



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων της περιοχής
Φραγκοκάστελλο, Ν. Χανίων»**



Χειμώνα Θεόδωρου

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Ε. Μανούτσογλου (Επιβλέπων),
Καθ. Αντ. Βαφείδης
Επ. Καθ. Μ. Σταυρουλάκη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

Χανιά, Σεπτέμβριος, 2015

Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Φραγκοκάστελλο είναι μεσαιωνικό κάστρο που χτίστηκε στο διάστημα 1371-74 από τους Βενετούς σε μια στενή παράκτια ζώνη στο νοτιοανατολικό τμήμα των Λευκών Όρεων, περίπου 12 χιλιόμετρα ανατολικά της Χώρας Σφακίων. Αυτό το τμήμα χαρακτηρίζεται από ένα έντονο μορφολογικό ανάγλυφο που η δημιουργία του καθορίστηκε από την κινητικότητα κανονικών ρηγμάτων με γενικές διευθύνσεις Α-Δ, ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ. Την περιοχή ενδιαφέροντος δομούν επιφανειακά ακολουθίες (κυρίως θαλάσσιες) του Τορτονίου, του Κάτω Πλειοκαίνου και του Κατώτερου Πλειστόκαινου. Από το Μέσο Πλειστόκαινο πολλαπλές συμφύσεις αλλουβιακών ριπιδίων κάλυψαν τόσο το αλπικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής που αποτελείται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων, της ενότητας Τρυπαλίου και της Φυλλιτικής Χαλαζιακής Σειράς καθώς και τους νεότερους σε ηλικία σχηματισμούς. Στρογγυλωμένα και γωνιώδη κλάσματα πετρωμάτων των αλπικών αλλά και μεταλπικών σχηματισμών που μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν εντός των διαφόρων τμημάτων των αλλουβιακών ριπιδίων αποτέλεσαν τους δομικούς λίθους για της κατασκευή του κάστρου. Το μικροκλίμα της περιοχής και η έντονη τεκτονική δραστηριότητα που σχετίζεται με σχετικά υψηλούς ρυθμούς ανύψωσης των ρηξιτεμαχών στην περιοχή, επηρέασαν καθοριστικά όχι μόνο την στατική του κάστρου αλλά και την αντοχή στην αποσάθρωση των δομικών του λίθων μετά την φυσική αποψίλωση μεγάλων τμημάτων του κονιάματος του εξωτερικού της τοιχοποιίας.

Με βάση τα ανωτέρω στόχος της εργασίας αυτής αποτέλεσε αρχικά η συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων σχετικών με την στρωματογραφία και τεκτονική της περιοχής. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων με εργασίες πεδίου βοήθησε στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων γεωφυσικής διασκόπησης που πραγματοποιήθηκε εντός και πέριξ του κάστρου, για τον καθορισμό κυρίως ζωνών ασυνεχειών του ανθρακικού στρώματος πάχους μερικών μέτρων, πάνω στο οποίο εδράζεται το κάστρο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνδυαζόμενα με τα αποτελέσματα

από την καταμέτρηση και στατιστική επεξεργασία των διαφόρων λιθολογικών τύπων των δομικών υλικών του κάστρου μπορούν να αποτελέσουν δεδομένα εισαγωγής μοντέλων στατικότητας, στα πλαίσια των προτάσεων συντήρησης και αποκατάστασης του μνημείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και παρότι μπορεί να είναι ατομική, είναι αποτέλεσμα μια συλλογικής προσπάθειας. Έτσι φτάνοντας στο τέλος της συγγραφής της θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά ορισμένους ανθρώπους που συνέλαβαν στην ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την καθοδήγηση και εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αναθέτοντας μου την παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνιο και την επίκουρο καθηγήτρια κα. Μαρία Σταυρουλάκη από την Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τους ευχαριστώ θερμά για τις συμβουλές, παρατηρήσεις και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν καθόλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Που ως επακόλουθο οι δικές τους γνώσεις να εμπλουτίσουν τις δικές μου.

Την αρχιτεκτονική ομάδα Πολυτεχνείου Κρήτης του επίκουρου καθηγητή κ. Σκουτέλη Νίκου για την μεγάλη βοήθεια που μου πρόσφεραν στα προγράμματα σχεδιασμού. Τον υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης Πυλιώτη Ιωάννη για την μεγάλη και πολύτιμη βοήθεια τους σε όλα τα στάδια της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τους κ.κ. Ανδρονικίδη Νικόλαο, Δρ. Γεώργιο Κρητικάκη και Δρ. Οικονόμου Νικόλαο, του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την βοήθεια που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια της συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων. Για την παροχή φωτογραφικού υλικού ευχαριστώ ιδιαίτερα τους Επίκουρο καθηγητή κ. Παρτσινέβελο Παναγιώτη της

Σχολής μας και την Αναπληρώτρια καθηγήτρια κα. Μαραβελάκη Παγώνα της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ευχαριστώ θερμά τις φίλες μου Αιμιλιάννα, Άννα, Κυριακή Ι, Κυριακή Β, Στεφανία, Χρυσούλα και Μαρία. Τους φίλους μου Στέλιο, Γεώργιο, Βαγγέλη, Μάριο και Νίκο για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση τους.

Και τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά την οικογένεια μου. Τον πατέρα μου Γεώργιο, την μητέρα μου Στέλλα. Τα αδέρφια μου Απόστολο, Αγαθάγγελο-Νίκη και την αδελφή μου Ελένη για την συνεχή υποστήριξη που μου παρείχαν, είτε υλική είτε ηθική και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου, όπου χωρίς αυτά δεν θα είχα καταφέρει να τις ολοκληρώσω.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΔΩΝ ΟΡΟΣΕΙΡΩΝ.....	5
2.1 Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης.....	8
2.1.1 Περί των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων και της ενότητας Τρυπαλίου	14
3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	22
3.1 ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ	26
4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	32
5 ΔΟΜΕΣ ΤΑΦΟΝΙ.....	39
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
6 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΙΣΗ.....	43
6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	43
6.1.1 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	51
6.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	54
6.2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	55
6.2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	56
6.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	59
6.3.1 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Res2dinv	59
6.3.2 ΔΙΣΔΙΑΤΑΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager2D	66
6.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ Res2dinv και EarthImager2D	74

6.3.4	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RockWorks	75
6.3.5	EarthImager3D.....	77
7	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ – ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	85
8	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	95
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	98
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	106
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	114
	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Resdin και EarthImager 2D.....	118
	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager3D	126

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολιτιστική Κληρονομιά ("εθνική κληρονομιά" ή απλά κληρονομιά) είναι το κληροδότημα από φυσικά αντικείμενα (πολιτιστική ιδιοκτησία-περιουσία) και από άυλα χαρακτηριστικά μιας ομάδας ή κοινωνίας, τα οποία έχουν κληροδοτηθεί από τις παλαιότερες γενιές και διατηρούνται στο παρόν ενώ παράλληλα παραχωρούνται στο μέλλον για να επωφεληθούν οι επόμενες γενιές. Συχνά όμως, αυτό που θεωρείται πολιτιστική κληρονομιά από τη μια γενιά μπορεί να απορριφθεί από την επόμενη γενιά, και να αναβιώσει με επιτυχία από την επόμενη γενιά επειδή το θεωρούν να αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της ταυτότητάς τους. Ως πολιτιστική κληρονομιά θεωρείται ότι είναι:

Μνημεία: αρχιτεκτονικά έργα, έργα μνημειακής γλυπτικής και ζωγραφικής, στοιχεία ή δομές αρχαιολογικής φύσης, επιγραφές, κατοικίες σπηλαίων, και συνδυασμών των χαρακτηριστικών αυτών, τα οποία έχουν εξαιρετική παγκόσμια αξία από την άποψη της ιστορίας, της τέχνης και της επιστήμης.

Κτιριακές ομάδες: ομάδες κτιρίων ή ξεχωριστά κτίρια τα οποία συνδέονται, λόγω της αρχιτεκτονικής τους, την ομοιογένειά τους ή τη θέση τους στο τοπίο, και θεωρούνται να έχουν εξαιρετική παγκόσμια αξία από την άποψη της ιστορίας, της τέχνης και της επιστήμης.

Τοποθεσίες: ανθρώπινα έργα ή τα συνδυασμένα έργα της φύσης και του ανθρώπου, καθώς και περιοχές συμπεριλαμβανομένων των αρχαιολογικών χώρων που έχουν εξαιρετική παγκόσμια αξία από την ιστορική, αισθητική, εθνολογική ή ανθρωπολογική άποψη. (Άρθρο 1 της Σύμβασης Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO [1],[2].

Η επαρχία των Σφακίων αποτελεί έως σήμερα μια δυσπρόσιτη τοποθεσία. Ο επιβλητικός όγκος των Λευκών Ορέων δεσπόζει στην περιοχή και έχει καθορίσει αποφασιστικά την ιστορία του τόπου. Το ανατολικό τμήμα της επαρχίας παρουσιάζει ωστόσο μια διαφορετική εικόνα. Ο ορεινός όγκος δε φτάνει έως τη θάλασσα, δημιουργώντας μια εκτεταμένη πεδινή έκταση. Τη μεγάλη αυτή εύφορη έκταση εκμεταλλεύτηκαν διαχρονικά οι κάτοικοι της περιοχής.

Επιφανειακές έρευνες στην ευρύτερη περιοχή του Φραγκοκάστελλου έχουν εντοπίσει ίχνη ανθρώπινης παρουσίας ήδη από τα προϊστορικά χρόνια. Εκτεταμένες φαίνεται να ήταν και οι ρωμαϊκές θέσεις, όπως αποδεικνύουν η κεραμική και τα αρχιτεκτονικά λείψανα. Η ακμή του χώρου φαίνεται ότι συνεχίστηκε και κατά τα πρωτοβυζαντινά χρόνια.

Η Βενετοκρατία βρίσκει τους κατοίκους της περιοχής να αντιστέκονται στο νέο κατακτητή, με επικεφαλής τις παλιές βυζαντινές οικογένειες των Πατέρων και των Παπαδόπουλων. Από το 1340 οι βενετοί φεουδάρχες των Χανίων ζητούν την κατασκευή φρουρίου στη θέση Άγιος Νικήτας, αφενός για να προστατεύουν τα παράλια από τις πειρατικές επιδρομές και αφετέρου για να ελέγχουν τους ανυπότακτους ντόπιους. Το 1371 ξεκίνησε η οικοδόμηση φρουρίου, το οποίο ολοκληρώθηκε το 1374 κάτω από δύσκολες συνθήκες αφού οι ντόπιοι συνέχισαν να αντιδρούν. Ουσιαστικά το Φραγκοκάστελλο, όπως ονομάστηκε, δεν εξυπηρέτησε ποτέ το σκοπό για τον οποίο χτίστηκε και υπήρχαν μεγάλες περίοδοι όπου ήταν χωρίς φρουρά.

Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας το Φραγκοκάστελλο συνέχισε να έχει την ίδια τύχη και να ερειπώνεται χωρίς καμία χρήση. Το Μάιο του 1828 κατά τη διάρκεια επανάστασης εναντίων των Τούρκων, οχυρώθηκε στο κάστρο ο οπλαρχηγός Χατζή Μιχάλης Νταλιάνης μαζί με περίπου 700 άντρες. Ακολούθησε άγρια μάχη με το στρατό του Μουσταφά Ναϊλή Πασά, που πολιορκήσε το κάστρο. Όσοι από τους σφακιανούς πολεμιστές δεν σκοτώθηκαν, παραδόθηκαν και ο Μουσταφά ανατίναξε το κάστρο για να μην ξαναχρησιμοποιηθεί. Ο ίδιος όμως λίγα χρόνια αργότερα το επισκεύασε.

Στα χρόνια που ακολούθησαν τα φρούριο και ο κάμπος ερήμωσαν. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο η περιοχή αναπτύσσεται κυρίως τουριστικά.

Στο κέντρο της πεδιάδας δεσπόζει το βενετσιάνικο κάστρο του Φραγκοκάστελλου. Χτισμένο το 1371-1374, αποτελούσε τη βάση μιας βενετικής στρατιωτικής δύναμης, η οποία ουσιαστικά ποτέ δεν εγκαταστάθηκε στο κάστρο. Έχει δεχτεί πολλές μετασκευές, κυρίως κατά την περίοδο 1866-1869 από το Μουσταφά Ναϊλή Πασά, ωστόσο δεν παρουσιάζει έντονες διαφορές σε σύγκριση με τα σχεδιαγράμματα της Βενετοκρατίας [3.]

Στη σημερινή του μορφή το Φραγκοκάστελλο δεν παρουσιάζει έντονες διαφορές συγκριτικά με τις απεικονίσεις του στα βενετικά σχέδια. Ακολουθεί τις παλιές οχυρωματικές αντιλήψεις, πριν δηλαδή των επικράτησης του "προμαχωνικού συστήματος", το οποίο θα φτάσει στην Κρήτη πριν τα μέσα του 16ου αιώνα. Πρόκειται για ένα ορθογώνιο κτίσμα με κατακόρυφα τείχη και τετράπλευρους πύργους στις 4 γωνίες, από τους οποίους ο νοτιοδυτικός είναι πολύ μεγαλύτερος. Οι πύργοι και τα τείχη καταλήγουν σε οδοντωτές πολεμίστρες. Η κύρια είσοδος βρισκόταν νότια. Στη σημερινή της μορφή όμως αποτελεί ανακατασκευή του 19ου αιώνα. Πάνω από αυτό το άνοιγμα βρίσκονταν ενσωματωμένα στην τοιχοποιία 4 οικόσημα επιφανών βενετικών οικογενειών. Από αυτά σώζονται τα δύο των οικογενειών Querini και Dolfin. Πάνω από τα οικόσημα βρίσκεται το λιοντάρι του Αγίου Μάρκου. Μια ακόμη είσοδος ανοίγεται στα ανατολικά.

Οι τρεις μικροί πύργοι σώζονται με αρκετές φάσεις ανακατασκευών, κυρίως στους ορόφους. Από τα σωζόμενα παλιά στοιχεία φαίνεται ότι το ισόγειο ήταν καμαροσκέπαστο και το ανώτερο τμήμα ανακατασκευάστηκε πολλές φορές με μεσοπατώματα και χωμάτινο δώμα στον όροφο. Αντίθετα ο μεγαλύτερος πύργος διατηρείται με μικρότερες επεμβάσεις. Ο πύργος αυτός αποτελούσε ένα ιδιαίτερο αμυντικό στοιχείο του φρουρίου, καθώς είχε τη δυνατότητα να χωρέσει μεγαλύτερο αριθμό πολεμιστών και είχε και μεγαλύτερη ορατότητα.

Τα ισόγεια κτίσματα που διατηρούνται στην εσωτερική αυλή είναι ανακατασκευασμένα σχετικά πρόσφατα πάνω στα υπολείμματα των τοίχων της τελευταίας οικοδομικής φάσης. Πρόκειται για συνεχόμενους ορθογώνιους χώρους που προορίζονταν για τη στέγαση των στρατιωτών αλλά και για άλλες χρήσης (αποθήκες, μαγειρεία κτλ). Ανάλογη μορφή πρέπει να είχαν και κατά τη Βενετοκρατία όπως φαίνεται στους χάρτες της περιόδου. Στους χάρτες αυτούς παρουσιάζεται επίσης ο ναός του Αγίου Μάρκου μέσα στον περίβολο του φρουρίου. Ωστόσο ο G. Gerola επισήμανε ότι τα ερείπια του ναού βρίσκονταν έξω από το κάστρο στη νότια πλευρά του. Πρόκειται για τα θεμέλια τοίχων μικρού κτίσματος που φέρουν ίχνη τοιχογράφησης. Ο ναός καταστράφηκε κατά την επισκευή του κάστρου από το Μουσταφά Ναϊλή Πασά.

Στο Φραγκοκάστελλο έχουν γίνει όπως προαναφέρθηκε, εκτεταμένες κατά καιρούς ανακατασκευές. Η πρώτη αναφέρεται στα 1593-1597 από το γενικό

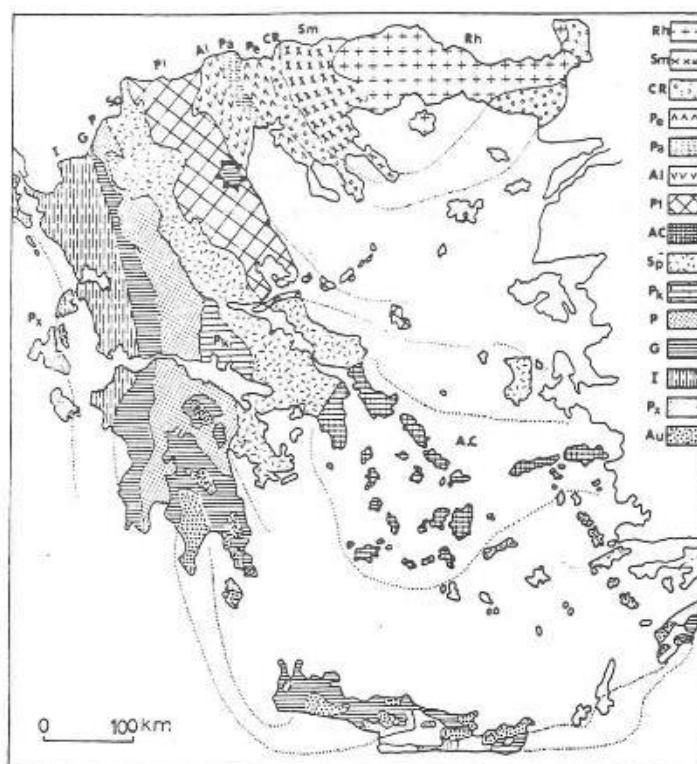
προβλεπτή Nicolò Dona, ενώ λίγα χρόνια αργότερα μεγάλης έκτασης επισκευές έκανε και ο προβλεπτής Σφακίων. Το 1645, κατά τη διάρκεια εχθροπραξιών με τους Τούρκους για την κατάληψη της Κρήτης, διατέθηκαν 1000 λίρες για στερεωτικές εργασίες. Οι πλέον εκτεταμένες όμως επεμβάσεις έγιναν από το Μουσταφά πασά κατά τη διάρκεια της κρητικής Επανάστασης του 1866-1869[4].

Από την έντονη σεισμικότητα της περιοχής η οποία συνδέεται και με μια σειρά ενεργών ρηγμάτων και μια ενεργό τεκτονική ήδη από το Τορτόνιο 11,6 - 7,2 εκατ. χρόνια) το κάστρο παρουσιάζει θέσεις θραυσιγενούς παραμόρφωσης των τοιχίων του κατά θέσεις εσωτερικά, κατά θέσεις εξωτερικά αλλά και με θέσεις όπου η παραμόρφωση διαπερνά το εξωτερικό και εσωτερικό τοίχιο. Οι διαστάσεις των διαρρήξεων - ρωγματώσεων διαφέρουν από θέση σε θέση ως προς τα μεγέθη μήκους και πλάτους των διαρρήξεων. Η μεγαλύτερη παρατηρείται στο βόρειο τοίχιο του βοριοδυτικού πύργου.

Με βάση τα ανωτέρω στόχος της εργασίας αυτής αποτέλεσε αρχικά η συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων σχετικών με την στρωματογραφία και τεκτονική της περιοχής. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων με εργασίες πεδίου βοήθησε στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων γεωφυσικής διασκόπησης που πραγματοποιήθηκε εντός και πέριξ του κάστρου, για τον καθορισμό κυρίως ζωνών ασυνεχειών του ανθρακικού στρώματος πάχους μερικών μέτρων, πάνω στο οποίο εδράζεται το κάστρο. Επιπρόσθετα καταβλήθηκε προσπάθεια για μια πρώτη στατιστική προσέγγιση των κλασμάτων πετρωμάτων, τα οποία αποτέλεσαν τους δομικούς λίθους στην κατασκευή του κάστρου.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΔΩΝ ΟΡΟΣΕΙΡΩΝ

Οι ερευνητές σήμερα στηριζόμενοι στις νέες απόψεις της Θεωρίας των Λιθοσφαιρικών Πλακών δέχονται σχεδόν ομόφωνα την άποψη ότι η πλειονότητα των Αλπικών σχηματισμών της νήσου Κρήτης ανήκουν σε έναν ευρύτερο χώρο, τον χώρο των Εξωτερικών Ελληνίδων αλλά στην δομή της συμμετέχουν και γεωτεκτονικές ζώνες των Εσωτερικών Ελληνίδων. Οι γεωτεκτονικές ζώνες του Ελλαδικού χώρου (Σχήμα 2-1) διακρίθηκαν ήδη από τον Brunn (1956) σε Εξωτερικές και Εσωτερικές με βάση κυρίως τον ορογενετικό τεκτονισμό που οι σχηματισμοί των ζωνών αυτών έχουν υποστεί. Ποιο ειδικά, οι σχηματισμοί των Εξωτερικών ζωνών έχουν υποστεί κατά το Τριτογενές ένα μόνο ορογενετικό τεκτονισμό και κατέχουν το δυτικό και νότιο τμήμα του Ελλαδικού χώρου, ενώ οι σχηματισμοί των Εσωτερικών, εκτός από τον τεκτονισμό του Τριτογενούς, έχουν υποστεί επιπλέον και έναν πρώιμο ορογενετικό τεκτονισμό, που έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Κρητιδικό, και κατέχουν το ανατολικό (εσωτερικό) τμήμα του Ελλαδικού χώρου.

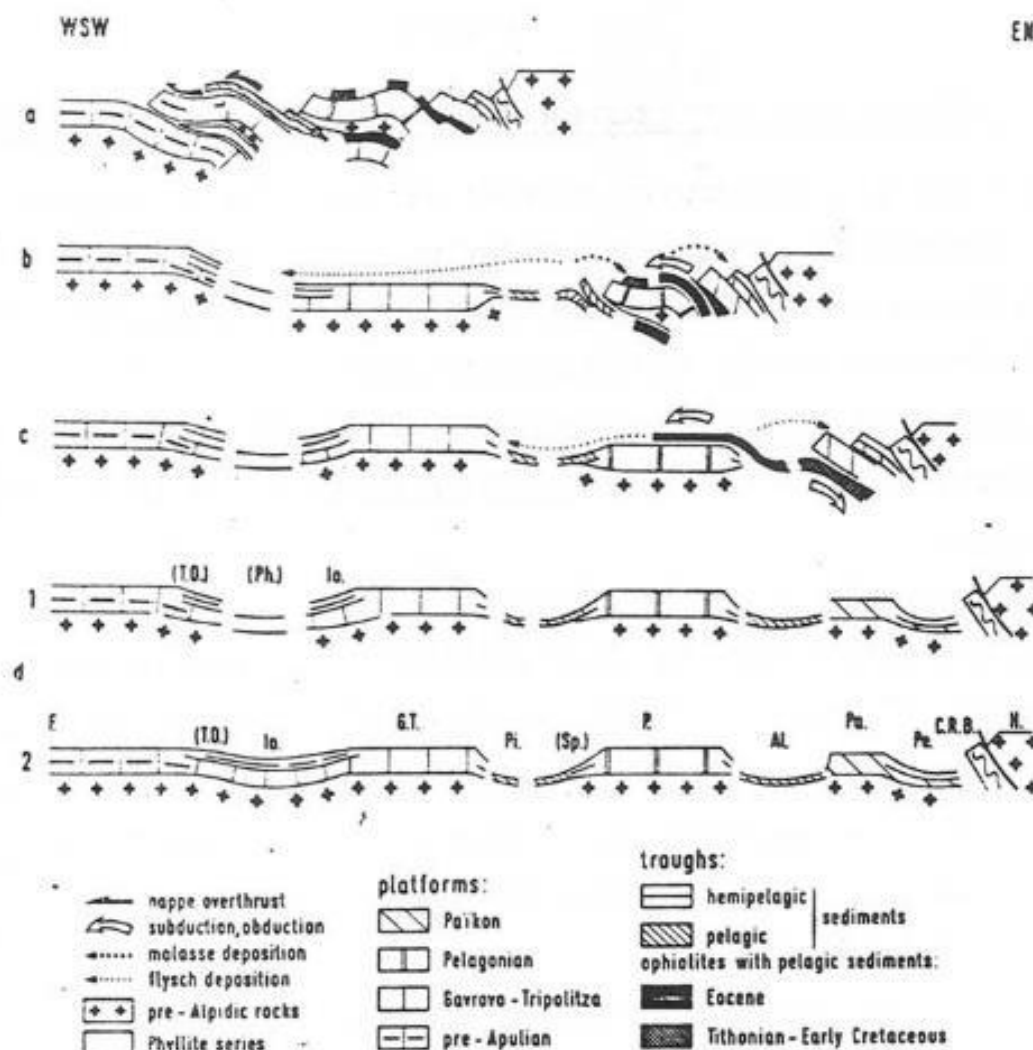


Σχήμα 2-1.Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. (Κατά Μουντράκη et al. 1983, από J.Mercier, J.Brunn, J.Aubouin et al., 1971)

Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων αποτελούν παλαιογεωγραφικούς χώρους του «Παλαιοωκεανού» της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της ηπειρηπείρου της Παγγαίας ενός ηπειρωτικού τεμάχους που δημιουργήθηκε κατά την Βαρίσκια Ορογένεση. Μέσα στο ωκεάνιο χώρο της Τηθύος η ανάπτυξη μεσοωκεάνιας ράχης που λειτούργησε στο Λιάσιο-Δογγέριο του Ιουρασικού οδήγησε στην διάσπαση της Παγγαίας, στην δημιουργία δύο νέων ηπειρωτικών τεμαχών, της Λαυρασίας και της Γκοτβάνας και ταυτόχρονα στην υποβύθιση του ωκεάνειου φλοιού της Τηθύος κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της Λαυρασίας. Το τελευταίο γεγονός που ξεκίνησε το Μέσο Ιουρασικό και ολοκληρώθηκε το Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό οριοθετεί την απαρχή του τελευταίου Ορογενετικού κύκλου του Αλπικού και ταυτόχρονα για τον Ελληνικό χώρο, την διαφοροποίηση και την τεκτονική εξέλιξη των γεωτεκτονικών Ζωνών των Ελληνίδων οροσειρών.

Από τα πρωταρχικά και σημαντικά ερωτήματα με τα οποία απασχολήθηκε η παγκόσμια γεωεπιστημονική κοινότητα ήταν και παραμένει η ακριβής θέση και τα όρια του «μητρικού» αυτού ωκεανού της Τηθύος. Ειδικότερα για τον ευρύτερο χώρο της Ελλάδας το πρόβλημα εντοπίσθηκε από την αρχή της διάδοσης και εφαρμογής της νέας θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών στο θέμα, με ποια από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας ταυτίζεται ο ωκεανός της Τηθύος ή καλύτερα ποια ζώνη έχει τους σχηματισμούς που αντιπροσωπεύουν τον κατεστραμμένο ωκεάνιο φλοιό της Τηθύος. Η πρώτη τάση που αναπτύχθηκε στους γεωεπιστήμονες τη δεκαετία του 1970, στο ξεκίνημα της νέας θεωρίας, ήταν ότι ο ωκεάνιος χώρος της Τηθύος ταυτίζονταν με τη ζώνη Ωλονού-Πίνδου που είχε θεωρηθεί από την παλιότερα ισχύουσα «Θεωρία των συζυγών Γεωσυγκλίσεων» ως ο τυπικός ωκεάνιο χώρος, το "Ελληνικό ευγεωσύγκλινο". Σε αντίθεση με την γενικευμένη αυτήν αντίληψη το πρώτο γεωδυναμικό μοντέλο που προτάθηκε για την εξέλιξη των Ελληνίδων είναι των Jacobs Hagen et al. (1976) και το οποίο προβλέπει την ύπαρξη των ωκεάνιων λεκανών Παιονίας, Αλμωπίας, Υποπελαγονικής - Πίνδου και της Φυλλιτικής σειράς μεταξύ Ιονίου ζώνης και «Πλακωδών Ασβεστολίθων» (Plattenkalk) Σχήμα 2.2. Οι ωκεάνιες αυτές λεκάνες λειτούργησαν σταδιακά και έκλεισαν διαδοχικά από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά από το Μάλμιο μέχρι το

Μειόκαινο προκαλώντας την μετακίνηση της τεκτογένεσης προς τα Δυτικά επηρεάζοντας διαδοχικά τις Εσωτερικές και Εξωτερικές γεωτεκτονικές Ζώνες.



Σχήμα 2-2. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al. 1978).

- Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου.
- Περίοδος Μέσου - Ανω Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολάσσας στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αξιού".
- Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιροδοπική ζώνη και την

Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική.

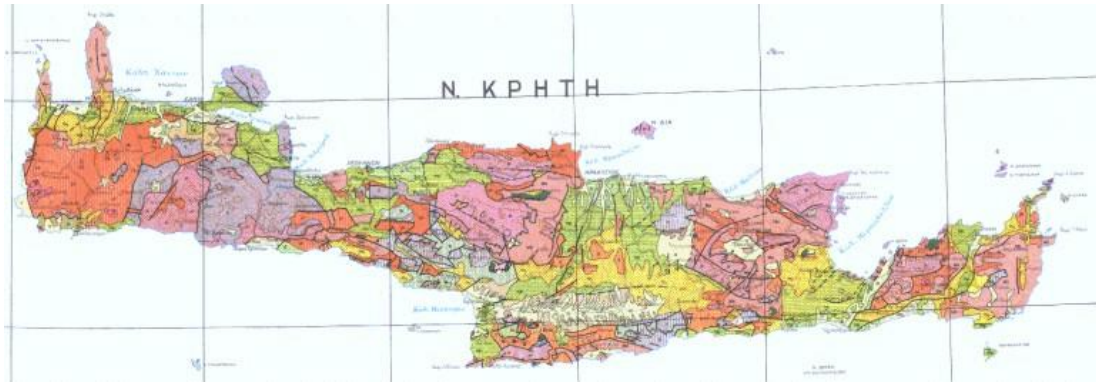
d) Περίοδος Μέσου - Ανω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιροδοπική ορογένεση.

Al = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιροδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, H = Ενδοχώρα, Io = Ιόνιος, P = Πελαγονική, Pa = Πάικου, Pe = Παιονίας, Ph = λεκάνη φυλλιτών, Pi = Πίνδου, Sb = Υποπελαγονική, T.O. = Σειρά Plattenkalk.

Στο παλαιογεωγραφικό χώρο των εξωτερικών ζωνών των Εξωτερικών Ελληνίδων και ειδικότερα στις ζώνες Παξών και Ιονίου, πάνω από την εβαποριτική ακολουθία ακολούθησε μεγάλου πάχους ανθρακική ιζηματογένεση με παρεμβολές κερατολίθων και μικρού πάχους κλαστικών σχηματισμών, μέχρι την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη κατά το Τριτογενές. Τα πετρώματα των δύο αυτών ισοπικών ζωνών εμφανίζονται σε μια ορεογραφική - χωρική διάταξη από τα βόρεια σύνορα της χώρας μέχρι την Κεντρική Πελοπόννησο. Νοτιότερα εμφανίζονται αντ' αυτών τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Εξωτερικών Ελληνίδων.

2.1 Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης

Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, οι γνώσεις μας για την γεωλογική δομή της Κρήτης έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών στα πλαίσια μεγάλου αριθμού προγραμμάτων ευρωπαϊκών και εθνικών ερευνητικών ινστιτούτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησε στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης το 1977 σε κλίμακα 1/200.000. Όπως φαίνεται στον χάρτη αυτόν αλλά και στους επόμενους που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000, Εικόνα 2-1), το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε μια ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων που για δεκαετίες ήταν γνωστή στη βιβλιογραφία σαν «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι», η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση των οποίων παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο. Παρόμοια είναι τα προβλήματα που σχετίζονται με τα καλύμματα της ενότητας του Τρυπαλίου και του Φυλλιτικού Καλύμματος.

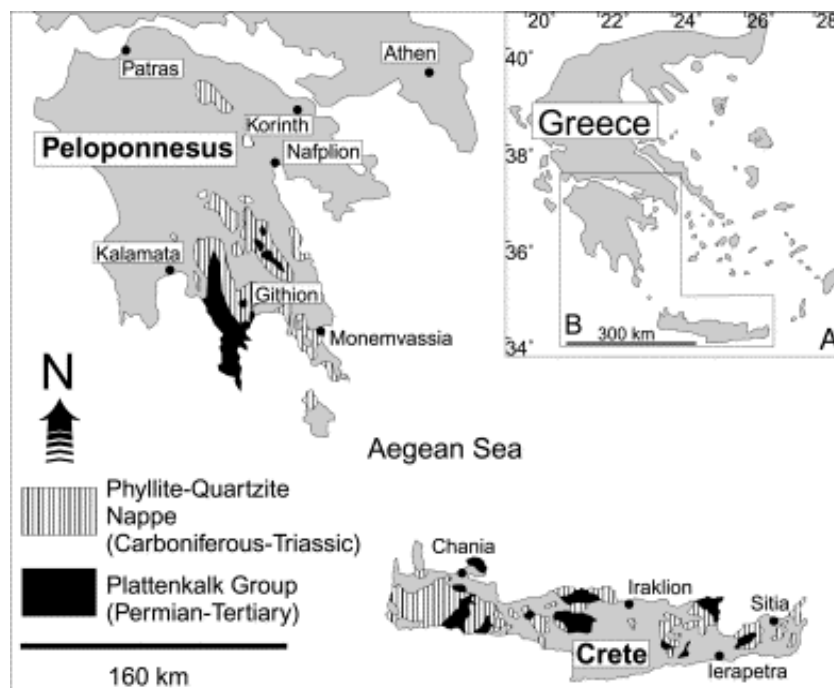


Εικόνα 2-1. Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000. με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς

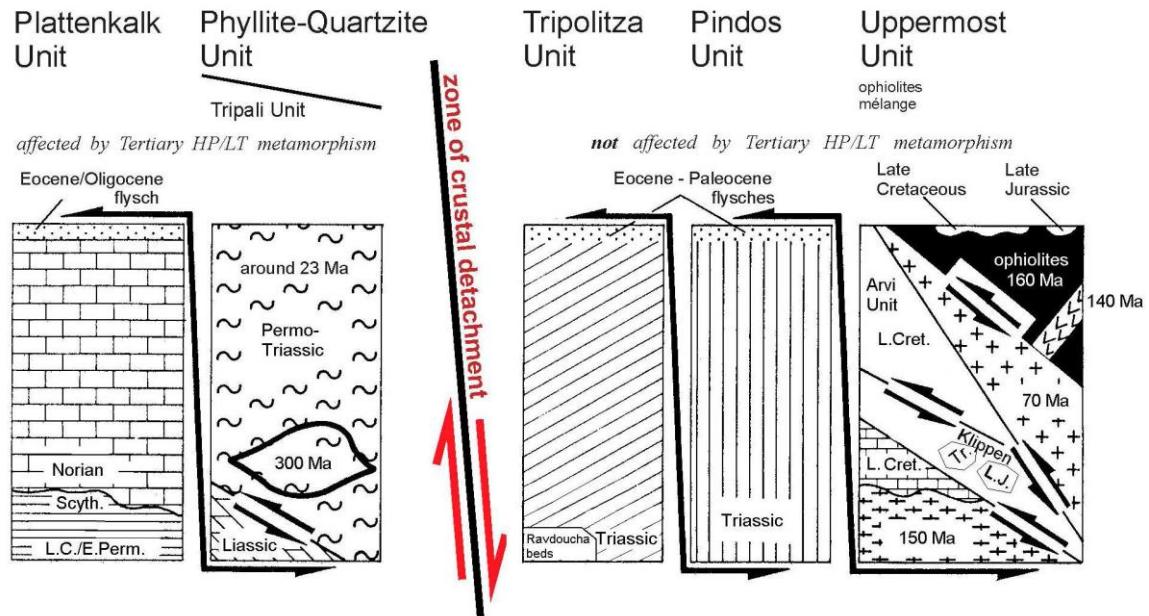
Ποιο ειδικά, η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την μεταμορφωμένη Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Ολιγόκαινο.

Με τεκτονική επαφή, ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο (παρα)αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλληπαλλήλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων, και με χαρακτηριστική λεπιοειδή διάταξη. Τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο τοποθετούνται με την ακόλουθη σειρά από το υποκείμενο προς το υπερκείμενο:

Ενότητα Τρυπαλίου αποτελούμενη από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικό έως Λιάσιο.



Εικόνα 2-2. Οι εμφανίσεις της Ομάδας Πλακωδών Ασβεστόλιθων και του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Πελοπόννησο και Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).



Εικόνα 2-3. Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982)

Ακολουθώς, η Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών (Φυλλιτικό Κάλυμμα κατά Dornsiepen & Manutsoglu 1994) με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.

Έπεται η ενότητα Τρίπολης με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχος της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.

Ακολουθεί η Ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο (Φυτρολάκης, 1980).

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες (Εικόνα 2-3) υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των **Εσωτερικών ζωνών**: ένα σύνθετο πολύμεικτο λιθοφασικά τεκτονικό σύμπλεγμα που αποτελείται από επαλληλία καλυμμάτων (Bonneau 1984). Τα

διάφορα καλύμματα τα οποία είναι επωθημένα το ένα επάνω στο άλλο από το υπερκείμενο προς το υποκείμενο είναι τα εξής:

- Οφειολιθικό κάλυμμα με σερπεντινιωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσες, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοιτιτικούς γνευσίους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.
- Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαξιλαροειδείς λάβες» ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού.

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεωρεγενετικές διεργασίες που επέδρασαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, την διαδοχή και εύρος αυτών των διεργασιών δίδονται στην βιβλιογραφία

Οι εφελκυστικές τάσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Κρήτης είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων, ως αποτέλεσμα της δράσης μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις B-N και A-Δ. Οι κυριότερες λεκάνες που πληρώθηκαν με ιζήματα του Νεογενούς είναι οι λεκάνες Ηρακλείου, Μεσσαράς, Ιεράπετρας και του βορείου τμήματος Νομών Ρεθύμνου και Χανίων. Τα νεογενή αυτά ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς και είναι χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας προέλευσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς την ηλικία τους και ως προς τη λιθολογία τους. Κατά Meulenkamp (1979) οι σχηματισμοί του Νεογενούς έχουν ομαδοποιηθεί σε λιθοφασικές ομάδες (Εικόνα 2-4):

Η Ομάδα Πρίνα αποτελείται από ασβεστολιθικά μαύρα χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή με ασβεστιτικό υλικό συγκόλλησης ενώ εμπεριέχει ολισθόλιθους προνεογενών ασβεστόλιθων. Αποτελεί τη βάση των Νεογενών ιζημάτων στις περιοχές της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, ή μεταβαίνει πλευρικά ως προς την αμέσως Νεότερη. Η ηλικία της Ομάδας Πρίνα

προσδιορίζεται στο Μέσο Μειόκαινο και το περιβάλλον απόθεσης χαρακτηρίζεται μη θαλάσσιο ως υφάλμυρο ή ρηχό θαλάσσιο (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).

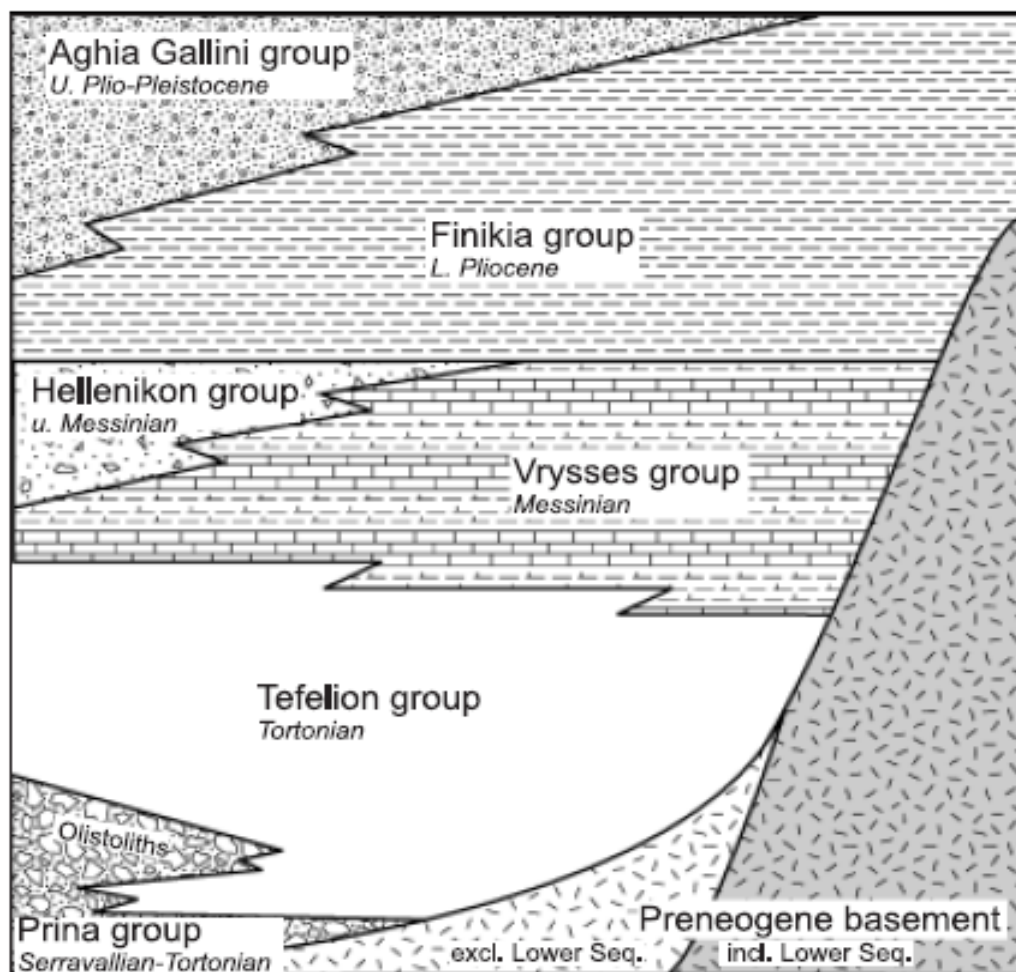
Η Ομάδα Τεφελίου τοποθετείται ασύμφωνα είτε πάνω στην Ομάδα Πρίνα, είτε απευθείας πάνω στο προνεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από χαλαρά θαλάσσια και ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ. Η ηλικία τους τοποθετείται από το Σερραβάλλιο έως το Άνω Τορτόνιο (Meulenkamp, 1979; Βασιλάκης 2006). Η Ομάδα Τεφελίου αποτελείται από τους σχηματισμούς Βιάννου, Σκινιά και Αμπελούζου.

