματισμών. Αυτή η πεδιάδα, διαιρούμενη σε μικρότερες επεκτατικές πεδιάδες με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, αποτελεί υπόλειμμα μιας Πλειοκαινικής λίμνης, η οποία αποξηράνθηκε μερικώς κατά το Κ.Τεταρτογενές μετά από το άνοιγμα της κοιλάδας του Πηνειού κατά μήκος της πλαγιάς του Ολύμπου. Η ανατολική Θεσσαλική πεδιάδα αντιστοιχεί σε ένα ήπιο ΝΑ τεκτονικό βύθισμα, με σχεδόν επίπεδη επιφάνεια (μέση κλίση μικρότερη από 10%), που καλύπτεται από ένα παχύ στρώμα αλλουβιακών αποθέσεων (έως βάθος 50m), το οποίο είναι υπολειμματικό της λίμνης του Τεταρτογενούς και βαθμιαία περιοριζόταν προς τη λίμνη Κάρλα στο χαμηλότερο ΝΑ κομμάτι (Kotogianni, *et al.*, 2007).

Η λεκάνη της Κάρλας αποτελεί την νοτιοανατολική απόληξη της πεδιάδας της Λάρισας αλλά διαφοροποιείται από αυτή. Αυτό συμβαίνει γιατί δημιουργήθηκε μεταγενέστερα από μετατεκτονικές καταβυθίσεις του Πλειστοκαίνου (τεκτονική τάφρος), ενώ η λεκάνη της Λάρισας είχε ήδη σχηματισθεί από το Πλειόκαινο (Caputo, 1995). Το κέντρο της λεκάνης αποτελεί και το βαθύτερο τμήμα της πεδιάδας.

Μορφολογικά η τεκτονική αυτή τάφρος αποτελεί μία κλειστή λεκάνη. Τα περιθώρια αυτής από BA έως A είναι ορεινοί όγκοι, ενώ από BΔ Δ έως NΔ δεν υπάρχουν οπότε εκτείνεται σχεδόν ελεύθερα. Μικροί μεμονωμένοι λοφίσκοι, οι οποίοι αναδύονται από το Πλειστοκαινικό-Ολοκαινικό πλήρωμα της τάφρου και δομούνται από πετρώματα υποβάθρου, είναι υπολείμματα του καταβυθισθέντος τεμάχους.

Οι κύριες διευθύνσεις των μορφολογικών, λιθολογικών και τεκτονικών γραμμών είναι ΒΔ – ΝΑ και νοτιότερα γίνονται Α – Δ με κάμψη προς ΒΔ. Ορισμένα από τα γεωλογικά ρήγματα

έχουν χαρακτηρισθεί ως ενεργά, ενώ άλλα παρουσιάζονται αδρανή ή δεν έχουν πλήρως μελετηθεί. Κατόπιν μελετών, διαπιστώθηκε ότι η ευρύτερη περιοχή βρίσκεται υπό ισχυρή εντατική κατάσταση τάσεων των πετρωμάτων του υποβάθρου, που είναι δυνατόν να δημιουργήσει νέα ρήγματα (με διεύθυνση Α – Δ) ή να επαναδραστηριοποιήσει παλαιότερα (Caputo, 1995).

## 1.3 <u>ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</u>

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης συνίσταται από αλπικούς (Πελαγονική ζώνη) και μεταλπικούς (ιζήματα Τεταρτογενούς και Νεογενούς) σχηματισμούς.

Ο ακόλουθος γεωλογικός χάρτης (Εικ. 1.2) αποτελεί σύνθεση των 4 φύλλων των γεωλογικών χαρτών του IFME : Φύλλο Πλατύκαμπος (Δρ. Γ. Κατσικάτσος, Μ. Βιδάκη, Γ. Μιγκίρο) IFME 1977-78, Φύλλο Αγιά (Μ. Βιδάκη, Γ. Μιγκίρο) IFME 1978-79, Φύλλο Βελεστίνο (Δρ. Γ. Κατσικάτσος, Ι. Μυλωνάκη, Ε. Τριανταφύλλη, Δρ. Γ. Παπαδέα, Κ. Ψώνη) IFME 1977-78, Φύλλο Βόλος (Δρ. Γ. Κατσικάτσος, Ι. Μυλωνάκη, Μ. Βιδάκη, Δρ. J Hecht, Δρ. Γ. Παπαδέα) IFME 1976-78. Με κόκκινο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή μελέτης.



Εικόνα 1.2: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης. Σύνθεση των φύλλων : φύλλο Πλατύκαμπος (Δρ. Γ. Κατσικάτσος, Μ. Βιδάκη, Γ. Μιγκίρο) ΙΓΜΕ 1977-78, φύλλο Αγιά (Μ. Βιδάκη, Γ. Μιγκίρο) ΙΓΜΕ 1978-79, φύλλο Βελεστίνο (Δρ. Γ. Κατσικάτσος, Ι. Μυλωνάκη, Ε. Τριανταφύλλη, Δρ. Γ. Παπαδέα, Κ. Ψώνη) ΙΓΜΕ 1977-78, φύλλο Βόλος (Δρ. Γ. Κατσικάτσο, Ι. Μυλωνάκη, Μ. Βιδάκη, Δρ. J Hecht, Δρ. Γ. Παπαδέα) ΙΓΜΕ 1976-78.

Ακολουθεί το υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη (Εικ. 1.3) με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαρτίζουν την περιοχή.



#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Εικόνα 1.3: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη

## 1.3.1. Μεταλπικοί σχηματισμοί

Σχηματισμοί Νεογενούς: Παρατηρούνται επιφανειακά στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης. Πρόκειται για λιμναίες έως υφάλμυρες αποθέσεις του Μειοκαίνου αποτελούμενες από μάργες, των οποίων υπέρκεινται ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί Κ.Πλειστοκαίνου με κυρίως αργίλους, άμμο και κροκάλες ερυθροφαίου χρώματος.

Σχηματισμοί Τεταρτογενούς: Παρατηρούνται στο κέντρο της λεκάνης και υπέρκεινται των Νεογενών σχηματισμών, όπου πρόκειται για αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαίνου και λιμναία ιζήματα της τέως λίμνης Κάρλας. ΒΑ της λεκάνης, στους πρόποδες του Μαυροβουνίου συναντάμε αδρομερείς χαλαρές αποθέσεις, δηλαδή πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων και ριπίδια.

## 1.3.2. Αλπικοί σχηματισμοί – σχηματισμοί υποβάθρου

Πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής. Η ζώνη αυτή έχει διεύθυνση BBΔ-NNA και στον ελλαδικό χώρο εκτείνεται από το όρος Βόρας, συνεχίζει στο Βίτσι και καταλήγει στις Σποράδες με πιθανή προέκταση μέχρι τις Οινούσσες. Η Πελαγονική ζώνη θεωρήθηκε ως ένα ύβωμα από κρυσταλλικά πετρώματα που διαχώριζε κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού δύο ωκεάνιες αύλακες την Πινδική αύλακα (ωκεανός Νέο-Τηθύος) στα δυτικά της από την αύλακα του Αξιού (ωκεανός Παλαιο-Τηθύος) στα ανατολικά της (Μουντράκης, 1985).

Αποτελείται από :

Παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της
 Κιμμερικής ηπείρου, μέσα στα οποία διείσδυσαν γρανιτικά σώματα του Άνω
 Λιθανθρακοφόρου.

ii. Περμοτριαδικά μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού-Ιουρασικού που αποτέθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια της ζώνης, πάνω στα οποία επωθήθηκαν οι οφειολιθικές μάζες προερχόμενες από τις δύο εκατέρωθεν ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος.

Αναλυτικότερα, οι σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης (Μουντράκης, 1985) είναι :

- Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο: περιλαμβάνει ορθογνεύσιους, παραγνεύσιους, αμφιβολίτες και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, τα οποία μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης κατά τον Παλαιοζωικό. Μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο παρατηρούνται γνευσιωμένοι γρανίτες Λιθανθρακοφόρου, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν μαγματικές διεισδύσεις που προκάλεσαν μεταμόρφωση στην επαφή τους με τα περιβάλλοντα πετρώματα του υποβάθρου.
- Περμοτριαδικές μετακλαστικές ακολουθίες: περιλαμβάνει μετα-ηφαιστειακά, φακούς ασβεστολίθων, μετα-ψαμμίτες, μετα-κροκαλοπαγή και φυλλίτες Περμοτριαδικής ηλικίας. Οι σχηματισμοί αυτοί μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό.
- Ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού Ιουρασικού: αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα νηριτικής φάσης (σιπολίνες, δολομίτες, μάρμαρα και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι), τα οποία μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό.
- Οφιόλιθοι και συνοδά ιζήματα : πρόκειται για αλλόχθονες οφειολιθικές μάζες μαζί με τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας, επωθημένα πάνω στα Τριαδικοιουρασικά ανθρακικά καλύμματα. Οι μάζες αυτές προέρχονται από τις, εκατέρωθεν της Πελαγονικής, ζώνες Αξιού και Υποπελαγονικής.
- Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου — Άνω Κρητιδικού: αποτελείται από κροκαλολατυποπαγή, μαρμαρυγιακούς ασβεστόλιθους, μικρολατυποπαγής ασβεστόλιθους και φλύσχη Άνω Μαιστριχτίου – Κάτω Παλαιόκαινου. Τα ιζήματα αυτά τοποθετήθηκαν ασύμφωνα τόσο πάνω στα Τριαδικοιουρασικά ανθρακικά καλύμματα όσο και στους οφιολίθους με τα συνοδά τους πελαγικά ιζήματα κατά την Ανω-Κρητιδική επίκλυση (Τουρώνιο).