Η Ομάδα Βρυσών συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας και τοποθετείται υπερκείμενη είτε της Ομάδας Τεφελίου είτε του αλπικού υποβάθρου. Αποτελείται από θαλάσσιους βιοκλαστικούς ή υφαλογενής ασβεστόλιθους εναλλαγές φυλλωδών και ομογενών μαργών, οι οποίες κατά τόπους εμπεριέχουν παρεμβολές γύψων. Η ηλικία της Ομάδας των βρυσών τοποθετείται στο Άνω Τορτόνιο έως το Κάτω Μεσσήνιο (Meulenkamp, 1979).

Η Ομάδα Ελληνικού παρουσιάζεται τοποθετημένη ασύμφωνα σε παλαιότερους Νεογενής σχηματισμούς ή κατά θέσεις, απευθείας επάνω στο υπόβαθρο ή επάνω στην ομάδα Βρυσών στην οποία όμως κατά τόπους παρεμβάλετε. Περιλαμβάνει ερυθρωπά χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες σχετικώς λεπτόκοκκες αποθέσεις και ενίοτε υφάλμυρες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με εμπεριεχόμενα λεπτά στρώματα γύψου. Η Ομάδα Ελληνικού αποτέθηκε κατά τη διάρκεια της κρίσης αλατότητας του Μεσσηνίου με την ηλικία της να προσδιορίζεται στο Άνω Μεσσήνιο. Στις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης δεν υπάρχουν εμφανίσεις της Ομάδας Ελληνικού.

Η Ομάδα Φοινικιάς συντίθεται από το σχηματισμό της Φοινικιάς και τοποθετείται επί των στρωμάτων της Ομάδας Ελληνικού, Βρυσών ή του προνεογενούς υποβάθρου. Αποτελείται από ανοιχτής θάλασσας αργίλους και μάργες οι οποίες ενίοτε παρουσιάζουν πυριτικές ενστρώσεις ενώ τμήμα της βάσης της Ομάδας Φοινικιάς, περιέχει ένα λατυποπαγές αποτελούμενο από ιζήματα του Μειόκαινου και του Κατώτερου Πλειόκαινου. Η ηλικία της Ομάδας της Φοινικιάς είναι Πλειοκαινική.

Η Ομάδα Αγίας Γαλήνης συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης και βρίσκεται υπερκείμενη της Ομάδας της Φοινικιάς και κατά ένα μέρος αποτελεί πλευρική αντιστοιχία της. Εμπεριέχει χονδροκλαστικά υλικά, χερσαία ερυθρά κροκαλοπαγή και ποταμοδελταϊκές άμμους και αργίλους. Αποτελεί την τελευταία ενότητα του Νεογενούς στην Κρήτη η οποία ανήκει στο Άνω Πλειόκαινο ή πιθανά στο Άνω Πλειστόκαινο (Meulenkamp, 1979; Ten Veen & Kleinspehn, 2003).



Εικόνα 2-4. Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες σχηματισμών του Νεογενούς και το προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αναφορά τη κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και την αλληλοπαρεμβολή τους (Meulenkamp, 1979)

Επάνω στους σχηματισμούς του Νεογενούς ή απευθείας στο προνεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται ασύμφωνα τα ιζήματα του Τεταρτογενούς. Πρόκειται για συγκεκολλημένους ή ασύνδετους χερσαίους σχηματισμούς η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Πλειστόκαινο και νεότερη, ενώ οι μορφές τους ποικίλουν σε πλευρικά κορήματα σε κλιτύες, σε αλλουβιακά ριπίδια στις εξόδους χειμάρρων και σε αλλουβιακές αποθέσεις (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).

2.1.1 Περί των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων και της ενότητας Τρυπαλίου

Στην προχώρα των Ελληνίδων σαν κατώτερη τεκτονικά ενότητα εμφανίζεται μια ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων που αποτελείται από μια κλαστική/ανθρακική ακολουθία του ανωπαλαιοζωικού που εξελίσσεται σε ανθρακικούς σχηματισμούς που εμπεριέχουν κερατολίθους του μεσοζωικού και μια δεύτερη κλαστική ακολουθία που χαρακτηρίστηκε από την πλειονότητα των ερευνητών σαν φλύσχη. Στην πάροδο των ετών οι διάφορες ερευνητικές ομάδες αλλά και μεμονωμένοι ερευνητές, στην προσπάθεια τους να καταγράψουν και να περιγράψουν συστηματικά τις ιδιομορφίες των διαφόρων αυτών ενοτήτων, εισήγαγαν έναν πολύ μεγάλο αριθμό ονοματολογιών: "krystallinischen Kalkeder Halbinsel Mani" (Phillipson 1892), "Plattenkalke" (Chalikiopoulos 1903), "zentralpeloponnesisch-kretisches Massiv" (Renz 1940), "Talea Ori-Serie" (Eptingetal. 1972), "Ida Zone" (Bonneau 1973, 1976), "Talea Ori-Gruppe" (Kuss&Thorbecke 1974), "Plattenkalk-Serie" (Creutzburg & Seidel 1975), «Σειρά/ Ζώνη Κρήτης – Μάνης» (Φυτρολάκης 1978,1980). Για πολλές δεκαετίες στην διεθνή βιβλιογραφία επεκράτησε η ονοματολογία του **Chalikiopoulos (1903) "Plattenkalke" (Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι)**. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτάθηκε ο όρος «Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων» (Plattenkalk-Gruppe), μετά από την συρραφή εργασιών, όπου τεκμηριώθηκε η αναγκαιότητα της εισαγωγής μιας ενιαίας ονοματολογίας, βασισμένης σε λιθοστρωματογραφικά κριτήρια (Manutsogluetal. 1995, Πίνακας 2-1).

Τα πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων εμφανίζονται στην Πελοπόννησο δομώντας τους ορεινούς όγκους του Πάρωνα, του Ταυγέτου και ολόκληρης της χερσονήσου της Μάνης. Μέσω της Κρήτης όπου και δομούν πάνω από το 70% της νήσου, (Λευκά Όρη στην Δυτική Κρήτη, Ταλλαία Όρη και Ψηλορείτης στην Κεντρική Κρήτη, Χερσόνησος της Ελούντας –Μιράμπελλου Όρη Σελένας, Δίκτυ και Όρνον Στην Ανατολική Κρήτη) και συνεχίζουν την εμφάνιση τους στην Κάσο, Κάρπαθο και Ρόδο. Ολόκληρη η ακολουθία χαρακτηρίζεται κυρίως από τεκτονική συμπίεσης με έντονη πτύχωση, λεπίωση, εφίππευσεις και συγκινηματική μεταμόρφωση (Manutsoglu 1990, Manutsoglu et al. 2003).

Πίνακας 2-1. Ονοματολογία του μεταμορφωμένου συστήματος της Κρήτης (Κατά Manutsoglu et al. 1995)

Cayeux (1902)	Wurm (1950)	Eping et al. (1972)	Bonnenu (1973)	Kuss & Thorbecke (1974)	Creutzburg & Seidel (1975)
Tripolitza-Kalk	Tripolitza-Kalk	Tripolitza-Serie	Tripolitza-Decke	Tripolitza-Flysch Tripolitza-Kalk	Tripolitza-Serie
terrains métamorphiques Schwarze Tonchiefer Obere Quarzit und Phyllitserie Cipolline und Konglomerate Untere Quarzit-Phyllitserie Phyllitische Kalk Dolomite und Rauchwacken Gipse	Phyllit-Quarzit-Tonchieferserie Kretisches Metakonglomerat Gips-Rauchwacken-Formation	Quarzite, Sericit-Quarzite, Quarzphyllite und Sericit-Chloritichiefer Tales Ori-Phyllit		Tripolitza-Gruppe Tripolitza-Phyllit Galinio-Phyllit	Phyllit-Quarzit-Tonchieferserie Gips-Rauchwacken-Formation Tripali-Einheit
Metamorphe Karbonate		Plattenkalk Stromatolithischer Dolomit Sissos-Schichten Fodele-Schichten Tales Ori-Serie	Couches de passages/Kalavros-Schichten Plattenkalk div. Formationen Ida-Zone	Kalkphyllit Tales Ori-Plattenkalk Tales Ori-Stromatolithischer Dolomit Sissos-Formation Fodele-Formation Tales Ori-Gruppe	Plattenkalk-Serie

Sannemann & Seidel (1976)	Baumann et al. (1977)	Seidel (1977)	Kopp & Ott (1977)	Fytrolakia (1978, 1980)	König & Kuss (1980)
Tripolitza-Kalk Trias-Schichten von Rawdoucha	Tripolitza-Kalk Rawdoucha-Schichten		Tripolitza-Serie Rawdoucha-Schichten	Tripolitza-Kalk/-Einheit	
Phyllit-Quarzit-Serie	Phyllit-Serie	Phyllit-Quarzit-Serie Kalamos-Sequenz	Phyllit-Serie	Phyllit-Quarzit-Einheit Tonchiefer-Karbonatserie der Tripolitza-Zone Phyllit-Quarzit-Einheit Phyllitserie der Trypali-Einheit Metakonglomerat der Kreta-Mari-Zone	
	Kalkphyllit (Kalavros) Tales Ori Plattenkalk Stromatolithischer Dolomit Sissos-Schichten Fodele-Schichten		Trypali-Kalk	Trypali-Einheit Kreta-Mari-Zone/-Einheit Metakonglomerat des Plattenkalk Plattenkalk Stromatolithischer Dolomit und flyschoides Sedimente - Gigilos-Schichten Sissos-Serie Fodele-Serie	Tales Ori-Gruppe Fodele-Formation Galinio-Tonchiefer

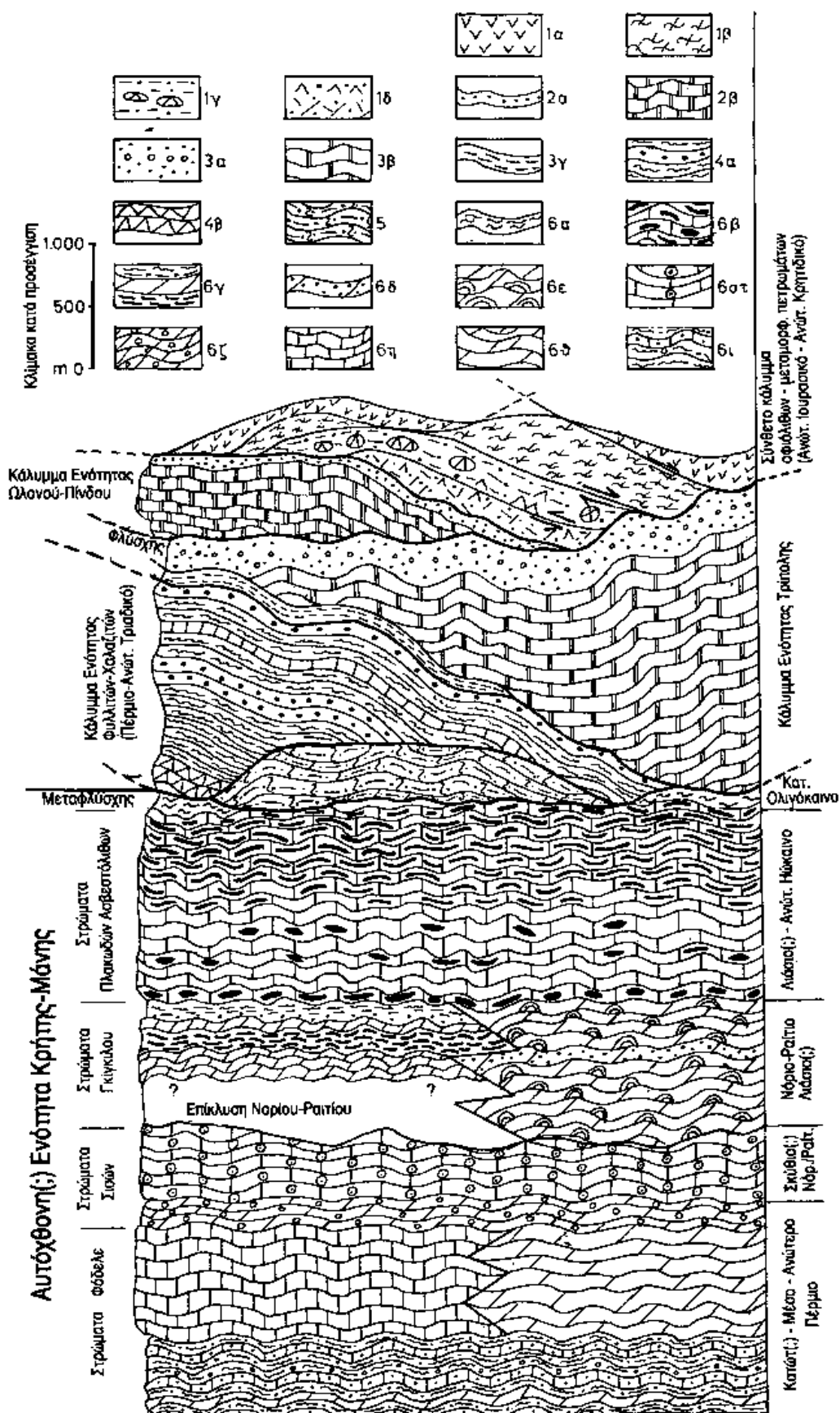
Kopp & Wernicke (1983)	Krahl et al. (1983)	Richter & Kopp (1983)	Krahl et al. (1986)	Krahl et al. (1988)	Dornapour & Manatsoglou (1994)
					Tripolitza-Serie
Phyllit-Gruppe Mara-Formation Wariakum Oberer Quarzit Mittlerer Phyllit Unterer Quarzit Etage mixte	Phyllit-Gruppe Mara-Konglomerat Mara-Dolomit Mara-Kalkphyllit Oberer Quarzit Sissos-Schiefer Rambli-Schiefer Unterer Quarzit Basaler Dolomit Gips	Cirtuschiefer von Achlada Vasilikon-Marmor Phyllit-Gruppe Quarzit-Phyllit-Folge (Q 1-6)	Tripokefala-Schichten Skopi-Einheit Chamess-Schichten Wariakum Agrilos-Schichten Mintini-Einheit Armos-Schichten Sfaka-Dolomit	Kreta Stockwerk vgl. Tab. 2	Tyros-Schichten Wariakum Phyllit-Decke Phyllit-Quarzit-Serie Gips-Rauchwacken-Formation Plattenkalk-Serie

Στην Κρήτη παλαιότερα σε ηλικία πετρώματα της Ομάδας αυτής βρίσκονται, σε ανάστροφη στρωματογραφικά θέση, στα Ταλλαία Όρη της κεντρικής Κρήτης, αποτελούμενα από τους ανθρακικούς-κλαστικούς σχηματισμούς των Φόδελε και Σίσσεσ, που με την βοήθεια απολιθωμάτων (τρηματοφόρα, βρυόζωα, φύκη και κωνόδοντα) χρονολογήθηκαν ηλικίας Ανωτέρου Πέρμιου. Σαν το

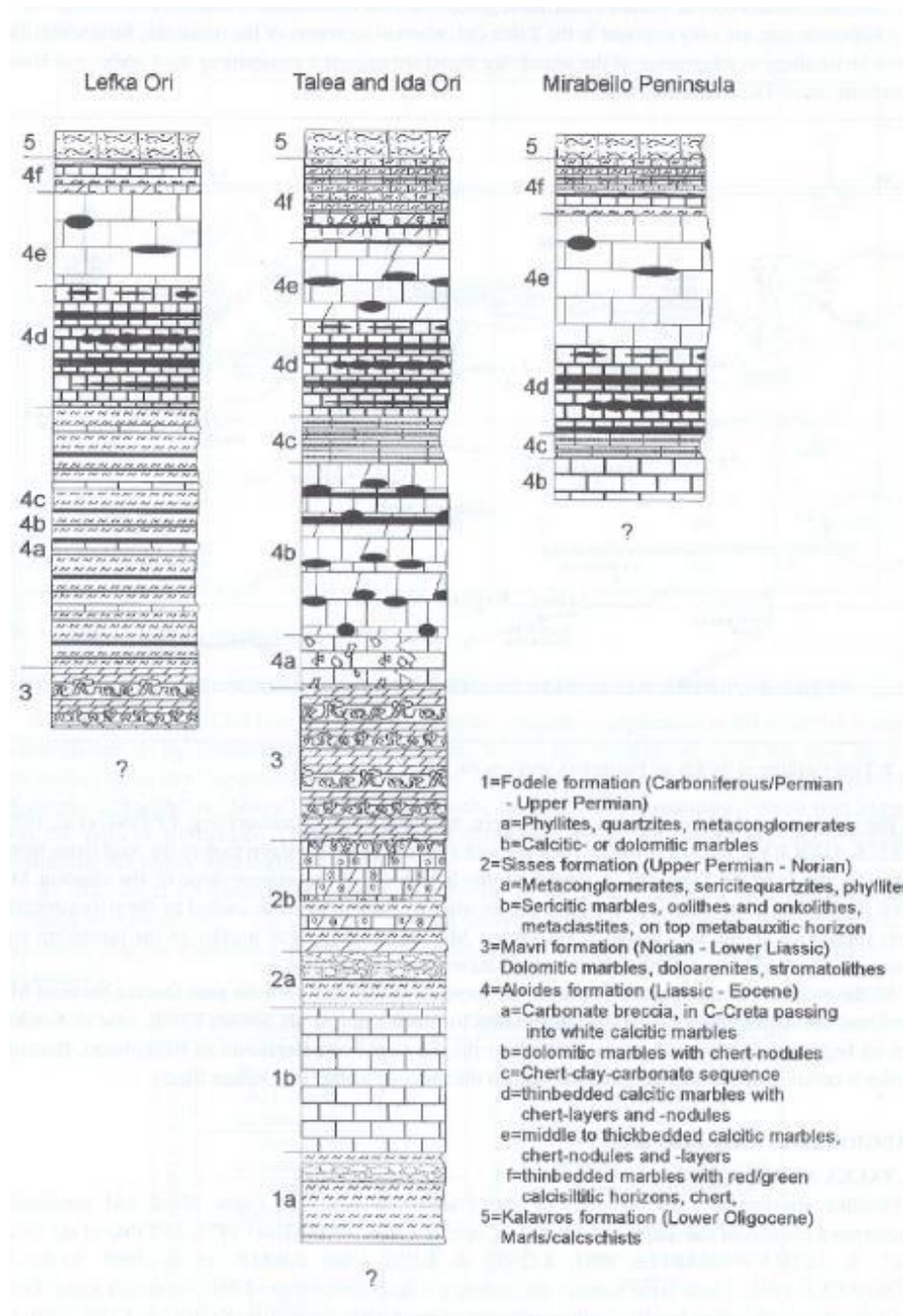
παλαιότερο σε ηλικία τμήμα των σχηματισμών αυτών περιγράφηκαν οι σχιστόλιθοι του Γαληνού που εξαιτίας μιας πολύ πλούσιας απολιθωμένης πανίδας και χλωρίδας τοποθετήθηκαν χρονικά στο όριο Ανώτερου Λιθανθρακοφόρου και Πέρμιου (Epting et al. 1972, Koehnig & Kuss 1980). Προς το υπερκείμενο, μετά από ένα στρωματογραφικό κενό από το Ανίσιο μέχρι το Κάρνιο ακολουθεί μια μεγάλου πάχους ακολουθία στρωματολιθικών δολομιτών που τα κατώτερα τμήματα της χρονολογήθηκαν Λιασίου ηλικίας, στην συνέχεια βρίσκεται η γνωστή ανθρακική ακολουθία των εναλλασσόμενων πλακωδών ασβεστόλιθων με κερατόλιθους, από όπου και προήλθε και η ονοματολογία της Ομάδας των πετρωμάτων αυτών και τέλος η ακολουθία του Καλαβρού, ένας κλαστικός σχηματισμός που διαφέρει εντελώς από τον φλύσχη των Εξωτερικών Ελληνίδων. Στην βάση του βρέθηκαν τρηματοφόρα ηλικίας Κάτω Ολιγόκαινου (Φυτρολάκης 1972, Bonneau 1973). Μια συνοπτική στρωματογραφική στήλη από τις προϋπάρχουσες εργασίες έγινε για τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους από τον Φυτρολάκη (1980), (Εικόνα 2-5).

Οι Soujonetal,(1998) κάνουν τις πρώτες λιθοστρωματογραφικές συγκρίσεις των πετρωμάτων της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. (Εικόνα 2-6).

Στο βόρειο τμήμα της ευρύτερης περιοχής, με εμφανή (στον υπάρχοντα χάρτη) τεκτονική επαφή προς το υποκείμενο εμφανίζονται γκρίζα και λευκά δολομιτικά μάρμαρα που εμπεριέχουν ένα χαρακτηριστικό βιτουμενιούχο δολομιτικό ορίζοντα, πάχους 2-3 μέτρων. Τα μάρμαρα προσομοιάζουν κατά θέσεις προς τους πλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, χωρίς όμως να εμπεριέχουν πυριτολίθους. **Πρόκειται για τους μεταμορφωμένους ασβεστόλιθους και δολομίτες της ενότητας Τρυπαλίου** (Creutzburg & Seidel 1975), των οποίων η γεωτεκτονική θέση είναι γνωστή (πάντα επωθημένοι πάνω σε τμήματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων) αλλά η παλαιογεωγραφική τους θέση άγνωστη. Την υποκείμενη ενότητα στην περιοχή δομούν τα πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων. **Η πρώτη λεπτομερής λιθοστρωματογραφική περιγραφή για την ευρύτερη περιοχή των Σφακίων, που αναθεωρεί και την ηλικία που δίδεται από το χάρτη (Λιθανθρακοφόρο-Πέρμιο), έγινε από τον Φυτρολάκη (1978, 1980) και συμπληρώθηκε από τους Soujon et al. (1998).**

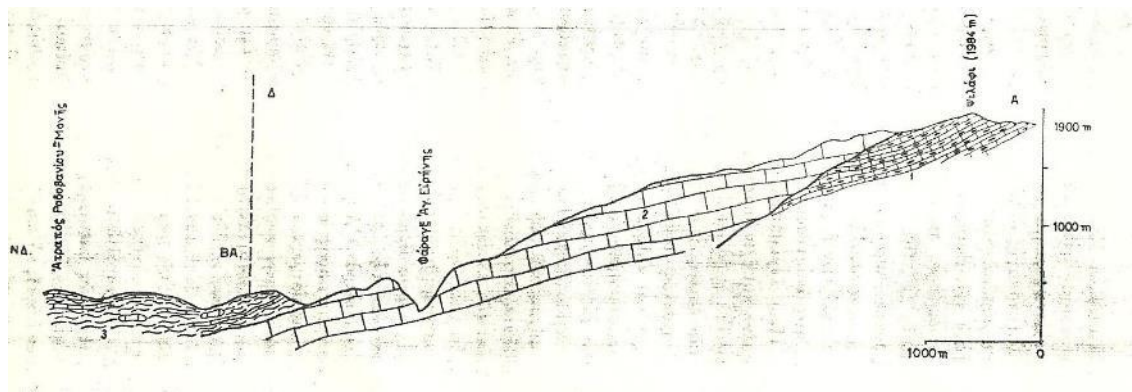


Εικόνα 2-5. Στρωματογραφικές - τεκτονικές Ενότητες της νήσου Κρήτης (Ενότητα Plattenkalk, Ενότητα Τρύπαλι, Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά, ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, ζώνη Πίνδου. (Κατά ΦΥΤΡΟΛΑΚΗ, 1980).



Εικόνα 2-6. Συγκριτικές λιθοστωματογραφικές στήλες των Πλακωδών Ασβεστολίθων της Κρήτης (Κατά Soujon et al 1998).

Οι Τάταρης & Χριστοδούλου (1965) περιγράφοντας την ανώτερη από τις δύο σειρές που υπέρκεινται των Πλακωδών ασβεστόλιθων στα Λευκά όρη, αναφέρουν την παρουσία, μέσα σε σκοτεινότεφρους λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους, μεγάλου αριθμού ελασματοβραγχίων του Ανώτερου Τριαδικού που ανήκουν στα γένη *Ostrea*, *Myorhoria* και πιθανώς *Halobia* του Ανώτερου Τριαδικού. Οι ερευνητές αυτοί δίνουν και την πρώτη τομή νοτίως της πόλης του Ομαλού (Εικόνα 2-7).



Εικόνα 2-7. Στην τομή αυτή τα μεταμορφωμένα ανθρακικά της ενότητας Madarakalke που στην συνέχεια πήρε το όνομα ενότητα του Τρυπαλίου) τοποθετούνται ως υποκείμενα της ανώτερης σειράς των φυλλιτών, ραουβακών κτλ.

Οι Creutzburg&Seidel (1975), εισάγουν για το "σύμπλεγμα" των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της δυτικής Κρήτης τον όρο "Σειρά Φυλλιτών - Χαλαζιτών" και δέχονται ότι το "σύμπλεγμα" αυτό αντιστοιχεί στο "terrainsmetamorphique" του Cayeux (1902) δηλαδή στο σχηματισμό "γύψων και ραουβακών και στη σειρά "φυλλιτών - χαλαζιτών - αργιλικών σχιστολίθων" του Wurm (1950). Στη σειρά των "Φυλλιτών - Χαλαζιτών" των Creutzburg&Seidel κυριαρχούν φυλλίτες διάφορης σύστασης, χαλαζίτες μικρού ή μεγάλου πάχους, κροκαλοπαγή, μαύροι πλακώδεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, γύψοι, ραουβάκες, και μεταβασάλτες.

Οι ερευνητές αυτοί εισάγουν και ορίζουν την έννοια «Ενότητα του Τρυπαλίου» με την οποία χαρακτηρίζουν κυρίως ανθρακικής σύστασης πετρώματα (δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, σπανιότερα καθαρούς ασβεστόλιθους, ανθρακικής σύστασης λατυποπαγή έως ραουβάκες, σκουρόχρωμους κυψελώδεις δολομίτες, καθώς επίσης και λευκά ζαχαρώδους υφής μάρμαρα. Το σύνολο των ανωτέρω πετρωμάτων έχει διαφόρου βαθμού ανακρυστάλλωση. Η λιθολογική εξέλιξη της ενότητας (ανθρακικά, γύψοι) υποστηριζόμενη από απολιθώματα (άλγη, κοράλια, γαστερόποδα) οδήγησε τους ερευνητές να δεχθούν την δημιουργία των πετρωμάτων αυτών σε ένα αποθετικό πεδίο ρηχών υδάτων. Η λιθοφασική αυτή εξέλιξη πιστοποιήθηκε από παρατηρήσεις πεδίου σε διάφορες περιοχές της Δυτικής Κρήτης (δυτικά της Χώρας Σφακίων βρέθηκαν γύψοι σε ραουβάκες και λεπτοπλακώδεις δολομιτικούς ασβεστόλιθους). Στην ενότητα αυτή συμπεριέλαβαν μια θέση με γύψους του φύλλου χάρτη Αλικιανός (1969) βορειοανατολικά της Κανδάνου καθώς επίσης

και τις εμφανίσεις γύψου και ραουβακών δυτικά των Λευκών Ορέων που περιέγραψε ο Wurm (1950) από το Στόμιο έως την Σούγια.

Όσον αφορά την σχέση μετάβασης των ανθρακικών σχηματισμών της ενότητας του Τρυπαλίου με τους μετακλαστικούς σχηματισμούς της «Φυλλιτικής-Χαλαζιακής Σειράς» **οι ερευνητές εκπλήσσουν με το τελικό τους συμπέρασμα.** Ενώ στην περιοχή του Καλλικράτη, νοτίως των Λευκογίων, ανατολικά του οικισμού Χωστής και βόρεια και ανατολικά της Κανδάνου σημειώνουν ότι έχει κανείς την άποψη ότι **υπάρχει κανονική μετάβαση της ενότητας του Τρυπαλίου στην «Φυλλιτική - Χαλαζιακή Σειρά»** που όπως φαίνεται επιβεβαιώνεται και από πολλές άλλες θέσεις στην Νότια-Κεντρική Κρήτη (π.χ. νότια της Μονής-Αρκαδίου), τελικώς αμφισβητούν την ηλικία Ραϊτίου-Λιάσιου που βρέθηκε για τα πετρώματα αυτά και επιτείνουν το γεγονός, ότι η επαφή με τους υποκείμενους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους είναι καθαρά τεκτονική. Για τους λόγους αυτούς τοποθετούν την ενότητα αυτήν στην υποκείμενη της «Φυλλιτικής-Χαλαζιακής Σειράς» θεωρώντας την σαν ανεξάρτητη τεκτονική ενότητα. Αυτό φαίνεται άλλωστε και στην θεματική τομή 2α (που παραθέτουν στην Εικόνα 2-8).

Συμπερασματικά θα μπορούσε να πει κανείς ότι με την εργασία αυτή:

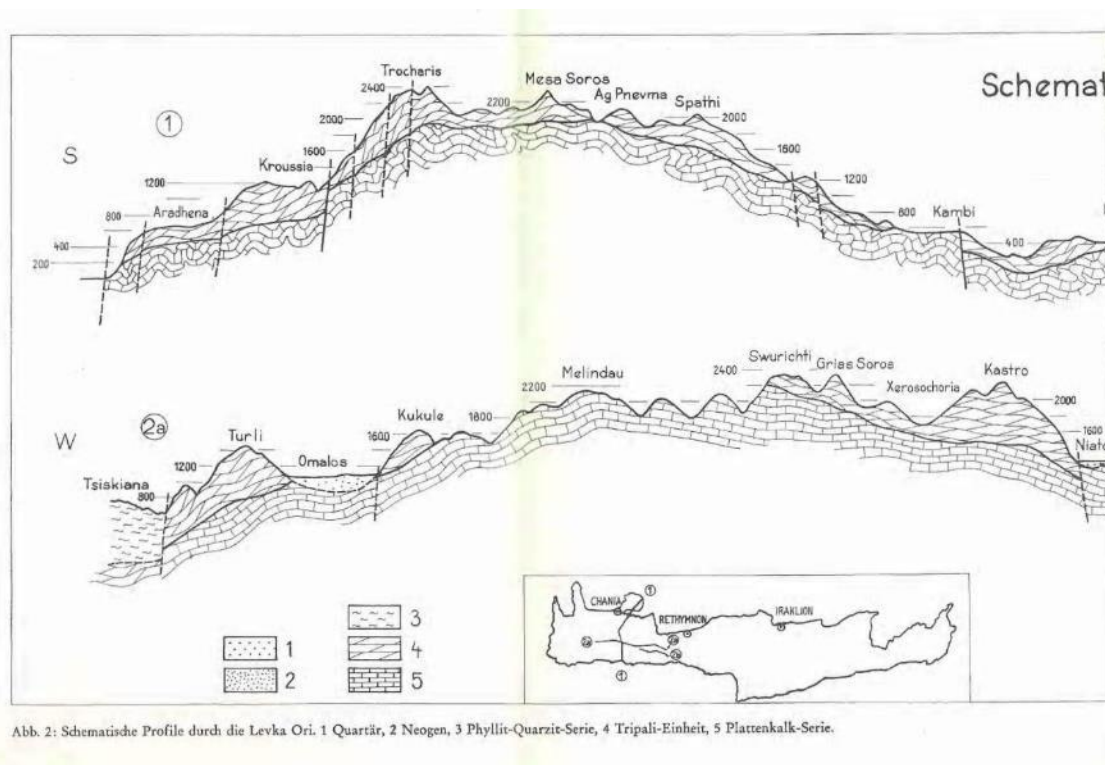
1^{ον} εισάγεται μια νέα τεκτονική ενότητα στο ήδη πολύπλοκο σύστημα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων των Εξωτερικών Ελληνίδων αυτής της Ενότητας του Τρυπαλίου,

2^{ον} Λιθοφασικά ίδιους σχηματισμούς (γύψους, ραουβάκες) τους εντάσσει και στην «Φυλλιτική-Χαλαζιακή Σειρά» και στην «Ενότητα Τρυπαλίου»,

3^{ον} περιγράφεται λεπτομερέστερα η «Φυλλιτική-Χαλαζιακή Σειρά» και αναδεικνύεται ο σημαντικός ρόλος της ύπαρξης των μεταηφαιστειακών πετρωμάτων για την διαλεύκανση των συνθηκών μεταμόρφωσης.

Ο Xavier (1976) στον Ομαλό περιγράφει σχηματισμούς που άλλοι ερευνητές τους εντάσσουν στην ενότητα του Τρυπαλίου, αλλά τους τοποθετεί στα ανώτερα τμήματα της σειράς των Ταλλαίων Ορέων.

Οι Kopp & Ott (1977) επισημαίνουν ότι έπρεπε για τη σειρά Τρυπαλίου και



Εικόνα 2-8. Στην τομή αυτή τα μεταμορφωμένα ανθρακικά της ενότητας του Τρυπαλίου τοποθετούνται δυτικά του Ομαλού με ρήγμα τεκτονικώς υποκείμενα της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς.

Φυλλιτών να βρεθεί μια θέση μεταξύ των Ταλλαίων Ορέων και της ζώνης της Τρίπολης. Τοποθετούν τελικά την ενότητα Τρυπαλίου στην εξωτερικότερη περιοχή της ζώνης της Τρίπολης.

Οι Jacobshagen et al (1978) θεωρούν ότι η ενότητα του Τρυπαλίου ανήκει είτε στην εξωτερικότερη περιοχή της ζώνης της Τρίπολης είτε στην Αδριατικοϊόνια ζώνη.

Ο Karakitsios (1979) αναπτύσσοντας ένα προβληματισμό σχετικά με το εάν η ενότητα Τρυπαλίου μπορεί να συσχετισθεί με τους ορίζοντες του Αν. Τριαδικού - Λιασίου της ανθρακικής σειράς της Τρίπολης ή με το σύνολο των στρωματολιθικών δολιμιτών της σειράς των Ταλλαίων ορέων κλίνει υπέρ της δεύτερης άποψης. Ο ίδιος συγγραφέας το 1987 γράφει ότι η σειρά του Τρυπαλίου θυμίζει σχηματισμούς που συνοδεύουν τους εβαπορίτες της Ιόνιας ζώνης στην ηπειρωτική Ελλάδα, και ότι η σειρά αυτή αντιπροσωπεύει εφιππευμένα τμήματα του κατώτερου μέρους της παρά αυτόχθονης σειράς που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της επώθησης του καλύμματος της Τρίπολης (Μανούσογλου, 2008).

3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή των Σφακιών είναι μια στενή παράκτια ζώνη στο νοτιοδυτικό τμήμα των Λευκών Όρεων, στο οποίο διασώζετε τμήμα του Νότιου Κρητικού περιθωρίου. Πρόκειται για μια μακροχρόνια νεοτεκτονική δομή που άρχισε τη δράση της στο Ανώτερο Μειόκαινο και συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. (Skourtsos et al., 2007). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται και δομούν την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος φαίνονται στην απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής, φύλλο Βρύσσεσ, σε κλίμακα 1:50.000 (Εικόνα 3-1) και περιγράφονται στην συνέχεια.

Στην στρωματογραφική στήλη που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-1 ως υποκείμενη τεκτονοστρωματογραφική ενότητα εμφανίζονται οι μεταμορφωμένες ανθρακικές ακολουθίες της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων που κατά θέσεις εμπεριέχουν κερατόλιθους. Το στρωματογραφικό τους εύρος εκτείνεται από το Ανώτερο Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο. Με τεκτονική επαφή πάνω από τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους βρίσκονται οι ακολουθίες της ενότητας του Τρυπαλίου που σε αυτήν την στρωματογραφική στήλη ονομάζεται κάλυμμα Ομαλού, τμήματα του Φυλλιτικού Καλύμματος (φυλιτική χαλαζιακή σειρά) καθώς και τα ανθρακικά της ζώνης της Τρίπολης. Ασύμφωνα πάνω από τα πετρώματα της ζώνης της Τρίπολης αποτέθηκαν μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Νεογενούς με στρωματογραφικό εύρος Μέσο έως Ανώτερο Μειόκαινο και τέλος αργιλοαμμώδες υλικό, ερυθρογή και κροκαλλολατύπες του Τεταρτογενούς.

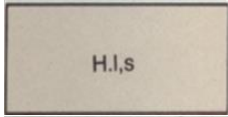


Εικόνα 3-1. Απόσπασμα από το γεωλογικό χάρτη Φύλλο Βρύσσες του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000.

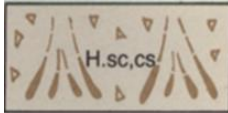
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΟΛΟΚΑΙΝΟ



Παράκτιες άμμοι



Αργιλοαμμώδεις αποθέσεις: με σημαντικό ποσοστό διάσπαρτων τροχμάλων και χαλικιών, κυρίως ανθρακικής σύστασης, ερυθρογή με κροκαλολατύπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και ασύνδετα υλικά από άργιλο άμμο και κροκαλλολατύπες στις κοίτες και στις εκβολές των χειμάρρων.



Κώνιοι κορήματα και πλευρικά κορήματα: από λατύπες ανθρακικής σύστασης, ποικίλου μεγέθους, αναμεμιγμένες με ερυθρογή, χαλαρές και κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένες (σε πάγκους πάχους από 1 έως 10 m). Αναπτύσσονται στα πρηνή των ορεινών όγκων ή καλύπτουν μέρος των πολγών.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ



Παλαιοί κώνιοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα: αναπτύσσονται στις εκβολές των χειμάρρων, στις νότιες ακτές του φύλλου.

Αποτελούνται κυρίως από ανθρακικές κροκαλλολατύπες ποικίλου μεγέθους, ασύνδετες μέχρι πολύ συνεκτικές, με συνδετικό υλικό αργιλομαργαϊκό ή ανθρακικό καθώς και άμμους. Η διάβρωση τους έχει δημιουργήσει μικρά ρυάκια. Τα πλευρικά κορήματα είναι ψευδοστρωμένα.

Πάχος :έως και 50 m.



Αναβαθμίδες χειμάρρων (Pt.t) και παλαιά πλευρικά κορήματα(Pt.sc): υπολείμματα αναβαθμίδων, συχνά μη χαρτογραφήσιμα, που απαντώνται στις κοίτες και στις πλευρές των χειμάρρων των μεγάλων φαραγγιών, που εκβάλλουν στις ΝΑ ακτές του φύλλου.

Αποτελούνται από αργιλομαργαϊκό υλικό με στρώσεις ανθρακικών(κυρίως ασβεστολιθικών) κροκαλλολατυπών ποικίλου μεγέθους. Είναι σχετικώς συνεκτικά και ψευδοστρωμένα.

Τα παλαιά πλευρικά κορήματα αναπτύσσονται στα πρηνή των ΝΑ ακτών και αποτελούνται από ασβεστολιθικά και δολομιτικάκροκαλλολατυποπαγή με στοιχεία ποικίλου μεγέθους και παρουσία ελάχιστων μικρών τεμαχίων φυλλιτικής σύστασης. Είναι άστρωτα και καλά συγκολλημένα.

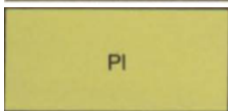
Πάχος: έως και 20 m

ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ



Μάργες: κυρίως μαλακές και λιγότερο σκληρές, κιτρινόλευκες, με παρεμβολές αργίλων και άμμων.

Πάχος: μικρότερο από 10 m.



Αργίλοι, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και κροκαλοπαγή:πρόκειται για θαλάσσιες αποθέσεις τα κατώτερα μέλη των οποίων αποτελούνται από ανθρακικά κροκαλοπαγή, που εξελίσσονται προς τα πάνω σε φυλλώδεις αργίλους και σε αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς, χρώματος κυανόλευκο έως ερυθρόλευκου. Μέσα σε αυτά απαντούν διαστρώσεις από οργανογενείς ασβεστόλιθους, αμμώδεις φακοί και διάσπαρτες προνεογενείς ανθρακικές κροκάλες.

Τα ανώτερα μέλη τους αποτελούνται από μαργαϊκούς παχυστρωματώδεις οργανογενείς ασβεστόλιθους, κατά θέσεις λατυποπαγείς. Οι αποθέσεις αυτές στην περιοχή Φραγκοκάστελλο, καλύπτονται εν μέρει από υλικά τεταρτογενών αναβαθμίδων.

Στα κατώτερα μέλη αναγνωρίστηκαν:

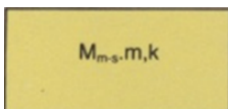
Α) μικροπανίδα: Globorotaliacrassaformis, Globorotaliamargaritae, Globigerinoidesruber, Cytherellavulgata, Aurilaconvexa, Paijemborchellaiocosa, Callistocytherepallida, Callistocythereintricatoides, Buntontiasublatissima

Β)μικροαπολιθώματα:ostrea, λείψανα ψαριών και υπολείμματα φυτών, Πελεκύποδα

Ηλικία: Πλειόκαινο

Πάχος : 60 mπερίπου

ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ



Μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι:αποθέσεις γλυκών και κυρίως υφάλμυρων υδάτων που κάθονται ασύμφωνα επάνω σε προνεογενείς σχηματισμούς. Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούνται από κλαστικούς, συχνά βιογενείς, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, λευκότεφρους, καλά στρωμένους, σε

πάγκους πάχους από λίγα cm, μα πανίδα από Planorbidae, Cerithiidae και Hydrobia.

Συχνά οι αποθέσεις αυτές εξελίσσονται προς τα επάνω σε κυανότεφρες μάργες ή φυλλώδεις αργίλους, υπόλευκες έως και κίτρινες, με παρεμβολές αμμούχων μαργών πλούσιων σε πανίδα από Ostrea, Μαλάκια και λείψανα φυτών.

ΑΛΛΟΧΘΟΝΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ



Δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι: βρίσκονται επωθημένοι, επάνω στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης, οπότε και παρουσιάζονται στη βάση τους έντονα κατακερματισμένοι, ενώ κατά θέσεις υπέρκεινται υπολειμμάτων της φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς.

Στα κατώτερα μέλη επικρατούν τεφροί έως λευκοί δολομίτες, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, έντονα τεκτονισμένοι και καρστικοποιημένοι, με σπηλαιώδη υφή. Αυτοί εξελίσσονται προς τα επάνω σε δολομιτικούς ασβεστόλιθους και στη συνέχεια σε ασβεστόλιθους τεφρόλευκους, 'έως μαύρους, μέσο έως παχυστρωματώδεις, κατά θέσεις λατυπτοπαγείς.

Απολιθώματα: Ammodiscidae, Pilamminellagenerica

Πάχος: 150 m περίπου.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΥΛΛΙΤΙΚΗΣ- ΧΑΛΑΖΙΤΙΚΗΣ ΣΕΙΡΑΣ

ΠΕΡΜΙΟ-ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ



Φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι: μικρές εμφανίσεις κυρίως στο νότιο τμήμα του φύλλου, που είναι επωθημένες επάνω στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης ενώ κατά θέσεις καλύπτονται από τα κατώτερα μέλη της ζώνης Τριπόλεως. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από πετρώματα πολύ χαμηλού μέχρι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (πρασινοςχιστολιθική φάση), όπου επικρατούν φυλλίτες, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθοι ποικίλης σύστασης (σερικιτικοί - χλωριτικοί, ανθρακομιγείς με χλωριτοειδή, μαρμαρυγικοί και μαρμαρυγικοί-χλωριτικοί, χαλαζικοί με σερίκη και αιματίτη, ανθρακομιγείς-μαρμαρυγικοί, γραφιτικοί-μαρμαρυγικοί). Μερικές μέσα στο πέτρωμα αυτά παρεμβάλλονται μαύροι λεπτοστρωματώδεις και κατακερματισμένοι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι. Κατά θέσεις οι σχηματισμοί της φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς διασχίζονται από αδροκρυσταλλικές φλέβες χαλαζία πάχους μέχρι 10 cm.

Η ηλικία θεωρείται Πέρμιο-Ανώτερο Τριαδικό, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα.

Μέγιστο πάχος: 80 m περίπου.

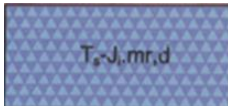


Γύψος: εμφανίζεται στην περιοχή ανατολικά του χωριού Λουτρό Σφακιών και περιβάλλεται από πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων που προέρχονται από την φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά και τα ανθρακικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης. Η εμφάνιση αυτή κατά πάσα πιθανότητα ανήκει στη φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΟΜΑΛΟΥ(ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ)

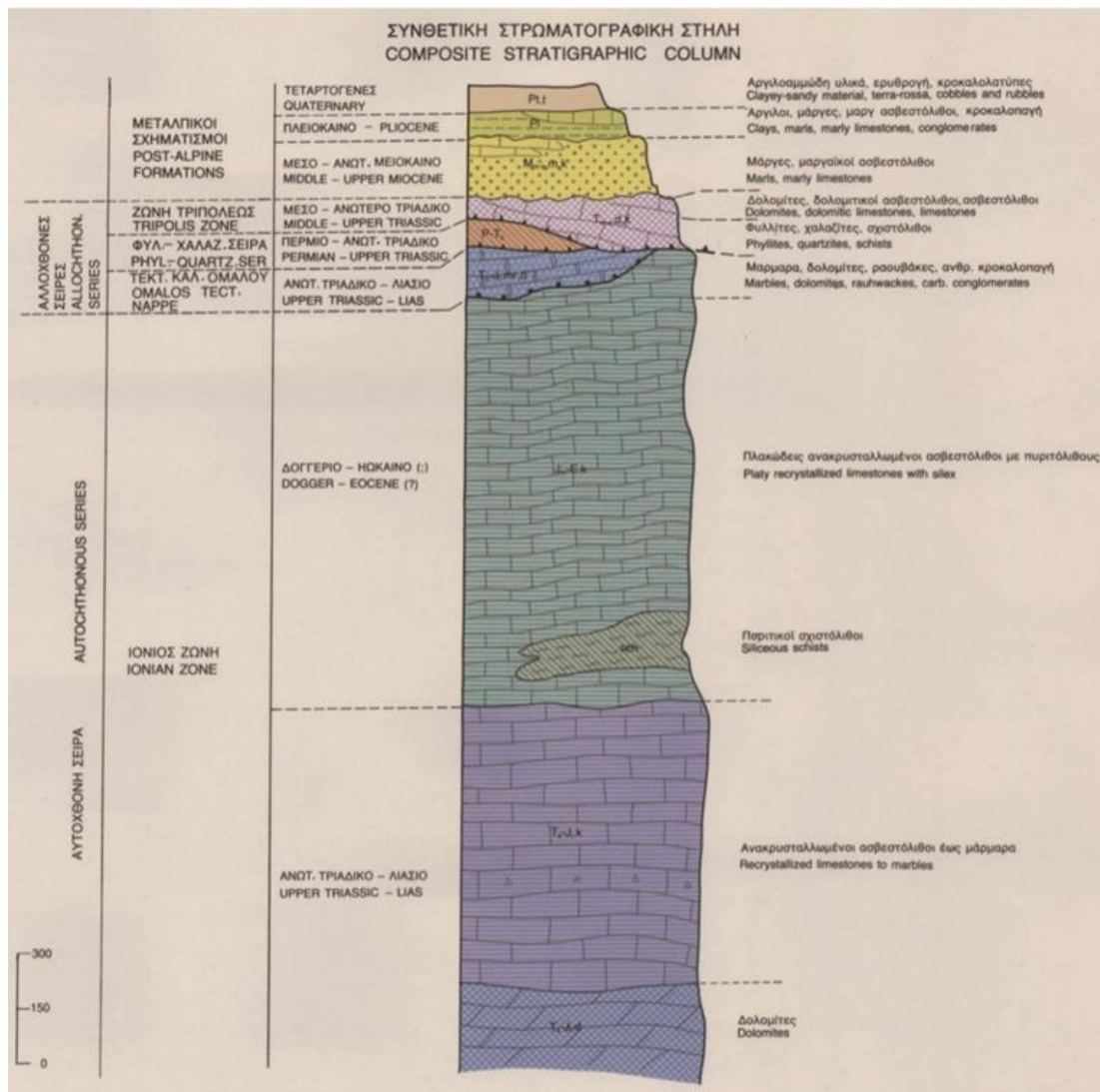
Αποτελεί το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα της νήσου Κρήτης και βρίσκεται εφιπτευμένο επάνω στους αυτόχθονους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης. Στη βάση του είναι έντονα τεκτονισμένο με παρουσία τεκτονικού λατυπτοπαγούς σημαντικού πάχους. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του παρουσιάζεται στην περιοχή του Οροπεδίου Ομαλού ενώ σχεδόν απουσιάζει από την οροσειρά Τρυπαλίου. Για τον λόγο αυτό ο όρος "κάλυμμα Ομαλού" είναι ακριβέστερος του " κάλυμμα Τρυπαλίου".

ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΛΙΑΣΙΟ



Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι έως μάρμαρα, δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, ραουβάκες και ανθρακικά κροκαλολατυπτοπαγή. Στα κατώτερα μέλη επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες, με δολομιτικό άλευρο που πληρώνει τις κυψέλες. Μερικές φορές στα ανθρακικά πετρώματα του Ομαλού παρατηρούνται λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις χρώματος λευκού, τεφρού ή μαύρου ή και βολβοί κερατολίθων χρώματος μαύρου. Κατά θέσεις αυτά φέρουν λεπτές μαργαϊκές παρεμβολές ή είναι μικροκροκαλοπαγή. Η ανθρακική σειρά Ομαλού (T₃-J, mr, d). Με βάση τα κοινά πετρογραφικά γνωρίσματα των σχηματισμών του καλύμματος Ομαλού και εκείνων της αυτόχθονης σειράς, θεωρείται ότι το κάλυμμα Ομαλού αποτελεί τμήμα των κατώτερων σχηματισμών της Ιονίου ζώνης, εφιπτευμένο επάνω σε αυτήν.

Μέγιστο πάχος: 400 m περίπου.

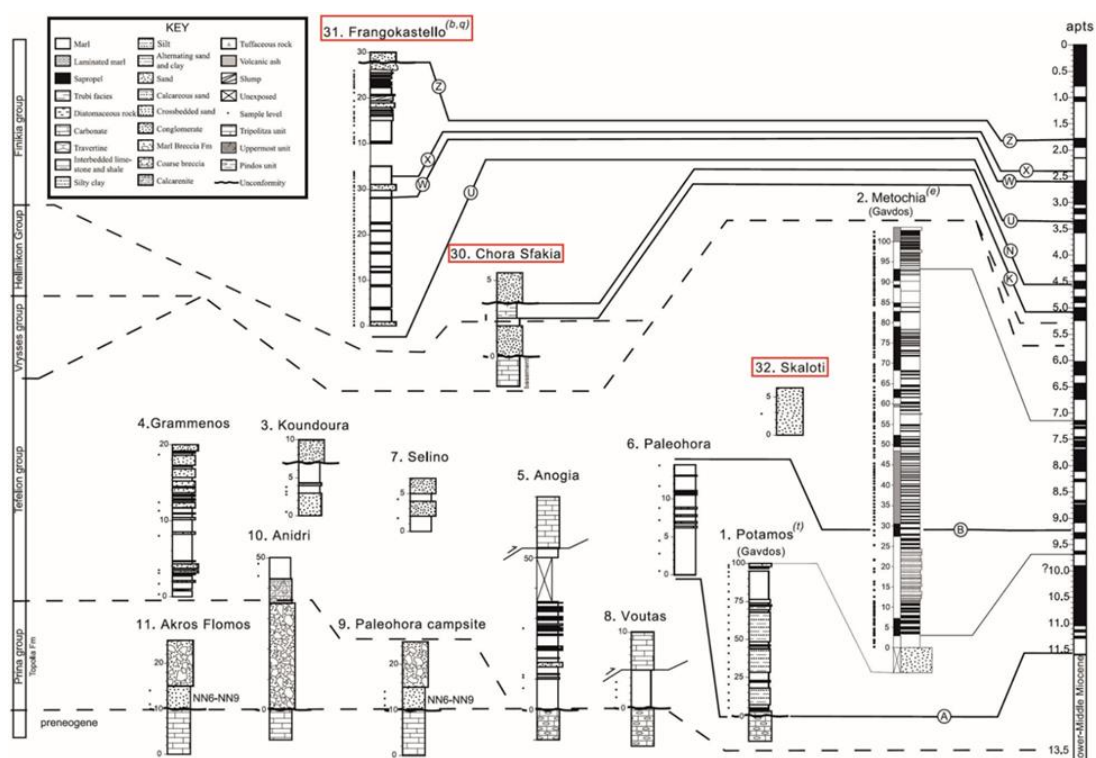


Εικόνα 3-2. Στρωματογραφική στήλη της ευρύτερης περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη Φύλλο Βρύσσες του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000.

3.1 ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

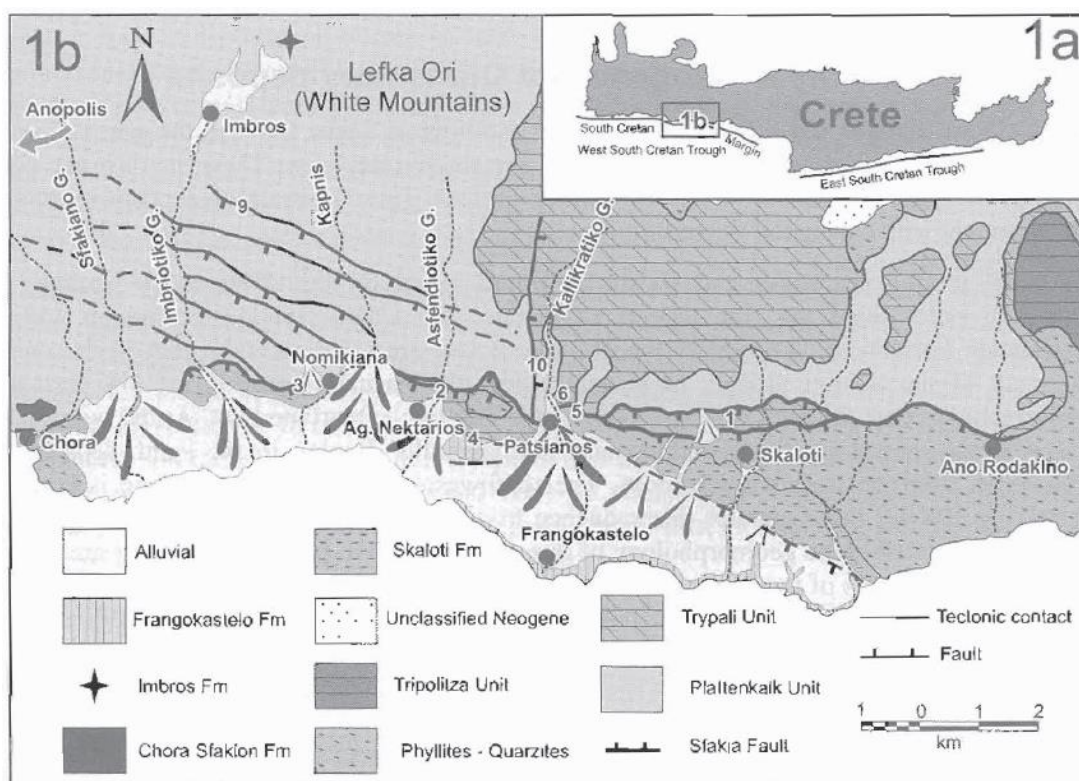
Σύμφωνα με τους van Hinsbergen et al. (2006) στα Λεύκα Όρη, βόρεια της πεδιάδας του Φραγκοκάστελλου, υπάρχουν απομονωμένες επιφανειακές εμφανίσεις λιθοποιημένων ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών με πανίδα ρηχής θάλασσας, τα οποία διαχωρίζονται από την Ομάδα των Πλακωδών Αβεστολίθων με κανονικά ρήγματα. Αυτά τα κροκαλοπαγή και οι ασβεστόλιθοι μοιάζουν πολύ με εκείνα που απαντώνται στη νοτιοδυτική Κρήτη κοντά στους Ανύδρους και πιθανότατα αντιστοιχούν στον σχηματισμό των Τοπολίων της Ομάδας της Πρίνα. Η περιοχή του Φραγκοκάστελλο βρίσκεται νότια από ένα μεγάλο Α-Δ διεύθυνσης ρηξιγενές μέτωπο. Οι μικρές επιφανειακές εμφανίσεις

άμμων ρηχής θάλασσας (τομή Σκαλωτή) που ανήκουν στην Ομάδα του Τεφελίου αποτέθηκαν σε πολύ ρηχή θαλάσσια περιβάλλοντα. Παρόλο που η εμφάνιση της Ομάδας της Φοινικιάς (Κάτω Πλειόκαινο) κοντά στη Χώρα Σφακίων (33) αποτελείται από αποθέσεις βαθιάς θαλάσσιας, υπέρκειται κροκαλοπαγών αγνώστου ηλικίας πάχους μερικών μέτρων που πιθανότατα ανήκουν στην Ομάδα του Ελληνικού. Με τη σειρά τους αυτά τα κροκαλοπαγή, υπέρκεινται ασύμφωνα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων υποδεικνύοντας πιθανώς υποβύθιση κατά το Ανώτατο Μειόκαινο ή το Κατώτατο Πλειόκαινο. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της παλαιοβυθομετρίας του Φραγκοκάστελλου φαίνεται ότι μετά το Άνω Πλειόκαινο, υπήρξε μια φάση ανύψωσης με άλμα μεγαλύτερο των 500 m.



Εικόνα 3-3. Στρωματογραφικές στήλες και στρωματογραφικές συσχετίσεις στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης (Κατά van Hinsbergen et al. (2006)).

Μεταξύ της Χώρας Σφακίων και του χωριού Σκαλωτή, οι νότιοι πρόποδες των Λευκών Ορών και η στενή παράκτια ζώνη καλύπτονται από θαλάσσιες αποθέσεις ηλικίας Νεογενούς έως Κάτω Πλειστόκαινου. Αυτές οι αποθέσεις με την σειρά τους καλύπτονται εν μέρει από αλλουβιακά ριπίδια του Μέσου (?) Πλειστόκαινου-Ολόκαινου. Αυτές οι μεταλπικές αποθέσεις επικαλύπτουν το αλπικό υπόβαθρο με γωνιώδη ασυμφωνία.



Εικόνα 3-4. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Κατά Skourtsos et al., 2007).

Σύμφωνα με τους Skourtsos et al. 2007, διακρίνονται τρεις κύριες θαλάσσιες λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες (Εικόνα 3-4). Με στρωματογραφική σειρά αυτές είναι: ο σχηματισμός Σκαλωτή, ο σχηματισμός Χώρα Σφακιών και ο σχηματισμός Φραγκοκάστελλο.

Ο σχηματισμός Σκαλωτή καταλαμβάνει μια τεράστια έκταση στο ανατολικό τμήμα της παράκτιας ζώνης, στα νότια του χωριού Σκαλωτή. Σε πολλές περιοχές, τα ενδολεκανικά ιζήματα αυτού του σχηματισμού υπέρκεινται ασύμφωνα στα πετρώματα υψηλών πιέσεων της Ενότητας των Φυλλιτών - Χαλαζιτών. Στο δυτικό άκρο της επιφανειακής εμφάνισης, παρατηρούνται πολλά μικρά συνιζηματογενή κανονικά ρήγματα που κλίνουν νότια χωρίζοντας τις ενδολεκανικές ακολουθίες από τα μεταμορφωμένα πετρώματα. **Το νοτιοδυτικό άκρο της επιφανειακής εμφάνισης είναι ένα ενεργό ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.** Το ρήγμα διαχωρίζει την ακολουθία αυτή από την θαλάσσια ακολουθία, του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο. Αυτό το ρήγμα περιγράφει την γεωμορφολογία της περιοχής αυτής, το οποίο χωρίζει τους μικρούς λόφους οι οποίοι δημιουργήθηκαν από τα θαλάσσια ιζήματα του σχηματισμού Σκαλωτή από αλλουβιακά ριπίδια του Άνω Τεταρτογενούς του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο. Ο σχηματισμός Σκαλωτή αποτελείται από

άμμους, κροκαλοπαγή, μάργες και ασβεστόλιθους ρηχής θάλασσας που δομούν μια ακολουθία πάχους περίπου 170 μέτρων με στρώση που παρουσιάζει μικρή κλίση προς τον νότο. Οι αναλύσεις των ασβεστολιθικών μικροαπολιθωμάτων υποστηρίζουν την άποψη ότι η απόθεση τους έγινε σε ένα ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον κατά τη διάρκεια του Τορτόνιου.

Ο σχηματισμός Χώρας Σφακιών παρατηρείται στα βορειοανατολικά του χωριού Χώρα Σφακιών και αποτελείται από μια αμμώδη απόθεση πάχους 5 μέτρων η οποία χρονολογείται στο Κάτω Πλειόκαινο και υπέρκειται χονδρόκοκκων κροκαλοπαγών αγνώστου ηλικίας ή μαρμάρων της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων. Έχει προταθεί ότι οι μικρές επιφανειακές εμφανίσεις αποθέσεων βαθιάς θάλασσας είναι ηλικίας Κατώτερου Πλειόκαινου και αντίστοιχες της Ομάδας Φοινικιά.

Ο σχηματισμός Φραγκοκάστελλο καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της παράκτιας ζώνης. Σύμφωνα με Sissingh (1972), αυτός ο σχηματισμός περιλαμβάνει δύο διακριτές ιζηματογενής ακολουθίες. Η πρώτη είναι ανατολικά από το Φραγκοκάστελλο, σε έναν παράκτιο κρημνό εκτίνεται μια θαλάσσια ακολουθία πάχους 35 μέτρων που αποτελείται από πράσινο-μπλε αργίλους και ασβεστόλιθους. Η δεύτερη αλληλουχία είναι κοντά στο χωριό Άγιος Νεκτάριος και αποτελείται από ασβεστόλιθους με κροκάλες άλλοτε γωνιώδη και άλλοτε στρογγυλεμένα με ενστρώσεις αργίλων και αργιλικών μαργών. Σύμφωνα με Meulenkamp (1969) και οι δύο σχηματισμοί έχουν χαρακτηριστικά που είναι πολύ διαφορετικά από τις εμφανίσεις των άλλων θαλάσσιων σχηματισμών στα ανατολικά της περιοχής μελέτης, ή στις κεντρικές και βόρειες περιοχές του νησιού της Κρήτης. Αν και είναι αβέβαιο τότε αποτέθηκαν αυτοί οι σχηματισμοί **ο Meulenkamp (1969) θεωρεί ότι αποτέθηκαν στο Μέσο Πλειόκαινο**. Οι ίδιες εμφανίσεις χρονολογήθηκαν από τους **van Hinsbergen et al. (2006)** στο **Ανώτερο Πλειόκαινο**. Λόγω της αβεβαιότητας για το πότε αποτέθηκαν αυτές οι θαλάσσιες ακολουθίες έγινε μια προσέγγιση υπολογισμού τους από τα μικρό-απολιθώματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και οι δύο εμφανίσεις του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο είναι πολύ νεότερες από τις προηγούμενες εκτιμήσεις. Η ακολουθία κοντά στον Άγιο Νεκτάριο έχει ανατεθεί το Κάτω Πλειστόκαινο δηλαδή μεταξύ 1.66-1.25 εκατομμύρια χρόνια σε σύγκριση με τις ακολουθίες στο Φραγκοκάστελλο που εκτιμάται ότι

αποτέθηκαν μεταξύ 1.62-0.97 εκατομμύρια χρόνια. Έτσι, **τα δεδομένα δίνουν σοβαρές ενδείξεις ότι ο σχηματισμός του Φραγκοκάστελου είναι ηλικίας Κάτω Πλειστοκαίνου**. Η εναπόθεση των μπλε-πράσινο μαργών πραγματοποιήθηκε σε ανοικτές θαλάσσιες συνθήκες. Η ακολουθία του Αγίου Νεκταρίου έχει χαμηλή γωνία βύθισης προς τα ανατολικά, ενώ τα στρώματα στο Φραγκοκάστελλο βυθίζονται προς τα δυτικά (Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-5. Κατακερματισμένοι σε διεύθυνση BBA-NNΔ βιογενείς ασβεστόλιθοι του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο που εξελίσσονται πάνω από στρώματα ψαμμιτών σε εναλλαγή με μικροκροκαλοπαγή.

Θαλάσσια ιζήματα δεν βρίσκονται μόνο στους πρόποδες των Λευκών Ορέων, αλλά εμφανίζονται και στην κύρια ορεινή ζώνη μέχρι και σε υψόμετρο άνω των 1000 μ. Τα ιζήματα αυτά βρίσκονται ως απομονωμένες εμφανίσεις λιθοποιημένων ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών με πανίδα ρηχής θάλασσας, οι οποίες διαχωρίζονται από την Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων και την ενότητα του Τρυπαλίου με ενεργά ρήγματα. Ο Van Hinsbergen (2004) πρότεινε ότι αυτά τα θαλάσσια ιζήματα μοιάζουν πολύ με εκείνα που εμφανίζονται στην νοτιοδυτική Κρήτη και πιθανότατα αντιστοιχούν στον σχηματισμό Τοπόλια (Σερραβάλλιο-Τορτόνιο) της Ομάδας Πρίνα. Οι Αλεξόπουλος και Μαρκοπούλου-Διακαντώνη (1996) παρατήρησαν επίσης θαλάσσια πανίδα σε υπολειμματικές εμφανίσεις μερικά χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Ίμβρου (στον σχηματισμό της Ίμβρου).

Η ζώνη των αλλουβιακών καταλαμβάνει ουσιαστικά όλη τις παράκτιες ορεινές κατωφέρειες (coastal piedmont) μεταξύ της Χώρας Σφακίων και Σκαλωτής και

αποτελείται από πολλαπλές συμφύσεις/αναδιατάξεις ριπιδίων που δημιουργούν όλες μαζί ένα εκτεταμένο σύνθετο ριπίδιο (bajada). Αυτά τα ριπίδια που εξαπλώνονται στο δυτικό μισό της ορεινής κατωφέρειας παρουσιάζουν τηλεσκοπική προσαύξηση ενώ στο ανατολικό τμήμα της κατωφέρειας εμφανίζουν τόσο τηλεσκοπική όσο ακτινωτή προσαύξηση. Ανεξάρτητα από το τρόπο του κατακερματισμού, όλα τα ριπίδια έχουν δύο διακριτά χαρακτηριστικά. Το πρώτο είναι ο επιφανειακός σχηματισμός είναι μονίμως εδραιωμένος. Το δεύτερο με εξαίρεση τις νεότερες αποθέσεις και τις πρόσφατες επιχωματώσεις ένα ανώριμο έδαφος το οποίο έχει καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των επιφανειακών σχηματισμών.

4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το νησί της Κρήτης βρίσκεται πάνω στο εξωτερικό τόξο, πάνω από την ζώνη υποβύθισης της αφρικανικής πλάκας προς τα βόρεια, κάτω από την πλάκα του Αιγαίου. Το κυρτό Ελληνικό εξωτερικό τόξο εκτείνεται από την δυτική ελληνική ηπειρωτική χώρα έως τα δυτικά παράλια της Τουρκίας στα ανατολικά. Αρκετές υποθαλάσσιες τάφροι προσανατολισμένες κάθετα στα όρια των τεκτονικών πλακών που είναι παράλληλα προς το τόξο, υποδιαιρούν το τόξο σε μια αλυσίδα νησιών. Η Κρήτη βρίσκεται στο εξωτερικό όριο του εξωτερικού τόξου. Η τοπογραφία της Κρήτης χαρακτηρίζεται κυρίως από ορεινό τοπίο που υποδηλώνει πρόσφατη και γρήγορη ανύψωση. Η γρήγορη άνοδος του νησιού αποδεικνύεται επίσης από τις Νεογενείς θαλάσσιες αποθέσεις του Μέσου Μειόκαινου έως την αρχή του Ανώτερου Πλειόκαινου, οι οποίες έχουν ανυψωθεί έως και αρκετά εκατοντάδες μέτρα πάνω από το σημερινό επίπεδο της θάλασσας.

Ο μεγάλος αριθμός επιφανειακών τεκτονικών ρηγμάτων υποδηλώνει τη συμβολή της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας τόσο στην επιφάνεια, όσο και στην εξέλιξη του τοπίου. Ένας μεγάλος αριθμός επιφανειακών τεκτονικών ρηγμάτων τονίζουν την ουσιαστική συμβολή της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας τόσο στην ίδια την επιφάνεια όσο και στην εξέλιξη του τοπίου (Peterek & Schwarze 2004 και βιβλιογραφικές αναφορές εντός αυτού). Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά ρήγματα που θεωρείται πρότυπο παράκτιας ανόδου, και δημιουργίας φαραγγιών (Tsimi et al 2007) είναι το ρήγμα των Σφακίων (Εικόνα 4-1).



Εικόνα 4-1. Οι νότιες παρυφές του ορεινού όγκου γύρω από το χωριό Σκαλωτή με εμφανές το διακλαδιζόμενο τμήμα του ρηξιγενούς πρσανούς που δημιούργησε το ρήγμα των Σφακιών (από Tsimi et al., 2007)

Σύμφωνα με τους Skourtsos et al., (2007) η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής του Φραγκοκάστελλου χαρακτηρίζεται από ένα καλά διαμορφωμένο και εκτεθειμένο ρηξιγενές μέτωπο/πρανές με εμφανή διεύθυνση κλήσης προς τον νότο που αποτελεί **το ρήγμα Σφακιών**. Το ρήγμα αυτό αντιπροσωπεύει το ανατολικό χερσαίο τμήμα του Νότιου Περιθωριακού Ρήγματος που σχηματίζει την ΝΔ ακτογραμμή της Κρήτης. Το μήκος του ρήγματος είναι περισσότερο από 15 km και του οποίου το ανατολικό άκρο είναι κοντά στο Άνω Ροδάκινο. Διακρίνονται δύο τμήματα: το πρώτο (δυτικό) έχει 7 km μήκος και βρίσκεται μεταξύ των χωριών Χώρα Σφακιών και Άγιος Νεκτάριος. Το δεύτερο τμήμα (ανατολικό) έχει μήκος 8 km και βρίσκεται μεταξύ των χωριών Πατσιανός και Άνω Ροδάκινο. Το τμήμα του ρήγματος μεταξύ των χωριών Άγιος Νεκτάριος και Πατσιανός παρουσιάζει μια μεγάλη κάμψη.

Το κύριο χαρακτηριστικό στο ανερχόμενο τέμαχος του δυτικού τμήματος του ρήγματος είναι η παρουσία μεγάλου πάχους αλλουβιακών ριπιδίων τα οποία καλύπτουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ενότητας των Φυλιτών-Χαλαζιτών. Ο κροκάλες των νεότερων αλλουβιακών ριπιδίων έχουν αποτεθεί

πάνω στα υψηλής πίεσης πετρώματα της ενότητας των Φυλιτών-Χαλαζιτών που αποτελούν το ανερχόμενο τεμάχιο του ρήγματος καθώς επίσης και πάνω σε πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων που αποτελούν το κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος. Τα κροκαλοπαγή αυτά δεν παρουσιάζουν ρηγματώσεις και το πιθανότερο είναι να καλύπτουν το ρήγμα των Σφακίων. Αντιθέτως οι δεβριτικές ροές του πρώτου σταδίου στο δυτικότερο ριπίδιο (ριπίδιο των Σφακίων) που αποτέθηκε από απευθείας πάνω στα έντονα κατακερματισμένα μάρμαρα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων, έχει πολλά εσωτερικά ρήγματα παράλληλα με την διεύθυνση του ρήγματος των Σφακίων. Εάν αυτά τα παράλληλα ρήγματα δεν δημιουργήθηκαν από βαρυτικές ολισθήσεις είναι πιθανώς να αντικατοπτρίζουν την δράση του ρήγματος κατά την απόθεση. Κινηματικές μελέτες στα μεμονωμένα ρήγματα που σχηματίστηκαν σε αυτό το τμήμα έδειξαν εφελκυσμό σε διευθύνσεις B-N έως BBA-NNΔ..

Το ανατολικό τμήμα του ρήγματος Σφακίων είναι πιο ευθύ από το δυτικό τμήμα και η ρηξιγενής ζώνη κατακερματισμού είναι αξιοσημείωτα ευρύτερη, αντικατοπτρίζοντας την παρουσία των εντονότερα κατακερματισμένων ανθρακικών λατυποπαγών της Ενότητας του Τρυπαλίου κατά μήκος του ίχνους του ρήγματος. Δύο παράλληλα ρήγματα καθορίζουν το πάχος της ριξηγενούς ζώνης κατακερματισμού. Το νότιο κανονικό ρήγμα έχει μικρή γωνία βύθισης, έχει υποστεί διάβρωση και αντιπαραθέτει τις Ενότητες των Φυλιτών-Χαλαζιτών και του Τρυπαλίου. Το βόρειο είναι μεγάλης γωνίας κανονικό ρήγμα και αντιπαραθέτει τις Ενότητες του Τρυπαλίου από τα Ανωκρητιδικά μάρμαρα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων. Η διαφορά στη γωνία βύθισης αυτών των δύο ρηγμάτων θεωρείται ότι οφείλεται στην αντιθετική περιστροφή του τέμαχους του νότιου ρήγματος. Η ανάλυση των γραμμώσεων ολίσθησης στα κάτοπτρα και των δύο ρηγμάτων δείχνει την επικράτηση του εφελκυσμού διεύθυνσης B-N. Η κινηματική των ρηγμάτων στο δυτικό άκρο του, που υπάρχουν δύο διευθύνσεις ρηγμάτων BΔ-NA και BBA-NNΔ, έδειξε BA-ND εφελκυσμό.

Το ρήγμα του Φραγκοκάστελλου παρατηρείται στην οροφή του ρήγματός των Σφακίων, βορειοανατολικά από το Φραγκοκάστελλο. Η θέση του ρήγματος σηματοδοτείται από μια μορφολογική ασυνέχεια με διεύθυνση BΔ-NA η

οποία χωρίζει το σχηματισμό Σκαλωτή στα βορειοανατολικά από τον σχηματισμό του Φραγκοκάστελλου στα νοτιοδυτικά. Η παρουσία του ενισχύεται από τα γεωτρητικά δεδομένα της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων της Περιφέρειας. Η μετατόπιση του ρήγματος του Φραγκοκάστελλου οδήγησε στην δημιουργία του χώρου που πληρώθηκε από τον σχηματισμό του Φραγκοκάστελλου. Κοντά στην αναμενόμενη εμφάνιση του ρήγματος, κανονικά ρήγματα με μεγάλη γωνία βύθισης έξω από τα στρώματα του σχηματισμού της Σκαλωτής και περιστραμένα στρώματα κροκαλών και χαλίκων μέσα στα κροκαλοπαγή αποκαλύπτουν τον κανονικό του χαρακτήρα. Η τοπογραφία του ανερχόμενου τεμάχους του ρήγματος είναι επίπεδη όπου αλλουβιακά ριπίδια μικρού πάχους επικάθονται ασύμφωνα στις **θαλάσσιες αποθέσεις Κάτω Πλειστόκαινου του σχηματισμού Φραγκοκάστελλου**. Το ριπίδιο του Πατσιανού σχηματίστηκε στο στόμιο της νότιας εξόδου του φαράγγιού της Ίμβρου και δείχνουν πλευρικές εναλλαγές θαλάσσιων και αιολικών ψαμμιτών με αλλουβιακές αποθέσεις. Η μέγιστη ηλικία αυτών των ψαμμιτών που υπολογίστηκε από την χρονολόγηση OSL (optically stimulated luminescence) είναι 70.000 με 94.000 χρόνια.

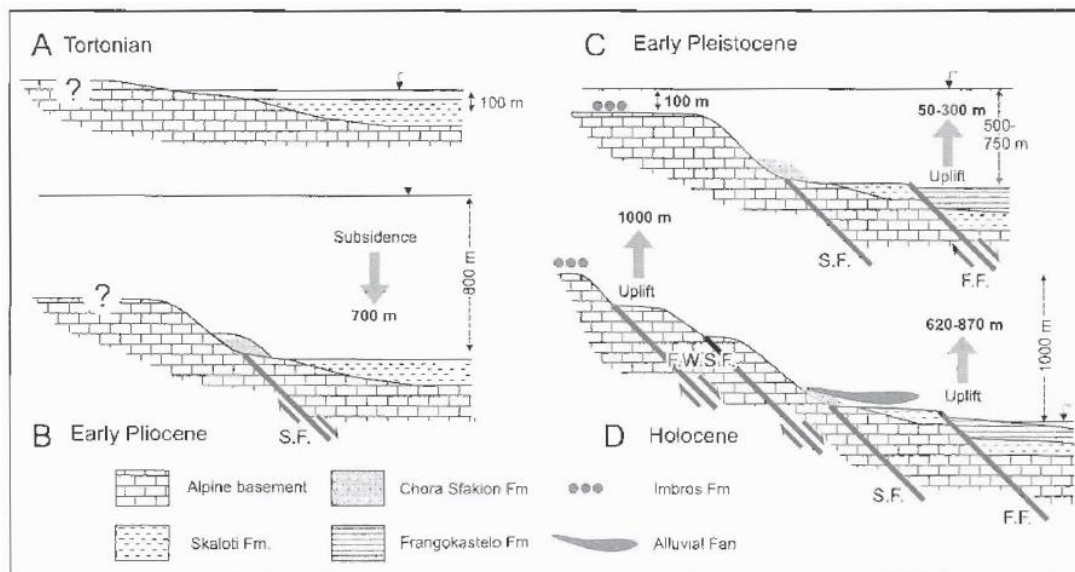
Το ρήγμα Πατσιανός είναι μια διακριτή δομή στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος Σφακίων και είναι παράλληλο με το φαράγγι της Ίμβρου. **Έχει διεύθυνση B-N και βυθίζεται προς τα ανατολικά με μεγάλη γωνία.** Πρόκειται για δεξιόστροφο πλαγιοκανονικό ρήγμα που έχει προκαλέσει την υποβύθιση του ανατολικού τμήματος του ρήγματος κατά 300 μ., όπως αυτό διακρίνεται από την τεκτονική επαφή της ενότητας του Τρυπαλίου με την Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων. **Το ρήγμα κόβει τα A-Δ και ΒΔ-NA διεύθυνσης ρήγματα που παρατηρούνται στο νότιο άκρο του.** Η κινηματική ανάλυση έδειξε εφελκυσμό ΒΔ-NA διεύθυνσης.

Στρωματογραφικά και τεκτονικά δεδομένα συνδυασμένα με παλαιοβυθομετρικές προσεγγίσεις επιτρέπουν μορφοτεκτονική εξέλιξη περιοχών. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παράκτια ορεινή ζώνη των Σφακίων ιδιαίτερα μετά το Κάτω Μειόκαινο.

Τα ιζήματα του Άνω Μειόκαινου που βρίσκονται σε υψόμετρο ~ 200 m στο ανατολικό τμήμα της παράκτιας ζώνης, επικάθονται ασύμφωνα στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ενότητας των Φυλλίτων-Χαλαζιτών.

Επιπλέον, οι van Hinsbergen et al (2006) πρότειναν ότι, δεδομένης της σχέσης μεταξύ του βάθους και του ποσοστού των πλαγκτονικών τρηματοφόρων επί του συνολικού αριθμού τρηματοφόρων (% P) (βλ. Van der Zwaan et al 1990), το βάθος απόθεσης για αυτόν τον σχηματισμό είναι 59 m. Οι άμμοι του Κάτω Πλειοκαίνου της Χώρας Σφακίων αποτέθηκαν σε βάθος 800 m, σύμφωνα με τη μέθοδο των Van Hinsbergen et al (2006). Συγκριτικά, ο σχηματισμός Φραγκοκάστελλο σχηματίστηκε σε βάθη 500-750 m σύμφωνα με τη μέθοδο του Van der Zwaan et al (1990). Σήμερα αυτοί οι σχηματισμοί βρίσκονται σε υψόμετρα περίπου 50 και 120 m, αντίστοιχα. Η παρουσία θαλάσσιων απολιθωμάτων Κάτω Πλειστόκαινου (Καλάβριο) βορειοανατολικά του οικισμού Ίμβρου σε υψόμετρα της τάξης των 1000 μέτρων (βλ. Αλεξόπουλος και Marcopoulou-Diakantoni 1996), δείχνει ότι η ορεινή περιοχή έχει ανυψωθεί περίπου 1100 m από το Καλάβριο, δεδομένου ότι οι οργανισμοί αυτοί ζούσαν σε βάθη νερού 30-100 m. Αυτό δίνει ένα ρυθμό ανύψωσης 80 cm/ka για αυτό το ρηξιγενές τέμαχος.

Ο σχηματισμός Σκαλωτή που περιέχει τα παλαιότερα θαλάσσια ιζήματα, φαίνεται να έχει ανυψωθεί μόλις 300 m για να φτάσει σημερινή του θέση. Σε αντίθεση, οι νεότεροι σχηματισμοί φαίνεται να έχουν ανυψωθεί για περισσότερο από 600 m. Αυτό σημαίνει ότι μετά την απόθεση του σχηματισμού Σκαλωτή, είχαμε βύθιση της περιοχής μελέτης κατά τη διάρκεια του Ανώτατου Μειόκαινου-Κατώτατου Πλειόκαινου της τάξης των 700 m, η οποία συνέπεσε με τη δραστηριότητα κατά μήκος του ρήγματος των Σφακίων (Εικόνα 4-1A-B). Αυτό με τη σειρά του οδήγησε στην αποκάλυψη του ρηξιγενούς μετώπου όπου αποτέθηκαν οι άμμοι του σχηματισμού της Χώρας Σφακίων πάνω στο αλπικό υπόβαθρο (Εικόνα 4-1B). Κατά τη διάρκεια του Μέσου Πλειόκαινου έως Κάτω Πλειστόκαινου, παρατηρήθηκε σταδιακή ανύψωση της τάξης 50-300 m, μετά την απόθεση του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο (Εικόνα 4-1C). Αν και τα ιζήματα και στην Ίμβρο και στη Χώρα Σφακίων έχουν αποτεθεί στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος Σφακίων, η διαφορετική ανύψωση (600 -900 μ ανύψωση στη Χώρα και 1100 m ανύψωση σε Ίμβρος) πιθανώς να αντικατοπτρίζει τις συγκέντρωση των ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης που παρατηρούνται στην βόρεια του ρήγματος Σφακίων.