Στην περιοχή μελέτης, τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης εμφανίζονται επιφανειακά στο BA και ΝΔ τμήμα, καθώς και ως υπολειμματικές εμφανίσεις μέσα στο πεδινό τμήμα (Καλαμάκι-Σωτήριο). Πιο συγκεκριμένα, το BA τμήμα (όρος Μαυροβούνι) απαρτίζεται από φλύσχη της Πελαγονικής, πολυφασικά μεταμορφωμένα μάρμαρα Κάτω – Μέσου Τριαδικού, σχιστόλιθους και γνευσιοσχιστόλιθους.

# 2. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι ανάλογα με την ενέργεια που χρησιμοποιούν ταξινομούνται σε τεχνητές ή φυσικές. Πραγματεύονται δυναμικά ρεύματα και ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα οποία μπορούν να παραχθούν από τις αντίστοιχες τεχνητές ή φυσικές πηγές. Αποσκοπούν στη μέτρηση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Η κύρια παράμετρος που μετριέται είναι η ηλεκτρική ειδική αντίσταση ρ ή ηλεκτρική αγωγιμότητα σ.

## 2.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαδίδεται στα διάφορα πετρώματα-γεωλογικούς σχηματισμούς με τους εξής τρόπους :

Τον ηλεκτρονικό (Ωμικά), ο οποίος αποτελεί και τον πιο διαδεδομένο σε γεωλογικά περιβάλλοντα. Γίνεται με τη ροή ρεύματος σε υλικά που έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια, όπως είναι τα μέταλλα.

Τον ηλεκτρολυτικό, κατά τον οποίο δημιουργείται ρεύμα από τα ιόντα που μετακινούνται με χαμηλό ρυθμό (σε σχέση με την ωμική μετάδοση) και η κίνηση παριστά μια πραγματική μεταφορά υλικού, που προκύπτει από χημικό μετασχηματισμό.

Τη διηλεκτρική μετάδοση, όπου υπό την επίδραση εξωτερικού μεταβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου παρατηρείται ελαφριά μετατόπιση των ηλεκτρονίων σε σχέση με τον πυρήνα τους. Η μετάδοση αυτή γίνεται σε μικρής αγωγιμότητας υλικά και μονωτές που έχουν ελάχιστους έως κανέναν ελεύθερους μεταφορείς.

### 2.1.1. Ηλεκτρονική μετάδοση

Για ένα κυλινδρικό στερεό, μήκους L και διατομής Α, με ωμική αντίσταση R, η ηλεκτρική ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση :

$$\rho = RA/L$$

όπου, η μονάδα της ειδικής αντίστασης είναι Ohm.m, αν Α είναι σε  $m^2$ , L σε m και R σε Ohm.

Βάσει του νόμου του Ohm έχουμε:

$$R = V/I$$

όπου, V η διαφορά δυναμικού και Ι η ένταση του ρεύματος.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σ (σε *mhos/m* ή *Siemens/m*) δείχνει την ευκολία διάδοσης των ηλεκτρικών φορτίων μέσα στο πέτρωμα και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης ρ, δηλαδή ισχύει ότι :

$$\sigma = 1/\rho = L/RA = (I/A)/(V/L) = j/E$$

όπου, j=l/Α η πυκνότητα του ρεύματος σε  $A/m^2$ , E=V/L το ηλεκτρικό πεδίο σε V/m.

## 2.1.2. Ηλεκτρολυτική μετάδοση

Η πορώδης υφή και τα υγρά, κυρίως νερό, που κυκλοφορούν στα ενδιάμεσα κενά, κάνουν τα πετρώματα που είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού να έχουν χαμηλές ειδικές αντιστάσεις, ενώ θα έπρεπε να έχουν υψηλές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα πετρώματα να είναι ηλεκτρολυτικοί αγωγοί και η ειδική τους αντίσταση να ορίζεται με τρόπο ανάλογο της Ωμικής διάδοσης. Η κινητικότητα, η συγκέντρωση και ο βαθμός αποσύνθεσης των ιόντων καθορίζουν την τιμή της ειδικής αντίστασης, η οποία και ποικίλλει. Αυτό συμβαίνει διότι το ρεύμα, κατά την ηλεκτρολυτική μετάδοση, διαδίδεται με ιοντικό ή μοριακό τρόπο, με ιόντα ή μόρια που έχουν περίσσεια ή έλλειψη ηλεκτρονίων.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το πορώδες και η γεωμετρία του, το υγρό στο πορώδες κ.α. Η εξάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός πετρώματος σε συνάρτηση με τις παραπάνω παραμέτρους φαίνεται στην εμπειρική σχέση του νόμου του Archie :

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

Όπου, ρ η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος

ρ<sub>w</sub> η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του ρευστού στο πορώδες του πετρώματος

φ το πορώδες

S ο βαθμός κορεσμού με ρευστό

α ο συντελεστής που εξαρτάται από την λιθολογία και παίρνει τιμές μεταξύ 0,6-2

m ο συντελεστής στερεοποίησης, ο οποίος εξαρτάται από τη γεωμετρία του πορώδους

n ο συντελεστής που έχει την τιμή 2 για τα περισσότερα πετρώματα

Ο νόμος του Archie δεν ισχύει στην περίπτωση των αργιλικών πετρωμάτων.

### 2.1.3. Διηλεκτρική μετάδοση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η διηλεκτρική μετάδοση του ρεύματος γίνεται σε μονωτές όταν παρατηρείται χρονική μεταβολή του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Η διηλεκτρική σταθερά κ είναι καθαρός αριθμός και δίδεται από τη σχέση :

$$\kappa = 1 + \eta/\varepsilon_o = \varepsilon/\varepsilon_o$$

Όπου, ε, ε₀ και η σε *Faradays/m* 

### 2.2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ



Εικόνα 2.1: Διάταξη ηλεκτροδίων (Τσελέντης, 2013)

Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται μία τυπική διάταξη ηλεκτροδίων. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>), τα οποία είναι συνδεδεμένα με αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος και δύο ηλεκτρόδια δυναμικού (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>), τα οποία είναι συνδεδεμένα με βολτόμετρο για τον υπολογισμό της τάσης.

Στο ηλεκτρόδιο Ρ1 (θέση Μ) το δυναμικό είναι :

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} (\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2})$$

Στο ηλεκτρόδιο P2 (θέση N) το δυναμικό είναι :

$$V_N = \frac{l\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Άρα η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτροδίων P<sub>1</sub> και P<sub>2</sub>δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$
(1)

Επιλύοντας τον παραπάνω τύπο (1) ως προς ρ υπολογίζεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση :

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^{-1} = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \kappa$$

Όπου κ ο γεωμετρικός παράγοντας ή γεωμετρικός συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία της διάταξης των ηλεκτροδίων.

Στην περίπτωση ομοιογενούς μέσου, η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που υπολογίζεται από τον παραπάνω τύπο αντιστοιχεί στην πραγματική. Ωστόσο, επειδή η Γη δεν αποτελεί ομοιογενές και ισότροπο μέσο η τιμή που υπολογίζεται εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων γεωηλεκτρικών στρωμάτων και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ<sub>α</sub>). Εξαρτάται από τη γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και τη γεωμετρία της διάταξης που χρησιμοποιήθηκε.

Για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων των ηλεκτροδίων όπως διάταξη Schlumberger, διάταξη Wenner, διάταξη δίπολο-δίπολο, διάταξη πόλος-δίπολο, διάταξη πόλος-πόλος, διάταξη τετραγώνου και διάταξη Lee (βλέπε Εικ. 2.2). Ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε έρευνας επιλέγεται και η κατάλληλη διάταξη. Στην συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Schlumberger.



Εικόνα 2.2: Συνήθεις διατάξεις ηλεκτροδίων (Τσελέντης, 2013)

### 2.3. ΔIATAEH SCHLUMBERGER



Εικόνα 2.3: Η διάταξη Schlumberger (Τσελέντης, 2013)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3 για τη διάταξη Schlumberger χρησιμοποιούνται τέσσερα συνευθειακά ηλεκτρόδια, τα δύο εξωτερικά ρεύματος και τα δύο εσωτερικά δυναμικού. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού είναι συμμετρικά τοποθετημένα ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην περίπτωση γεωηλεκτρικών βαθοσκοπήσεων οι θέσεις των ηλεκτροδίων δυναμικού διατηρούνται σταθερές και τα ηλεκτρόδια ρεύματος μετακινούνται συμμετρικά ως προς το κέντρο διάταξης. Αυτό συμβαίνει διότι το βάθος διερεύνησης αυξάνει με την αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων.

Με βάση τους τύπους που έχουν αναλυθεί ο γεωμετρικός παράγοντας κ υπολογίζεται από

τη σχέση : 
$$\kappa = rac{L^2 - l^2}{4l}$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση :  $\rho_{\alpha} = \pi \; \frac{L^2 - l^2}{4l} \frac{\Delta V}{I}$ 

Η διάταξη Schlumberger αποτελεί την πιο διαδεδομένη διάταξη. Αυτό συμβαίνει γιατί απαιτεί τη μετακίνηση μόνο των 2 ηλεκτροδίων ρεύματος. Με αυτόν τον τρόπο

εξοικονομείται χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων στο ύπαιθρο. Ταυτόχρονα με τη διατήρηση των ηλεκτροδίων δυναμικού σε σταθερή θέση περιορίζονται οι πιθανότητες ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

## 2.4. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Σκοπός των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων είναι ο υπολογισμός των ειδικών αντιστάσεων και των παχών των διαφόρων στρωμάτων από μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια (Τσελέντης, 2013). Χαρακτηριστική ιδιότητα των στρωματοποιημένων πετρωμάτων είναι η ανισοτροπία της ειδικής αντίστασης του υλικού σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Δηλαδή τα πετρώματα αυτά είναι περισσότερο αγώγιμα παράλληλα προς τη στρώση αυτών παρά κάθετα προς αυτή.