Εικόνα 4-2. Μορφοτεκτονική κινηματική εξέλιξη της περιοχής μελέτης (Κατά Skourtsos et al., 2007).

Επιπλέον, η σύγκριση των ιζημάτων του Κάτω Πλειστόκαινου υποδεικνύει ότι η απόθεση του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο έγινε σε βάθος 500-750 m, ενώ η απόθεση στην Ίμβρο σε βάθος 30-100 m (Εικόνα 4-1C). Κατά συνέπεια, κατά τη στιγμή της απόθεσης υπήρχε μια διαφορά ύψους 400-720 m. Ωστόσο, η παρούσα υψομετρική τους διαφορά είναι 900-950 m, που δείχνει ότι αυτή η διαφορά έχει αυξηθεί κατά 180 με 500 μέτρα από το Κάτω Πλειστόκαινο και μετά (Εικόνα 4-1D). Η δραστηριότητα των ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης μεταξύ των εμφανίσεων θαλάσσιων ιζημάτων του Κάτω Πλειστόκαινου θαλάσσιες αποθέσεις από μόνη της θα μπορούσε να εξηγήσει τη χαμηλότερη τιμή της διαφοράς αυτής (180 m). Ενώ για τη υψηλότερη τιμή (500 m) θα πρέπει να υπήρξε μετατόπιση του ρήγματος των Σφακίων.

Χρήσιμες εκτιμήσεις για τους ρυθμούς ανύψωσής μπορούν επίσης να βασιστούν στον ρυθμό ανύψωσης του ρηξιγενούς τεμάχους των Σφακίων από την Άνω Πλειστόκαινο και μετά. Σύμφωνα με τους Van Hinsbergen et al (2006), η απόθεση του σχηματισμού του Φραγκοκάστελλο πραγματοποιήθηκε σε βάθος 500 με 750 m, ενώ σήμερα βρίσκεται σε υψόμετρα έως και 120 m. Αυτό υποδηλώνει ότι ο ρυθμός ανύψωσης του ανερχόμενου τεμάχους του ρήγματος Σφακίων είναι 46 με 64 cm/ka από την Κάτω Πλειστόκαινο και μετά. Αυτό σημαίνει ότι η το ανερχόμενο τέμαχος του ρήγματος ανυψώθηκε με ένα ρυθμό που είναι το 1/2 έως τα 4/5 του ρυθμού ανύψωσης του κατερχόμενου τεμάχους του ρήγματος. Η διαφορά μεταξύ των ρυθμών ανύψωσης οφείλεται στην

παρουσία των ρηγμάτων που βρίσκονται βόρειο του σχηματισμού Φραγκοκάστελλο, συμπεριλαμβανομένου του ρήγματος των Σφακίων. Ως εκ τούτου, ολόκληρη η περιοχή μελέτης από το Μέσο Μειόκαινο και μετά έχει υποστεί ανύψωση, αλλά παρατηρείται μια αύξηση του ρυθμού ανύψωσης μεταξύ των νοτιότερων παράκτιων περιοχών και των βορειότερων ορεινών περιοχών του ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων. Η αύξηση αυτή πιθανότερα οφείλεται στα ΒΔ διεύθυνσης ρήγματα, και πολύ λιγότερο στη δράση του ρήγματος των Σφακίων, τουλάχιστον για την περίοδο μετά το Μέσο Πλειστόκαινο, καθώς φαίνεται ότι τα υλικά των αλλουβιακών ριπιδίων καλύπτουν αυτό το ρήγμα.

5 ΔΟΜΕΣ ΤΑΦΟΝΙ

Η πρώτη αναφορά σχετικά με τα tafoni (σπηλαιώδεις δομές) έγινε για πρώτη φορά από τον Tuckett το 1884 μετά από ένα ταξίδι που πραγματοποίησε στην Κορσική το 1882. Μια έκθεση που εμπεριέχει μια πρώτη σχετική πρόταση για τις δομές αυτές δόθηκε στη δημοσιότητα μετά από 8 χρόνια από τον Compton (Compton, 1892). Η συστηματική έρευνα για την αποσάθρωση τύπου tafoni έχει ξεκινήσει πριν εκατό περίπου χρόνια. Οι πρώτες διεργασίες που προτάθηκαν για την ερμηνεία των δομών αυτών περιλάμβαναν φυσικές διεργασίες από αιολική διάβρωση έως διάβρωση από παγετώνα (Blackwelder, 1990). Σε εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια εθνολογικών μελετών απέδωσαν τη προέλευση των tafoni στις παράκτιες περιοχές της Καλιφόρνιας στην δράση λιθοφάγων οργανισμών (drilling-snails) όπως αναφέρουν οι Norwick και Dexter (2002). Όλες αυτές οι ερμηνείες αναθεωρήθηκαν και έγινε αποδεκτό ότι η χημική αποσάθρωση είναι η κύρια διαδικασία που στην αποσάθρωση τύπου tafoni (Dragovic, 1969, Twidale, 1976).

Η παγκόσμια εξάπλωση των tafoni, σε περιοχές όπως η Αυστραλία, η Μεσόγειος, οι μεσοδυτικές πολιτείες της Αμερικής, η Αντάρктиκη, η έρημος Ναμίμπ της νοτίου Αφρικής, η έρημος Σαχάρα και πολλές παράκτιες περιοχές σε όλο τον κόσμο, έχουν οδηγήσει στην γενική αποδοχή ότι για την δημιουργία tafoni είναι κρίσιμη η ύπαρξη μιας ξηρής περιόδου σε ετήσια βάση. Ενώ είναι κοινώς αποδεκτό ότι η λιθολογία, η παρουσία αλάτων και η έκθεση των πετρωμάτων στους διάφορους παράγοντες, δημιουργούν ένα πολύπλοκο σύστημα συνθηκών αποσάθρωσης με τις κύριες διαδικασίες που ελέγχουν την αποσάθρωση τύπου tafoni να είναι ακόμα ελάχιστα κατανοητές (Huiniink et al., 2004). Οι επιστημονικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου ποικίλουν από πειραματικές μεθοδολογίες ή προσομοιώσεις σε υπολογιστικό περιβάλλον έως επεξεργασίες ποσοτικών αναλύσεων.

Παραδοσιακά η σπηλαιώδης αποσάθρωση έχει θεωρηθεί ως διαγνωστικό χαρακτηριστικό ξηρών και πλούσιων σε άλατα περιοχών και η αποσάθρωση αλάτων είναι γενικά αποδεκτή ως η κύρια διαδικασία σχηματισμού tafoni. Η ύπαρξη κρυστάλλων αλάτων στη επιφάνεια παράκτιων και ερημικών tafoni και

αλάτων σε κλαστικά τεμαχίδια, από tafoni στην Ανταρκτική υποστηρίζουν την παραπάνω θεώρηση. Τα άλατα αυξάνουν την διαλυτότητα των πυριτικών, η οποία είναι πιο αποτελεσματική κατά τις υγρές περιόδους ενώ κατά τις ξηρές περιόδους η μηχανική αποσάθρωση από την κρυστάλλωση αλάτων στις διακλάσεις είναι η κύρια διαδικασία για τον σχηματισμό tafoni.

(Mustoe, 1982, Young, 1987). Υπάρχει διχογνωμία στο κατά πόσο ο σχηματισμός επιφλοιώσεων στην εκτεθειμένη επιφάνεια, ή η εσωτερική χαλάρωση είναι μεγαλύτερης σημασίας στον σχηματισμό της σπηλαιώδους αποσάθρωσης. Περιπτώσεις tafoni χωρίς εξωτερικές επιφλοιώσεις δείχνουν ότι αυτή δεν είναι κρίσιμης σημασίας για την γένεση τους.

Πρόσφατες δημοσιεύσεις έχουν οδηγήσει στην καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που σχετίζονται με τον σχηματισμό tafoni. Οι Turkington and Phillips (2004) πρότειναν της διαδικασίες αυτό-οργάνωσης (self-organization) σε ένα ασταθές, δυναμικό σύστημα αποσάθρωσης. Οι Huinink et al. (2004) παρουσίασαν ένα υπολογιστικό μοντέλο για την συνεχόμενη ανάπτυξη μικρών οπών στην επιφάνεια των πετρωμάτων από την κρυστάλλωση αλάτων κατά την διάρκεια αρκετών υγρών-ξηρών κύκλων. Οι McBride and Picard (2004) εισήγαγαν μια μορφογενετική ταξινόμηση.

Υπάρχει μεγάλη ανεπάρκεια όσον αφορά τους ρυθμούς αποσάθρωσης και την προέλευση των συστατικών των αλάτων. Τρεις δημοσιεύσεις προτείνουν εξισώσεις για την χρονική εξέλιξη των ρυθμών αποσάθρωσης των tafoni, από γνωστές μέγιστες ηλικίες. Ο έμμεσος προσδιορισμός της ηλικίας βασίζεται στον ρυθμό ανύψωσης των παράκτιων αναβαθμίδων ο οποίος δεν σχετίζεται κατά ανάγκη με την έναρξη της εξέλιξης του ρυθμού που εξελίσσονται τα tafoni. Αυτά τα στοιχεία δείχνουν ότι κατά την αρχική φάση του σχηματισμού των tafoni και άλλων ειδών σπηλαιώδους αποσάθρωσης, ο ρυθμός αποσάθρωσης είναι μεγαλύτερος σε σχέση με αυτούς σε μια πιο ώριμης φάσης των tafoni. Αυτό εκφράζεται καλύτερα με μια γεωμετρικά παραβολική συνάρτηση, που εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η λιθολογία και τα τοπικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά (Brandmeier et al., 2011 και βιβλιογραφικές αναφορές εντός αυτής).

Στους δομικούς λίθους του Φραγκοκάστελλου και ιδιαίτερα σε αυτούς του δυτικού τοιχίου υπάρχουν τυπικές δομές tafoni σε ψαμμιτικά, αργιλοψαμμιτικά και κροκαλοπαγή πετρώματα(Εικόνα 5-1) καθώς και στο συνδετικό κονίαμα (Εικόνα 5-2).



Εικόνα 5-1. Δομές tafoni σε δομικούς λίθους του Φραγκοκάστελλου.



Εικόνα 5-2. Δομές tafoni σε συνδετικό κονίαμα του Φραγκοκάστελλου.

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα δεδομένα της στρωματογραφικής και τεκτονικής βιβλιογραφικής προσέγγισης και εργασιών πεδίου μπορούν συνοπτικά να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Το Φραγκοκάστελλο εδράζεται πάνω σε βιογενείς ασβεστόλιθους του σχηματισμού Φραγκοκάστελλου του οποίου η ακριβής ηλικία δεν είναι αποδεκτή από όλους. Τα νεώτερα δεδομένα αποδίδουν στον θαλάσσιο αυτόν σχηματισμό ηλικία Κάτω Πλειστόκαινο νεώτερη του Πλειοκαίνου που δεχόταν παλαιότερες μελέτες.

Η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής καθορίστηκε από την δράση ενεργών ρηγμάτων σε διευθύνσεις A – Δ, BBA NNΔ και BBΔ –NNA που ανήψωσαν από το Μέσο Μειόκαινο διαφορετικά τα ρηξιτεμάχη από δεκάδες έως και εκατοντάδες μέτρα.

Οι δομικοί λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κάστρου έχουν εν μέρει την κατάλληλη λιθολογία (ψαμμιτικά, αργιλοψαμμιτικά και κροκαλοπαγή πετρώματα) που λόγω της ύπαρξης αλατοχημικής αποσάθρωσης-διάβρωσης που παρατηρείται στα διάφορα τμήματα των τοιχίων του κάστρου και η οποία είναι απόλυτα εξαρτώμενη από την θέση του κάστρου και την (διαχρονικά) συχνότητα των καιρικών φαινομένων. Είναι πολύ χαρακτηριστική η διαφορά σε έκταση και ένταση του φαινομένου μεταξύ του νότιου τοιχίου που είναι εκτεθειμένο στην αλατονέφωση της ακτής και του βόρειου τοιχίου, στο οποίο και παρατηρείται η μικρότερη σε ένταση αλατοχημική αποσάθρωση.

6 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΙΣΗ

6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης άρχισαν να εφαρμόζονται στη μελέτη του υπεδάφους με την αρχή του εικοστού αιώνα. Πρωτοπόροι στην έρευνα υπήρξαν ο Wenner και ιδιαίτερα ο Schlumberger που το βιβλίο του «Etudesurla Prospection Electrique du Sous-Sol» (Σούρλας, 2000) συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των ηλεκτρικών μεθόδων. Η συστηματική όμως εφαρμογή των ηλεκτρικών διασκοπήσεων άρχισε μετά το 1970 εκμεταλλευόμενη την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών που πρόσφεραν σημαντική βοήθεια τόσο στη συλλογή όσο και στην επεξεργασία των μετρήσεων.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι της γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων, και περιλαμβάνει (Σούρλας, 2000):

- Μέθοδο του φυσικού δυναμικού
- Μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
- Μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας
- Μέθοδο των ισοδυναμικών γραμμών

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, στη Γεωθερμία, στην Κοιτασματολογία, στην Τεχνική Γεωλογία (όπως στην παρούσα εργασία) και στην Αρχαιολογία.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης. Με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δημιουργείται στο έδαφος τεχνητό ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου διαμορφώνονται από τη δομή του υπεδάφους. Συνεπώς ο καθορισμός των ιδιοτήτων του πεδίου οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους. Η

ποσότητα που μετριέται είναι η ηλεκτρική τάση και τελικός σκοπός είναι ο εντοπισμός δομών, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετική ειδική ηλεκτρική αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα.

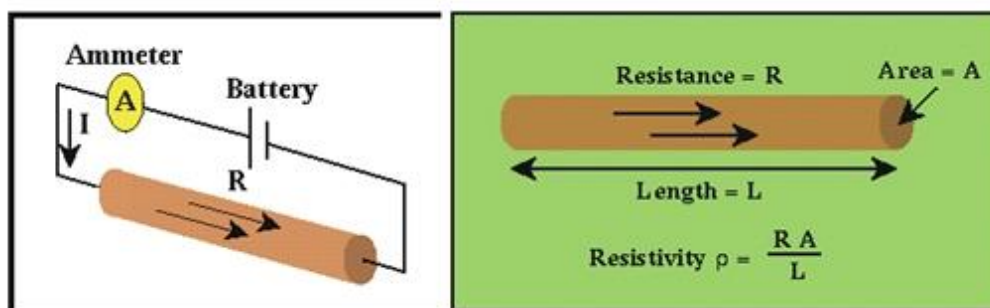
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988), σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση (R) (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού (ΔV) (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση (I) (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει των αγωγό.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (6-1)$$

Η αντίσταση ενός μονογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος (L) του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν (A) της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του (Σχήμα 6-1):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6-2)$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.



Σχήμα 6-1. Προσδιορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υλικού ενός αγωγού.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το $1 \Omega m$. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega cm$ και είναι $1 \Omega m = 100 \Omega cm$. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από $10^{-6} \Omega m$ σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι $10^{15} \Omega m$ σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^{-6} και $10^{-1} \Omega m$ χαρακτηρίζονται ως καλοί

αγωγοί ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^5 και 10^8 Ohmm (Σκούρας, 2010).

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον θετικό πόλο, ονομάζεται πηγή, ενώ το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο, ονομάζεται γείωση. Επειδή ο αέρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διοχετεύεται στη γη.

Για την κατανόηση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος θεωρείται ότι η γη είναι ομοιογενής και ισότροπη ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ . Επιπλέον τα ηλεκτρόδια θεωρούνται σημεία, δηλαδή οι εξισώσεις που προκύπτουν, ισχύουν για σημειακή πηγή και σημειακή γείωση.

Αρχικά η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων θεωρείται πολύ μεγάλη, ώστε να μπορεί να μελετηθεί το κάθε ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Το ηλεκτρόδιο πηγή είναι θετικά φορτισμένο, με αποτέλεσμα η κίνηση των θετικών φορτίων να είναι από το ηλεκτρόδιο προς τη γη. Επειδή η γη θεωρείται ομοιογενής το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και οι γραμμές που απεικονίζουν τη ροή (γραμμές ρεύματος) μπορούν να θεωρηθούν ως ακτίνες ημισφαιρικών επιφανειών που έχουν κέντρο την πηγή. Η αντίσταση R στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που παρουσιάζει μία ημισφαιρική δομή (αγωγός) ακτίνας d , δίνεται σύμφωνα με τη σχέση από το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ με τον λόγο της ακτίνας d προς το εμβαδόν $2\pi d^2$ της ημισφαιρικής επιφάνειας (Σκούρας, 2010).

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \quad (6-3)$$

Η διαφορά ΔV_d του δυναμικού V_0 της πηγής από το δυναμικό V_d όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από την πηγή που προκαλείται από τη ροή ρεύματος, έντασης I , μέσα από την ημισφαιρική δομή είναι:

$$\Delta V_d = V_d - V_0 = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} \quad (6-4)$$

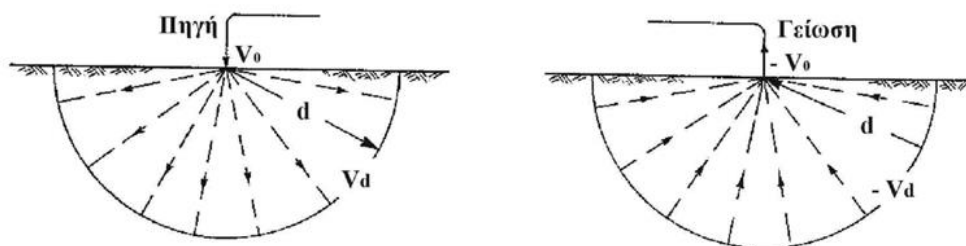
Η επιφάνεια που περιλαμβάνει όλα τα σημεία με το ίδιο δυναμικό ονομάζεται ισοδυναμική επιφάνεια. Το δυναμικό στη γείωση, το απομακρυσμένο ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής είναι $-V_0$.

Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο έλκει τα θετικά ηλεκτρικά φορτία, με αποτέλεσμα οι γραμμές ρεύματος να συγκλίνουν προς αυτό από όλες τις διευθύνσεις.

Μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d με κέντρο τη γείωση θα παρουσιάζει αντίσταση R στη ροή του ρεύματος σύμφωνα με τη σχέση (2.5). Η διαφορά μεταξύ του δυναμικού $-V_d$ όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από τη γείωση και του δυναμικού της γείωσης $-V_0$ θα είναι:

$$-\Delta V_d = V_0 - V_d = -IR = -\frac{I\rho}{2\pi d} \quad (6-5)$$

Στην περίπτωση λοιπόν που το ηλεκτρόδιο είναι θετικά φορτισμένο, το ηλεκτρικό ρεύμα απομακρύνεται από αυτό, ενώ όταν το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικά φορτισμένο, το ρεύμα συγκλίνει προς αυτό. Και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές ρεύματος αρχίζουν ακτινικά από το ηλεκτρόδιο, ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι ημισφαιρικές επιφάνειες με κέντρο το ηλεκτρόδιο (Σχήμα 6.2). Οι γραμμές ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες.

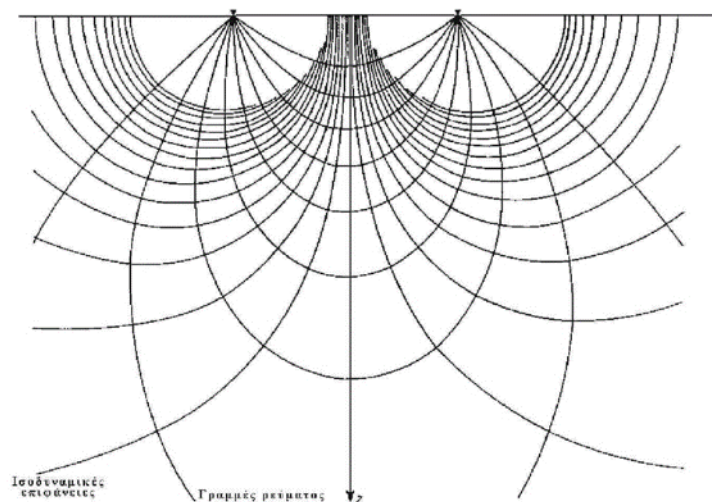


Σχήμα 6-2. Ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς όλες τις κατευθύνσεις σε ομογενές μέσο (Γκανιάτσος, 2000, Σούργλας, 2000).

Όταν η απόσταση των δύο ηλεκτροδίων θεωρηθεί μικρή, τότε το δυναμικό όλων των σημείων στο έδαφος δίδεται από την παρακάτω σχέση (Βαφειδής, 2001):

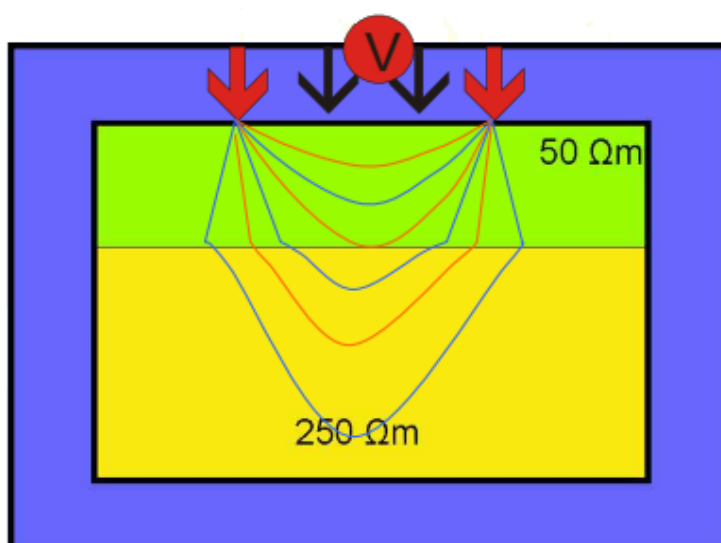
$$V = V_{d1} + V_{d2} = V_{d1} - V_0 + V_0 + V_{d2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (6-6)$$

Η σχέση αυτή περιγράφει το δυναμικό σε κάθε σημείο του υπεδάφους. Ενώνοντας σημεία ίδιου δυναμικού λαμβάνουμε τις ισοδυναμικές επιφάνειες (Σχήμα 6.3). Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει πάντα κάθετα προς τις ισοδυναμικές επιφάνειες.



Σχήμα 6-3. Απεικόνιση του δυναμικού πεδίου με δυναμικές γραμμές

Όταν το υπέδαφος είναι ανομοιογενές, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα, η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού επηρεάζεται από όλες τις επί μέρους μονάδες (π.χ. στρώματα) που απαρτίζουν το υπέδαφος (Σχήμα 6.4). Έτσι, η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που υπολογίζεται δεν αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο ομοιογενές μέσο και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).



Σχήμα 6-4. Δυναμικές γραμμές σε δυο στρώματα (Εργαστηριακές σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων είναι (Αποστολόπουλος, 2013):

- Είδος πετρώματος

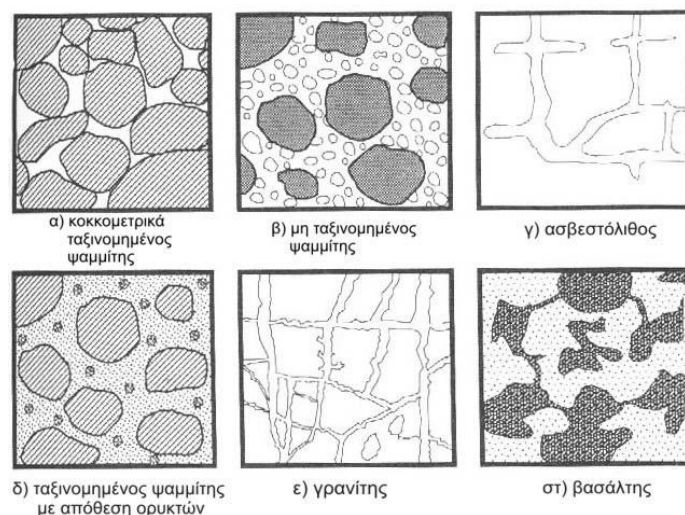
Όπως φαίνεται και από τον πίνακα που ακολουθεί, κάθε είδος χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο εύρος τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Σε γενικές γραμμές τα πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ τα ιζηματογενή τις χαμηλότερες, λόγω του συνήθως υψηλού περιεχομένου τους σε ρευστά. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές με έντονες, όμως, τάσεις αλληλεπικάλυψης.

Πίνακας 6-1.

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ($\Omega \cdot m$)
Αέρας	∞
Μαρμαρυγίας	$9 \times 10^{12} - 1 \times 10^{14}$
Χαλαζίας	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Ορυκτόαλας	$30 - 1 \times 10^{13}$
Σιδηροπυρίτης	3×10^{-1}
Γαληνίτης	2×10^{-3}
Γάββρος	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
Συμπαγής Γρανίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^6$
Αποσαθρωμένος Γρανίτης	$1 - 1 \times 10^2$
Ασβεστόλιθος	$50 - 1 \times 10^7$
Βασάλτης	$10 - 1 \times 10^7$
Ψαμμίτης	$1 - 1 \times 10^8$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 \times 10^3$
Δολομίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^4$
Άμμος	$1 - 1 \times 10^3$
Άργιλος	$1 - 1 \times 10^2$
Εδαφικό Νερό	0,5 – 300
Θαλασσινό Νερό	0,2

- Δομή και Πορώδες:

Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες ενός πετρώματος, τόσο μικρότερη είναι και η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση.



Εικόνα 6-1. Δομές πρωτογενούς και δευτερογενούς πορώδους

α) Ο κοκκομετρικά ταξινομημένος ψαμμίτης (χονδρό κλάσμα) έχει μεγάλα κενά και, κατά συνέπεια, παρουσιάζει χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης.

β) Ο μη ταξινομημένος ψαμμίτης (χονδρό και ψιλό κλάσμα) έχει πολύ μικρότερο πορώδες και ως εκ τούτου, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερες τιμές ειδικής αντίστασης.

γ) Η διάλυση του ασβεστόλιθου, κατά μήκος των ρωγμών του, αυξάνει το πορώδες και, κατά συνέπεια, μειώνει τις τιμές της ειδικής αντίστασης.

δ) Η απόθεση ορυκτών σε οποιοδήποτε πέτρωμα μειώνει το πορώδες του, αυξάνοντας την ειδική του αντίσταση.

ε) Ένα πέτρωμα με την γρανιτική υφή θα άγει τον ηλεκτρισμό μέσω διακλάσεων και κατά μήκος των ορίων γωνιωδών κόκκων, έχοντας μικρό πορώδες και κατά συνέπεια υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης.

στ) Ο βασάλτης έχει κενούς χώρους που σπάνια συνδέονται μεταξύ τους, καθιστώντας το σχηματισμό ελάχιστα περατό. Επομένως, ακόμα και στην περίπτωση που αυτός χαρακτηρίζεται από μεγάλο πορώδες, παρουσιάζει υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης.

- Περιεκτικότητα σε άλατα

Για δεδομένο πορώδες, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του ρευστού πλήρωσης των πόρων σε άλατα, τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος.

- Επιδράσεις γεωλογικών διεργασιών

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι επιδράσεις των διαφόρων γεωλογικών διεργασιών στις ειδικές αντιστάσεις των πετρωμάτων. Κατά κανόνα, οι γεωλογικές διεργασίες μειώνουν την ειδική αντίσταση, αλλά υπάρχουν εξαιρέσεις.

Πίνακας 6-2

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
Αργιλική εξαλλοίωση	Ελάττωση
Διάλυση	Ελάττωση
Ρηγμάτωση	Ελάττωση
Εισροή θαλασσινού νερού	Ελάττωση
Διάτμηση	Ελάττωση
Αποσάθρωση	Ελάττωση
Σκλήρυνση	Αύξηση
Ιζηματοποίηση	Αύξηση
Απολίθωση	Αύξηση
Μεταμόρφωση	Αύξηση ή Ελάττωση

- Ηλικία πετρώματος:

Τα παλαιότερα πετρώματα τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

- Επιδράσεις αργιλικών ορυκτων:

Λόγω της αυξημένης αγωγιμότητας των αργιλικών ορυκτών, η ύπαρξή τους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χαμηλών τιμών επιφανειακής ειδικής αντίστασης.

- Βαθμός κορεσμού:

Όσο ο βαθμός κορεσμού ενός πετρώματος αυξάνεται, η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση μειώνεται.

- Θερμοκρασία:

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος. Αυτός ο παράγοντας, ωστόσο, έχει τόσο μικρή επίδραση, ώστε διαδραματίζει αξιοσημείωτο ρόλο μόνο σε γεωθερμικά συστήματα και όχι σε γεωτεχνικές ή περιβαλλοντικές μελέτες.

Οι μετρήσεις με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας 2 ηλεκτρόδια ρεύματος και 2 δυναμικού. Έτσι η τιμή της μετρούμενης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται, όχι μόνο από τη δομή του υπεδάφους, αλλά και από τη διάταξη των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού (Σχήμα 6.4).

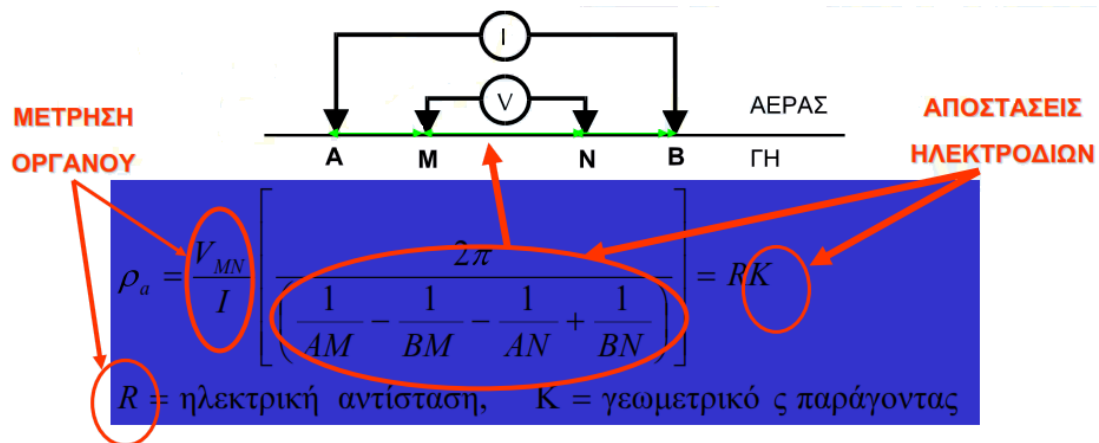
Η σχέση που δίνει την φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι: (Γιαλαμας,2005).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (6-7)$$

Όπου Κείναι ο γεωμετρικός συντελεστής

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (6-8)$$

και τα AM, BM, AN και BN είναι οι αποστάσεις των καλωδίων μεταξύ τους (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6-5. Διάταξη καλωδίων στην φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση (Εργαστηριακές σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής).

6.1.1 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Για την υλοποίηση της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που διαφέρουν ανάλογα με την διάταξη των ηλεκτροδίων τους:

- Διάταξη Wenner:

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = \alpha$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-6, έτσι ηφαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} = 2\pi\alpha \frac{V_{MN}}{I} \quad (6-9)$$

Η ποσότητα

$$2\pi \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right) = 2\pi\alpha \quad (6-10)$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με K . Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές. Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της διασκόπησης. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, το α παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης. Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.

- Διάταξη Schlumberger:

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b$ (Σχήμα 6-6), η απόσταση $2b$ μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση $2L$ μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K υπολογίζεται από την σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} + \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b} \quad (6-11)$$

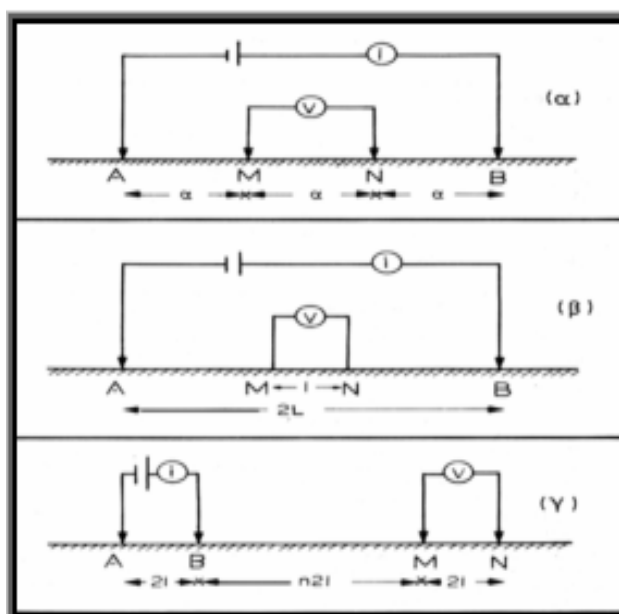
Επειδή όμως ($L \gg b$) τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i} \quad (6-12)$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται κατά μήκος ορισμένης τομής, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των πιθανοτήτων ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.



Σχήμα6-6. Διάταξη Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ) (Παπαζάχος, 1986).

- Διάταξη Διπόλου- Διπόλου

Από τις παραπάνω διατάξεις, η πιο σημαντική είναι αυτή του διπόλου–διπόλου, όπου η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-6.

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου–διπόλου και για $n \gg 1$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = \pi na(n+1)(n+2) \quad (6-13)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση:

$$\rho_a = \pi na(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i} \quad (6-14)$$

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

6.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την ηλεκτρική τομογραφία, χρησιμοποιήθηκαν δώδεκα (12) ηλεκτρικές γραμμές που καλύπτουν το εσωτερικό προαύλιο του κάστρου και τρεις (3) μία στην βόρεια πλευρά του κάστρου μία στην δυτική και μία στην νότια. Όλες έγιναν με τη χρήση της διάταξης διπόλου-διπόλου. Το μήκος κάθε γραμμής κυμαίνονταν από 40 m έως 71,5 m, και η απόσταση των ηλεκτροδίων ήταν 1 m εκτός από την γραμμή LINE 1 η οποία είχε απόσταση ηλεκτροδίων 1.5 m. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 15 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT) των οποίων το συνολικό μήκος είναι 581,5 m

Για την συλλογή δεδομένων τις φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έγιναν δύο επισκέψεις στο κάστρο. Στην πρώτη επίσκεψη χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Sting R1/Swift της AGI με το οποίο έγιναν οι γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας FRAGLINE 1 και FRAGLINE 2. Στην δεύτερη επίσκεψη όπου έγιναν και οι υπόλοιπες γραμμές χρησιμοποιήθηκε το όργανο Syscal Pro, IRIS.

Οι καταγεγραμμένες αντιστάσεις στη συνέχεια αντιστράφηκαν με τη χρήση των λογισμικών Res2Dinv και EarthImager.

Το βάθος της έρευνας είναι ανάλογο του μήκος των γραμμών της ηλεκτρικής τομογραφίας. Όσο μεγαλύτερο το μήκος τόσο μεγάλο και το βάθος διασκόπησης. Το μέγιστο βάθος διασκόπησης είναι δώδεκα μέτρα.

6.2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελούνταν από:

- Σύστημα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης Sting R1 / Swift της AGI Inc.
- Syscal Pro, IRIS.
- Ηλεκτρόδια από ανοξείδωτο χάλυβα, 45 εκατοστά σε μήκος και 9,5 mm σε διάμετρο.
- Μια μπαταρία 12 V για το Sting R1 / Swift της AGI Inc και για το Syscal Pro, IRIS.
- Πολυπλέκτης από 1-48 καναλιών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν όλα.
- Ένα καλώδιο σύνδεσης των δύο οργάνων με την μπαταρία.
- Σύστημα αυτόματης εναλλαγής των ηλεκτροδίων (Swift AGI Inc και Switch AGI Inc).
- Καλώδια σύνδεσης του Sting R1 με το σύστημα αυτόματης εναλλαγής των ηλεκτροδίων.
- Σφυριά και μετροταινία για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων

Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται το όργανο Sting R1/Swift της AGI Inc



Εικόνα 6-2. Όργανο StingR1 / Swift της AGI Inc που χρησιμοποιήθηκε για τις γεωηλεκτρικές τομογραφίες FRAGLINE 1 και FRAGLINE 2.

Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται το όργανο Syscal Pro, IRIS. Επίσης φαίνεται ο πολυπλέκτης των 48 καναλιών.



Εικόνα 6-3. Το όργανο Syscal Pro, IRIS. Επίσης φαίνεται ο πολυπλέκτης των 48 καναλιών. Αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τις υπόλοιπες τομογραφίες.

6.2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η υλοποίηση της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με βάση την ακόλουθη διαδικασία:

- 1) Επιλέχθηκε η θέση της κάθε γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας. Η κάθε γραμμή χωροθετήθηκε με βάση τις διαστάσεις του κάστρου χρησιμοποιώντας ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-4.
- 2) Τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν κατά μήκος της γραμμής μελέτης με ενδιάμεση απόσταση ενός μέτρου, εκτός από μία γραμμή (LINE 1) η οποία ήταν ενάμιση μέτρο. Τοποθετήθηκαν με άργιλο (μπετονίτη) και δεν καρφώθηκαν διότι το έδαφος ήταν πολύ σκληρό. Μόνο σε μία γραμμή την LINE 1 καρφώθηκαν. Αφού τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρόδια χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό για να γίνεται καλύτερη επαφή του ηλεκτρικού ρεύματος με το έδαφος.
- 3) Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με το πολύκλιωνα καλώδια στις κατάλληλες απολήξεις.
- 4) Το πολύκλιωνα καλώδιο συνδέεται με τον μετρητή αντίστασης Sting R1 μέσω του συστήματος αυτόματης εναλλαγής των ηλεκτροδίων.
- 5) Πραγματοποιείται δοκιμή επικοινωνίας πριν από την απόκτηση δεδομένων.



Εικόνα 6-4. Το Φραγκοκάστελλο σε κάτοψη με σχεδιασμένες τις γραμμές της ηλεκτρικής τομογραφίας.

για να διασφαλιστεί ότι όλα τα ηλεκτρόδια είναι συνδεδεμένα σωστά και η αντίσταση επαφής είναι λογικά χαμηλή.

6) Τέλος, η διαδικασία μέτρησης ξεκινά. Οι μετρήσεις αντίστασης διεξήχθησαν με διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος μέσω δύο ηλεκτροδίων και μετρώντας την προκύπτουσα διαφορά δυναμικού σε δύο άλλα ηλεκτρόδια.

7) Η επιλογή των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού σε κάθε μέτρηση γίνεται αυτόματα από σύστημα αυτόματης επιλογής των ηλεκτροδίων με βάση την επιθυμητή διάταξη ηλεκτροδίων, το μέγιστο βάθος διασκόπησης και τα επίπεδα βάθους.

Η επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας των δεδομένων αποτελούσε προτεραιότητα ακολουθώντας ορισμένα κριτήρια που προτείνονται στη βιβλιογραφία και από τον κατασκευαστή του οργάνου. Τα βασικά κριτήρια που υλοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας είναι:

- Γεωφυσικοί στόχοι που παρουσίαζαν τιμές αντίστασης που μπορεί να διακριθούν από τις τιμές θορύβου.
- Η εγκατάσταση των ηλεκτροδίων με υψηλή ακρίβεια ως προς τη θέση.
- Η μέτρηση των αντιστάσεων επαφής εκτελέστηκε πριν από την απόκτηση δεδομένων για να εξασφαλιστεί ότι όλα τα ηλεκτρόδια είναι σωστά συνδεδεμένα και η αντίσταση επαφής είναι λογικά χαμηλή.
- Σε κάθε μέτρηση, λαμβάνονται τουλάχιστον οι δύο τιμές της αντίστασης και υπολογίζεται η μέση τιμή τους. Η καταγραφή και η τυπική απόκλιση για όλες τις μετρήσεις αποθηκεύεται.
- Έμπειρος γεωφυσικός έλεγχε κατά διαστήματα τα δεδομένα και βεβαιωνόταν ότι οι αντιστάσεις βρίσκονται μέσα σε λογικές τιμές.