Εικόνα 2.4: Πρίσμα διατομής με οριζόντια στρώματα διαφορετικών ειδικών αντιστάσεων και παχών (Τσελέντης, 2013)

Έστω Τ η αντίσταση κάθετα προς τις διεπιφάνειες των στρωμάτων και S η αγωγιμότητα παράλληλα προς αυτές (βλέπε Εικ. 2.4). Έτσι λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (1), ισχύει :

Εγκάρσια αντίσταση : T=h
ho

Διαμήκης αγωγιμότητα :  $S = h/\rho$ 

από τις οποίες προκύπτει :  $h = \sqrt{ST}$  και  $\rho = \sqrt{T/S}$ 

Στην περίπτωση η παράλληλων ισότροπων στρωμάτων με ειδικές αντιστάσεις  $\rho_1, \rho_2, ..., \rho_n$  και πάχη  $h_1, h_2, ..., h_n$ , όταν το ρεύμα διαδίδεται προς τα κάτω, η ολική αντίσταση δίδεται από τη σχέση :

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_n h_n = \sum_{i=1}^n \rho_i h_i$$

Και όταν το ρεύμα διαδίδεται προς την οριζόντια διεύθυνση η ολική αγωγιμότητα δίδεται από τη σχέση :

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i}$$

Στην περίπτωση 2 στρώματων ισχύει :

$$T = T_1 + T_2 = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2$$
$$S = S_1 + S_2 = h_1 / \rho_1 + h_2 / \rho_2$$

Av  $\rho_s$  ol diamúkeic eldikéc avtistáseic kal  $\rho_t$  ol eykápsiec tóte :

$$\rho_t(h_1 + h_2) = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 \Longrightarrow \frac{(h_1 + h_2)}{\rho_s} = h_1 / \rho_1 + h_2 / \rho_2$$

Συνεπώς, ο συντελεστής ανισοτροπίας (λ) και η μέση ειδική αντίσταση (ρ<sub>m</sub>) υπολογίζονται μέσω των :

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s}} = \frac{1}{h_1 + h_2} \{ (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2) (h_1 / \rho_1 + h_2 / \rho_2) \}^{1/2}$$

και

$$\rho_m = \left\{ \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{h_1 / \rho_1 + h_2 / \rho_2} \right\}^{1/2}$$

#### 2.5. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Οι περιορισμοί της ηλεκτρικής μεθόδου έγκειται στα φαινόμενα ισοδυναμίας (equivalence) και συμπίεσης (suppression).

#### 2.5.1. Φαινόμενο ισοδυναμίας

Κατά την ερμηνεία της καμπύλης φαινόμενης ειδικής αντίστασης μοντέλου τριών στρωμάτων, όπου το ενδιάμεσο στρώμα είναι μεγαλύτερης ή μικρότερης ειδικής αντίστασης από αυτά που το περικλείουν, παρατηρείται το φαινόμενο της ισοδυναμίας (equivalence).

Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα είναι πιο αγώγιμο, δηλαδή με χαμηλότερη ειδική αντίσταση, η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος θα ακολουθήσει το στρώμα αυτό και θα είναι ουσιαστικά παράλληλη προς αυτό. Ο λόγος του πάχους h προς την ειδική αντίσταση ρ είναι σταθερός ανεξάρτητα από το αν οι επιμέρους παράμετροι μεταβάλλονται. Δηλαδή διαφορετικοί συνδυασμοί πάχους h και ειδικής αντίστασης ρ μπορούν να δώσουν τον ίδιο λόγο.

$$S_L = h_2 / \rho_2 = \sigma \tau \alpha \theta \epsilon \rho \dot{\alpha}$$

Στην περίπτωση υψηλότερης ειδικής αντίστασης του ενδιάμεσου στρώματος, σε σχέση με τα άλλα χαμηλότερης που το περιβάλουν, το ρεύμα διασχίζει κάθετα το στρώμα αυτό. Το γινόμενο της ειδικής αντίστασης ρ επί το πάχος h του ενδιάμεσου στρώματος είναι σταθερό, ενώ ξεχωριστά οι δύο παράμετροι μεταβάλλονται.

$$T = h_2 \rho_2 = \sigma \tau \alpha \theta \varepsilon \rho \dot{\alpha}$$

### 2.5.2. Φαινόμενο συμπίεσης

Μία άλλη κατηγορία προβλημάτων ερμηνείας είναι το φαινόμενο της συμπίεσης (suppression). Παρατηρείται κατά την περίπτωση τριών ή περισσότερων στρωμάτων, όταν η παρουσία του ενδιάμεσου στρώματος δεν είναι άμεσα εμφανής στην καμπύλη των φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων, δηλαδή η έκφρασή του συμπιέζεται. Βασική προϋπόθεση για την ύπαρξη του φαινομένου είναι το ενδιάμεσο στρώμα να έχει σχετικά μικρό πάχος και η ειδική του αντίσταση να είναι ενδιάμεση των ειδικών αντιστάσεων που το περικλείουν.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως τα φαινόμενα ισοδυναμίας και συμπίεσης αποτελούν πρόβλημα για την ερμηνεία 1-Διάστασης. Έτσι, για πληρέστερη ερμηνεία θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ήδη υπάρχουσες πληροφορίες για πάχη στρωμάτων ή για ειδικές αντιστάσεις που βρέθηκαν από γεωτρήσεις και από «in situ» μετρήσεις ειδικής αντίστασης σε πετρώματα.

### 2.6. <u>ΒΑΘΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ</u>

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται κυρίως από το οριζόντιο ανάπτυγμα (απόσταση ηλεκτροδίων L) και επηρεάζεται από τις ανομοιογένειες, την τοπογραφία, την κλίση των στρωμάτων, το ανάγλυφο του υποβάθρου και από το μοντέλο των στρωμάτων του υπεδάφους.



**Εικόνα 2.5**: Αναλογία ρεύματος που ρέει σε βάθος Ζ (*m*), όπου L η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος (Telford, et al., 1998)

Το βάθος διείσδυσης του ηλεκτρικού ρεύματος Ζ και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος L είναι ανάλογα ποσά, δηλαδή με την αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων L αυξάνεται το βάθος διείσδυσης Ζ του ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος, άρα και το βάθος διερεύνησης (βλέπε Εικ. 2.5).

Όσον αφορά τις γεωηλεκτρικές βαθοσκοπήσης με τη διάταξη Schlumberger έχει προκύψει εμπειρικά ότι το βάθος διερεύνησης είναι ίσο με το 1/4 έως το 1/5 της απόστασης L των ηλεκτροδίων ρεύματος.

## 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

## 3.1. <u>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</u>

Το πρώτο στάδιο της ερμηνείας μίας σειράς γεωηλεκτρικών μετρήσεων ξεκινά με την γραφική παράσταση των καμπύλων φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha} = f(AB/2)$ ), όπου οι μετρήσεις των γεωηλεκτρικών βαθοσκοπήσεων (διάταξη Schlumberger) προβάλλονται γραφικά σε ένα διλογαριθμικό διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται οι τιμές του ημι-αναπτύγματος AB/2 των ηλεκτροδίων ρεύματος, ενώ στον κατακόρυφο άξονα οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που έχουν καταγραφεί σε κάθε ημι-ανάπτυγμα. Η μέγιστη κλίση που δύναται να έχει το αρχικό τμήμα της καμπύλης δεν μπορεί να ξεπερνά τις 45°. Μεγαλύτερη κλίση υποδηλώνει κάποιο λάθος στις μετρήσεις ή κατακόρυφη διαστρωμάτωση που μπορεί να παραμορφώνει τοπικά τα δεδομένα.



53 APPARENT RESISTIVITY CURVE

Εικόνα 3.1: Γεωηλεκτρική καμπύλη φαινόμενης ειδικής αντίστασης

Η παραπάνω μέθοδος, δηλαδή η προβολή των μετρήσεων σε διλογαριθμική κλίμακα (Εικ. 3.1), διευκολύνει τη σύγκριση των καμπυλών υπαίθρου με τις αντίστοιχες θεωρητικές της επεξεργασίας και ερμηνείας. Ταυτόχρονα, το μεγάλο φάσμα τιμών ειδικής αντίστασης των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και τα μεγάλα αναπτύγματα ηλεκτροδίων ρεύματος, που απαιτούνται για την διερεύνηση μεγάλων βαθών, καθιστούν την επεξεργασία ευκολότερη. Στην περίπτωση όπου οι τιμές της ειδικής αντίσταση και του πάχους μεταβάλλονται, αλλά οι λόγοι ρ<sub>i</sub>/ρ<sub>1</sub> και h<sub>i</sub>/h<sub>1</sub> (i=2,3,...,v) παραμένουν σταθεροί, η καμπύλη για μεταβολή της ειδικής αντίστασης μετατοπίζεται κατακόρυφα, ενώ για μεταβολή του βάθους οριζόντια. Έτσι, δύο καμπύλες με διαφορετικές τιμές ρ και h, αλλά με ίσους λόγους μπορούν να ταυτιστούν αν μετατοπιστεί η μία πάνω στην άλλη. Τέλος, η μεταβολή του πάχους των στρωμάτων για μεγάλα βάθη και η μεταβολή των υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης δεν επηρεάζουν τόσο την επεξεργασία, ενώ ενισχύεται η μεταβολή του πάχους των στρωμάτων για μικρά βάθη και η μεταβολή των χαμηλών τιμών ειδικής αντίστασης.

Σύνηθες φαινόμενο κατά την κατασκευή των γεωηλεκτρικών καμπυλών είναι η εμφάνιση ενός ή περισσοτέρων «κεράτων» (cups), όπου πρόκειται για υψίσυχνη ανωμαλία της γεωηλεκτρικής καμπύλης. Αυτή μπορεί να οφείλεται σε μεγάλη αντίσταση επαφής ή σε τοπική γεωλογική ανομοιογένεια ή σε λανθασμένη μέτρηση και αντιμετωπίζεται με εξομάλυνση της καμπύλης. Επίσης μπορεί να εντοπίζονται κατακόρυφες παράλληλες μετατοπίσεις ενός τμήματος της καμπύλης σε σχέση με το υπόλοιπο, γεγονός που πιθανόν οφείλεται σε διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από κατακόρυφο ρήγμα που βρίσκεται σχεδόν στο σημείο που ξεκινά η παράλληλη μετατόπιση. Το φαινόμενο αυτό υποδηλώνει πιθανή πλευρική ανομοιογένεια ευρείας κλίμακας, η οποία τοποθετείται μετά από αυτή τη μετατόπιση.

Για την βέλτιστη ερμηνεία (ποιοτική και ποσοτική) των γεωηλεκτρικών βαθοσκοπήσεων απαιτείται η σύγκριση των χαρακτηριστικών της εκάστοτε βαθοσκόπησης με τις γειτονικές της καθώς και η κατασκευή γεωηλεκτρικών τομών και χαρτών.

### 3.1.1. Ποιοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

Χρησιμοποιώντας τα πρωτογενή δεδομένα των μετρήσεων κατασκευάζονται τομές (βλέπε Εικ. 3.2) και χάρτες (βλέπε Εικ. 3.3) κατανομής της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, χωρίς την επέμβαση κάποιου αλγόριθμου ποσοτικής ερμηνείας. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ελεγχθεί η πλευρική ανομοιογένεια των γεωλογικών σχηματισμών, αποδίδοντας μια καλύτερη εικόνα της στρωματογραφικής δομής της περιοχής.



Εικόνα 3.2: Γεωηλεκτρική τομή

Για την κατασκευή τομών κατανομής της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ακολουθείται η εξής διαδικασία :

 Οι θέσεις των συνευθειακών κέντρων διάταξης (Κ.Δ.) των γεηλεκτρικών βαθοσκοπήσεων της τομής τοποθετούνται στον οριζόντιο άξονα σε γραμμική κλίμακα.

- Οι υπολογισθείσες τιμές των φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων σε σχέση με τις ημιαποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος (AB/2) τοποθετούνται στον κατακόρυφο άξονα σε γραμμική κλίμακα
- Τέλος, χαράσσονται οι ισότιμες καμπύλες ρ<sub>α</sub>, σκιαγραφώντας έτσι την κατανομή της ρ<sub>α</sub> (ψευδο-βάθος)

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το τοπογραφικό ανάγλυφο δε λαμβάνεται υπόψη, δηλαδή θεωρείται ομαλό. Για μεγαλύτερη λεπτομέρεια της κατανομής της ρ<sub>α</sub> χρησιμοποιείται η γραμμική κλίμακα αντί της λογαριθμικής.



Εικόνα 3.3: Χάρτες κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για διάφορες ημιαποστάσεις (AB/2) ηλεκτροδίων ρεύματος

Για την κατασκευή χαρτών κατανομής της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ακολουθείται η εξής διαδικασία :

- Οι θέσεις των κέντρων διάταξης (Κ.Δ.) των γεωηλεκτρικών βαθοσκοπήσεων τοποθετούνται με βάση τις συντεταγμένες του, με τις συντεταγμένες Χ στον οριζόντιο άξονα και τις συντεταγμένες Υ στον κατακόρυφο.
- Τοποθετούνται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης όλων των βαθοσκοπήσεων, για το εκάστοτε ημι-ανάπτυγμα AB/2.
- Με βάση τα προηγούμενα σημεία, χαράσσονται οι ισότιμες καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης στον κάθε χάρτη.
- Τέλος, οι χάρτες τοποθετούνται με αυξανόμενο ημι-ανάπτυγμα από πάνω προς τα κάτω για την παρουσίαση του ψευδο-βάθους (ψευδο-3D απεικόνιση).

Οι χάρτες απεικονίζουν την κατανομή της  $ρ_{\alpha}$  για διαφορετικά ημι-αναπτύγματα ηλεκτροδίων ρεύματος. Και σε αυτήν την περίπτωση η επιφάνεια θεωρείται επίπεδη και αξίζει να

σημειωθεί ότι ο χάρτης για ένα συγκεκριμένο ημι-ανάπτυγμα δεν δίνει πληροφορίες για το αντίστοιχο βάθος.

## 3.1.2. Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

Η ποσοτική ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων έγινε αρχικά με την γραφική μέθοδο. Οι γεωηλεκτρικές καμπύλες που έχουν ήδη επεξεργαστεί και εξομαλυνθεί, ερμηνεύονται με τη μέθοδο βοηθητικού σημείου και την χρήση των πρότυπων καμπυλών δύο στρωμάτων και των βοηθητικών καμπυλών των Orellana & Mooney (1966). Οι τιμές των φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων με τα αντίστοιχα αναπτύγματα των ηλεκτροδίων ρεύματος της εξομαλυμένης καμπύλης, καθώς και το μοντέλο (πάχη και ειδικές αντιστάσεις γεωηλεκτρικών στρωμάτων) που προκύπτει από την προηγούμενη διαδικασία χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου για τα δύο λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ηλεκτρονική ποσοτική ερμηνεία. Μετά την γραφική ποσοτική ερμηνεία ακολούθησε η ηλεκτρονική, με τη χρήση των λογισμικών ΙΝVR και ΙΧ1D.

Αφού πραγματοποιήθηκαν οι παραπάνω διαδικασίες, υπολογίστηκε μία μέση τιμή των τριών μοντέλων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της γραφικής μεθόδου και των λογισμικών INVR και IX1D. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν στοιχεία εισόδου για περαιτέρω επεξεργασία με την χρήση του λογισμικού SURFER.

## 3.1.2.1. Γραφική μέθοδος

Με τα δεδομένα κάθε γεωηλεκτρικής βαθοσκόπησης κατασκευάζονται οι γεωηλεκτρικές καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης σε δι-λογαριθμικό διάγραμμα, με τη βοήθεια των πρότυπων καμπυλών δύο στρωμάτων που δόθηκε από τους Orellana & Mooney (1966) (Εικ. 3.4) και τη μέθοδο του βοηθητικού σημείου, που αναφέρεται λεπτομερέστατα από τους Keller & Frischknesht (1970). Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης σε διλαγραμα ΑΒ/2 των ηλεκτροδίων ρεύματος.



**Εικόνα 3.4**: Πρότυπες καμπύλες δυο στρωμάτων (Orellana & Mooney, 1966)

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής :

- Χρησιμοποιώντας διαφανές χαρτί, κατασκευάζεται δι-λογαριθμικό διάγραμμα, όπου οι τιμές τις φαινόμενης ειδικής αντίστασης ρ<sub>α</sub> (σημεία) τοποθετούνται στον κατακόρυφο άξονα για τις αντίστοιχες τιμές AB/2 (οριζόντιος άξονας) κάθε βαθοσκόπησης.
- Στη συνέχεια, χαράσσεται η πειραματική καμπύλη, η οποία δεν ενώνει τα σημεία αλλά ακολουθεί την τάση αυτών, δημιουργώντας έτσι μία ομαλή καμπύλη χωρίς γωνίες. Για την ποσοτική ερμηνεία των καμπυλών, με τη χρήση του βοηθητικού σημείου, κάθε κλάδος της ταυτίζεται με μία από τις πρότυπες καμπύλες δύο στρωμάτων. Έτσι, μετακινώντας το διαφανές χαρτί πάνω-κάτω και δεξιά-αριστερά, διατηρώντας πάντοτε τους άξονές του παράλληλους με αυτούς των πρότυπων καμπυλών, αποτυπώνεται η καμπύλη με την οποία ταυτίστηκε. Χωρίς να μετακινηθεί το διαφανές χαρτί σημειώνεται το σημείο τομής των αξόνων των πρότυπων καμπυλών (σταυρός), καθώς και ο λόγος λ<sub>1</sub>=ρ<sub>2</sub>/ρ<sub>1</sub>.
- Με βάση τις συντεταγμένες του σταυρού, η προβολή του στον οριζόντιο άξονα δίνει το πάχος h<sub>1</sub> του πρώτου στρώματος, ενώ στον κατακόρυφο την πραγματική ειδική αντίσταση ρ<sub>1</sub> του πρώτου στρώματος. Άρα από τον λόγο λ<sub>1</sub>=ρ<sub>2</sub>/ρ<sub>1</sub> υπολογίζεται η αντίσταση του δεύτερου στρώματος ρ<sub>2</sub>. Με αυτόν τον τρόπο είναι ήδη γνωστά τα στοιχεία του πρώτου στρώματος (h<sub>1</sub>, ρ<sub>1</sub>) και η αντίσταση του δεύτερου στρώματος (ρ<sub>2</sub>).
- Με τη βοήθεια των πρότυπων καμπυλών δύο στρωμάτων και των βοηθητικών καμπυλών των Orellana & Mooney (1966) υπολογίζονται τα στοιχεία των υπόλοιπων στρωμάτων.
- Υπάρχουν 4 τύποι διαγραμμάτων βοηθητικών καμπυλών Κ-τύπος, Q-τύπος, Α-τύπος και Η-τύπος (Εικ. 3.5), εκ των οποίων επιλέγεται ο αντίστοιχος, ανάλογα με τη μορφή του κλάδου της καμπύλης. Αναλυτικότερα, ο Η-τύπος παρουσιάζει μία αλληλουχία στρωμάτων, όπου από υψηλή αντίσταση μεταβαίνει σε χαμηλότερη, καταλήγοντας ξανά σε στρώμα με υψηλή αντίσταση (μορφή ανάποδης καμπάνας). Αντίθετα με τον Η-τύπο, ο Κ-τύπος από χαμηλή αντίσταση μεταβαίνει σε υψηλότερη και τέλος πάλι σε χαμηλή (μορφή καμπάνας). Το διάγραμμα τύπου Α επιλέγεται όταν τα στρώματα παρουσιάζουν διαδοχικά αυξανόμενη αντίσταση επιλέγεται το διάγραμμα τύπου Q.