Ο Πίνακας 6-3 περιγράφει τις παραμέτρους διασκόπησης της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Πίνακας 6-3. Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διασκόπηση της ηλεκτρικής τομογραφίας

Γραμμές	Μήκος Γραμμών (m)	Διάστημα ηλεκτροδίων (m)	Μέγιστο βάθος (m)	Διάταξη ηλεκτροδίων
FRAG LINE 1	54	1	10	DD
FRAG LINE 2	54	1	11	DD
LINE 1	71,5	1,5	9,3	DD
LINE 2	47	1	7	DD
LINE 3	46	1	7	DD
LINE 4	46	1	7	DD
LINE 5	46	1	7	DD
LINE 6	46	1	7	DD
LINE 7	46	1	7	DD
LINE 8	46	1	7	DD
LINE 9	46	1	7	DD
LINE 10	46	1	7	DD
LINE 11	46	1	7	DD
LINE 12	46	1	7	DD
LINE 13	46	1	7	DD

ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ**6.3.1 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Res2dinv***6.3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ*

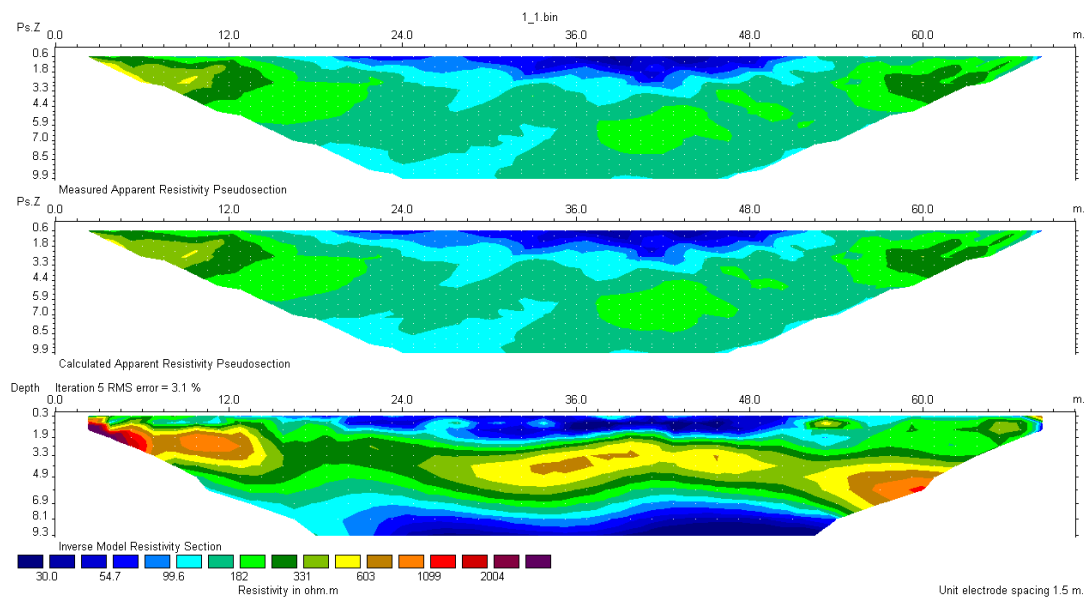
Ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ επιτυγχάνεται με την χρήση του λογισμικού πακέτου Res2dinv. Το Res2dinv καθορίζει αυτόματα δισδιάστατο (2-D) μοντέλο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Griffiths and Barker 1993). Αυτό το πρόγραμμα αντιστρέφει δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν με τη χρήση μεγάλου αριθμού ηλεκτροδίων.

Χρησιμοποιείται μη γραμμική τεχνική ελαχίστων τετραγώνων για την αντιστροφή των δεδομένων (de Groot-Hedlin and Constable, 1990, Loke and Barker, 1996) τα οποία συλλέχθηκαν με οποιαδήποτε από τις παρακάτω διατάξεις: Wenner, πόλου-πόλου, διπόλου - διπόλου, πόλου - δίπολου, Schlumberger, Wenner - Schlumberger και τις ορθογώνιες σειρές.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα, εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο dat. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα.

Επίσης παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Ακόμα, στα αποτελέσματα του προγράμματος συγκαταλέγεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS μεταξύ μετρούμενων και υπολογιζόμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Βλαχοδημητρόπουλος και Παρασχούδης, 2010).

Ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί ψευδοτομές με έως και 650 ηλεκτρόδια και 6500 σημεία δεδομένων. Ένα ενδεικτικό αποτέλεσμα βρίσκεται στο πιο κάτω σχήμα.

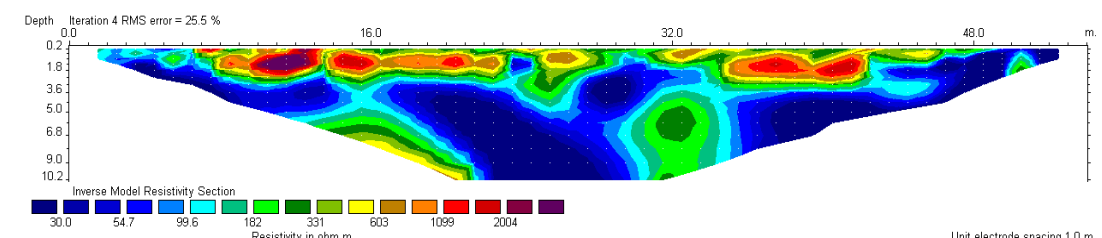


Σχήμα 6-7. Ηλεκτρική τομογραφία για την γραμμή μελέτης LINE 1. Η πρώτη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), η δεύτερη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προκύπτουν από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) μεταξύ μετρούμενων υπολογιζόμενων τιμών της ρ_a είναι 3,1%.

6.3.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πιο κάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας όπου απεικονίζουν τη γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών καθώς αναγράφεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS. Οι πλήρεις τομές όπως πρόέκυψαν από το λογισμικό Res2Dinv παρατίθενται στο Παράρτημα Α.

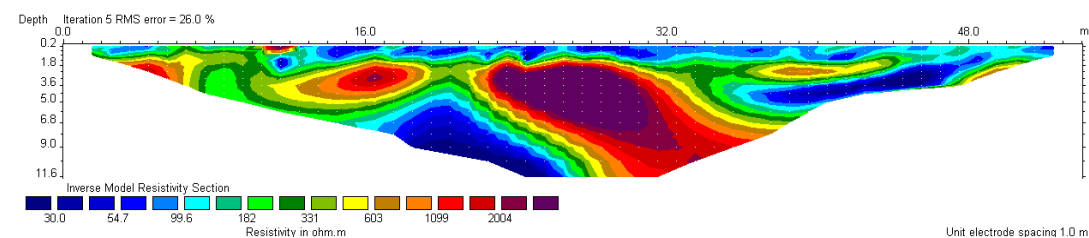
Γραμμή FRAGLINE 1



Σχήμα 6-8. Γραμμή FRAGLINE 1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 25,5% και μέγιστο βάθος 10,2 m.

Στην τομή FRAGLINE 1 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 2 έως 3,6 μέτρα βάθος, με σχετικά υψηλές τιμές ρ ($> 1000 \text{ Ohmm}$) που διακόπτεται κατά θέσεις από περιοχές με πολύ μικρότερες τιμές ρ (50-600 Ohmm). Ακολουθεί μια δεύτερη ζώνη κάτω από τα 2 περίπου μέτρα μέχρι κατά θέσεις 5,5 μ., με πολύ μικρές τιμές ρ ($< 50 \text{ Ohmm}$). Η ζώνη αυτή δεν είναι ενιαία αλλά κατά θέσεις εμφανίζει περιοχές υψηλότερων τιμών ρ ($> 100 \text{ Ohmm}$). Η τελευταία ζώνη που διακρίνεται εμφανίζεται αποσπασματικά με τιμές ρ από 100-600 Ohmm. Στο μεγαλύτερο τμήμα της αυτή η ζώνη εμφανίζει πολύ χαμηλές τιμές ρ ($< 50 \text{ Ohmm}$).

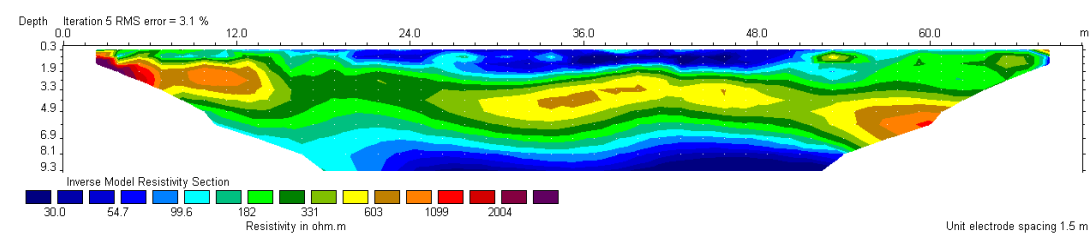
Γραμμή FRAGLINE 2



Σχήμα 6-9. Γραμμή FRAGLINE 2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 26% και βάθος 11, 6 m.

Στην τομή FRAGLINE 2 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0 έως 2 m βάθος, με σχετικά χαμηλές τιμές ρ ($< 200 \text{ Ohmm}$). Ακολουθεί μια δεύτερη ζώνη κάτω από τα 2 m και φθάνει σε βάθος μέχρι και τα 5 m η οποία έχει εναλλαγές υψηλών και χαμηλών τιμών ρ που κυμαίνονται μεταξύ 30-2000 Ohmm. Η τελευταία ζώνη η οποία έχει βάθος από 5-12 m διακρίνονται ξεκάθαρα δύο ζώνες. Η μία ζώνη με πολύ χαμηλές τιμές ρ ($< 100 \text{ Ohmm}$) και η άλλη ζώνη με τιμές ρ πέραν των 1000 Ohmm.

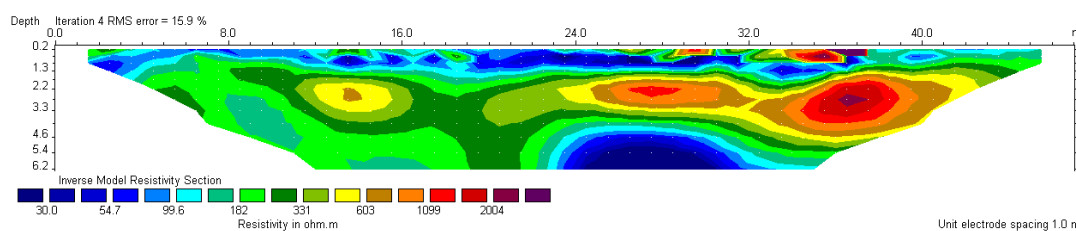
Γραμμή LINE 1



Σχήμα 6-10. Γραμμή LINE 1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1,5 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 3, 1% και βάθος 9, 3 m.

Στην τομή FRAGLINE 1 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-2 m βάθος, με σχετικά χαμηλές τιμές ρ ($<100 \text{ Ohmm}$) που διακόπτεται σε δύο θέσεις από περιοχές με ελάχιστα υψηλότερες τιμές ρ από τα 100 Ohmm . Ακολουθεί μια δεύτερη ενιαία ζώνη κάτω από τα 2 περίπου μέτρα μέχρι κατά θέσεις τα 7 m σε βάθος με τιμές ρ που κυμαίνονται από τα $300\text{-}1200 \text{ Ohmm}$. Η τελευταία ζώνη που διακρίνεται είναι ενιαία και βρίσκεται σε βάθος πέραν των 7 m και φτάνει σε βάθος τα 9,3 m. Εμφανίζονται πολύ χαμηλές τιμές ρ $<100 \text{ Ohmm}$.

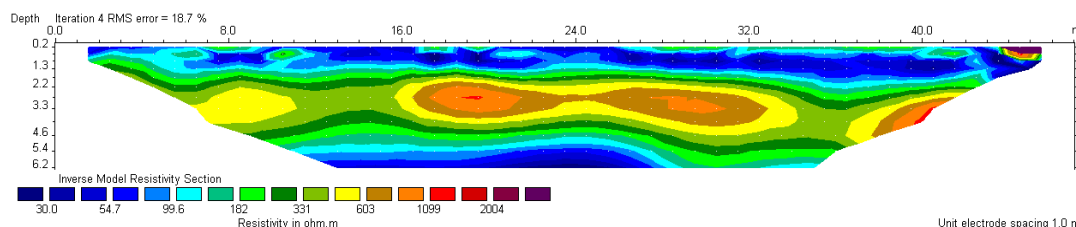
Γραμμή LINE 2



Σχήμα 6-11. Γραμμή LINE 2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 15,9% και βάθος 6,2 m.

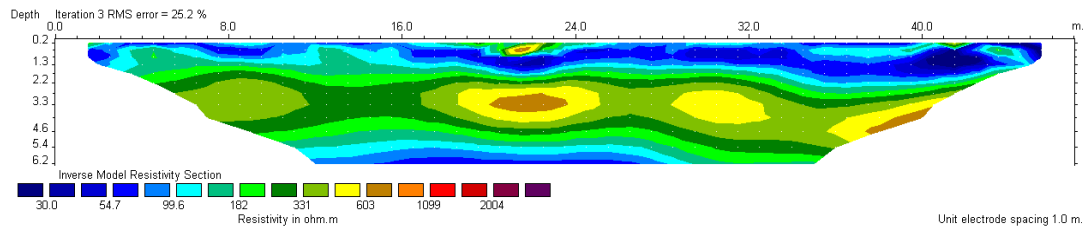
Στην τομή LINE 2 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0 έως 1,5 m περίπου σε βάθος, με χαμηλές τιμές ρ $< 100 \text{ Ohmm}$. Ακολουθεί μια δεύτερη ζώνη κάτω από τα 2 m περίπου μέτρα μέχρι κατά θέσεις 5 m, με εναλλαγές χαμηλών και υψηλών τιμών ρ με εύρος που κυμαίνεται από $200\text{-}2000 \text{ Ohmm}$. Η τελευταία ζώνη που διακρίνεται βρίσκεται σε βάθος πέραν των 5 m και φθάνει σε βάθος τα 6,2 m. Εμφανίζονται δύο περιοχές ή μία με χαμηλές τιμές ρ , κάτω από τα 100 Ohmm . Η άλλη περιοχή με τιμές ρ από $100\text{-}300 \text{ Ohmm}$.

Γραμμή LINE 3



Σχήμα 6-12. Γραμμή LINE 3. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 18,7% και βάθος 6,2 m.

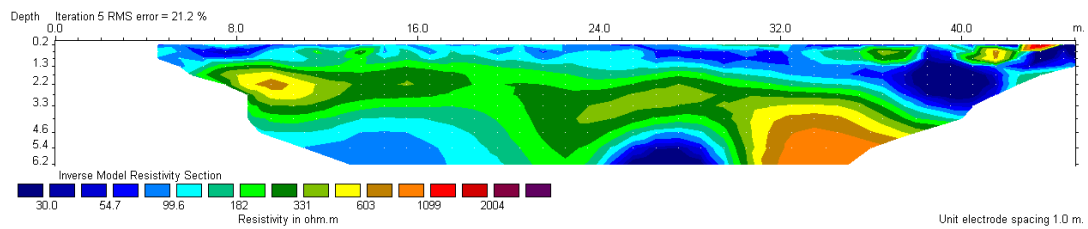
Γραμμή LINE 4



Σχήμα 6-13. Γραμμή LINE 4. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 25,2% και βάθος 6,2 m.

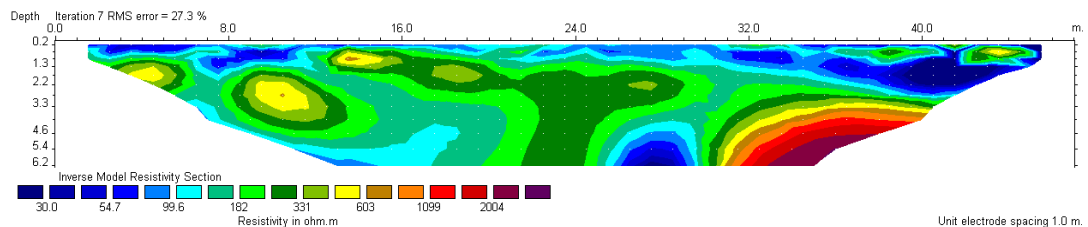
Στις τομές LINE 3 και LINE 4 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-2m βάθος, με σχετικά χαμηλές τιμές ρ ($< 100 \text{ Ohm.m}$). Ακολουθεί μια δεύτερη ζώνη κάτω από τα 2 περίπου μέτρα μέχρι κατά θέσεις 6 m., με τιμές ρ που κυμαίνονται από 300-1000 Ohm.m . Η ζώνη αυτή δεν είναι ενιαία αλλά κατά θέσεις εμφανίζει περιοχές υψηλότερων τιμών ρ ($> 600 \text{ Ohm.m}$). Η τελευταία ζώνη που διακρίνεται υπάρχουν δύο περιοχές. Στο μεγαλύτερο τμήμα της αυτή η ζώνη εμφανίζει πολύ χαμηλές τιμές ρ ($< 100 \text{ Ohm.m}$) και στο υπόλοιπο τιμές ρ μέχρι τα 300 Ohm.m .

Γραμμή LINE 5



Σχήμα 6-14. Γραμμή LINE 5. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 21,2% και βάθος 6,2 m.

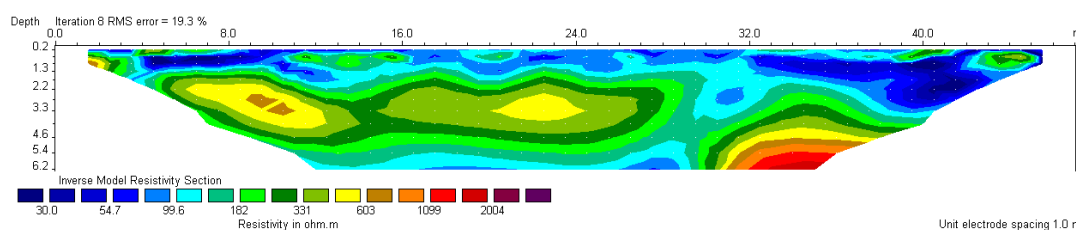
Γραμμή LINE 6



Σχήμα 6-15. Γραμμή LINE 6. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 27,3% και βάθος 6,2 m.

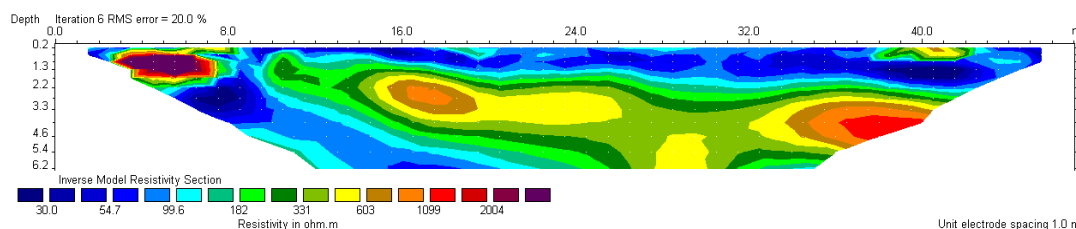
Στις τομές LINE 5 και LINE 6 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-2m βάθος, με τιμές ρ που κυμαίνονται από 30-600 Ohmm. Ακολουθεί μια δεύτερη ζώνη κάτω από τα 2 περίπου μέτρα μέχρι κατά θέσεις 4 m., με τιμές ρ που κυμαίνονται από 200-600 Ohmm. Η ζώνη αυτή δεν είναι ενιαία αλλά κατά θέσεις εμφανίζει περιοχές χαμηλότερων τιμών ρ (< 100 Ohmm). Η τελευταία ζώνη που διακρίνεται η οποία βρίσκεται σε βάθος πέραν των 4 m και εκτείνεται μέχρι και τα 6,2 m υπάρχουν εναλλαγές υψηλών και χαμηλών αντιστάσεων (30-2000 Ohmm).

Γραμμή LINE 7



Σχήμα 6-16. Γραμμή LINE 7. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 19,3% και βάθος 6,2 m.

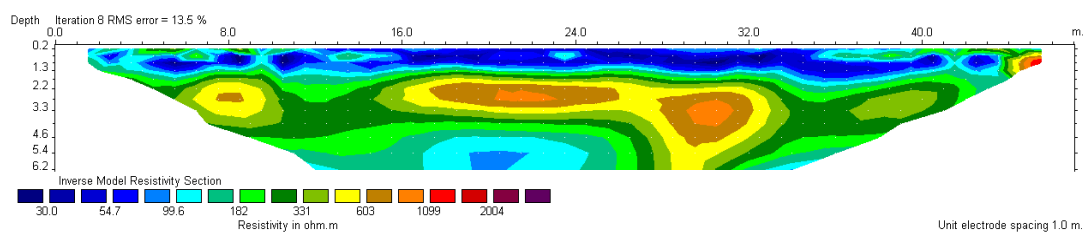
Γραμμή LINE 8



Σχήμα 6-17. Γραμμή LINE 8. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 20% και βάθος 6,2 m.

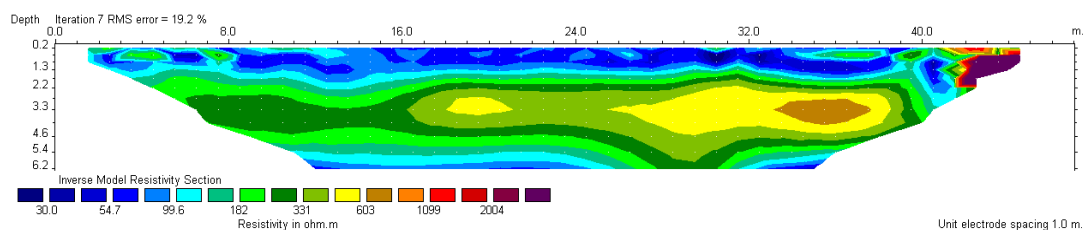
Στις τομές LINE 7 και LINE 8 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5m βάθος, με σχετικά χαμηλές τιμές ρ (< 100 Ohmm). Εκτός από την γραμμή LINE 8 η οποία παρουσιάζει μία ανωμαλία η οποία ξεπερνά τα 2000 Ohmm. Ακολουθεί μια δεύτερη ζώνη κάτω από τα 2 περίπου μέτρα μέχρι κατά θέσεις τα 6,2 m., με εναλλαγές τιμών ρ που κυμαίνονται από 30-2000 Ohmm. Η ζώνη αυτή δεν είναι ενιαία αλλά κατά θέσεις εμφανίζει περιοχές υψηλότερων τιμών ρ (> 600 Ohmm).

Γραμμή LINE9



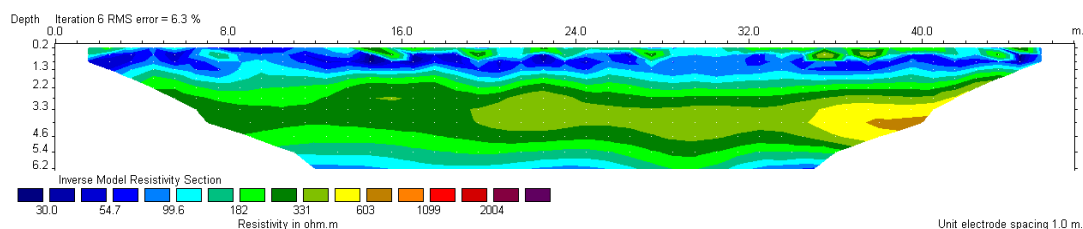
Σχήμα 6-18. Γραμμή LINE 9. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 13, 5% και βάθος 6, 2 m.

Γραμμή LINE10



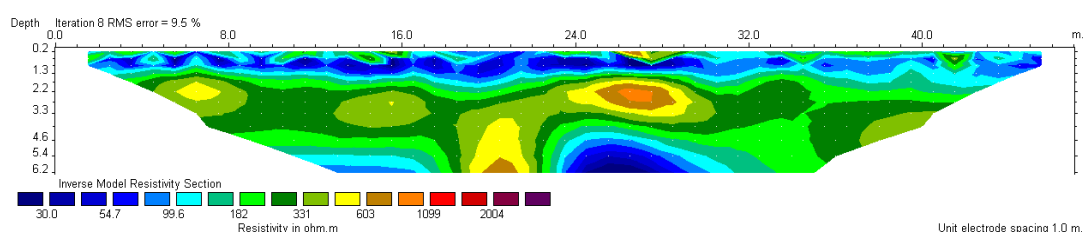
Σχήμα 6-19. Γραμμή LINE 10. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 19, 2% και βάθος 6, 2 m.

Γραμμή LINE11



Σχήμα 6-20. Γραμμή LINE 11. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6, 3% και βάθος 6, 2 m.

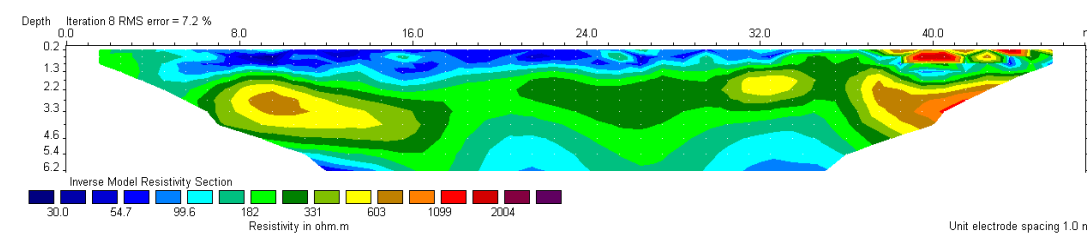
Γραμμή LINE12



Σχήμα 6-21. Γραμμή LINE 12. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 9,5% και βάθος 6,2 m.

Στις τομές LINE 9, LINE 10, LINE 11 και LINE 12 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5m βάθος, με σχετικά χαμηλές τιμές ρ ($< 100 \text{ Ohmm}$). Ακολουθεί ένα δεύτερο ενιαίο στρώμα με ζώνες τιμών ρ που κυμαίνονται μεταξύ 200-1000 Ohmm. Αυτό το στρώμα βρίσκεται από τα 2- 5m. Πέραν των 5 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Εκτός από την τομή της γραμμής LINE 11 της οποίας οι τιμές ρ βρίσκονται κάτω από τα 100 Ohmm. Οι άλλες τρεις τομές LINE 9, LINE 10 και LINE 12 σε αυτό το βάθος έχουν δύο ζώνες χαμηλών τιμών ρ ($< 100 \text{ Ohmm}$) και μία ενδιάμεση ζώνη υψηλότερων με τιμές μέχρι και τα 1000 Ohmm.

Γραμμή LINE13



Σχήμα 6-22. Γραμμή LINE 13. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 7, 2% και βάθος 6,2 m.

Στην τομή LINE 13 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-1,5m βάθος, με κατά κύριο λόγο χαμηλές τιμές ρ ($< 100 \text{ Ohmm}$). Εμφανίζεται όμως μία ζώνη με υψηλές τιμές ρ ($> 1000 \text{ Ohmm}$). Ακολουθεί ένα δεύτερο στρώμα με ζώνες τιμών ρ που κυμαίνονται μεταξύ 200-1000 Ohmm. Αυτό το στρώμα βρίσκεται από τα 2- 5 m. Πέραν των 5 m μέχρι και τα 6,2 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο εμφανίζει κατά τόπους ζώνες με χαμηλές τιμές ρ μικρότερες των 100 Ohmm και δύο ζώνες όπου οι τιμές ρ δεν ξεπερνούν τα 180 Ohmm.

6.3.2 ΔΙΣΔΙΑΤΑΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager2D

6.3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το EarthImager2D χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει 2D προφίλ αντίστασης που δημιουργούνται με κάθε συστοιχία ηλεκτροδίων τοποθετημένα σε ένα επίπεδο, δηλαδή α) κατά μήκος μιας γραμμής στην επιφάνεια του εδάφους, β) ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες παράλληλες γεωτρήσεις, γ) μεταξύ μιας γεώτρησης και της επιφάνειας. Κάθε συστοιχία ή διάφορα δεδομένα από

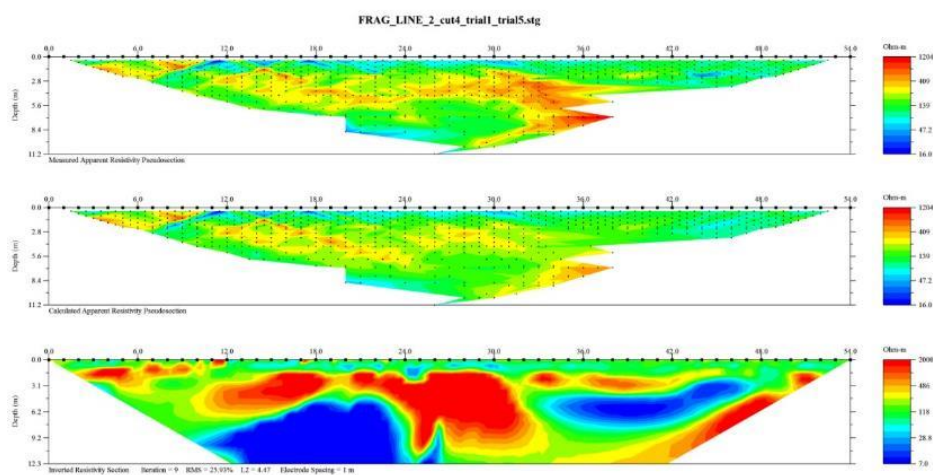
Wenner, πόλου-πόλου, διπόλου-διπόλου, πόλου-διπόλου και Schlumberger είναι δυνατόν να αντιστραφούν.

Το εν λόγω λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιστρέψει δεδομένα με μεγάλο αριθμό θέσεων ηλεκτροδίων, όπως θαλάσσιες έρευνες. Επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει ένα γεωηλεκτρικό μοντέλο να εκτελεί μια εικονική έρευνα και στη συνέχεια να αντιστρέψει τα συνθετικά δεδομένα για να διερευνήσει αν ο στόχος της έρευνας του μπορεί να επιτευχθεί.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα, εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο *.stg. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα.

Επίσης παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Ακόμα, στα αποτελέσματα του προγράμματος συγκαταλέγεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων(<https://www.agiusa.com/agi2dimq.shtml>)

Γραμμή FRAG LINE 2

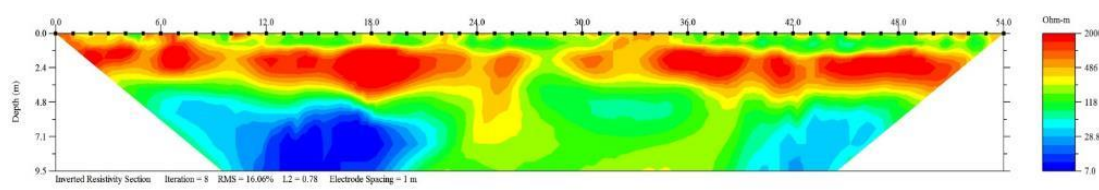


Σχήμα 6-23. Ηλεκτρική τομογραφία για την γραμμή μελέτης FRAGLINE 2. Η πρώτη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), η δεύτερη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), ενώ η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) μεταξύ μετρούμενων υπολογιζόμενων τιμών της ρ_a είναι 25,93%.

6.3.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας όπου απεικονίζουν τη γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών καθώς αναγράφεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS. Οι πλήρης τομές όπως πρόέκυψαν από το λογισμικό EarthImager παρατίθενται στο Παράρτημα Β

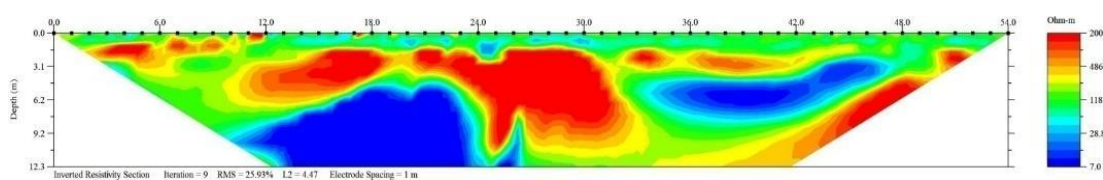
Γραμμή FRAGLINE 1



Σχήμα 6-24. Γραμμή FRAGLINE 1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 16,06 % και το μέγιστο βάθος 9,5 m.

Στην τομή FRAGLINE 1 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-1 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές οι οποίες κυμαίνονται από 50-200 Ohmm. Κατά τόπους υπάρχουν ζώνες οι οποίες έχουν υψηλές τιμές ρ (>1000 Ohmm). Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5 m σε βάθος βρίσκεται ένα κατά κύριο λόγο ενιαίο στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 600-2000 Ohmm. Πέραν των 5 m μέχρι και τα 9,5 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Εμφανίζει κατά τόπους ζώνες με χαμηλές τιμές ρ μικρότερες των 100 Ohmm και μία ζώνη όπου οι τιμές ρ δεν ξεπερνούν τα 300 Ohmm.

Γραμμή FRAGLINE 2

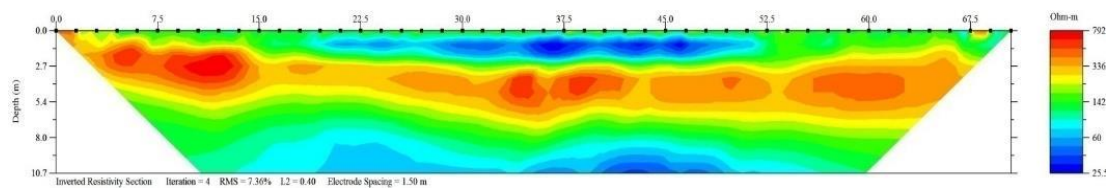


Σχήμα 6-25 Γραμμή FRAGLINE 2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 25, 93 % και το μέγιστο βάθος 12,3 m.

Στην τομή FRAGLINE 2 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-1 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές, οι οποίες

κυμαίνονται από 50-200 Ohmm. Κατά τόπους υπάρχουν ζώνες οι οποίες έχουν υψηλές τιμές ρ (>1000 Ohmm). Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 4m σε βάθος βρίσκεται ένα στρώμα που περιέχει ζώνες με χαμηλές τιμές ρ (<100 Ohmm) και ζώνες υψηλών τιμών ρ (>1000 Ohmm). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 12,3 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Υπάρχουν δύο ζώνες με χαμηλές τιμές ρ μικρότερες των 100 Ohmm και δύο ζώνες όπου οι τιμές ρ ξεπερνούν τα 1000 Ohmm.

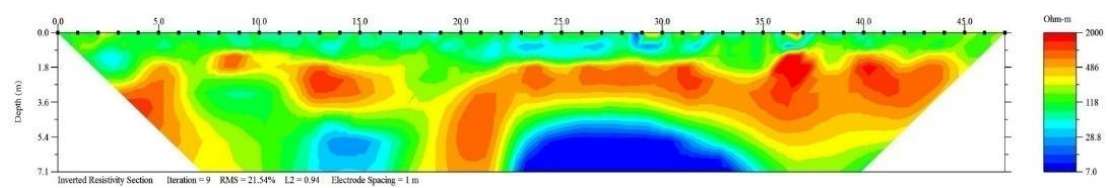
Γραμμή LINE 1



Σχήμα 6-26.Γραμμή LINE 1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 7,36 % και το μέγιστο βάθος 10,7 m. Ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1,5 m.

Στην τομή LINE 1 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-1 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές οι οποίες κυμαίνονται από 50-200 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5m σε βάθος βρίσκεται ένα ενιαίο στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 300-700 Ohmm. Πέραν των 5 m μέχρι και τα 9,5 m βρίσκεται ακόμα ένα ενιαίο στρώμα. Εμφανίζει χαμηλές τιμές ρ μικρότερες των 200 Ohmm.

Γραμμή LINE 2

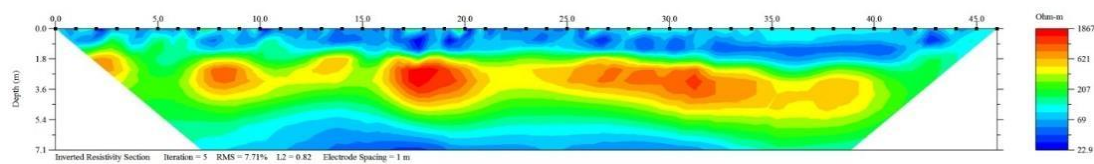


Σχήμα 6-27.Γραμμή LINE 2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 21,54 % και το μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στην τομή LINE 2 διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα, από 0-1 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές οι οποίες κυμαίνονται από 30-1000 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5 m σε βάθος βρίσκεται ένα κατά κύριο λόγο ενιαίο στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 600-2000 Ohmm. Υπάρχει όμως μία ζώνη η οποία έχει μικρότερες τιμές ρ (<200 Ohmm).Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το

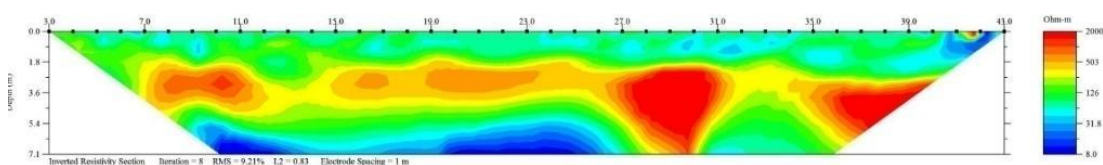
οποίο δεν είναι ενιαίο. Εμφανίζονται δύο ζώνες με χαμηλές τιμές ρ μικρότερες των 100 Ohmm και τρεις ζώνες όπου οι τιμές ρ ξεπερνούν τα 300 Ohmm.

Γραμμή LINE 3



Σχήμα 6-28. Γραμμή LINE 3. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 7,71% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

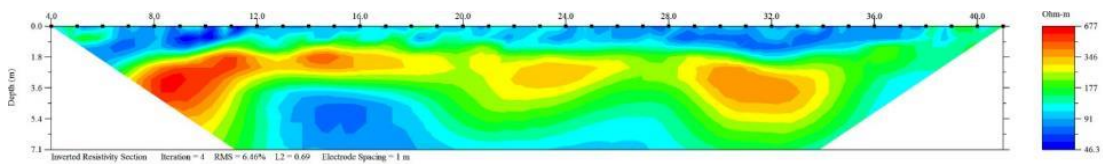
Γραμμή LINE 4



Σχήμα 6-29. Γραμμή LINE 4. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 9,21% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στις τομές LINE 3 και LINE 4 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-2 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές οι οποίες είναι μικρότερες των 100 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5m σε βάθος βρίσκεται ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 600-2000 Ohmm. Διακρίνονται τρεις ζώνες υψηλών τιμών ρ (>1000 Ohmm). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Αποτελείται από μία μεγάλη ζώνη χαμηλών τιμών ρ (<100 Ohmm) και δύο ζώνες υψηλών τιμών ρ (>1000 Ohmm).

Γραμμή LINE 5

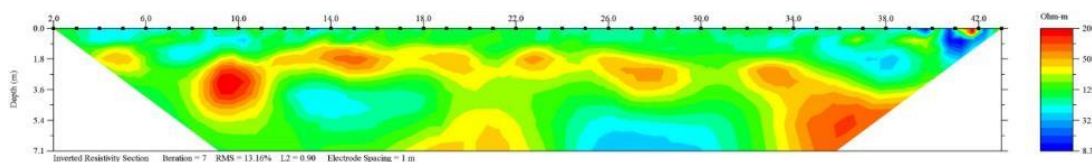


Σχήμα 6-30. Γραμμή LINE 5. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6, 46% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στην τομή LINE 5 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-2 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές και μικρότερες των 100 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5m σε βάθος βρίσκεται ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 200-677 Ohmm. Διακρίνονται τρεις ζώνες υψηλών τιμών ρ (>400 Ohmm). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m

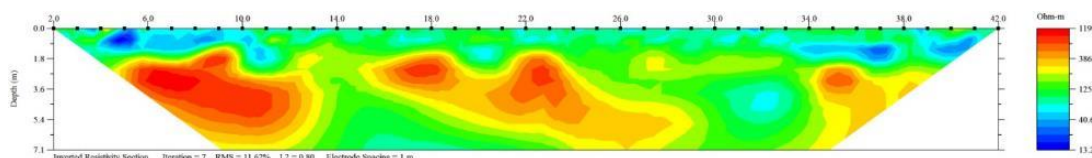
βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Αποτελείται από μία μεγάλη ζώνη χαμηλών τιμών ρ ($<100 \text{ Ohmm}$) και δύο ζώνες υψηλών τιμών ρ ($>677 \text{ Ohmm}$).

Γραμμή LINE 6



Σχήμα 6-31. Γραμμή LINE 6. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 13,16% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

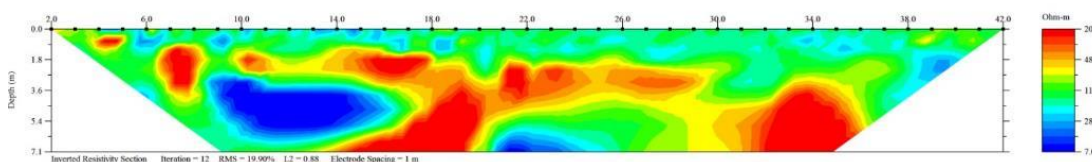
Γραμμή LINE 7



Σχήμα 6-32. Γραμμή LINE 7. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 11,62% και μέγιστο βάθος 7,1 m

Στις τομές LINE 6 και LINE 7 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5 m βάθος, με πολύ χαμηλές τιμές ρ ($<100 \text{ Ohmm}$). Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 6m σε βάθος βρίσκεται ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 400-1090 Ohmm. Διακρίνονται τρεις ζώνες υψηλών τιμών ρ ($>500 \text{ Ohmm}$) και δύο ζώνες χαμηλών τιμών ρ ($<200 \text{ Ohmm}$). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Αποτελείται από τρεις ζώνες υψηλών τιμών ρ ($>400 \text{ Ohmm}$) και δύο ζώνες χαμηλών τιμών ρ ($>100 \text{ Ohmm}$).