Εικόνα 3.5: Τύποι γεωμετρικών καμπυλών για τρία στρώματα (Τσελέντης, 2013)

- Αφού επιλεχθεί ο κατάλληλος τύπος διαγράμματος, ο σταυρός, που έχει ήδη αποτυπωθεί, τοποθετείται στην αρχή των αξόνων για τα διαγράμματα τύπου Η και Q, ενώ για τα διαγράμματα τύπου Α και K στην αντίστοιχη τιμή του λόγου λ<sub>1</sub>. Με διακεκομμένη γραμμή χαράσσεται η αντίστοιχη βοηθητική καμπύλη, που υποκαθιστά τα δύο πρώτα στρώματα.
- Χρησιμοποιώντας τις πρότυπες καμπύλες δύο στρωμάτων, η διακεκομμένη τοποθετείται και σύρεται πάνω στο σταυρό έως ότου κάποια από τις πρότυπες καμπύλες ταυτιστεί με την καμπύλη του τρίτου στρώματος. Σημειώνεται η θέση του δεύτερου σταυρού καθώς και ο λόγος λ<sub>2</sub>=ρ<sub>3</sub>/ρ<sub>f</sub>. Η προβολή του σταυρού στον οριζόντιο άξονα δίνει το h<sub>f</sub> και στον κατακόρυφο το ρ<sub>f</sub>. Άρα από τον λόγο λ<sub>2</sub> υπολογίζεται η αντίσταση ρ<sub>3</sub> του τρίτου στρώματος.
- Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό του h<sub>2</sub>, ο πρώτος σταυρός τοποθετείται στη θέση που είχε τοποθετηθεί στο αντίστοιχο βοηθητικό διάγραμμα. Η τετμημένη του δεύτερου σταυρού αντιστοιχεί στο λόγο μ<sub>1</sub>=h<sub>2</sub>/h<sub>1</sub>, άρα είναι ήδη γνωστά τα ρ<sub>1</sub>, ρ<sub>2</sub>, ρ<sub>3</sub>, h<sub>1</sub> και h<sub>2</sub>.
- Στην περίπτωση περισσότερων στρωμάτων ακολουθείται ίδια διαδικασία για όλα τα σημεία της βαθοσκόπησης, σημειώνοντας τον τρίτο σταυρό και υπολογίζοντας τα στοιχεία του λ<sub>3</sub>=p<sub>4</sub>/ρ<sub>f</sub> και μ<sub>2</sub>=h<sub>3</sub>/h<sub>f</sub> κ.ο.κ.

Τέλος, το μοντέλο των στρωμάτων με τα στοιχεία που προέκυψαν σημειώνεται στο διαφανές χαρτί.

### 3.1.2.2. Λογισμικό INVRES

Το λογισμικό INVRES στηρίζεται στη μέθοδο της μέγιστης κλίσης όπως αυτή αναπτύχθηκε από τον Koefoed (1979) και για τη λειτουργία του σε περιβάλλοντα μεταγενέστερα των Windows 10 απαιτείται η χρήση του λογισμικού DOSBox 0.74. Στοιχεία εισόδου αποτελούν το μοντέλο των στρωμάτων που προκύπτει από τη προηγούμενη ερμηνεία και οι τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης της εξομαλυμένης καμπύλης. Η μέθοδος αυτή είναι ένας αλγόριθμος διαδοχικών προσεγγίσεων των παραμέτρων του μοντέλου, κατά το οποίο προσεγγίζονται οι μετασχηματισμοί ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της εξομαλυμένης καμπύλης υπαίθρου και αυτής που παράγεται από το μοντέλο. Οι δύο μετασχηματισμοί συγκρίνονται μεταξύ τους και γίνονται συνεχείς προσεγγίσεις έως ότου η θεωρητική καμπύλη του μοντέλου και η εξομαλυμένη καμπύλη υπαίθρου συμφωνούν, τροποποιώντας τα πάχη και τις ειδικές αντιστάσεις του μοντέλου, με σφάλμα απόκλισης μικρότερο του 2,5%.

Μέσω ενός επεξεργαστή κειμένου Notepad (.dat) (βλέπε Εικ. 3.6) εισάγονται στο λογισμικό τα εξής στοιχεία :

- Ο αριθμός 1 «εξ'ορισμού»
- Όνομα βαθοσκόπησης, ημερομηνία εκτέλεσης (HH,MM,EEEE), προσανατολισμός αναπτύγματος, υψόμετρο
- > Ονομασία της περιοχής και της θέσης της βαθοσκόπησης
- Η ελάχιστη απόσταση AB/2, ο αριθμός των γεωηλεκτρικών στρωμάτων του εισαχθέντος γεωηλεκτρικού μοντέλου, το σύνολο των εισαχθέντων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης, το σύνολο των παραμέτρων που παραμένουν σταθεροί, το ελάχιστο σφάλμα απόκλισης (=1)
- Ο αριθμός 1 «εξ'ορισμού»
- Οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης της εξομαλυμένης γεωηλεκτρικής καμπύλης
- Τα πάχη του γεωηλεκτρικού μοντέλου, οι ειδικές αντιστάσεις του γεωηλεκτρικού μοντέλου
- Ο αριθμός 0 «εξ'ορισμού»



Εικόνα 3.6: Αρχείο εισόδου για το λογισμικό INVRES (.DAT)

Για τη έναρξη του λογισμικού, σύρεται η εφαρμοργή INVRES στο λογισμικό DODBox 0.74, όπου ακολουθούν οι εξής ενέργειες :

- 1. Εισάγεται το όνομα του αρχείου εισόδου, που δημιουργήθηκε προηγουμένως (βλέπε Εικ. 3.6) με τύπο αρχείου .dat
- 2. Εισάγεται το όνομα του αρχείου εξόδου με προέκταση αρχείου.res
- 3. Επιλέγεται η γλώσσα του αρχείου εξόδου E (English)
- 4. Δυνατότητα απεικόνισης των αποτελεσμάτων
- 5. Τερματισμός εφαρμογής πληκτρολογώντας τη εντολή exit

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 3.7.

Í	🚟 DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: DOSBOX	
	To activate the keymapper ctrl-F1. For more information read the README file in the DOSBox directory. HAVE FUN! The DOSBox Team http://www.dosbox.com	
DOSBox Status Window	Z:\>SET BLASTER=A220 I7 D1 H5 T6	
DOSBox version 0.7 Copyright 2002-201  CONFIG:Loading pri Box\dosbox-0.74.co MIDI:Opened device	Z:N>MOUNT C "C:NUsersNNameNDesktopNINUR" Drive C is mounted as local directory C:NUsersNNameNDesktopNINURN Z:N>C:	
	C:>>INUR.EXE	
	Enter the name of the input data file [.DAT] $>$ 20.dat	
	Enter the name of the output file [.RES] $>$ 20.res	
	Results in Greek or in English ? (Enter G/E ) $>$ E	
	Do you want to plot the data ? (Y/N) > N Stop - Program terminated.	
	C:>>EXIT_	

Εικόνα 3.7: Λογισμικό INVRES

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας εξάγονται τα αποτελέσματα με μορφή αρχείου .res.

1 Pecistivity	Inversion P	rogram					
RESISCIVICY	111761 31011 1	rogram					
Schlumberger	Array						
Sounding No Date Province Site Orientation Height	20 18- 7-20 KARLA MELISSA 440 Degr 0 Met	09 ees res					
iteration no	. 15						
layer no.	thickn in met	ess res	resisti in oł	ivity m*m		thick*res	thick/res
1		.9	5.	5		4.8	.160
2	1	.0	2.	6		2.6	.382
3	6	.3	4.	2		26.3	1.487
4	39	.1	2.	.7		105.0	14.573
5			8.3				
	spacing	mod	lel rho	fie	eld rho	,	
	1.000		5.081		5.000		
	1.468		4.629		4.700		
	3,162		3.717		3,600		
	4,642		3.662		3,600		
	6.813		3.741		3,800		
	10,000		3.746		3,800		
	14.678		3.593		3.550		
	21.544		3.336		3.300		
	31.623		3.133		3.120		
	46.416		3.136		3.100		
	68.129		3.436		3.500		
	100.000		4.048		4.100		
	146.780		4.866		4.850		
	215.443 316.228		5.731 6.521		5.700		
rms	error =	1.432					

Εικόνα 3.8: Αποτελέσματα επεξεργασίας λογισμικού INVERES

Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τα εξής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8:

- Όνομα βαθοσκόπησης
- Ημερομηνία εκτέλεσης
- Ονομασία περιοχής
- Ονομασία θέσης
- Προσανατολισμός
- Υψόμετρο
- Τον αριθμό διαδοχικών προσεγγίσεων που πραγματοποίησε (iteration)
- Το υπολογιζόμενο γεωηλεκτρικό μοντέλο (πάχη και ειδικές αντιστάσεις στρωμάτων)
- Τις αποστάσεις AB/2 που έχουν χρησιμοποιηθεί, τις θεωρητικές τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που προήλθαν από τον μετασχηματισμό του εισαγόμενου γεωηλεκτρικού μοντέλου, τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που εισήχθησαν
- Το σφάλμα απόκλισης

### 3.1.2.3. Λογισμικό IX1D

Τα δεδομένα των ηλεκτρικών διασκοπήσεων, που πραγματοποιούνται με διατάξεις Schlumberger, Wenner, διπόλου-διπόλου, πόλου-διπόλου και πόλου-πόλου, επεξεργάζονται με τη βοήθεια του προγράμματος IX1D, όπου και αυτό εξάγει ένα γεωηλεκτρικό μοντέλο (πάχη, ειδικές αντιστάσεις) (βλέπε Εικ. 3.9).

👻 Resistivity Model								
	Surfa	ce Elevatio	n: 🗌	0.0000	Fitt	ing Error:	4.2	2576
	Us	s)						
	#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?	<u> </u>
	1	<b> </b> 15.016		0.90815	0.90815	-0.90815	Γ	
	2	14.521		8.2510	9.1592	-9.1592		
	3	19.450		14.054	23.213	-23.213		
	4	41.158						
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							Ŧ
	Inse	ert Cell	Inse	rt Row	Column M	ath:	Forwa	bid
	Dele	te Cell	Dele	te Row	Add T	0 0	)ne Iter	ation
		DK	Ca	ancel	Multiply	By M	ore Iter	ations

Εικόνα 3.9: Αποτέλεσμα επεξεργασίας (γεωηλεκτρικό μοντέλο) λογισμικού IX1D

Το μοντέλο μπορεί είτε να εισαχθεί από το χρήστη με μέγιστο αριθμό στρωμάτων 20, είτε να δημιουργηθεί αυτόματα από το πρόγραμμα. Επεξεργάζεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Ωστόσο, είναι δυνατόν να επεξεργαστεί και από τον χρήστη αν κριθεί αναγκαία η διατήρηση κάποιου μεγέθους (πάχος ή τιμή ειδικής αντίστασης) σταθερού.

Αρχικά, καθορίζονται οι παράμετροι της βαθοσκόπησης (διάταξη βαθοσκοπήσεων, μετρούμενο μέγεθος, μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων). Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.10, εισάγονται τα στοιχεία της βαθοσκόπησης (όνομα, συντεταγμένες, προσανατολισμός, αζιμούθιο) καθώς και τα δεδομένα υπαίθρου. Το φύλλο εργασίας περιλαμβάνει 3 στήλες (AB/2 (m), MN, ρ<sub>α</sub> (Ohm)), όπου οι διπλομετρήσεις πρέπει να διαδέχονται η μία την άλλη.

👻 Apparent Resistivity Entry/Edit								
Data Set Name: U48								
A	Easting:	644728	Northing:	4372484	Elevation:	0.		
🔽 Us	e Mask Flags?	100.0		nberger Array				
Point	AB/2	MN	Apparent Resistivity	Mask?	🔺 Open (	Geometry		
1	1.00	0.30	15.03		Save 0	aeometry		
2	1.47	0.30	14.58		Save Ge	eometru As		
3	2.15	0.30	14.45		Javeut	somedy As		
4	3.16	0.30	14.12		Inse	ert Cell		
5	4.64	0.30	13.56					
6	6.81	0.30	13.30	_	Dele	te Cell		
	3.16	1.00	15.91		Inse	rt Bow		
8	4.64	1.00	15.24	-				
10	10.01	1.00	15.00		Dele	te Row		
11	10.00	1.00	16.75	_	Colum	n Math:		
12	21.50	1.00	18.28		hA	d To		
13	10.00	3.00	15.35	Г				
14	14.70	3.00	16.46	Г	Multi	ply By		
15	21.50	3.00	17.92		- OK	Cancel		
· · ·								

Εικόνα 3.10: Φύλλο εργασίας λογισμικού ΙΧ1D

Επιλέγοντας ΟΚ, απεικονίζονται σε δι-λογαριθμικά διαγράμματα :

- οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, με δυνατότητα καθορισμού των λογαριθμικών κύκλων ανάλογα με την εκάστοτε βαθοσκόπηση.
- Η υπολογισθείσα κατανομή της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (πραγματικής) σε σχέση με το βάθος.

Με την επιλογή Edit Sounding Data, εισάγεται το γεωηλεκτρικό μοντέλο (Resistivity Model), καθορίζοντας τις ειδικές αντιστάσεις, το πάχος των στρωμάτων, τυχόν σταθερά ποσά (constant) και το σφάλμα απόκλισης. Με την εντολή Forward το πρόγραμμα κατασκευάζει την γεωηλεκτρική καμπύλη (βλέπε Εικ. 3.11) και στη συνέχεια, επιλέγοντας One Interation την μετατρέπει.



Εικόνα 3.11: Αποτέλεσμα επεξεργασίας (γεωηλεκτρική καμπύλη) λογισμικού ΙΧ1D

# 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για τη γεωφυσική έρευνα στην περιοχή της λίμνης Κάρλας επιλέχθηκε η γεωηλεκτρική μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης με τη διάταξη Schlumberger. Τα γεωηλεκτρικά δεδομένα που επεξεργάστηκαν αποτελούν δεδομένα προϋπάρχοντος μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, πραγματοποιήθηκαν 56 γεωηλεκτρικές βαθοσκοπήσεις, μέγιστου αναπτύγματος AB=1362m, που κάλυψαν μεγάλο μέρος του πεδινού τμήματος της λεκάνης της λίμνης Κάρλας.

Η κατασκευή του γεωλογικού χάρτη της Εικόνας 4.1 έγινε με την βοήθεια του λογισμικού ArcGIS ver. 10.0. Γεωαναφέρθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες του ΓΥΣ σε κλίμακα 1:50.000 και σε συνδυασμό με τα 4 γεωλογικά φύλλα του IΓΜΕ (βλέπε Εικ. 1.2) κατασκευάστηκε ο τροποποιημένος τοπογραφικός και γεωλογικός χάρτης.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.-Geographical Information Systems) είναι λογισμικά που χρησιμεύουν στην αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση, διαχείριση και παρουσίαση δεδομένων που συνδέονται με την γεωγραφική κατανομή. Η χρήση ενός G.I.S. δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής όλης της διαθέσιμης πληροφορίας και μετατροπής της από αναλογική σε ψηφιακή μορφή και, επίσης, τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν γεωγραφικά με τη μορφή θεματικών χαρτών. Μία ακόμη δυνατότητα είναι η διαχείριση της βάσης δεδομένων, η οποία περιέχει περιγραφικές πληροφορίες για τα αντικείμενα που απεικονίζονται γεωγραφικά.

Το γεωλογικό υπόμνημα του χάρτης της Εικόνας 4.1 φαίνεται στην Εικόνα 1.3.





Ο : Θέση βαθοσκόπησης και προσανατολισμός διάταξης ηλεκτροδίων

Εικόνα 4.1: Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης με τις θέσεις των γεωηλεκτρικών βαθοσκοπήσεων

## 4.1. <u>ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ</u> <u>ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</u>

Μετά την κατασκευή των γεωηλεκτρικών καμπυλών, όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3 (γραφική μέθοδος), ακολούθησε η ποιοτική επεξεργασία-ερμηνεία των στοιχείων με την κατασκευή τομών και χαρτών κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης.

## 4.1.1. Τομές Φαινόμενης Ειδικής Αντίστασης

Συνολικά κατασκευάστηκαν 6 τομές κατανομής της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με διεύθυνση ΝΔ-BA οι Section 1\_9, Section 32\_42, Section 34\_44, Section 35\_28, Section 36\_30 και Section 56\_41, όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.2.





Παρακάτω παρατίθενται οι τομές φαινόμενης ειδικής αντίστασης που κατασκευάστηκαν, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Surfer 12 (Εικ. 4.3.α, Εικ. 4.3.β, Εικ. 4.3.γ, Εικ. 4.3.δ, Εικ. 4.3.ε, Εικ. 4.3.στ).



Εικόνα 4.3.α: Τομή κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης

<u>Τομή 1-9:</u> έχει μήκος 6.900 m και περιλαμβάνει τις βαθοσκοπήσεις 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 και 9. Στο τμήμα της τομής μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 1 έως 7 παρατηρείται μία ομαλή μετάβαση των τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης από χαμηλές (< 30 Ohm.m) σε ενδιάμεσες (30 – 70 Ohm.m), αυξανόμενου του AB/2. Πιο συγκεκριμένα, η μετάβαση αυτή εντοπίζεται για AB/2 > 10 m στη θέση βαθοσκόπησης 1, AB/2 > 46.6 m στη θέση βαθοσκόπησης 2, AB/2 > 68.1 m στη θέση βαθοσκόπησης 3, AB/2 > 150m στη θέση βαθοσκόπησης 5, AB/2 > 400 m στη θέση βαθοσκόπησης 6 και 7. Στη θέση της βαθοσκόπησης 8 παρατηρείται μία εναλλαγή των τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης, όπου για AB/2 ≤ 1.47 m επικρατούν ενδιάμεσες τιμές (30 – 70 Ohm.m), για 2.15 m ≤ AB/2 ≤ 147 m χαμηλές τιμές (< 30 Ohm.m), για 215 m ≤ AB/2 ≤ 464 m ενδιάμεσες τιμές (30 -70 Ohm.m) και για AB/2 681 m η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, μυτιμή). Τέλος, κάτω από τη θέση βαθοσκόπησης 9 επικρατούν χαμηλές τιμές (< 30 Ohm.m), με εξαίρεση το AB/2 147 m όπου η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης δ.



Εικόνα 4.3.β: Τομή κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης

<u>Τομή 56-41</u>: έχει μήκος 11.900 m και περιλαμβάνει τις βαθοσκοπήσεις 56, 48, 55, 15, 45, 31 και 41. Στη θέση της βαθοσκόπησης 56 έως τα AB/2 4.64 m επικρατούν χαμηλές τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης (< 30 Ohm.m), όπου στη συνέχεια μεταβαίνουν σε ενδιάμεσες τιμές (30 – 70 Ohm.m). Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και στη θέση της βαθοσκόπησης 48, όπου η μετάβαση σε ενδιάμεσες τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης γίνεται για AB/2 > 100 m. Στο κεντρικό τμήμα της τομής, μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 55 και 31 κυριαρχούν χαμηλές τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης (< 30 Ohm.m). Στη θέση της βαθοσκόπησης 41 έως AB/2 100 m παρατηρούνται ενδιάμεσες τιμές (30 – 70 Ohm.m), όπου αυξανόμενου του AB/2 αυξάνονται και οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης (> 70 Ohm.m). Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι σε θέση μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 31 (χαμηλές τιμές φ.ε.α.) και 41 (ενδιάμεσες έως υψηλές τιμές φ.ε.α.) είναι πιθανό να υπάρχει μία πλευρική γεωηλεκτρική ασυνέχεια.