Γραμμή LINE 8

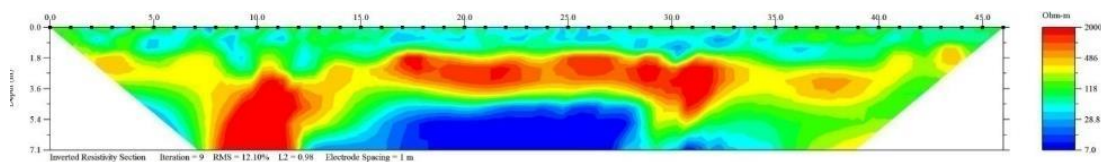


Σχήμα 6-33. Γραμμή LINE 8. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 19,90% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στην τομή LINE 8 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-2 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές και μικρότερες των 200 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5 m σε βάθος βρίσκεται ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 7-2000 Ohmm. Διακρίνεται μία

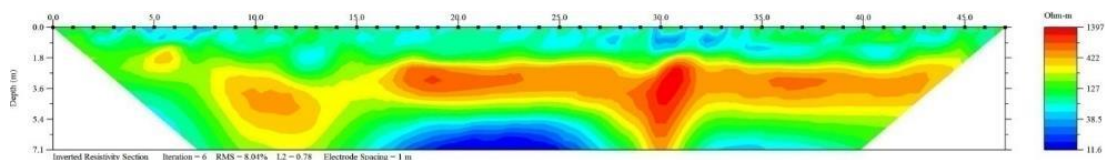
ζώνη χαμηλών τιμών ρ ($<100 \text{ Ohmm}$) και ζώνες υψηλών τιμών ρ ($>1000 \text{ Ohmm}$). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Αποτελείται από δύο ζώνες χαμηλών τιμών ρ ($<100 \text{ Ohmm}$) και δύο ζώνες υψηλών αντιστάσεων που φτάνουν μέχρι τα 2000 Ohmm.

Γραμμή LINE 9



Σχήμα 6-34. Γραμμή LINE 9. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 12,10% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

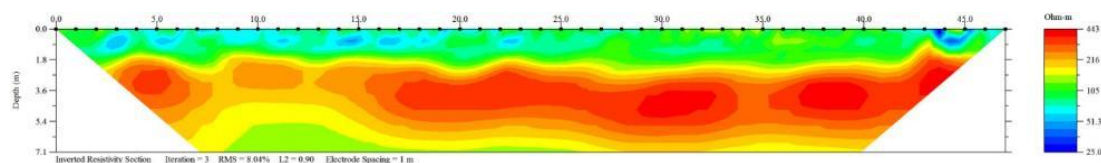
Γραμμή LINE 10



Σχήμα 6-35. Γραμμή LINE 10. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 8,04% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στις τομές LINE 9 και LINE 10 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5 m βάθος, με πολύ χαμηλές τιμές ρ ($<100 \text{ Ohmm}$). Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5 m σε βάθος βρίσκεται ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 400-2000 Ohmm. Διακρίνονται τρεις ζώνες υψηλών τιμών ρ ($>1000 \text{ Ohmm}$). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο δεν είναι ενιαίο. Αποτελείται από δύο ζώνες υψηλών τιμών ρ ($>400 \text{ Ohmm}$) και δύο ζώνες χαμηλών τιμών ρ ($>100 \text{ Ohmm}$).

Γραμμή LINE 11

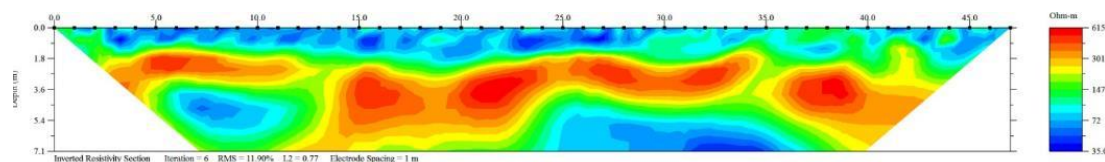


Σχήμα 6-36. Γραμμή LINE 11. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 8,04% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στην τομή LINE 11 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές και μικρότερες των 100 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 6 m σε βάθος βρίσκεται ακόμη ένα ενιαίο στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 200-443 Ohmm.

Πέραν των 6 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο είναι ενιαίο με τιμές ρ μικρότερες από το υπερκείμενο στρώμα.

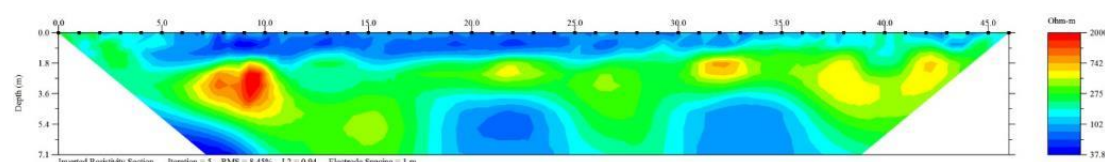
Γραμμή LINE 12



Σχήμα 6-37. Γραμμή LINE 12. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 11,9% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στην τομή LINE 12 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5 m βάθος, με τιμές ρ οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο χαμηλές και μικρότερες των 100 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5 m σε βάθος βρίσκεται ακόμη ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 200-443 Ohmm. Διακρίνονται σε αυτό έξι ζώνες υψηλών τιμών ρ (>300 Ohmm) οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους και μία ζώνη χαμηλών τιμών ρ (<100 Ohmm). Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο περιέχει δύο ζώνες με χαμηλή τιμή ρ (<100 Ohmm) και δύο ζώνες με μεγαλύτερες τιμές ρ (>200 Ohmm).

Γραμμή LINE 13



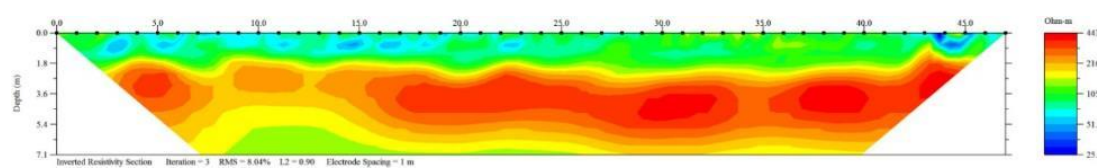
Σχήμα 6-38. Γραμμή LINE 13. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 8,4% και μέγιστο βάθος 7,1 m.

Στην τομή LINE 13 διακρίνεται ένα επιφανειακό ενιαίο στρώμα, από 0-1,5 m βάθος, με χαμηλές τιμές ρ και μικρότερες των 100 Ohmm. Κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι και τα 5 m σε βάθος βρίσκεται ακόμη ένα στρώμα με τιμές ρ που κυμαίνονται στα 200-2000 Ohmm. Διακρίνονται σε αυτό τρεις ζώνες υψηλών τιμών ρ . Η μία φτάνει μέχρι και τα 2000 Ohmm οι υπόλοιπες δύο δεν ξεπερνούν τα 1000 Ohmm. Πέραν των 5 m μέχρι και τα 7,1 m βρίσκεται ακόμα ένα στρώμα το οποίο περιέχει τρεις ζώνες με χαμηλή τιμή ρ (<100 Ohmm) και δύο ενδιάμεσες ζώνες με μεγαλύτερες τιμές ρ (>200 Ohmm).

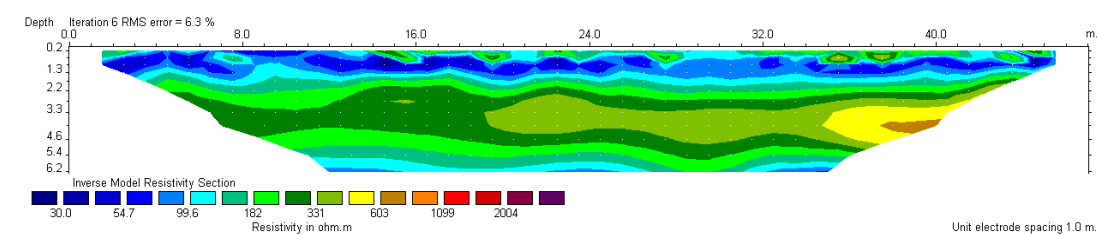
6.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ Res2dinv και EarthImager2D

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήσαμε δυο λογισμικά πακέτα (Res2dinv και EarthImager2D) για την επεξεργασία των γεωηλεκτρικών δεδομένων στις 2 διαστάσεις, αφού είχαμε σκοπό να χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό EarthImager3D και έτσι να δούμε κατά πόσο η αντιστροφή του στο EarthImager2D δίνει τα ίδια αποτελέσματα με το λογισμικό Res2dinv και για να μπορούμε να έχουμε μια ευρεία άποψη για τα αποτελέσματα μας.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων στα δύο προγράμματα Res2dinv και EarthImager2D που έχουμε χρησιμοποιήσει έδειξε ότι οι τομές του Res2dinv σχετίζονται ως επί το πλείστον με τις τομές του EarthImager2D. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τομή της LINE 11 όπου το εύρος των αντιστάσεων ήταν στα ίδια επίπεδα (~500 Ohm.m). Επίσης στην ίδια τομή ενδιαφέρον έχουν και τα επίπεδα των στρωμάτων. Όπως φαίνονται πιο κάτω οι τομές που προέκυψαν από τα δύο προγράμματα.

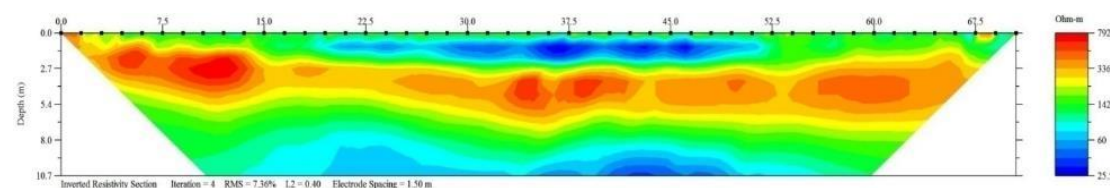


Σχήμα 6-39. Τομή LINE 11 από το πρόγραμμα EarthImager2D.

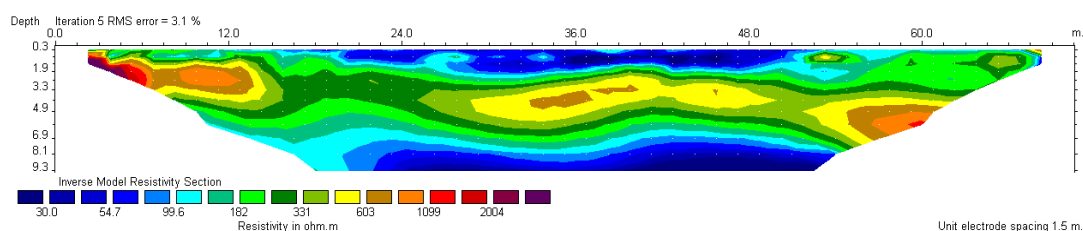


Σχήμα 6-40. Τομή LINE 11 από το πρόγραμμα Res2dinv.

Το ίδιο συμβαίνει και με άλλες τομές, όπως στην τομή της γραμμής LINE 1 όπως φαίνεται πιο κάτω.



Σχήμα 6-41. Τομή LINE 1 από το πρόγραμμα EarthImager2D.



Σχήμα 6-42. Τομή LINE 11 από το πρόγραμμα Res2dinv

6.3.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ2D

Όπως προκύπτει από τις δύο συνδυαστικές μεθοδολογίες διακρίνονται τρεις διαφορετικές ζώνες(στρώματα) διαφορετικών τιμών ρ . Ένα στρώμα πολύ χαμηλών αντιστάσεων, με τιμές ρ κάτω από 50 Ohmm που μπορεί να αντιστοιχιστεί με το εδαφικό κάλυμμα. Μία δεύτερη ζώνη τιμών ρ μεγαλύτερη των 400 Ohmm που κατά θέσεις ξεπερνούν και τιμές ρ των 1000 Ohmm. Το στρώμα αυτό ξεκινάει από βάθος 1,80 m και φτάνει μέχρι και τα 7 m. Επίσης μπορεί να αντιστοιχιστεί στον βιογενή ασβεστόλιθο.

Κάτω από αυτό το στρώμα εντοπίζεται ένα τρίτο στρώμα το οποίο έχει τιμές ρ μικρότερες των 400 Ohmm και στο μεγαλύτερο τμήμα του κάτω από 50 Ohmm. Το στρώμα αυτό μπορεί να αντιστοιχιστεί στην κλαστική ακολουθία (εναλλαγές άμμων, κροκαλοπαγών και μαργών) που εντοπίστηκαν κάτω από των βιογενή ασβεστόλιθο. Οι πολύ χαμηλές τιμές ρ του κατώτερου στρώματος πιθανόν να οφείλονται στην ύπαρξη είτε υγρασίας είτε υδροφορίας. Αφού στα δυτικά του κάστρου υπάρχει ρέμα το οποίο έχει δημιουργηθεί και ρέει σε λιθολογίες ομόλογες του τρίτου στρώματος.

6.3.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RockWorks

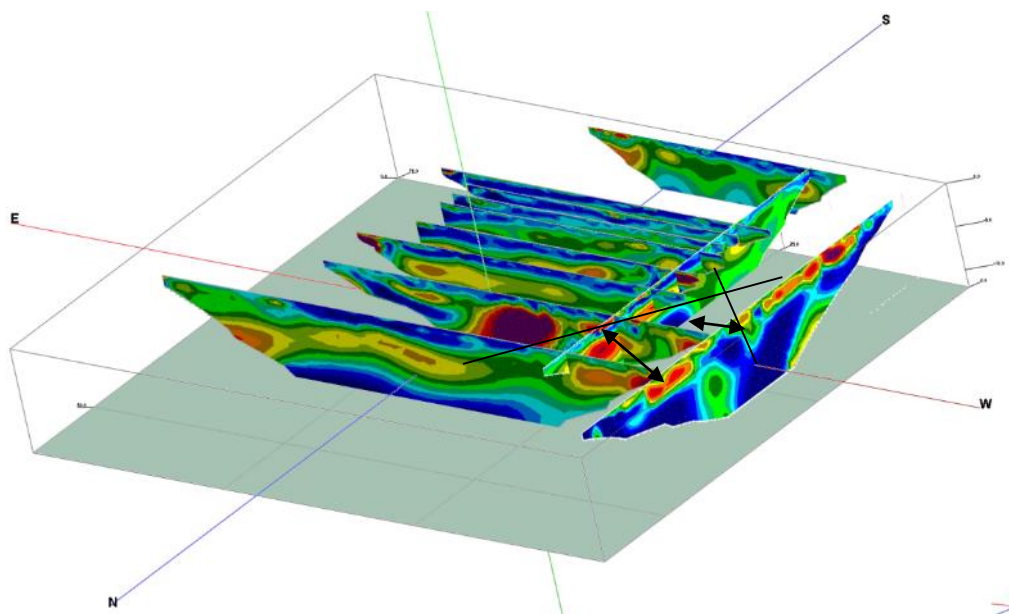
Για την περαιτέρω αξιολόγηση του γεωλογικού υποβάθρου του κάστρου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RockWorks. Λαμβάνοντας υπόψη τις γεωηλεκτρικές τομές των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προέκυψαν από την αντιστροφή των δεδομένων στο λογισμικό Res2dinv. Το πρώτο βήμα που έγινε στο λογισμικό RockWorks ήταν να εισάγουμε σε αυτό τις αρχικές συντεταγμένες (X,Y,Z) της κάθε τομής και τις τελικές συντεταγμένες (X,Y,Z). Με αυτό τον τρόπο το λογισμικό RockWorks μας παραπέμπει σε ένα

τρισδιάστατο χώρο. Στο ποιο κάτω πίνακα αναγράφονται οι αρχικές και τελικές συντεταγμένες κάθε γεωηλεκτρικής τομής.

Πίνακας 6-4. Πίνακας αρχικών και τελικών συντεταγμένων για το λογισμικό RockWorks.

ΓΡΑΜΜΗ	ΑΡΧΙΚΗ			ΤΕΛΙΚΗ		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
LINE 1	0	42	9,3	71,5	42	0
LINE 2	16,5	0	6	16,5	47	0
LINE 3	10.5	14	6	56,5	14	0
LINE 4	13.5	16	6	50,5	16	0
LINE 5	13.5	18	6	50,5	18	0
LINE 6	13.5	20	6	50,5	20	0
LINE 7	13.5	22	6	50,5	22	0
LINE 8	13.5	24	6	50,5	24	0
LINE 9	10.5	26	6	56,5	26	0
LINE 10	10.5	28	6	56,5	28	0
LINE 11	10.5	33	6	56,5	33	0
LINE 12	10.5	35	6	56,5	35	0
LINE 13	10.5	2	6	56,5	2	0
FRAG LINE 1	3.5	3	10	3,5	57	0
FRAG LINE 2	2.5	34	11	56,5	34	0

Στην συνέχεια έπρεπε να γίνει εισαγωγή των γεωηλεκτρικών τομών. Αφού γινε εισαγωγή των πιο πάνω τομών στο λογισμικό εκτελέστηκε μία σειρά από PROCESS. Μετά από την ολοκλήρωση των εντολών προέκυψε το ακόλουθο μοντέλο.



Σχήμα 6-43. Τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε στην επιφάνεια εργασίας το λογισμικό RockWorks

Διακρίνονται οι άξονες Νότος - Βοράς και Ανατολή - Δύση. Επίσης στα σημεία τομής των αξόνων υπάρχει και ένας τρίτος άξονας κάθετος στους άλλους δύο ο οποίος αντιπροσωπεύει τα βάθη των γεωηλεκτρικών τομών. Οι δύο τομές οι οποίες έχουν διεύθυνση Νότο- Βορά αντιστοιχούν στις γεωηλεκτρικές τομές των γραμμών FRAGLINE 1 και LINE2. Οι υπόλοιπες γραμμές οι οποίες έχουν διεύθυνση Δύση- Ανατολή αντιστοιχούν στις γεωηλεκτρικές τομές LINE 1, LINE3, LINE 4, LINE 5, LINE 6, LINE 7, LINE 8, LINE 9, LINE 10, LINE 11, LINE 12 και LINE 13.

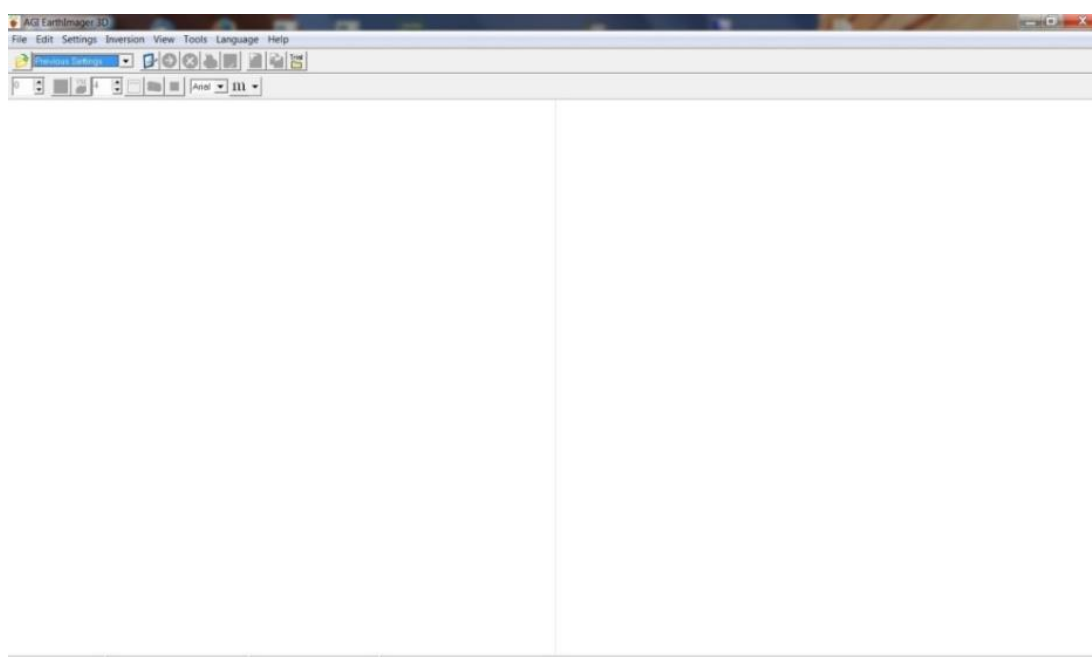
Επίσης οι γραμμές FRAGLINE 1 και FRAGLINE 2 οι οποίες σε διαφορετική ημερομηνία από τις υπόλοιπες γραμμές και εκτελέστηκαν με διαφορετικά όργανα σε πολλά σημεία διακρίνεται η συσχέτιση των χρωματισμών τους όπως φαίνεται στα πιο πάνω βέλη. Με τις μαύρες γραμμές φαίνονται οι κύριες διευθύνσεις χαμηλών αντιστάσεων - ασυνεχειών που οφείλονται στα ρήγματα με διευθύνσεις ΒΒΑ-ΝΝΔ και Α-Δ που διατρέχουν την ευρύτερη περιοχή.

6.3.5 EarthImager3D

Το EarthImager 3D είναι ένα λογισμικό όπου μπορεί να προσδιορίσει αυτόματα ένα τρισδιάστατο μοντέλο αντίστασης για το υπέδαφος χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που λαμβάνονται από μια τρισδιάστατη ή μια ψεύδοτρισδιάστατη (όπου οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά μήκος γραμμών) γεωηλεκτρική έρευνα. Ενώ δίνει την δυνατότητα της παρουσίασης των δεδομένων αντιστροφής σε 3D

μορφή, όπου ο χρήστης μπορεί να τον περιστρέψει σε οποιαδήποτε διεύθυνση, να τον μεγεθύνει μέσα και έξω έτσι ώστε να παρατηρήσει και να μελετήσει τον όγκο λεπτομερώς(<https://www.agiusa.com/earthimager3d.shtml>).

Το λογισμικό αυτό έχει απλό λειτουργικό περιβάλλον όπου δεν χρειάζεται να έχεις ιδιαίτερες γνώσεις για να το χειριστείς (Σχήμα 6-44). Για την ανάγνωση των δεδομένων χρειάζεται μια προεργασία αφού το πρόγραμμα δέχεται συγκεκριμένους τύπους αρχείων *.stg και *.url (Σχήμα 6-45, τύπου ascii προκαθορισμένης δομής) για τα γεωηλεκτρικά δεδομένα και αρχεία *.trn (τύπου ascii προκαθορισμένης δομής) για το ανάγλυφο της περιοχής.



Σχήμα 6-44.Λειτουργικό περιβάλλον λογισμικού πακέτου EarthImager3D

```
Unit: meters

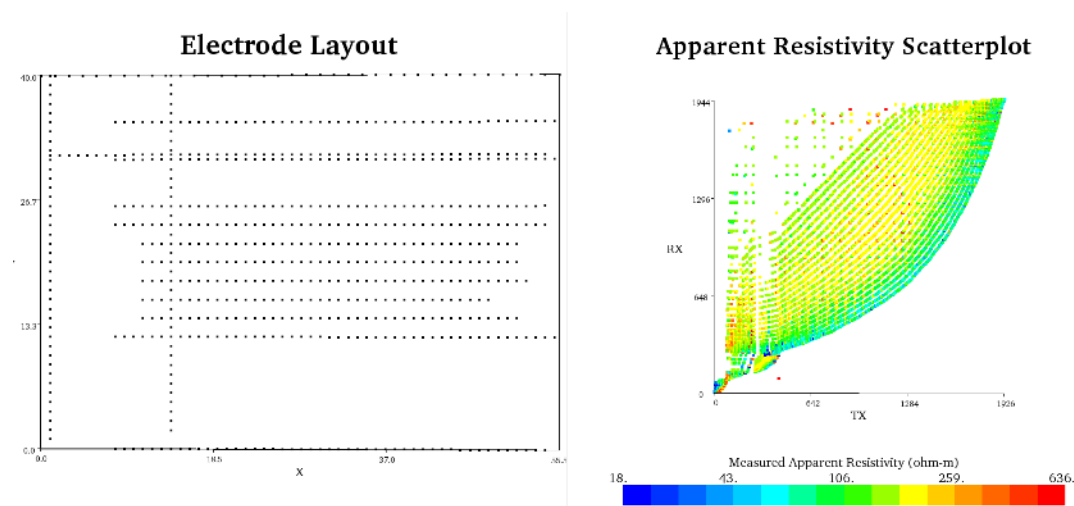
:Geometry
;ID, X, Y, Z
1, 0.00, 0.00, 0.00
2, 0.00, 1.00, 0.00
3, 0.00, 2.00, 0.00
4, 0.00, 3.00, 0.00
5, 0.00, 4.00, 0.00
6, 0.00, 5.00, 0.00
7, 1.00, 5.00, 0.00
8, 1.00, 4.00, 0.00
9, 1.00, 3.00, 0.00
10, 1.00, 2.00, 0.00
11, 1.00, 1.00, 0.00
12, 1.00, 0.00, 0.00

:Measurements
;A, B, M, N, V/I(ohm), I(mA), Error(%), Chargeability(mV/V)
1, 2, 3, 4, -1.0e-01
1, 2, 4, 5, -9.0e-02
1, 2, 5, 6, -7.5e-02
1, 2, 7, 8, 8.0e-02
1, 2, 8, 9, 7.0e-02
```

Σχήμα6-45. Παράδειγμα αρχείου *.url, εισαγωγής στο λογισμικό EarthImager3D (Manual EarthImager 3D Version 1.5.3,2008).

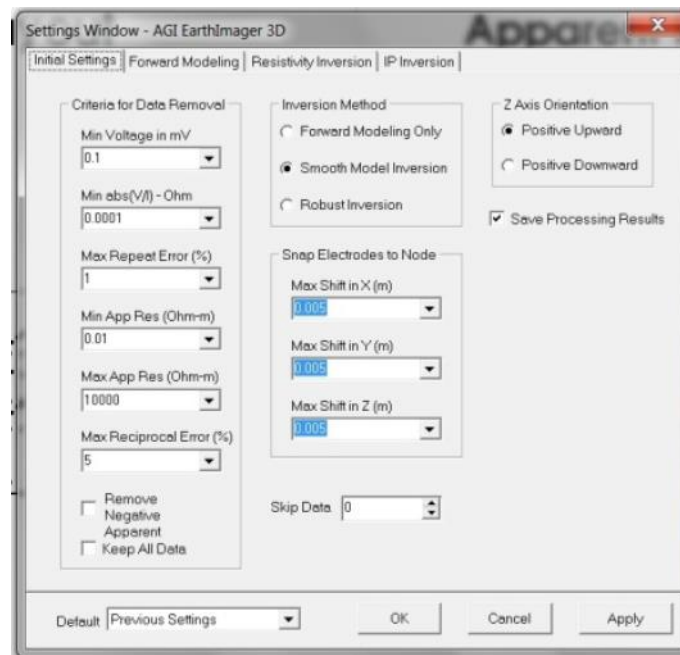
Για την μετατροπή των δισδιάστατων αρχείων (*.stg) που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της γεωηλεκτρικής διασκόπησης σε αρχεία ανάγνωσης τρισδιάστατων δεδομένων (*.url), δημιουργήθηκε κατάλληλος αλγόριθμος σε γλώσσα Matlab. Στον αλγόριθμο αυτό, ο χρήστης εισάγει πολλαπλά αρχεία *.stg ισάριθμων δισδιάστατων διασκοπήσεων, τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα των ηλεκτροδίων (τα υψόμετρα τα θεωρούμε μηδέν διότι όλα τα ηλεκτρόδια βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο), ενώ ο αλγόριθμος επιστρέφει το ενοποιημένο στις τρεις διαστάσεις αρχείο *.url και το αρχείο αναγλύφου *.trn. Ο αλγόριθμος αυτός παρατίθεται στο Παράρτημα Γ.

Για την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, φορτώνονται τα αρχεία πηγαίνοντας στην εντολή File/Read Data, όπου βγαίνει ένα παράθυρο επιλογής ανάγνωσης αρχείου και διαβάζονται τα δεδομένα των γραμμών μελέτης *.url. Έπειτα διαβάζονται τα αρχεία με το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης πηγαίνοντας στην εντολή Read Terrain File, όπου βγαίνει ένα παράθυρο επιλογής αρχείου ανάγνωσης και διαβάζονται τα δεδομένα του ανάγλυφου τη περιοχής μελέτης *.trn (Σχήμα 6-46).



Σχήμα 6-46. Ανάγνωσης αρχείου δεδομένων των γραμμών μελέτης *.url και *.trn

Επίσης μπορούν να αφαιρεθούν δεδομένα από την ανάγνωση των δεδομένων που πιστεύεται ότι έχουν μεγάλο σφάλμα (ακραίων τιμών) καθώς και να αλλαχτούν οι παράμετροι της αντιστροφής των δεδομένων με την εντολή Settings/Initial Settings (Σχήμα 6-47). Μετά και την αφαίρεση ακραίων τιμών από τα δεδομένα εκτελείται η έναρξη της αντιστροφής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήμα 6-48).



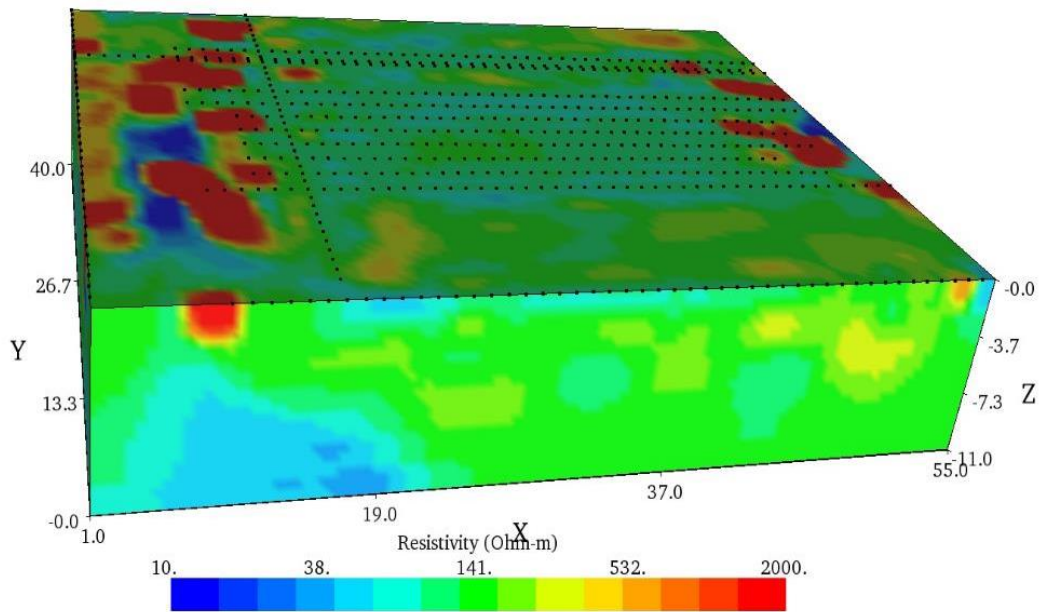
Σχήμα 6-47. Παράθυρο αλλαγής των παραμέτρων της αντιστροφής.



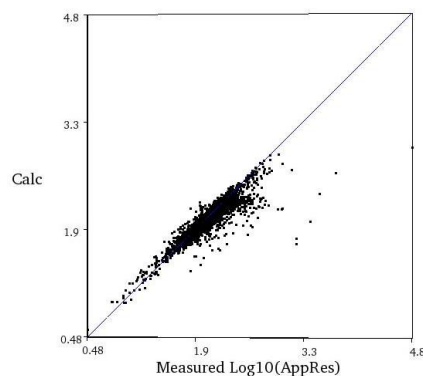
Σχήμα 6-48. Κουμπί εκτέλεσης της αντιστροφής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Όταν τελειώσει η αντιστροφή των δεδομένων το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να απεικονίσει την τρισδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων με μια σειρά τρόπων απεικόνισης ανάλογα με το τι επιθυμεί να απεικονίσει. Υπάρχει η απεικόνιση Measured Apparent Resistivity όπου απεικονίζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) των μετρούμενων και των υπολογισμένων φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων και τις πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις στο χώρο με διαφορετικά χρώματα, την απεικόνιση Inverted Resistivity Model όπου χρωματίζει τον όγκο της περιοχής μελέτης με τις πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω κατασκευάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο της ηλεκτρικής τομογραφίας που φαίνεται στο σχήμα (Σχήμα 6-49) , ενώ στο σχήμα (Σχήμα 6-50) παρουσιάζεται ο υπολογισμός των σφαλμάτων.



Σχήμα 6-49. Χρωματική απεικόνιση των αντεστραμμένων αντιστάσεων αναγράφοντας και τον όγκο της περιοχής μελέτης (Inverted Resistivity Model).



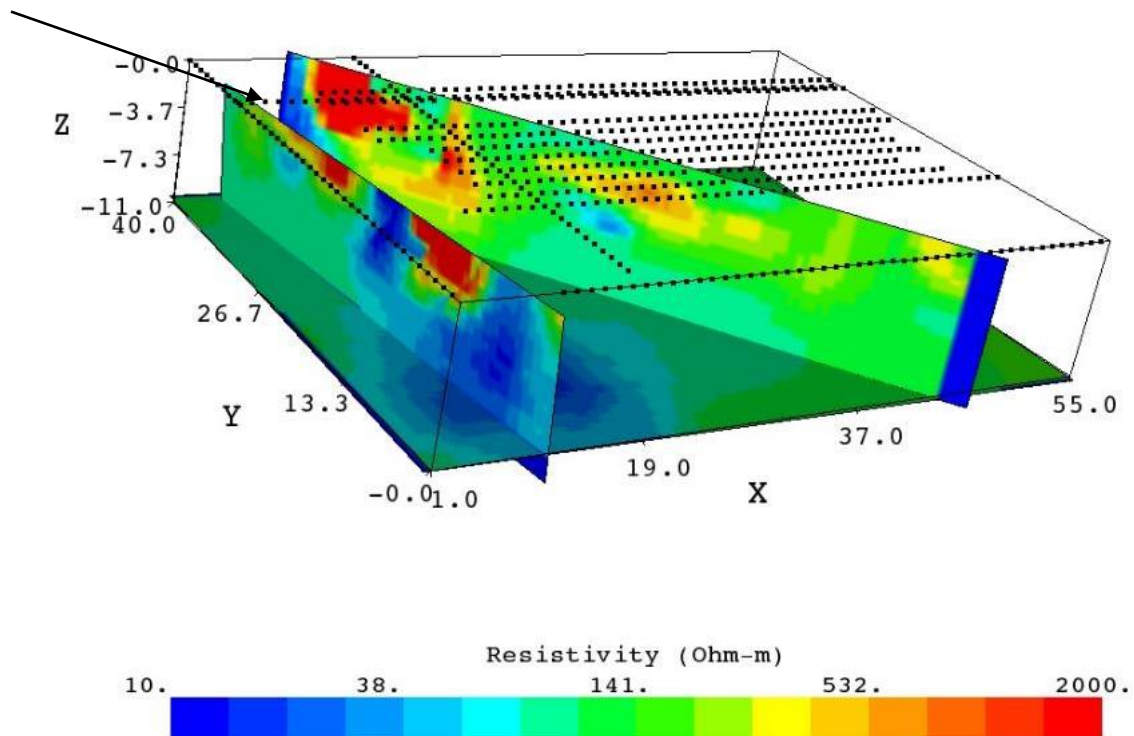
Iteration No. 8. RMS = 13.6%. L2 = 183.2

Σχήμα 6-50. Απεικόνιση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS)

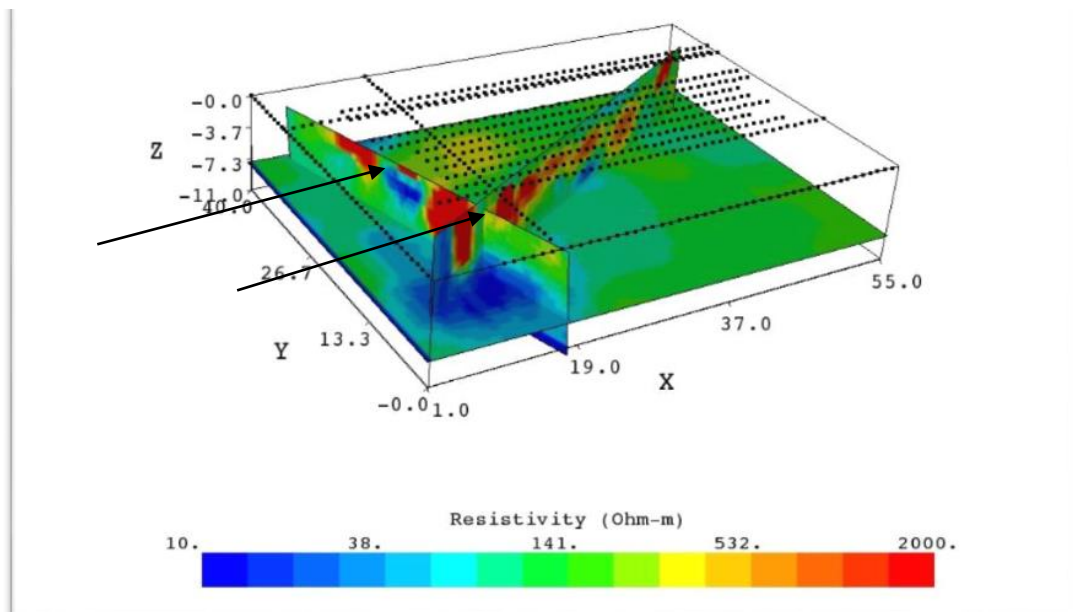
Από το μοντέλο αυτό υπολογίστηκε η χαμηλότερη τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στα 10 Ohmm και η μέγιστη στα 2000 Ohmm. Το μοντέλο είχε διαστάσεις 55 m επί πλάτος 40 m και μέγιστο βάθος διασκόπησης ίσο με 11 m.

Έπειτα με την εντολή Dynamic Slices of Inverted Resistivity, από το τρισδιάστατο μοντέλο της ηλεκτρικής τομογραφίας, δημιουργήθηκαν τομές που έδωσαν την δυνατότητα να εντοπιστούν ζώνες ασυνεχειών (Σχήμα 6-51), ζώνες όπου υπάρχουν έντονες αλλαγές υψηλών και χαμηλών αντιστάσεων (Σχήμα 6-52), καθώς και η θέση του πηγαδιού (Σχήμα 6-53) το οποίο

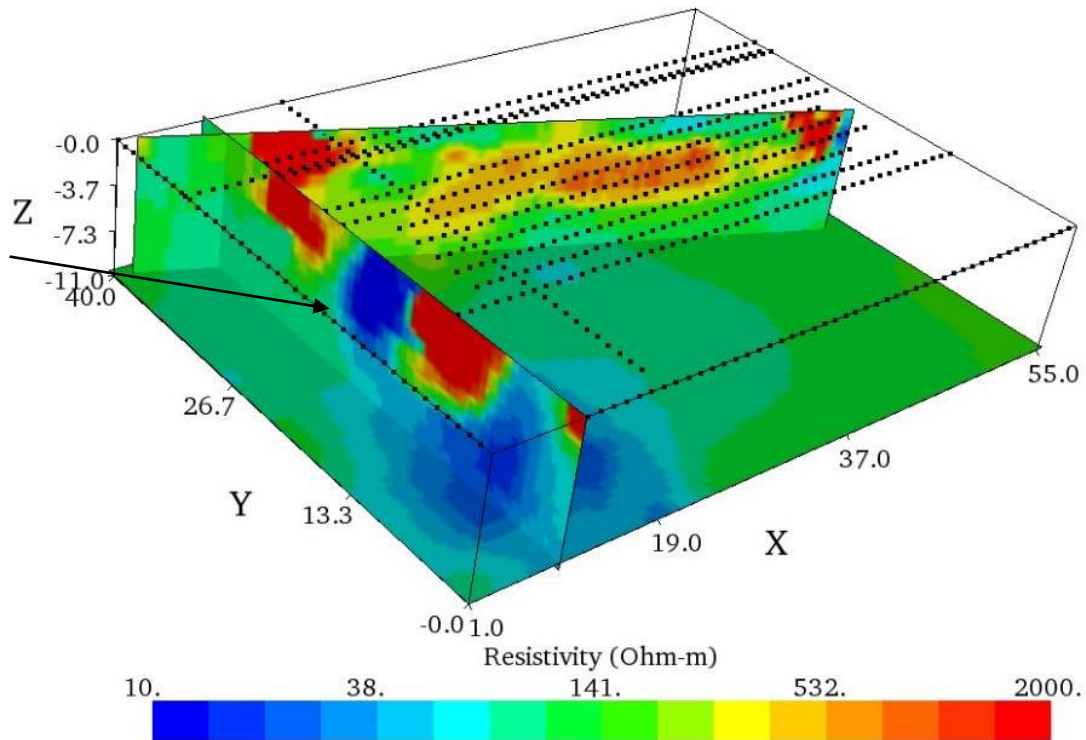
βρισκόταν στο εσωτερικό χώρο του κάστρου, αν και σήμερα το πηγάδι αυτό έχει σκεπαστεί με χώμα.



Σχήμα 6-51. Μοντέλο προβολής με την εντολή Dynamic Slides of Inverted Resistivity. Είναι σημειωμένη με μαύρο βέλος η ζώνη ασυνέχειας. Η ασυνέχεια βρίσκεται κάτω από το βορειοδυτικό πύργο και διακρίνεται με μπλε χρωματισμούς οι οποίοι ερμηνεύονται με έντονες χαμηλές τιμές ρ ($<100 \text{ Ohmm}$). Διεύθυνση της ζώνης ασυνέχειας



Σχήμα 6-52. Μοντέλο προβολής με την εντολή Dynamic Slides of Inverted Resistivity. Είναι σημειωμένο με μαύρο βέλος οι ζώνες με έντονες εναλλαγές υψηλών και χαμηλών αντιστάσεων.