Εικόνα 4.3. γ: Τομή κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης

<u>Τομή 36-30</u>: έχει μήκος 10.300 m και περιλαμβάνει τις βαθοσκοπήσεις 36, 49, 54, 17, 46 και 30. Στο κεντρικό τμήμα της τομής, δηλαδή μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 49 και 46 και για όλο το εύρος του AB/2, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, με επικράτηση χαμηλών τιμών (< 30 Ohm.m). Οι μόνες θέσεις που

παρατηρείται αύξηση των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι κάτω από τη βαθοσκόπηση 36 και για AB/2 > 30 m και την βαθοσκόπηση 30, για AB/2 > 400 m, όπου επικρατούν ενδιάμεσες τιμές (30 – 70 Ohm.m).



<u>Τομή 32-42</u>: έχει μήκος 8.500 m και περιλαμβάνει τις βαθοσκοπήσεις 32, 53, 18, 47 και 42. Παρατηρείται μία στρωματοποιημένη δομή καθ'όλο το μήκος της τομής, λόγω της επικράτησης χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (< 30 Ohm.m), με εξαίρεση την βαθοσκόπηση 42, όπου για AB/2 > 300 m παρατηρούνται ενδιάμεσες τιμές (30 – 70 Ohm.m).



Εικόνα 4.3.ε: Τομή κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης.

<u>Τομή 35-28</u>: έχει μήκος 8.500 m και περιλαμβάνει τις βαθοσκοπήσεις 35, 19, 37 και 28. Σε όλο το μήκος της τομής και για όλο το εύρος των AB/2 οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι χαμηλές (< 30 Ohm.m), γεγονός που υποδηλώνει μία στρωματοποιημένη δομή.



Εικόνα 4.3.στ: Τομή κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης.

<u>Τομή 34-44</u>: έχει μήκος 10.200 m και περιλαμβάνει τις βαθοσκοπήσεις 34, 51, 20, 38, 43 και 44. Μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 34 και 43 οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι χαμηλές (< 30 Ohm.m). Αντίθετα, μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 43 και 44 παρατηρείται μία αύξηση των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, αυξανόμενου του AB/2. Ειδικότερα, κάτω από τη θέση της βαθοσκόπησης 44 και για AB/2 100 m έως AB/2 200 m επικρατούν ενδιάμεσες τιμές (30 – 70 Ohm.m), ενώ για AB/2 > 215 m κυριαρχούν υψηλές τιμές (> 70 Ohm.m). Η απότομη αύξηση των τιμών της φαινόμενης αυινόμενης ειδικής αντίστασης στο δηλώνει την πιθανή ύπαρξη μιας πλευρικής γεωηλεκτρικής ασυνέχειας περίπου στη θέση των 9.000 m.

### 4.1.2. Χάρτες Κατανομής Φαινόμενης Ειδικής Αντίστασης

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης με ημιανάπτυγμα ηλεκτροδίων AB/2=3,16m (Εικ. 4.4.α), AB/2=10m (Εικ. 4.4.β), AB/2=100m (Εικ. 4.4.γ), AB/2=215m (Εικ. 4.4.δ) και AB/2=316m (Εικ. 4.4.ε).



Εικόνα 4.4.α: Χάρτης κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για ημι-ανάπτυγμα ηλεκτροδίων AB/2=3.16m

Στο χάρτη της Εικόνας 4.4.α επικρατούν γενικά χαμηλές τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης, με ένα κεντρικό τμήμα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ ενδιάμεσα των πρανών, όπου οι τιμές είναι εξαιρετικά χαμηλές ( < 5 Ohm.m). Πλησιάζοντας το πρανές στο ανατολικό τμήμα του χάρτη παρατηρείται μία μικρή αύξηση των τιμών φ.ε.α. έως ~50 Ohm.m.



**Εικόνα 4.4.β**: Χάρτης κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για ημι-ανάπτυγμα ηλεκτροδίων AB/2=10m

Παρόμοια εικόνα με αυτή του χάρτη των AB/2=3.16m παρατηρείται και στον χάρτη των AB/2=10m (Εικ. 4.4.β), με μεγαλύτερη αύξηση των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης τόσο στο BA όσο και στο NΔ πρανές με τιμές έως ~65 Ohm.m και έως ~45 Ohm.m αντίστοιχα.



Εικόνα 4.4.γ: Χάρτης κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για ημι-ανάπτυγμα ηλεκτροδίων AB/2=100m

Στον χάρτη της Εικόνας 4.4.γ η περιοχή των πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (< 5 Ohm.m) έχει μικρύνει. Αισθητή γίνεται η αλλαγή των τιμών φ.ε.α. στο βόρειο τμήμα του χάρτη, όπου από ~15 Ohm.m (για AB/2=10m) αυξάνονται έως ~45 Ohm.m (για AB/2=100m). Στο ανατολικό τμήμα του χάρτη δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή των τιμών φ.ε.α. σε σχέση με το αντίστοιχο τμήμα του χάρτη της Εικόνας 4.4.β, ενώ στο νότιο τμήμα του οι τιμές φ.ε.α. παρουσιάζονται ελαφρά αυξημένες έως ~55 Ohm.m.



Εικόνα 4.4.δ: Χάρτης κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για ημι-ανάπτυγμα ηλεκτροδίων AB/2=215m

Παρατηρώντας την Εικόνα 4.4.δ βλέπουμε ότι η περιοχή των πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (< 5 Ohm.m) έχει περιοριστεί στο βορειοδυτικό τμήμα του χάρτη, με ομαλή αύξηση έως το νότιο πρανές, όπου οι τιμές παραμένουν σχεδόν σταθερές (~50 Ohm.m). Καθ'όλο το μήκος του βορειοανατολικού πρανούς οι τιμές της φ.ε.α. είναι αισθητά αυξημένες, με έντονη αλλαγή στο ανατολικό τμήμα του χάρτη, όπου η φαινόμενη ειδική αντίσταση παίρνει τιμές έως ~90 Ohm.m.



Εικόνα 4.4.ε: Χάρτης κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για ημι-ανάπτυγμα ηλεκτροδίων AB/2=316m

Σε όλο το μήκος του βορειοανατολικού πρανούς του παραπάνω χάρτη (Εικ. 4.4.ε) επικρατούν υψηλές τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( > 65 Ohm.m), με χαρακτηριστικό το ανατολικό τμήμα ( $\rho_{\alpha}$  > 100 Ohm.m). Ο υπόλοιπος χάρτης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες αλλαγές, σε σχέση με τον αντίστοιχο της Εικόνας 4.4.δ. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί μια περιοχή στα νοτιοανατολικά, όπου παρατηρούνται αυξημένες τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης έως ~45 Ohm.m.

Με σκοπό την παρουσίαση του ψεύδο-βάθους (ψεύδο-3D απεικόνιση) κατασκευάστηκε η Εικόνα 4.5, που παρουσιάζει τους χάρτες κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης τοποθετημένους με αυξανόμενο ημι-ανάπτυγμα ηλεκτροδίων από AB/2=1.47m έως AB/2=681m.

Φαίνεται ότι, για AB/2=1,47 m έως AB/2=4,64 m, οι τιμές της  $\rho_{\alpha}$  είναι χαμηλές, χωρίς ιδιαίτερες αλλαγές. Από AB/2=6,81 m παρατηρείται μία αύξηση των τιμών της  $\rho_{\alpha}$  στο NΔ και το BA τμήμα της περιοχής μελέτης, η οποία γίνεται ολοένα και πιο έντονη αυξανόμενου του ημι-αναπτύγματος των ηλεκτροδίων ρεύματος (AB/2). Οι υψηλές τιμές της  $\rho_{\alpha}$  απεικονίζονται με έντονα κόκκινα χρώματα και υποδηλώνουν την ύπαρξη αντιστατικών γεωηλεκτρικών σχηματισμών, δηλαδή του υποβάθρου της περιοχής.



Εικόνα 4.5: Χάρτες κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης για διάφορες ημι-αποστάσεις (ΑΒ/2) ηλεκτροδίων ρεύματος σε ψευδο-3D απεικόνιση

## 4.2. <u>ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ</u> <u>ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</u>

Μετά την ποιοτική ερμηνεία των δεδομένων και την κατασκευή των τόμων κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης, ακολούθησε η ποσοτική ερμηνεία τους με την κατασκευή των αντίστοιχων γεωηλεκτρικών τομών.