Σχήμα 6-53. Μοντέλο προβολής με την εντολή *Dynamic Slides of Inverted Resistivity*. Είναι σημειωμένο με μαύρο βέλος η θέση του πηγαδιού. Είναι εμφανές οι έντονες χαμηλές τιμές ρ (10 Ohm-m) σε μία δομή γεωμετρικού σχήματος με κατακόρυφη πορεία.

6.3.5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 3D

Το τρισδιάστατο μοντέλο της ηλεκτρικής τομογραφίας έδωσε την δυνατότητα εποπτείας του υποβάθρου πάνω στο οποίο εδράζεται το Φραγκοκάστελλο. Στις διάφορες τομές των μοντέλων 3D είναι εμφανείς η ύπαρξη τριών ζωνών. Όπως φαίνεται, η ανώτερη ζώνη που αντιστοιχήθηκε στο εδαφικό κάλυμμα έχει μία τάση αύξησης του πάχους προς τα ΝΑ. Ενώ προς την ΒΔ περιοχή το δεύτερο στρώμα που μπορεί να αντιστοιχηθεί στον βιογενή ασβεστόλιθο είναι πιο κοντά στην επιφάνεια. Το στρώμα αυτό δεν εμφανίζεται σε όλες τις τομές ενιαίο. Μπορεί να διακριθεί μια διασπορά τιμών εντός του στρώματος του βιογενούς ασβεστόλιθου χαμηλών αντιστάσεων που μπορεί να ερμηνευθεί ως περιοχές/ζώνη ρηγμάτωσης διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ είτε ΒΒΔ - ΝΝΑ. Οι ζώνες αυτές των μικρορηγμάτων είναι της ίδιας διεύθυνσης με τα ρήγματα μεγάλου μεγέθους που διατρέχουν την ευρύτερη περιοχή. Τα ρήγματα αυτά σε συνδυασμό με τα επίσης μεγάλα σε μέγεθος ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ, φαίνεται ότι είναι ενεργά είδη από το μέσο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα.

Τέλος η κατώτερη ζώνη μπορεί να αντιστοιχηθεί στις εναλλαγές ψαμμιτών και μικροκροκαλοπαγών, οι οποίες υπόκεινται του βιογενούς ασβεστόλιθου. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στις χαμηλές τιμές ρ που μετρήθηκαν κάτω και πέριξ του βόρειου δυτικού πύργου (που παρουσιάζει και τις μεγαλύτερες ρωγματώσεις) και οι οποίες δηλώνουν είτε μείωση του πάχους του ανθρακικού σχηματισμού, είτε κατακερματισμό του από μικρορήγμα στην θέση αυτή. Επίσης πολύ χαμηλές τιμές ρ μετρήθηκαν και στην δυτική περιοχή εντός του κάστρου όπου υπήρχε πηγάδι το οποίο στην πορεία των χρόνων πληρώθηκε με χαλαρά υλικά.

7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ – ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

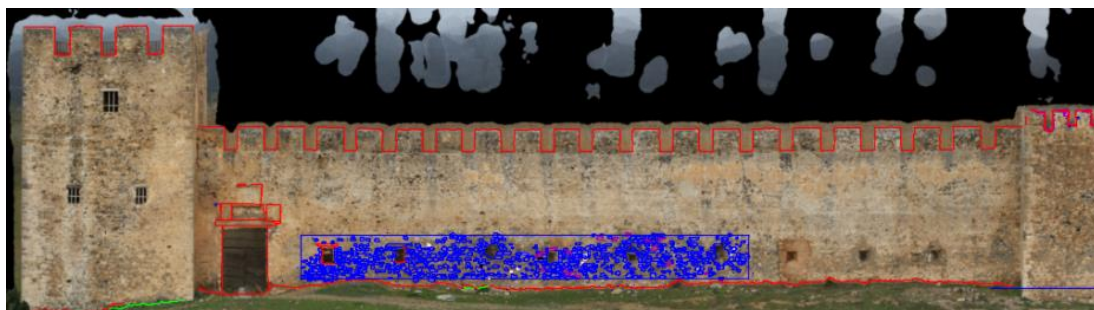
Για να γίνει μια στατιστική εργασία των διαφόρων λιθολογικών τύπων των θραυσμάτων πετρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την οικοδόμηση του κάστρου ακολουθήθηκαν τα πιο κάτω βήματα.

Αρχικά έπρεπε να επιλεγεί η περιοχή για την καταμέτρηση και στατιστική επεξεργασία των εμφανών δομικών υλικών. Από την αυτοψία που πραγματοποιήθηκε έγινε εμφανές ότι ο νότιος τοίχος παρουσιάζει την μεγαλύτερη σε έκταση και προσβασιμότητα περιοχή που έχει αποψιλωθεί το κονίαμα επιχρίσματος και είναι ορατοί και μετρήσιμοι οι δομικοί λίθοι. Για το νότιο αυτό τμήμα μας παραχωρήθηκε μια εικόνα υψηλής ανάλυσης υπό κλίμακα 1/100, του νότιου τοίχου (Εικόνα 7-1) όπου και θα γίνονταν οι στατιστικοί υπολογισμοί των πετρολογικών χαρακτηριστικών του κάστρου.



Εικόνα 7-1. Ο νότιος τοίχος του κάστρου

Στο λογισμικό AutoCAD έγινε εισαγωγή της εικόνας του νότιου τοίχου και στην συνέχεια με το ίδιο λογισμικό σχεδιάστηκαν τα περιγράμματα των δομικών λίθων *m* η οποία βρίσκεται περίπου 30 cm πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, έτσι ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση στο χώρο (Εικόνα 7-2).



*Εικόνα 7-2. Ο νότιος τοίχος με σχεδιασμένα τα περιγράμματα των δομικών λίθων διαφόρων *m*.*

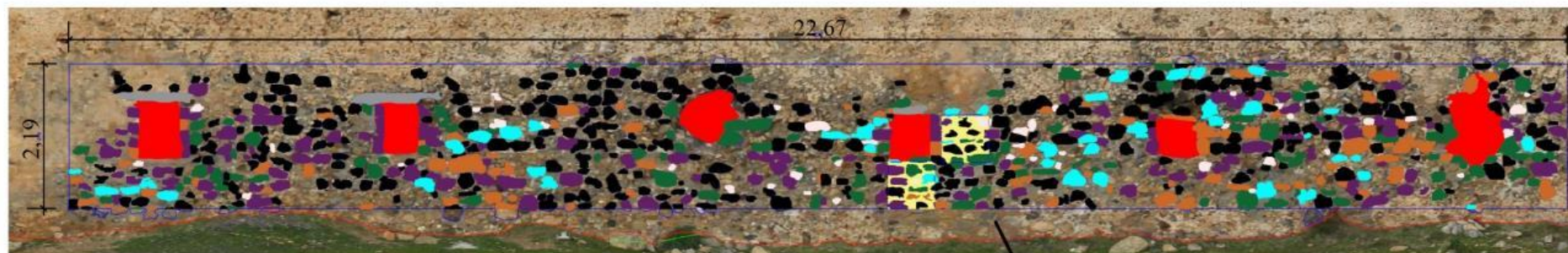
Αφού σχεδιάστηκαν όλα τα εμφανή και μετρήσιμα περιγράμματα των δομικών λίθων, η εικόνα της επιφανείας εκτυπώθηκε υπό κλίμακα 1:100 σε χαρτί A0. Ακολούθησε επίσκεψη στον πεδίο και πραγματοποιήθηκε καταγραφή και ταυτοποίηση της λιθολογίας κάθε δομικού λίθου εντός της συγκεκριμένης επιφάνειας. Να σημειωθεί ότι κατά την επί τόπου καταγραφή ήταν αδύνατο να καταγραφούν τα δύο είδη κονιάματος. Το κονίαμα επιχρίσματος και το συνδετικό κονίαμα. Έγινε όμως μια σειρά από προσεγγιστικούς υπολογισμούς για την ποσοστιαία αναλογία τους στην επιφάνεια του τοίχου. Όπως και θα περιγραφεί στην συνέχεια.

Έγινε εκ νέου επεξεργασία των αποτελεσμάτων της καταμέτρησης και αναγνωριστικής καταγραφής, στο λογισμικό σχεδιασμού AutoCAD. Οι διαφορετικές λιθολογίες των δομικών λίθων που αποτυπώθηκαν επί χάρτου, μετατράπηκαν με την βοήθεια του λογισμικού και χρωματικής κλίμακας σε ηλεκτρονικό αρχείο που επιτρέπει περεταίρω συσχετίσεις και υπολογισμούς.

Στην Εικόνα 7-3 φαίνεται το τελικό αποτέλεσμα της καταμέτρησης της διαφορετικής λιθολογίας δομικών λίθων εντός της επιφάνειας που επιλέχθηκε στον νότιο τοίχου του κάστρου. Στην ίδια εικόνα διακρίνονται δύο μικρότερες περιοχές. Στις δύο αυτές περιοχές έγινε προσεγγιστικά ή ποσοστιαία αναλογία του συνδετικού κονιάματος. Η επιλογή των επιφανειών A και B έγινε με το κριτήριο ότι εντός αυτών δεν υπάρχουν μικρότεροι σε διαστάσεις δομικοί λίθοι οι οποίοι δεν μπορούσαν να καταγραφούν. Το ολικό εμβαδόν κάθε περιοχής είναι σε m^2 . Η ποσοστιαία συμμετοχή του συνδετικού κονιάματος σε σχέση με την συνολική επιφάνεια της κάθε περιοχής A και B υπολογίστηκε έμμεσα και αυτόματα με την εντολή AREA του λογισμικού AutoCAD. Για την περιοχή A η «κάλυψη» του συνδετικού κονιάματος είναι ίση με $0,32 m^2$ και $0,4 m^2$ για την περιοχή B. Ως εκ τούτου με αναγωγή επί της συνολικής επιφάνειας των περιοχών A και B τα ποσοστά % του συνδετικού κονιάματος για τις περιοχές A και B είναι 31,73% και 40,18% αντίστοιχα, με μια μέση τιμή στα 35,95%. Στον Πίνακα 7-1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για της περιοχές A και B. Στον πίνακα δίνονται τα εμβαδά δομικών λίθων σε m^2 και τα ποσοστό %.

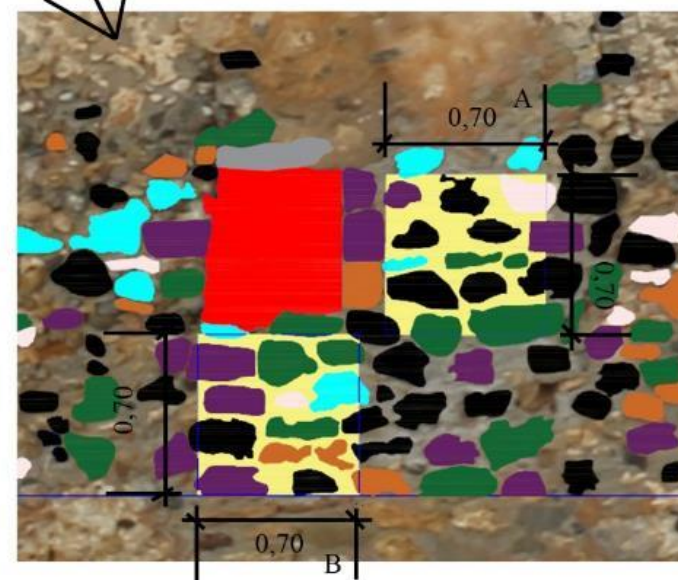
Πίνακας 7-1. Πίνακας υπολογισμού συνδετικού κονιάματος.

	Περιοχή Α		Περιοχή Β	
	Εμβαδόν επιφάνειας μελέτης m ²	Ποσοστό %	Εμβαδόν επιφάνειας μελέτης m ²	Ποσοστό %
Ψαμμίτης	0,0157	3,2	0	0
Δολομίτης	0,0767	15,65	0.1086	22,16
Κροκαλοπαγή	0.0393	8,02	0.0485	9,9
Μικροκροκαλοπαγή	0,0892	18,2	0.0815	16,63
Βιογενής ασβεστόλιθος	0,1036	21,14	0,0253	5,16
Άσβεστόλιθοι	0.0089	1,82	0.0259	5,29
Συνδετικό κονίαμα	0,1555	31,73	0,1969	40,18
Ολική Επιφάνεια	0,49	100	0,49	100



Υπόμνημα τοίχου

	Διάκενα (πολεμίστρες)		Δολομίτης
	Πρέκι		Μικροκροκαλοπαγή
	Κροκαλοπαγή		Βιογενής Ασβεστόλιθος
	Ψαμμίτης		Ασβεστόλιθοι
	Συνδετικό Κονίαμα		



Περιοχές Α και Β για τον υπολογισμό συνδετικού κονιάματος

Εικόνα 7-3. Άποψη της επιφάνειας στην οποία έγιναν οι καταμετρήσεις και οι υπολογισμοί. Οι διαφορετικές λιθολογίες απεικονίστηκαν με διαφορετικά χρώματα βάση της χρωματικής κλίμακας που παρατίθεται στο υπόμνημα. Κάτω δεξιά οι περιοχές Α και Β που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσεγγιστικό υπολογισμό του συνδετικού κονιάματος.

Στην περιοχή που επιλέχθηκε όπως περιγράφηκε ανωτέρω, υπολογίστηκε η ποσοστιαία αναλογία που καταλαμβάνουν επιφανειακά στον τοίχο διάφοροι λιθολογικοί τύποι οικοδόμησης. Ο παραλληλεπίπεδη επιφάνεια έχει εμβαδόν 49.70m². Αυτή η επιφάνεια εμπεριέχει πέραν από τους διαφορετικούς λιθολογικούς τύπους οικοδόμησης τα διάκενα (πολεμίστρες), το πρέκι των διακένων (πολεμίστρες) και τους δύο τύπους επιχρίσματος, το κονίαμα επιχρίσματος και το συνδετικό κονίαμα. Στον Πίνακα 7-2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα εμβαδά όλων αυτών σε και η ποσοστιαία αναλογία % στην ολική επιφάνεια των 49,70 m²

Πίνακας 7-2. Κάλυψη επιφάνειας και ποσοστιαία αναλογία δομικών λίθων που χρησιμοποιήθηκαν και την κατασκευή του κάστρου

Επιφάνεια μελέτης	Εμβαδόν επιφάνεια μελέτηςm ²	Ποσοστό %
Ψαμμίτης	1,94	3,90
Δολομίτης	6,98	14,04
Κροκαλοπαγή	1,38	2,77
Μικροκροκαλοπαγή	2,65	5,33
Βιογενής ασβεστόλιθος	3,50	7.04
Ασβεστόλιθοι	0,45	0,91
Διάκενα (πολεμίστρες)	2,76	5,55
Πρέκι διακένων (πολεμίστρες)	0,36	0,72
Κονίαμα επιχρίσματος και συνδετικό κονίαμα	29,63	59,62
Συνολική επιφάνεια	49,70	100

Το εμβαδόν της επιφάνειας του κονιάματος επιχρίσματος και του συνδετικού κονιάματος δεν υπολογίστηκε άμεσα με εντολή του λογισμικού AutoCAD αλλά έμμεσα με την χρήση της ακόλουθης φόρμουλας.

Κονίαμα επιχρίσματος και συνδετικό κονίαμα= Συνολική επιφάνεια-(επιφάνεια ψαμμίτη + δολομίτη + κροκαλοπαγή + ασβεστόλιθοι + μικροκροκαλοπαγή +βιογενής ασβεστόλιθος + διάκενα (πολεμίστρες) + πρέκι διακένων (πολεμίστρες)) ήτοι:

$$\text{Κονίαμα επιχρίσματος και συνδετικό κονίαμα} = 49,70 - (1,94 + 6,98 + 1,38 + 2,65 + 3,5 + 0,45 + 2,76 + 0,36) = 29,63\text{m}^2$$

Σύμφωνα με τον πιο πάνω πίνακα καταλήγουμε σε ένα προσεγγιστικό συμπέρασμα ότι το πέτρωμα οικοδόμησης με το μεγαλύτερο ποσοστό επιφάνειας στον τοίχο είναι ο μαύρος δολομίτης (μεταδολομίτης της ενότητας του Τρυπαλίου) με ποσοστό 14,04 %, ακολουθεί ο βιογενής ασβεστόλιθος με ποσοστό 7,04%, τα μικροκροκαλοπαγή με 5,33%, ο ψαμμίτης με 3,90%, τα κροκαλοπαγή με 2,77%. Μικρό ποσοστό έχουν τα διάκενα(πολεμίστρες) με 5,55% και το πρέκι διακένων (πολεμίστρες) με 0,72%. Το μικρότερο ποσοστό το κατέχουν οι ασβεστόλιθοι με 0,91%.

Από τα ανωτέρω συνάγονται τα εξής πιθανά συμπεράσματα:

A) Από το σύνολο των προαλπικών πετρωμάτων που έχουν μεταφερθεί από τα αλλουβιακά ριπίδια μέχρι την ακτογραμμή προτιμήθηκαν οι μαύροι μεταμορφωμένοι δολομίτες της ενότητας του Τρυπαλίου διότι συνδυάζουν μια μεγάλη αντοχή αφού είναι μάρμαρα αλλά ταυτόχρονα η εξωτερική της επιφάνεια δεν είναι λεία όπως των περισσοτέρων άλλων (μετα) ανθρακικών είτε της ενότητας του Τρυπαλίου είτε της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων αλλά παρουσιάζουν μια έντονη τραχύτητα, αποτέλεσμα της αποδολομιτίωσης και της καρστικής διάβρωσης, διεργασιών που χαρακτηρίζουν τα πετρώματα αυτά της ενότητας του Τρυπαλίου.

B) ακολουθούν σε ποσοστιαία συμμετοχή δομικοί λίθοι που έχουν σχετικά μεγάλο πρωτογενές πορώδες το οποίο επιτρέπει την καλύτερη σύνδεσή τους με το συνδετικό κονίαμα.

8 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μεσαιωνικό κάστρο Φραγκοκάστελλο χτίστηκε στο διάστημα 1371-74 από τους Βενετούς σε μια στενή παράκτια ζώνη στο νοτιοανατολικό τμήμα των Λευκών Όρεων που χαρακτηρίζεται από ένα έντονο μορφολογικό ανάγλυφο που η δημιουργία του καθορίστηκε από την κινητικότητα κανονικών ρηγμάτων με γενικές διευθύνσεις Α-Δ, ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τα ρήγματα αυτά που κινήθηκαν με διαφορεική ταχύτητα οδήγησαν σε ανυψώσεις και ταπεινώσεις των διαφόρων ρηξητεμαχίων που δομούνται από ακολουθίες (κυρίως θαλάσσιες) του Τορτονίου, του Κάτω Πλειοκαίνου και του Κατώτερου Πλειστόκαινου, οι οποίες καλύφθηκαν με την συνδρομή της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας από το Μέσο Πλειστόκαινο με πολλαπλές συμφύσεις αλλουβιακών ριπιδίων.

Το Φραγκοκάστελλο εδράζεται πάνω σε βιογενείς ασβεστόλιθους του σχηματισμού Φραγκοκάστελλου του οποίου η ακριβής ηλικία δεν είναι αποδεκτή από όλους. Τα νεότερα δεδομένα αποδίδουν στον θαλάσσιο αυτόν σχηματισμό ηλικία Κάτω Πλειστόκαινο, νεότερη του Πλειοκαίνου που δεχόταν παλαιότερες μελέτες.

Στρογγυλωμένα και γωνιώδη κλάσματα πετρωμάτων των αλπικών αλλά και μεταλπικών σχηματισμών που μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν εντός των διαφόρων τμημάτων των αλλουβιακών ριπιδίων που έχουν αποτεθεί ασύμφωνα πάνω από τον σχηματισμό Φραγκοκάστελλο, αποτέλεσαν τους δομικούς λίθους για την κατασκευή του κάστρου. Οι δομικοί λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κάστρου έχουν εν μέρει την κατάλληλη λιθολογία (ψαμμιτικά, αργιλοψαμμιτικά και κροκαλοπαγή πετρώματα) που επηρεάστηκε από το φυσικό φαινόμενο της αλατοχημικής κυρίως αποσάθρωσης που παρατηρείται στα διάφορα τμήματα των τοιχίων του κάστρου και η οποία είναι απόλυτα εξαρτώμενη από την θέση του κάστρου και την (διαχρονική και εναλλασσόμενη) συχνότητα των καιρικών φαινομένων (υγρά – ξηρή περίοδος). Είναι πολύ χαρακτηριστική η διαφορά σε έκταση και ένταση του φαινομένου μεταξύ του νότιου τοιχίου που είναι εκτεθειμένο στην αλατονέφωση της ακτής και του βόρειου τοιχίου, στο οποίο και παρατηρείται η μικρότερη σε ένταση αλατοχημική αποσάθρωση. Αξιοπρόσεκτο

είναι το γεγονός ότι το φυσικό αυτό φαινόμενο έχει επηρεάσει και το συνδεδετικό κονίαμα του κάστρου.

Το κάστρο παρουσιάζει θέσεις θραυσσιγενούς παραμόρφωσης των τοιχίων του κατά θέσεις εσωτερικά, κατά θέσεις εξωτερικά, αλλά και με θέσεις όπου η παραμόρφωση διαπερνά το εξωτερικό και εσωτερικό τοιχίο. Οι διαστάσεις των διαρρήξεων - ρωγματώσεων διαφέρουν από θέση σε θέση ως προς τα μεγέθη μήκους και πλάτους των διαρρήξεων. Η μεγαλύτερη παρατηρείται στο βόρειο τοιχίο του βοριοδυτικού πύργου. Για την αντιμετώπιση των στατικών αυτών προβλημάτων προκρίθηκε η γεωφυσική διασκόπηση που πραγματοποιήθηκε εντός και πέριξ του κάστρου, για τον καθορισμό κυρίως ζωνών ασυνεχειών του ανθρακικού στρώματος πάχους μερικών μέτρων, πάνω στο οποίο εδράζεται το κάστρο.

Όπως προκύπτει από τις δύο συνδυαστικές μεθοδολογίες διακρίνονται τρεις διαφορετικές ζώνες (στρώματα) διαφορετικών αντιστάσεων. Ένα στρώμα πολύ χαμηλών αντιστάσεων, με αντιστάσεις κάτω από 50 Ohmm που μπορεί να αντιστοιχιστεί με το εδαφικό κάλυμμα. Μία δεύτερη ζώνη αντιστάσεων μεγαλύτερη των 400 Ohmm που κατά θέσεις ξεπερνούν και τιμές ρ των 1000 Ohmm. Το στρώμα αυτό ξεκινάει από βάθος 1,80 m και φτάνει μέχρι και τα 7 m. Επίσης μπορεί να αντιστοιχιστεί στον βιογενή ασβεστόλιθο.

Κάτω από αυτό το στρώμα εντοπίζεται ένα τρίτο στρώμα το οποίο έχει αντιστάσεις μικρότερες των 400 Ohmm και στο μεγαλύτερο τμήμα του κάτω από 50 Ohmm. Το στρώμα αυτό μπορεί να αντιστοιχιστεί στην κλαστική ακολουθία (εναλλαγές άμμων, κροκαλοπαγών και μαργών) που εντοπίστηκαν κάτω από τον βιογενή ασβεστόλιθο. Οι πολύ χαμηλές τιμές ρ του κατώτερου στρώματος πιθανόν να οφείλονται στην ύπαρξη είτε υγρασίας είτε υδροφορίας. Αφού στα δυτικά του κάστρου υπάρχει ρέμα το οποίο έχει δημιουργηθεί και ρέει σε λιθολογίες ομόλογες του τρίτου στρώματος. Και με την χρήση τρισδιάστατων μοντελοποιητών επεξεργασίας των δεδομένων της γεωφυσικής διασκόπησης είναι εμφανής η ύπαρξη των τριών ζωνών. Το εδαφικό κάλυμμα έχει μία τάση προσαύξησης του πάχους προς τα ΝΑ. Ενώ προς την ΒΔ περιοχή το δεύτερο στρώμα που μπορεί

να αντιστοιχιστεί στον βιογενή ασβεστόλιθο είναι πιο κοντά στην επιφάνεια. Το στρώμα αυτό δεν εμφανίζεται σε όλες τις τομές ενιαίο.

Μπορεί να διακριθεί μια διασπορά τιμών εντός του στρώματος του βιογενούς ασβεστόλιθου χαμηλών αντιστάσεων που μπορεί να ερμηνευθεί ως περιοχές/ζώνη ρηγμάτωσης διεύθυνσης BBA-NNΔ είτε BBD - NNA. Οι ζώνες αυτές των μικρορηγμάτων είναι της ίδιας διεύθυνσης με τα ρήγματα μεγάλου μεγέθους που διατρέχουν την ευρύτερη περιοχή. Τα ρήγματα αυτά σε συνδυασμό με τα επίσης μεγάλα σε μέγεθος ρήγματα διεύθυνσης A-Δ, φαίνεται ότι είναι ενεργά είδη από το μέσο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει για τις χαμηλές τιμές ρ που μετρήθηκαν κάτω και πέριξ του βόρειου δυτικού πύργου (που παρουσιάζει και τις μεγαλύτερες ρωγματώσεις) και οι οποίες δηλώνουν είτε μείωση του πάχους του ανθρακικού σχηματισμού, είτε κατακερματισμό από μικρορήγμα στην θέση αυτή. Επίσης πολύ χαμηλές τιμές ρ μετρήθηκαν και στην δυτική περιοχή εντός του κάστρου όπου υπήρχε πηγάδι το οποίο στην πορεία των χρόνων πληρώθηκε με χαλαρά υλικά.

Από την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των διαφόρων λιθολογικών τύπων των θραυσμάτων πετρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την οικοδόμηση του κάστρου προέκυψε ότι το πέτρωμα οικοδόμησης με το μεγαλύτερο ποσοστό επιφάνειας στον τοίχο είναι ο μαύρος δολομίτης (μεταδολομίτης της ενότητας του Τρυπαλίου) με ποσοστό 14,04 %, ακολουθεί ο βιογενής ασβεστόλιθος με ποσοστό 7,04%, τα μικροκροκαλοπαγή με 5,33%, ο ψαμμίτης με 3,90%, τα κροκαλοπαγή με 2,77%. Μικρό ποσοστό έχουν τα διάκενα(πολεμίστρες) με 5,55% και το πρέκι διακένων (πολεμίστρες) με 0,72%. Το μικρότερο ποσοστό το κατέχουν οι ασβεστόλιθοι με 0,91%. Από τα ανωτέρω συνάγονται τα εξής πιθανά συμπεράσματα:

A) Από το σύνολο των προαλπικών πετρωμάτων που έχουν μεταφερθεί από τα αλλουβιακά ριπίδια μέχρι την ακτογραμμή προτιμήθηκαν οι μαύροι μεταμορφωμένοι δολομίτες της ενότητας του Τρυπαλίου διότι συνδυάζουν μια μεγάλη αντοχή αφού είναι μάρμαρα αλλά ταυτόχρονα η εξωτερική της επιφάνεια δεν είναι λεία όπως των περισσότερων άλλων (μετα) ανθρακικών είτε της ενότητας

του Τρυπαλίου είτε της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων αλλά παρουσιάζουν μια έντονη τραχύτητα, αποτέλεσμα της αποδολομιτίωσης και της καρστικής διάβρωσης, διεργασιών που χαρακτηρίζουν τα πετρώματα αυτά της ενότητας του Τρυπαλίου.

Β) ακολουθούν σε ποσοστιαία συμμετοχή δομικοί λίθοι που έχουν σχετικά μεγάλο πρωτογενές πορώδες το οποίο επιτρέπει την καλύτερη σύνδεσή τους με το συνδετικό κονίαμα.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν θα μπορούσαν να αποτελέσουν δεδομένα εισαγωγής μοντέλων στατικότητας, στα πλαίσια των προτάσεων συντήρησης και αποκατάστασης του μνημείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής

Brandmeier M., Kuhlemann J., Krumrei I., Kappler A., and Kubik P.W. (2011), «New challenges for tafoni research. A new approach to understand processes and weathering rates. Earth Surf. Process. Landforms, Vol. 36, 839–852

Caputo R., Catalano S., Monaco C., Romagnoli G., Tortorici G. and Tortorici L. (2010), «Active faulting on the island of Crete (Greece)», Geophys. J. Int. (2010) 183, 111–126.

Manual EarthImager 3D Version 1.5.3, 2008

Peterek, A. and Schwarze, J. (2004), «Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece)», Journal of Geodynamics, Volume 38, Issue 1, p. 19-55.

Robinson, E. S. & Coruh, C., (1988), «Basic Exploration Geophysics», New York: John Wiley. Sheriff, R. E., Geldart, L. P., (1995), «Exploration Seismology», 2nd Edition, Cambridge University Press, ISBN 0-521-46282-7.

SeisImager2D™ Manual Version 3.1, (2005).

Skourtsos E., Pope R. and Triantaphyllou M. V. (2007), «Tectono-sedimentary evolution and rates of tectonic uplift of the Sfakia coastal zone, Southwestern Crete», Bulletin of the Geological Society of Greece, vol XXXX, 475-487.

VanHinsbergen, D., Meulenkamp, J. (2006), «Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex» Basin Research, 18, 103–124.

Ελληνική

Αποστολόπουλος, Γ., (2013), «Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής» Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Βλαχοδημητρόπουλος, Α., Παρασχούδης, Π., (2010), «Σεισμική και ηλεκτρική τομογραφία στο όρος Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Βαφειδης, Α.,(2001), «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μανούτσουλου Ε. (2008), «Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης»

Παπαζάχος, Β., (1986), «Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική», Εκδόσεις «Ζήτη», Θεσσαλονίκη.

Σούρλας, Γ., (2000), «Συμβολή της Γεωφυσικής Διασκόπησης στην Αναζήτηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων στην Ίτανο, Λασιθίου», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Σκούρας, Γ., (2010), «Συμβολή της Σεισμικής και Ηλεκτρικής Τομογραφίας στον Σχεδιασμό Λιμνοδεξαμενής στο Οροπέδιο του Ομαλού Χανίων», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Παγκρατη, Π., (2012), «Συμβολή της Τρισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της Ανάλυσης των Επιφανειακών Κυμάτων στον Σχεδιασμό Λιμνοδεξαμενής στο Οροπέδιο του Ομαλού Χανίων», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Chatzipetrou, D., (2015), «Γεωτεχνικός χαρακτηρισμός του υπεδάφους με βάση γεωτρητικά και γεωφυσικά στοιχεία. Μελέτη για το σχεδιασμό υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας στα Μάλια Ηρακλείου», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Tsimi C., Γκανας A., Ferrier G., Δρακάτος Γ., Richard J. Pope και Φασούλας Χ. (2007), «Ημορφοτεκτονική του κανονικού ρήγματος των Σφακίων, Νοτιοδυτική Κρήτη, Ελλάδα», 8^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο. Αθήνα 4-7 Οκτωβρίου 2007, σελ. 180-188

Πηγές από το Διαδίκτυο

[1]https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%9A%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%AC

[2]<http://www.seos-project.eu/modules/heritage-conservation/heritage-conservation-c02-p01.gr.html>

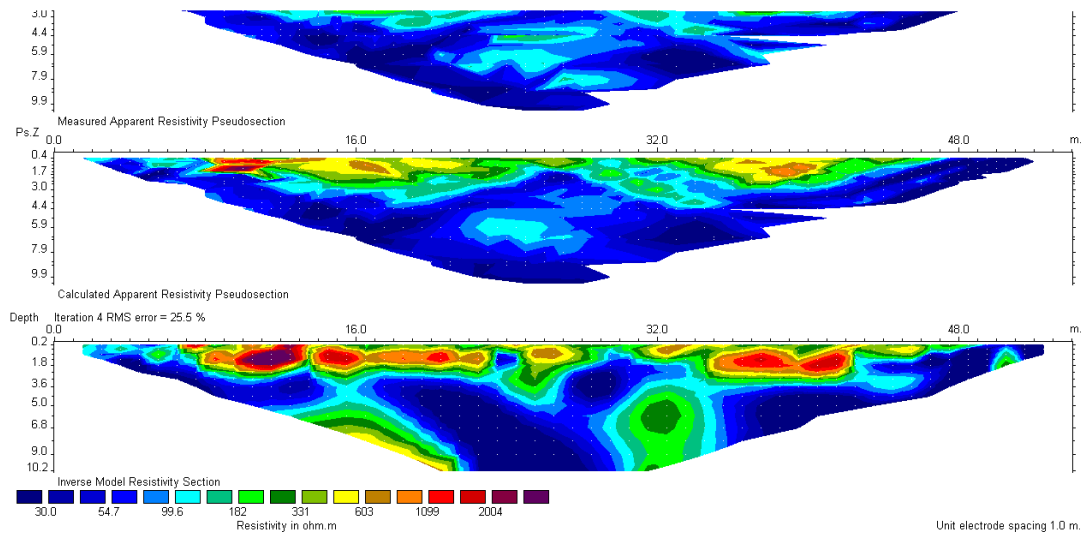
[3] http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=16201

[4] http://odysseus.culture.gr/h/2/gh251.jsp?obj_id=16202

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

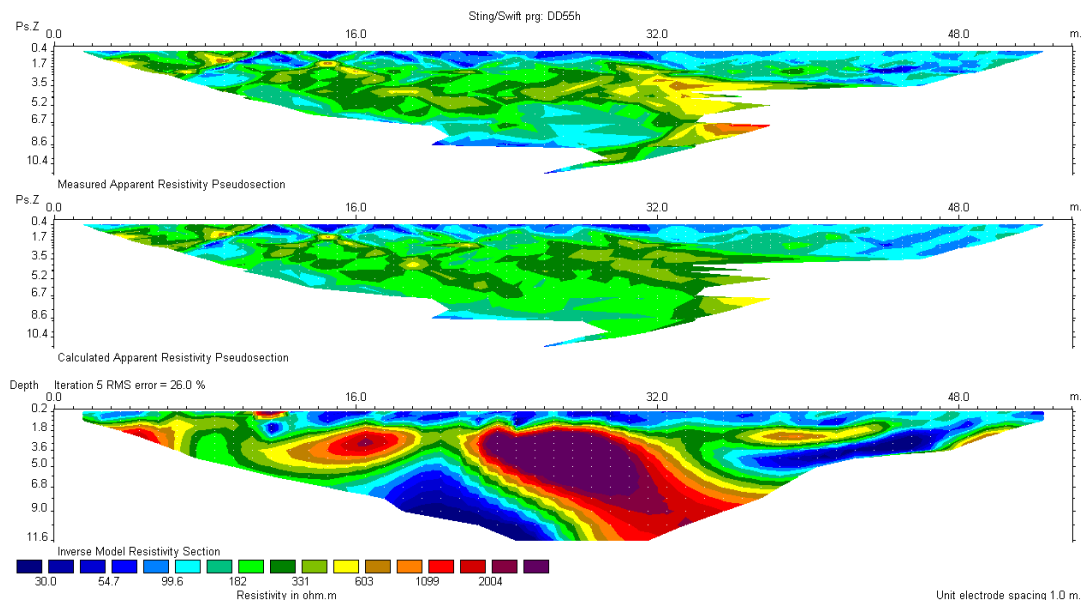
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Res2dinv

FRAG LINE 1



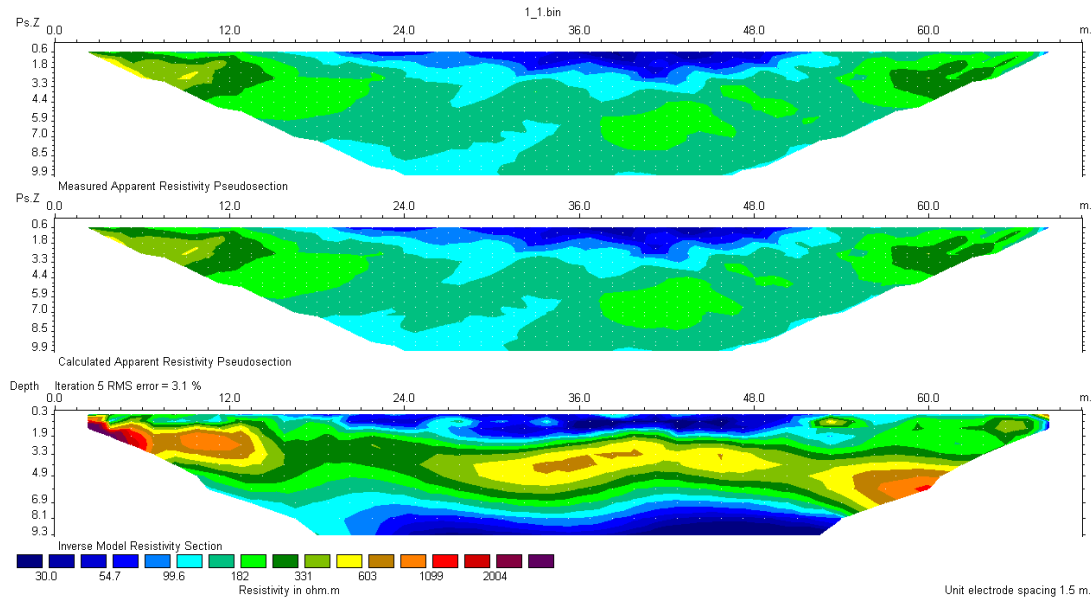
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης FRAG LINE 1.

FRAG LINE 2



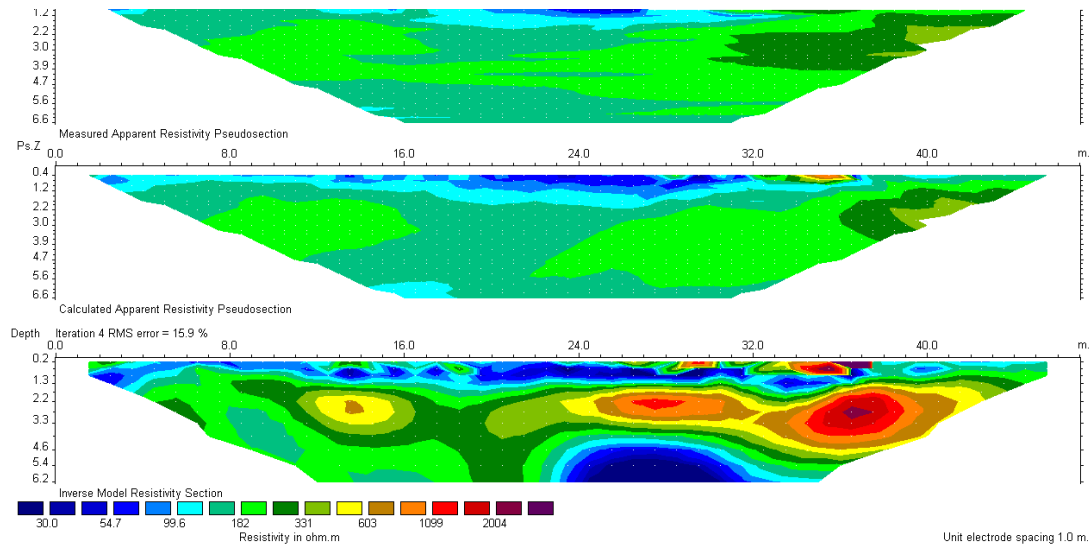
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης FRAG LINE 2.

LINE 1



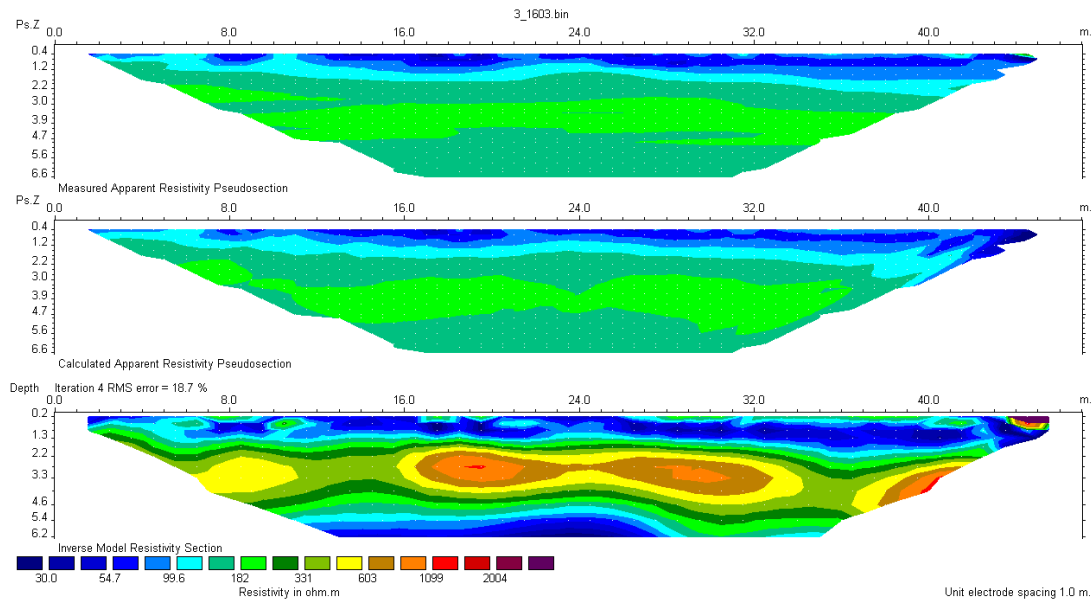
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 1.