Με τη χρήση του προγράμματος Surfer 12 συνολικά κατασκευάστηκαν 6 γεωηλεκτρικές τομές (Εικ. 4.6.α, Εικ. 4.6.β, Εικ. 4.6.γ, Εικ. 4.6.δ, Εικ. 4.6.ε, Εικ. 4.6.στ.), με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ και κλίμακα 1:3. Παρακάτω, οι τομές σχολιάζονται αυξανόμενου του βάθους, όπου διαγράφονται τα εξής <u>γεωηλεκτρικά στρώματα</u>:



7 Όνομα και θέση βαθοσκόπησης 50 Τιμή φαινόμενης ειδικής αντίστασης (Ohm.m)

Εικόνα 4.6α: Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

#### Γεωηλεκτρική τομή 1-9

- Επιφανειακό στρώμα πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 13 Ohm.m)</li>
- Στρώμα ενδιάμεσων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha}$ < 68 Ohm.m)
- Γεωηλεκτρικό υπόβαθρο (ρ<sub>α</sub> > 78 Ohm.m)



Εικόνα 4.6β: Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

#### Γεωηλεκτρική τομή 56-41

- Επιφανειακό στρώμα πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 3 Ohm.m)
- Στρώμα χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha}$ < 20 Ohm.m) μεταξύ 500 m-9500 m
- Επιφανειακή εμφάνιση στρώματος ενδιάμεσων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha}$ < 79 Ohm.m) σε θέσεις 0 m -500 m και 11.100 m 11.900m
- Στα ~4.600 m το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο συναντά ασύμφωνα ένα στρώμα τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης 35-49 (Ohm.m)
- Γεωηλεκτρικό υπόβαθρο (ρ<sub>α</sub> > 116 Ohm.m)
- Μεταξύ των θέσεων 31 και 41, η επαφή μεταξύ των στρωμάτων πολύ χαμηλών και ενδιάμεσων τιμών, καθώς και του γεωηλεκτρικού υποβάθρου, υποδηλώνει πιθανή γεωηλεκτρική ασυνέχεια



Εικόνα 4.6γ: Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

#### Γεωηλεκτρική τομή 36-30

- Επιφανειακό στρώμα πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 12 Ohm.m)</li>
- Στρώμα ενδιάμεσων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 76 Ohm.m) μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 36 και 54
- Γεωηλεκτρικό υπόβαθρο (ρ<sub>α</sub> > 112 Ohm.m)



Εικόνα 4.6δ: Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

#### Γεωηλεκτρική τομή 32-42

- Επιφανειακό στρώμα πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 11 Ohm.m)</li>
- Στρώμα χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 33 Ohm.m) μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 32 και 18
- Στρώμα ενδιάμεσων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha}$ < 87 Ohm.m) σε ασυμφωνία σε με το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο στα 3000 m
- Γεωηλεκτρικό υπόβαθρο (ρ<sub>α</sub> > 89 Ohm.m)



Εικόνα 4.6ε: Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

#### <u>Γεωλεκτρική τομή 35-28</u>

- Επιφανειακό στρώμα πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 9 Ohm.m)
- Στρώμα ενδιάμεσων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρα< 23 Ohm.m)
- Γεωηλεκτρικό υπόβαθρο με εμφάνιση στη θέση βαθοσκόπησης 37 (ρ<sub>α</sub>≈ 174 Ohm.m)



Εικόνα 4.6στ: Ποσοτική ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων

#### Γεωηλεκτρική τομή 34-44

- Επιφανειακό στρώμα πολύ χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης (ρ<sub>α</sub>< 3 Ohm.m)</li>
- Στρώμα χαμηλών τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha}$ < 16 Ohm.m)
- Εμφάνιση φακού ενδιάμεσων τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης ( $\rho_{\alpha}$ < 28 Ohm.m)
- Γεωηλεκτρικό υπόβαθρο μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 43 και 44.

 Η επαφή του στρώματος χαμηλών τιμών με το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο υποδηλώνει πιθανή γεωηλεκτρική ασυνέχεια.

# 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με βάση τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (ποιοτική και ποσοτική επεξεργασίαερμηνεία, βλέπε Κεφάλαιο 4) και σε συνδυασμό με τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (βλέπε Παράγραφο 1.3) κατασκευάστηκαν:

- Η Γεωλογική Γεωηλεκτρική Τομή 1\_9 (Εικόνα 5.1)
- Η Γεωλογική Γεωηλεκτρική Τομή 36\_30 (Εικόνα 5.2)

Στις τομές των Εικόνων 5.1 και 5.2 αναδεικνύονται τρεις διαφορετικοί λιθολογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους:

#### <u>Γεωλογική – Γεωηλεκτρική Τομή 1-9:</u>

- Ο γεωηλεκτρικός σχηματισμός των 78-657 Ohm.m αντιστοιχεί στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης και εντοπίζεται σε όλο το μήκος της τομής. Το μεγάλο εύρος τιμών φαινόμενης ειδικής αντίστασης οφείλεται στην ποικιλία των γεωλογικών σχηματισμών που απαρτίζουν το αλπικό υπόβαθρο, το οποίο αποτελείται από εναλλαγές ανθρακικών, σχιστολιθικών και γνευσιοσχιστολιθικών πετρωμάτων. Στις θέσεις των βαθοσκοπήσεων 8 και 9 οι πολύ μεγάλες τιμές φαινόμενης ειδικής αντίστασης, κοντά στην επιφάνεια, οφείλονται στην ύπαρξη επιφανειακού ασβεστολίθου (ασβεστόλιθος Αν.Κενομάνιου-Μ.Σενώνιου) που εμφανίζεται κοντά σε αυτές.
- Μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 1 έως 8 εμφανίζεται ο γεωηλεκτρικός σχηματισμός των 20-68 Ohm.m, που αντιστοιχεί σε μεταλπικό σχηματισμό. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τους σχηματισμούς του Νεογενούς, αποτελούμενους από ποταμοχερσαίες αποθέσεις με μάργες, αργίλους, άμμο και κροκάλες.
- Ο επιφανειακός γεωηλεκτρικός σχηματισμός των 4-14 Ohm.m που εμφανίζεται μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 2 και 9 αντιστοιχεί στους σχηματισμούς του Τεταρτογενούς, δηλαδή στις αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαίνου και τα λιμναία ιζήματα της τέως λίμνης Κάρλας.



Εικόνα 5.1: Γεωλογική – Γεωηλεκτρική Τομή 1-9

#### Γεωλογική – Γεωηλεκτρική Τομή 36-30:

- Από τα 4.500 m έως τα 10.300 m εμφανίζεται ο γεωηλεκτρικός σχηματισμός των 112-164 Ohm.m και αντιστοιχεί στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, το οποίο αποτελείται από εναλλαγές ανθρακικών, σχιστολιθικών και γνευσιοσχιστολιθικών πετρωμάτων.
- Μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 36 έως 17 εμφανίζεται ο γεωηλεκτρικός σχηματισμός των 19-76 Ohm.m, ο οποίος συναντά ασύμφωνα το αλπικό υπόβαθρο και αντιστοιχεί στους σχηματισμούς του Νεογενούς, δηλαδή σε ποταμοχερσαίες αποθέσεις με μάργες, αργίλους, άμμο και κροκάλες.
- Τέλος, μεταξύ των βαθοσκοπήσεων 54 και 30 εμφανίζεται ο επιφανειακός γεωηλεκτρικός σχηματισμός των 2-12 Ohm.m που αντιστοιχεί στους σχηματισμούς του Τεταρτογενούς. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαίνου και λιμναία ιζήματα της τέως λίμνης Κάρλας.



Εικόνα 5.2: Γεωλογική – Γεωηλεκτρική Τομή 36-30

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Caputo R., 1995. Inference of a seismic gap from geological data: Thessaly (Central Greece) as a case study. Annali di Geofisica. Vol. XXXVIII, N. 1, March 1995.

Caputo R., Bravard J.P., Helly Br. Η Ανατολική Θεσσαλική πεδιάδα-Μεταβολές των ιστορικών τοπίων και η προσχωματική εξέλιξη.

- ITE (Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών). Re-evolution of the dynamics of the Thessalian Neolithic period: Habitation Patterns and Resource Management.
- IX1D v3 Instruction Manual, 2008
- Koefoed O., 1979. Resistivity measurements, Geosounding principles 1. Elsevier, New York.
- Kontogianni V., Pytharouli S., Stiros S., 2007. Ground subsidence, Quaternary faults and vulnerability of utilities and transportation networks in Thessaly, Greece.
- Orellana E. & Mooney H.M, 1966. Master table and curves for vertical electrical sounding over layered structures. Madrid.
- Αλεξόπουλος Ι., Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σημειώσεις μαθήματος Γεωφυσικής, Κεφάλαιο 6: Η Γεωηλεκτρική Μέθοδος.
- Αλεξόπουλος Ι., Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σημειώσεις εργαστηρίου Γεωφυσικής, Ηλεκτρική Μέθοδος Διασκόπησης.
- Αποστολόπουλος Γ., 1993. Γεωφυσικές έρευνες στη λεκάνη του Σπερχειού ποταμού. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστρικαό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.
- ΙΓΜΕ 1976-1977 (Κατσικάτσος Γ., Μυλωνάκη Ι., Βιδάκη Μ., Παπαδέα Γ., Hecht J.,) Γεωλογικός Χάρτης, Φύλλο Βόλος, Κλίμακας 1:50.000.
- ΙΓΜΕ 1977-1978 (Κατσικάτσος Γ., Βιδάκη Μ., Μιγκίρο Γ.,) Γεωλογικός Χάρτης, Φύλλο Πλατύκαμπος, κλίμακας 1:50.000.
- IFME 1977-1978 (Κατσικάτσος Γ., Μυλωνάκη Ι., Τριανταφύλλη Ε., Παπαδέα Γ., Ψώνη Κ.,) Γεωλογικός Χάρτης, Φύλλο Βελεστίνο, Κλίμακας 1:50.000.
- ΙΓΜΕ 1978-1979 (Μιγκίρο Γ., Βιδάκη Μ.,) Γεωλογικός χάρτης, Φύλλο Αγιά, κλίμακας 1:50.000.
- Λέκκας Ε., Χατζηνάκος Ι., Βασιλείου Ι., 1991. Τα κατολισθητικά φαινόμενα της Ανατολικής Θεσσαλίας (Καταγραφή, Ταξινόμηση, Αίτια, Επιπτώσεις, Αντιμετώπιση). 1° Επιστημονικό Συνέδριο-Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον, Πάτρα.
- Μουμού Χ., 2007. Η δράση των χειμάρρων της λεκάνης της Κάρλας σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.
- Μουντράκης Δ. 1985. Γεωλογία Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- Τσελέντης Α., Παρασκευόπουλος Π. 2013. Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Εκδόσεις Liberal Books, Αθήνα.