LINE 2



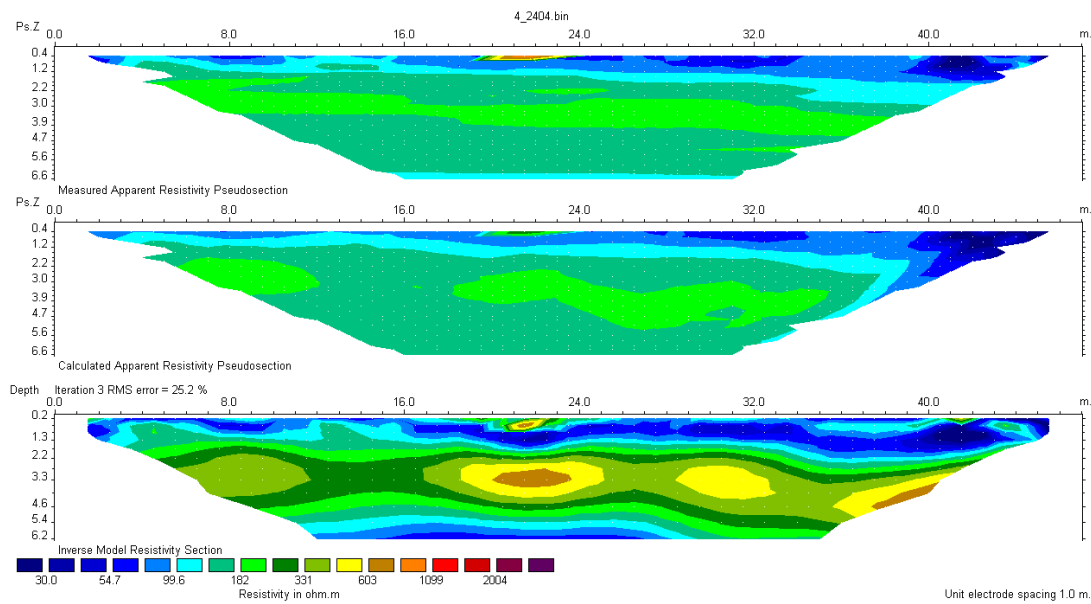
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 2.

LINE 3



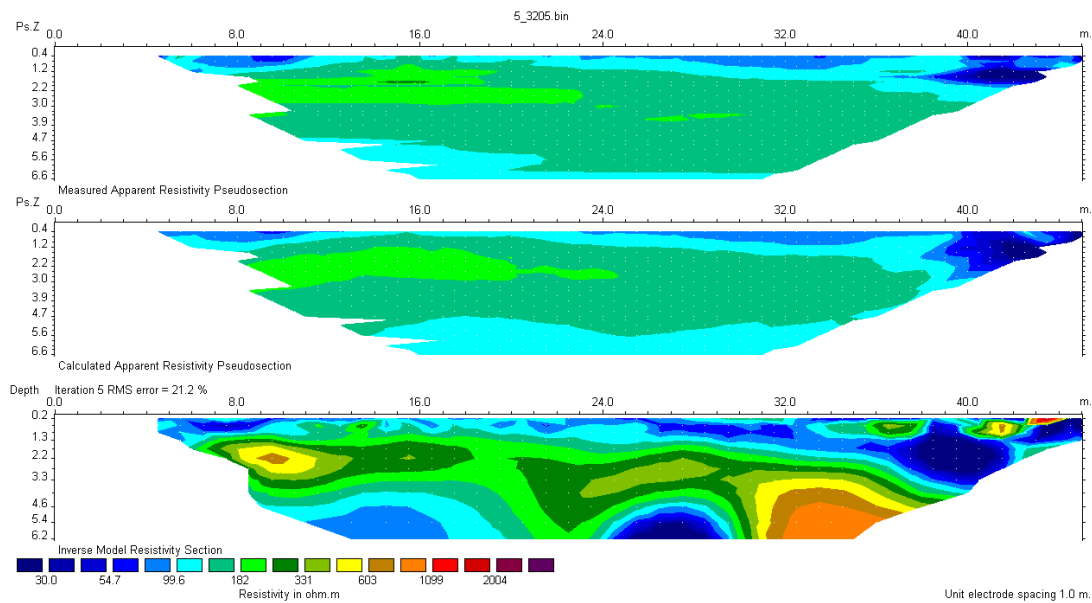
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 3.

LINE 4



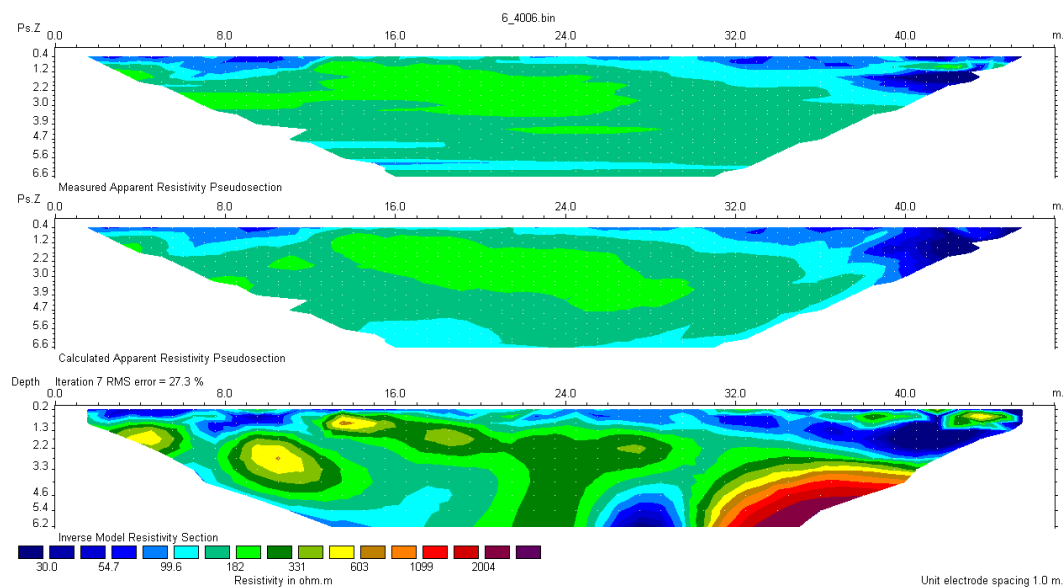
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 4.

LINE 5



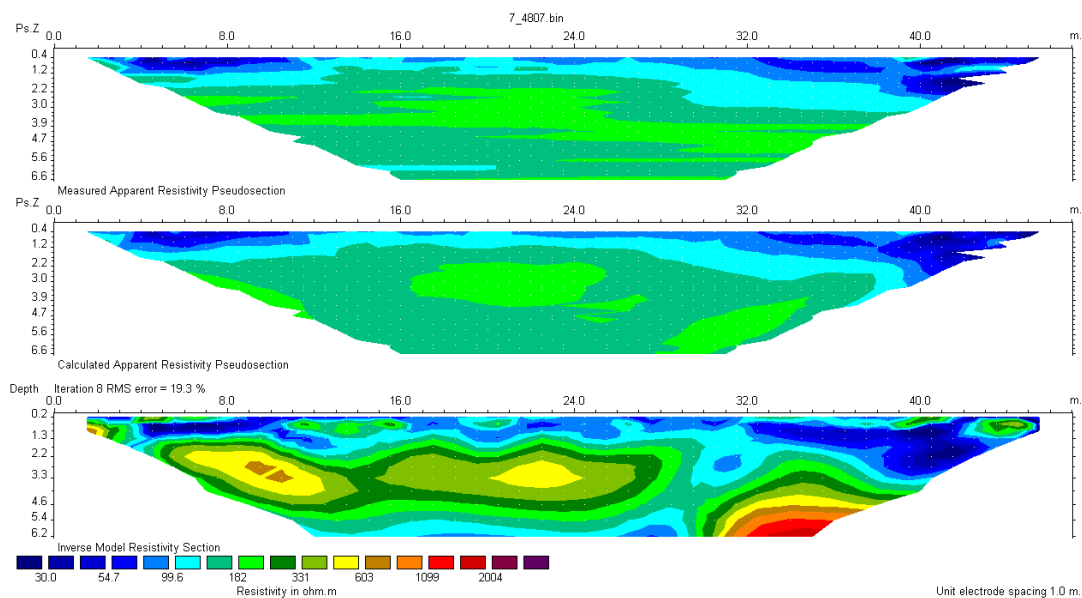
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 5.

LINE 6



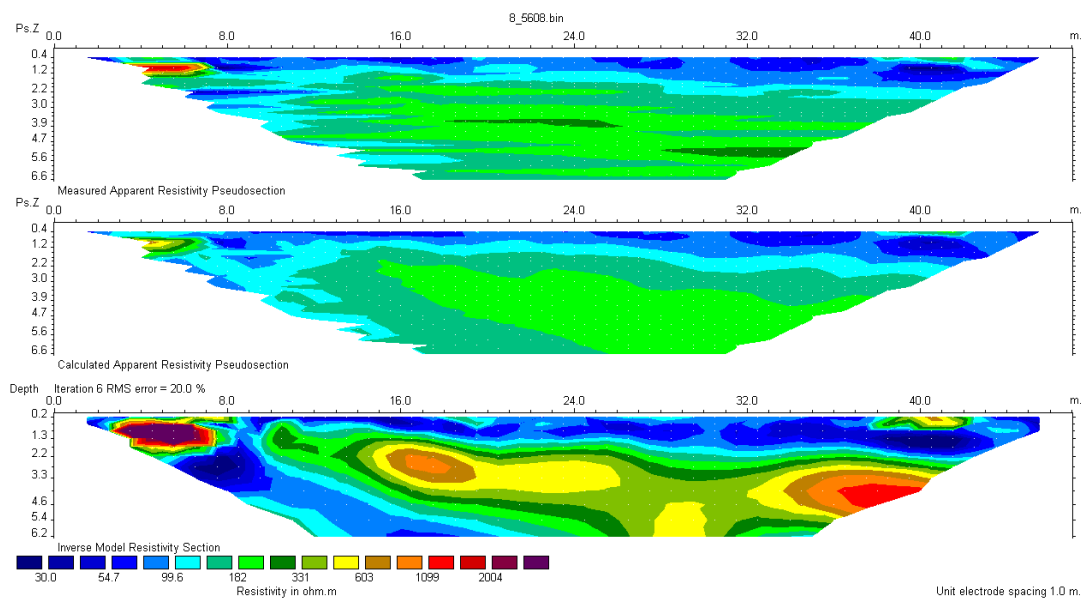
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 6.

LINE 7



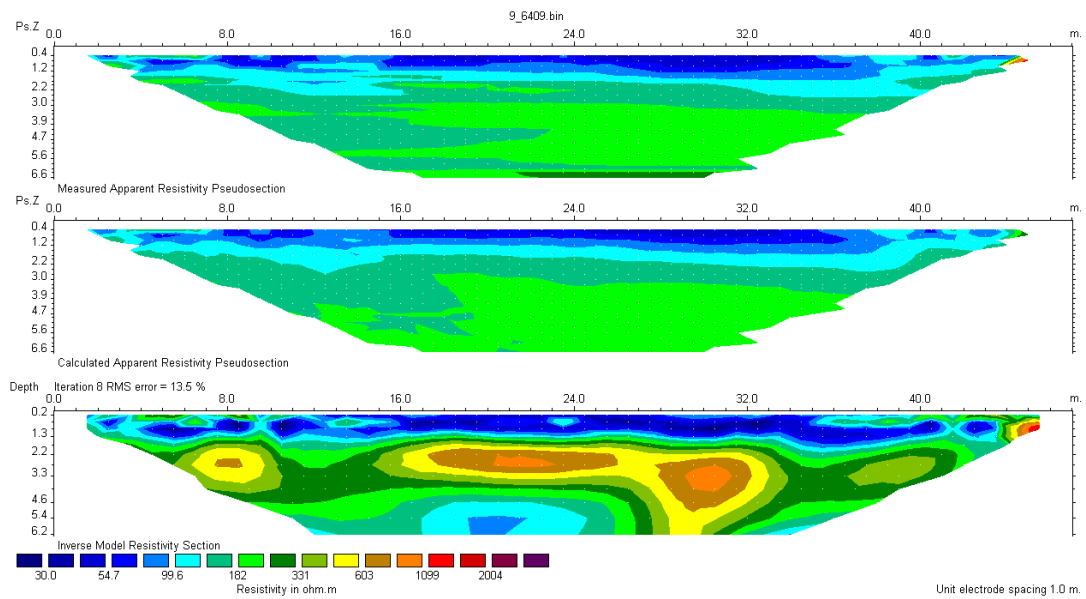
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 7.

LINE 8



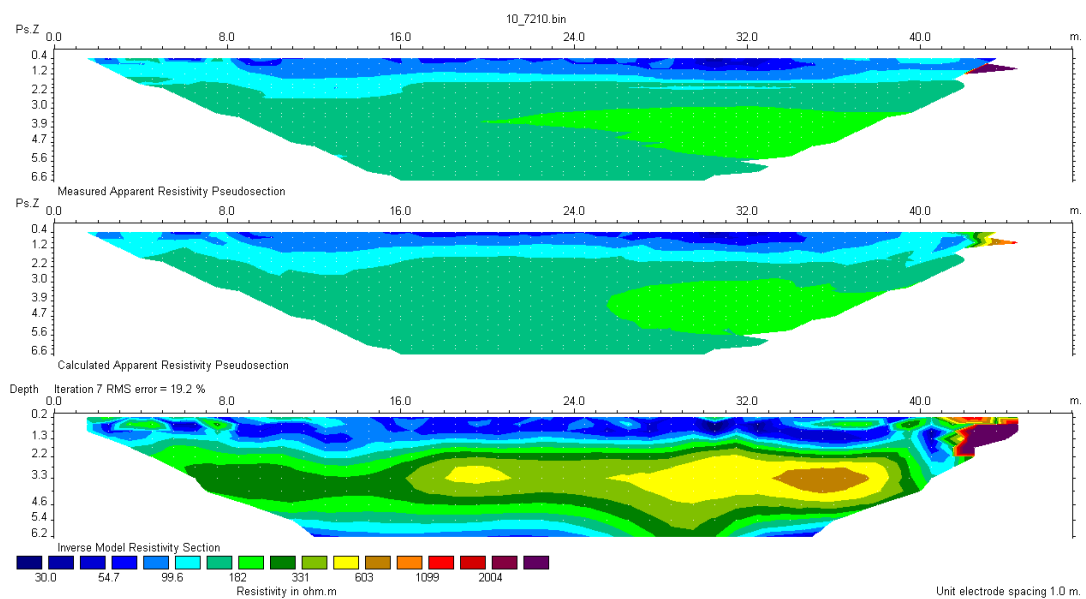
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 8.

LINE 9



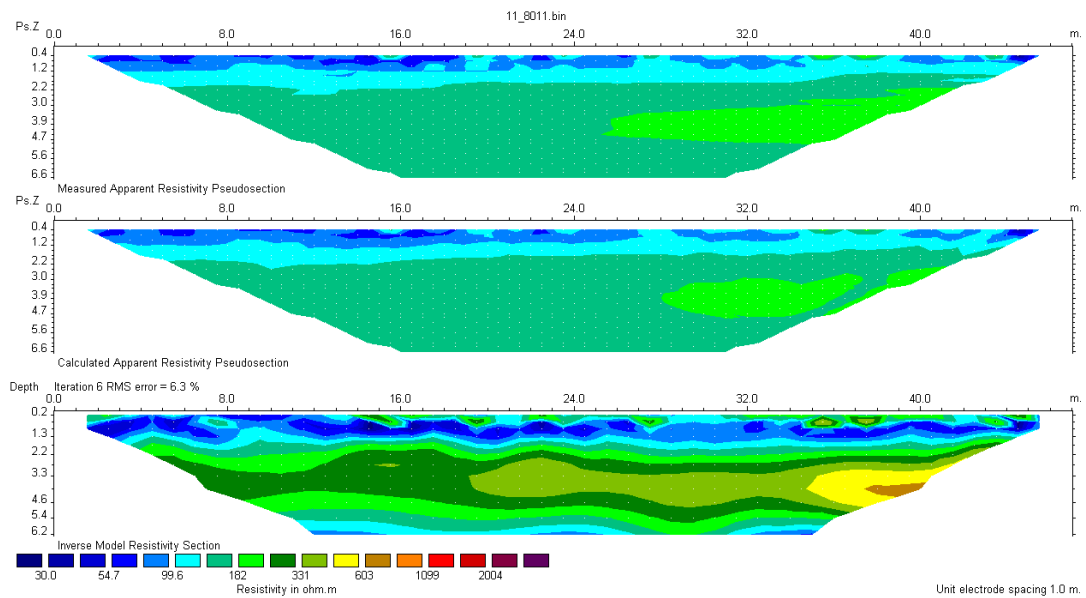
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE9.

LINE 10



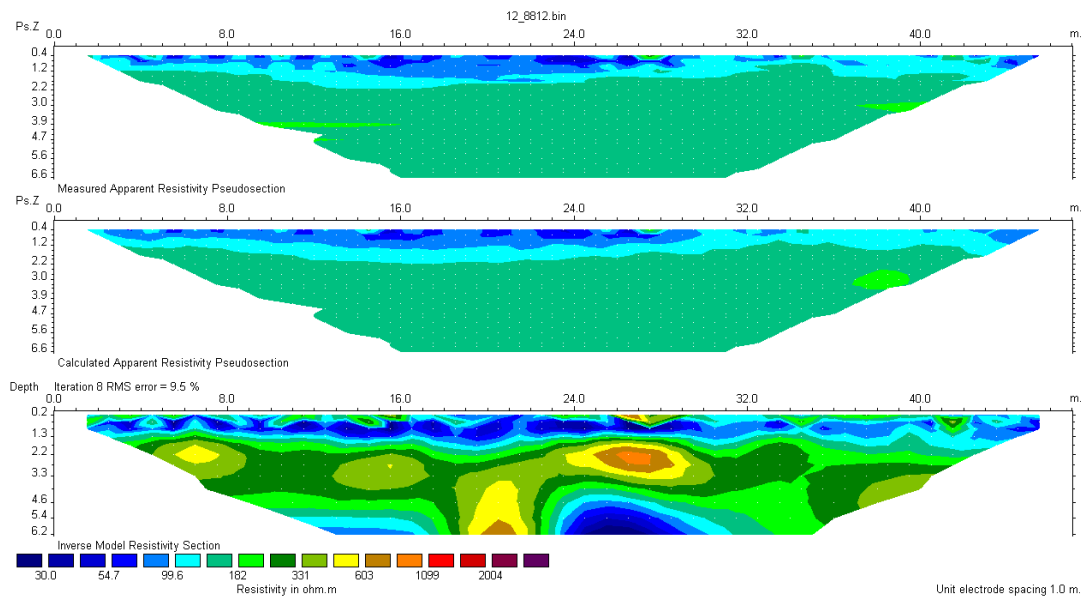
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE10.

LINE 11



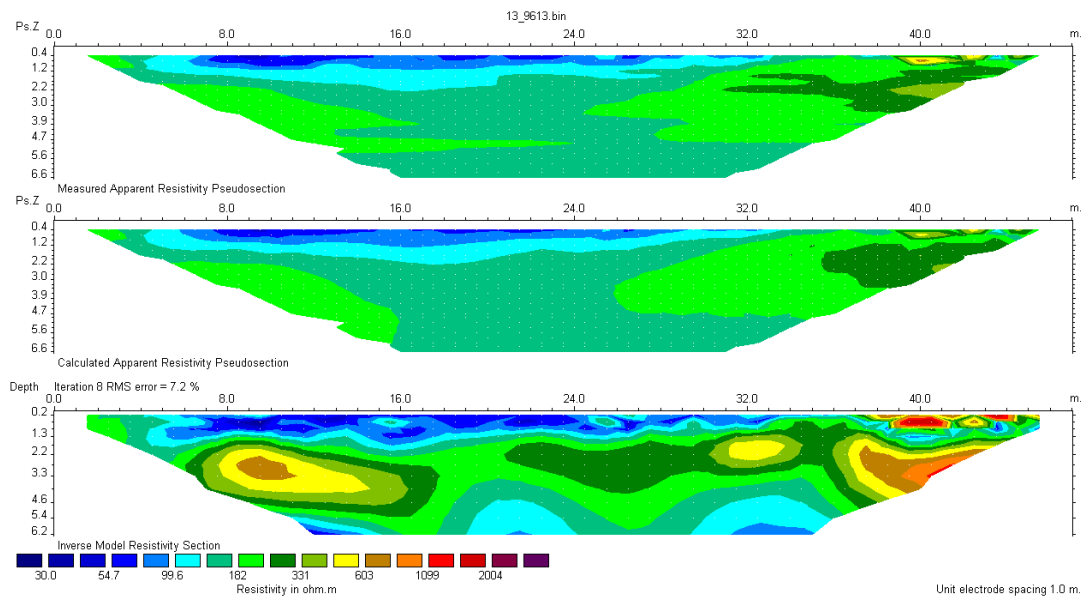
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 11.

LINE 12



Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 12.

LINE 13

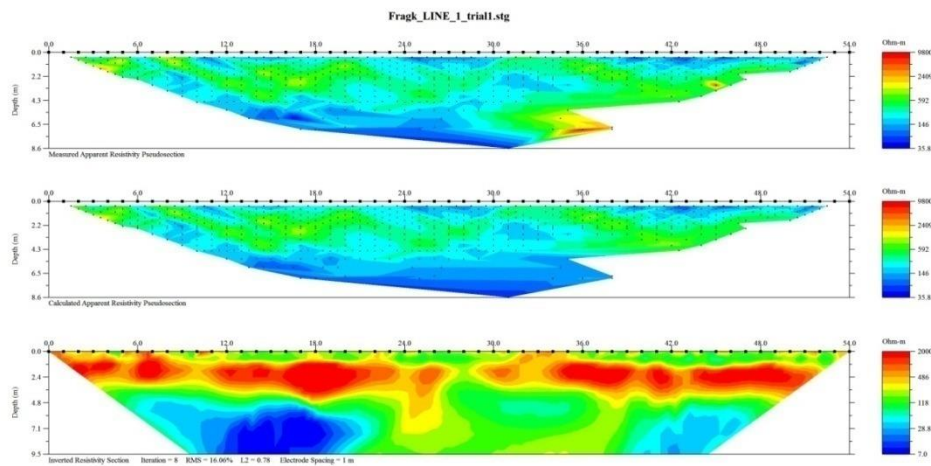


Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης LINE 13.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

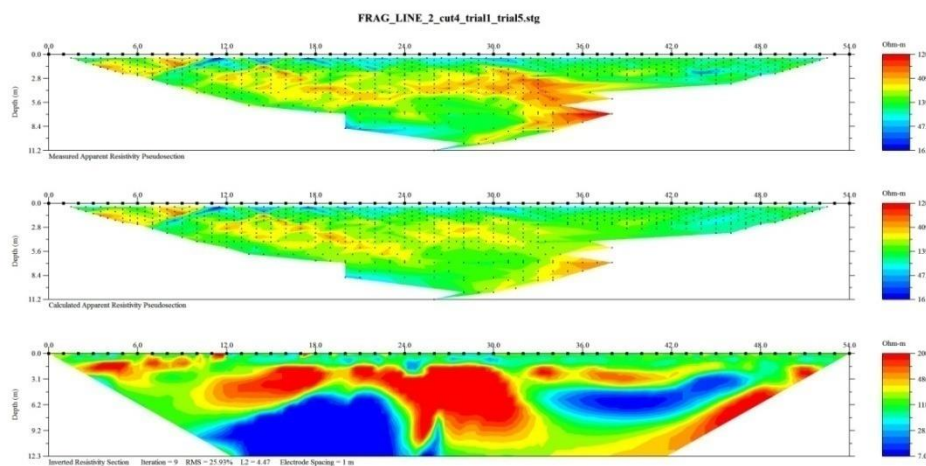
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager2D

FRAG LINE 1



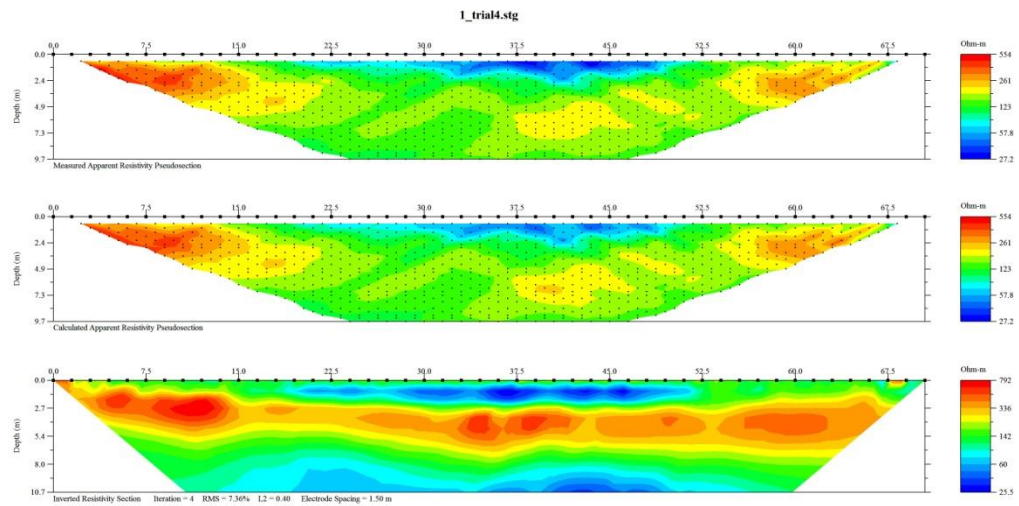
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης FRAG LINE 1.

FRAG LINE 2



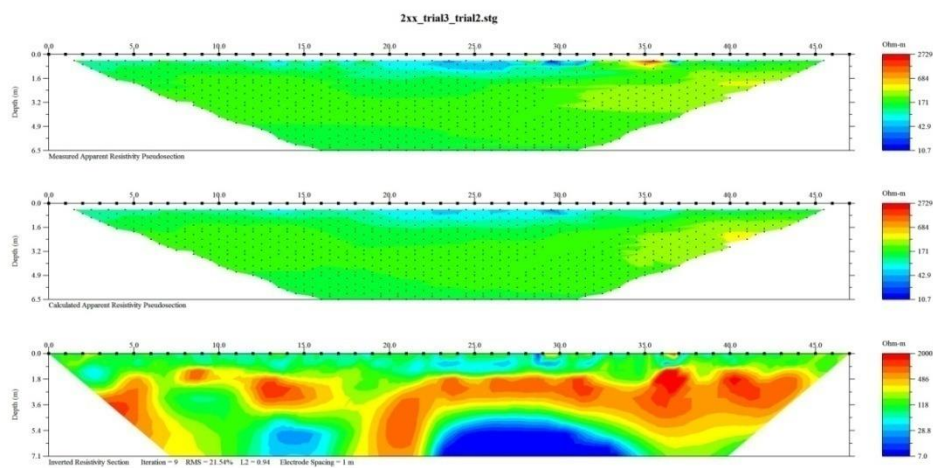
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης FRAG LINE 2.

LINE 1



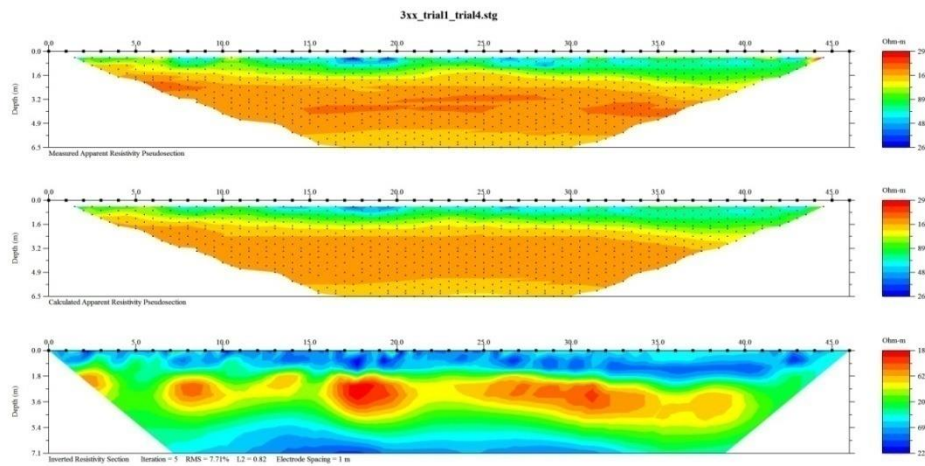
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης FRAG LINE 2.

LINE 2



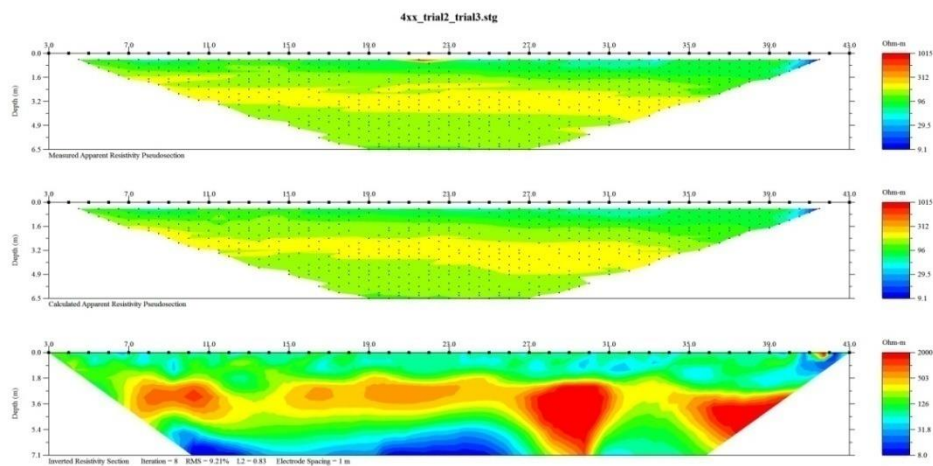
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 2.

LINE 3



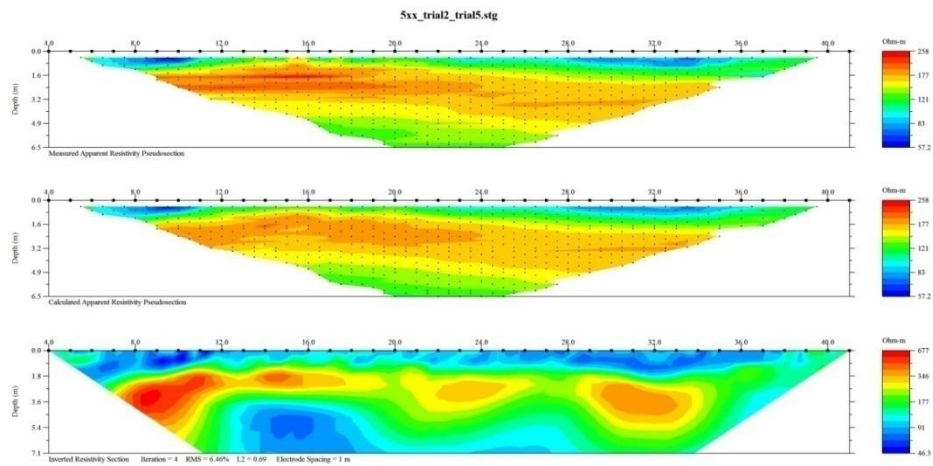
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 3.

LINE 4



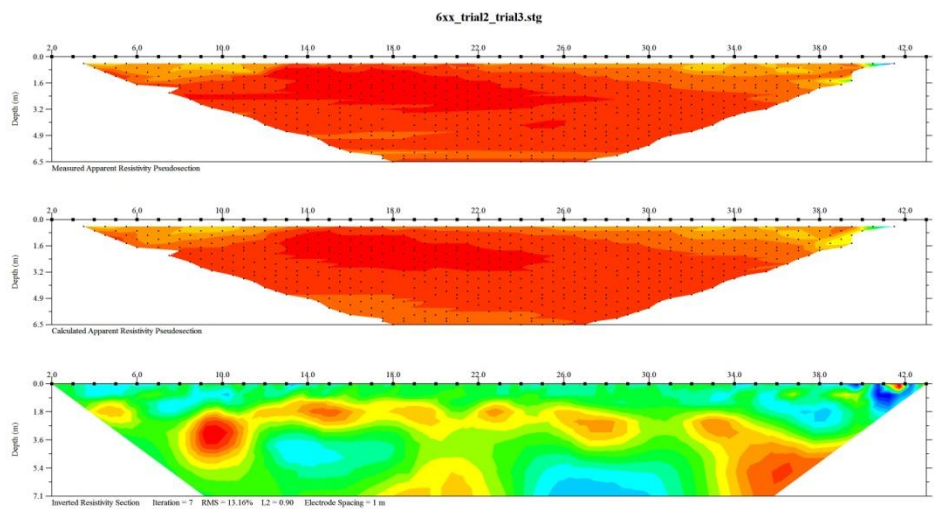
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 4.

LINE 5



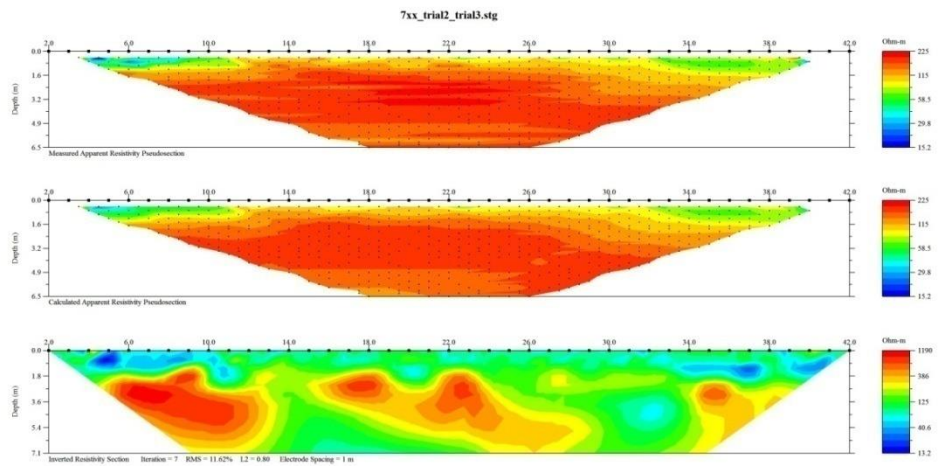
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 5.

LINE 6



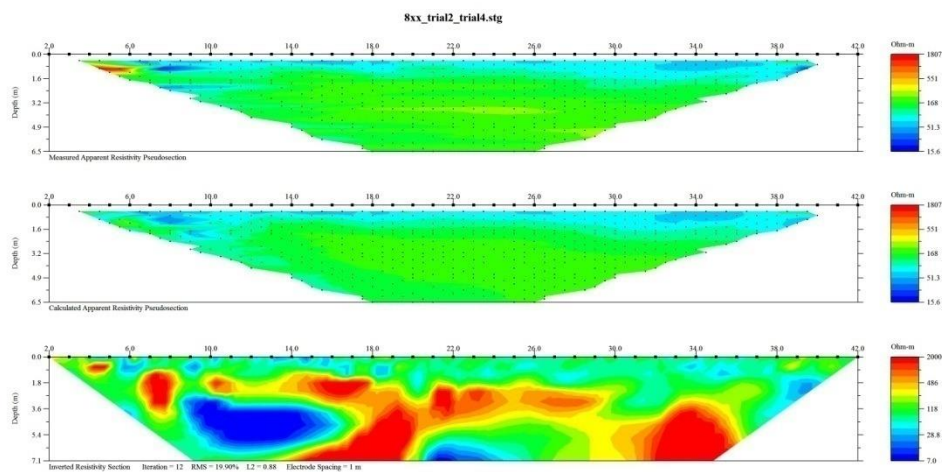
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 6.

LINE 7



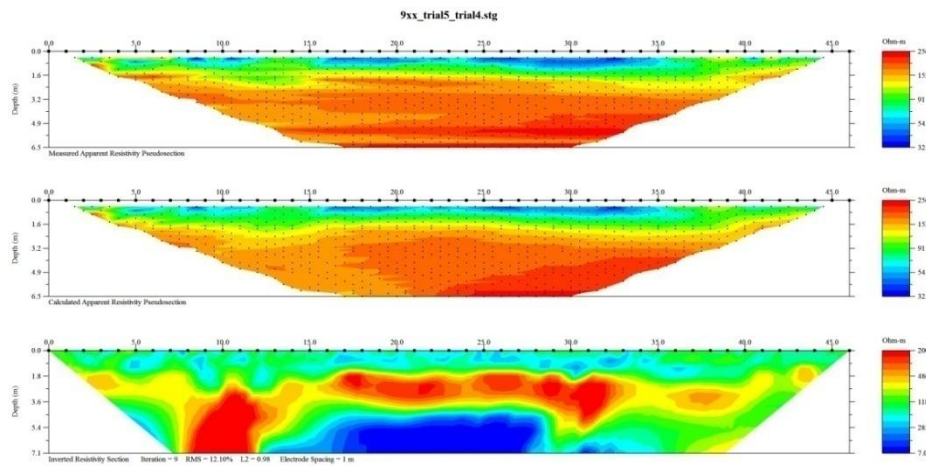
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 7.

LINE 8



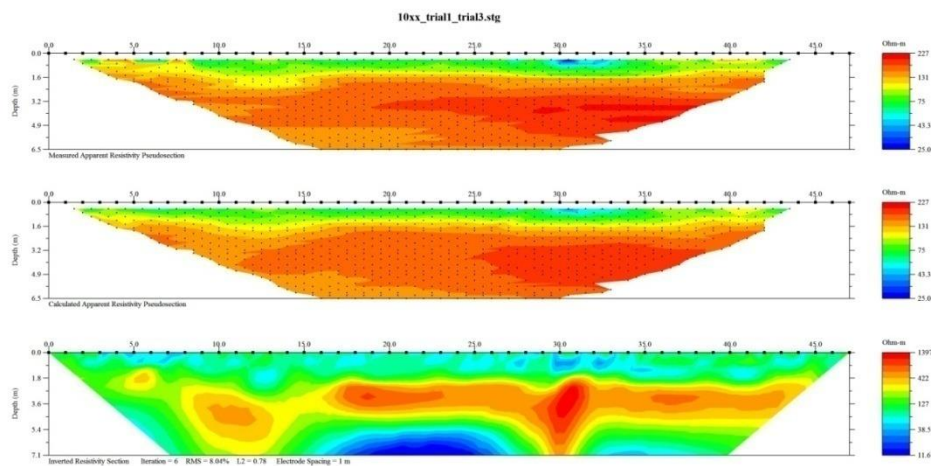
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 8.

LINE 9



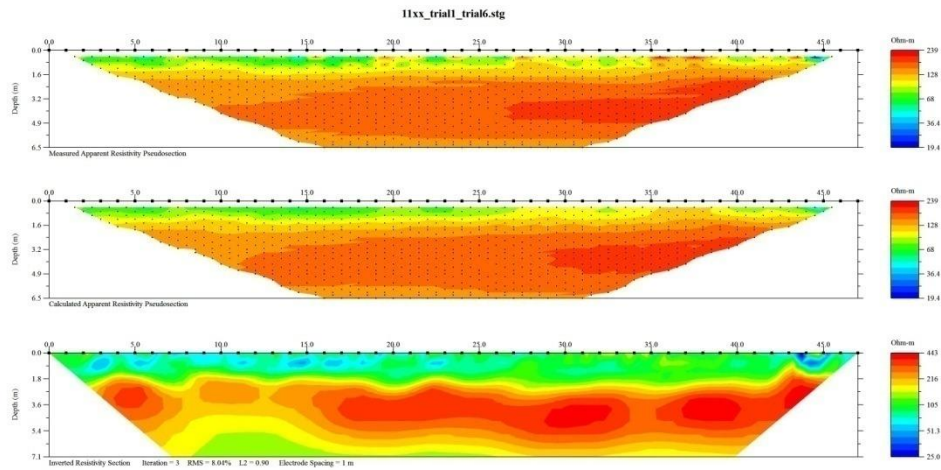
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 9.

LINE 10



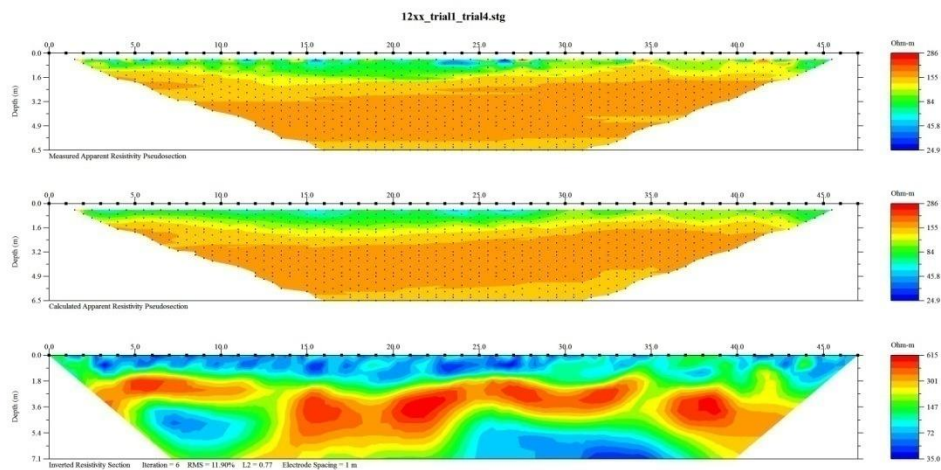
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 10.

LINE 11



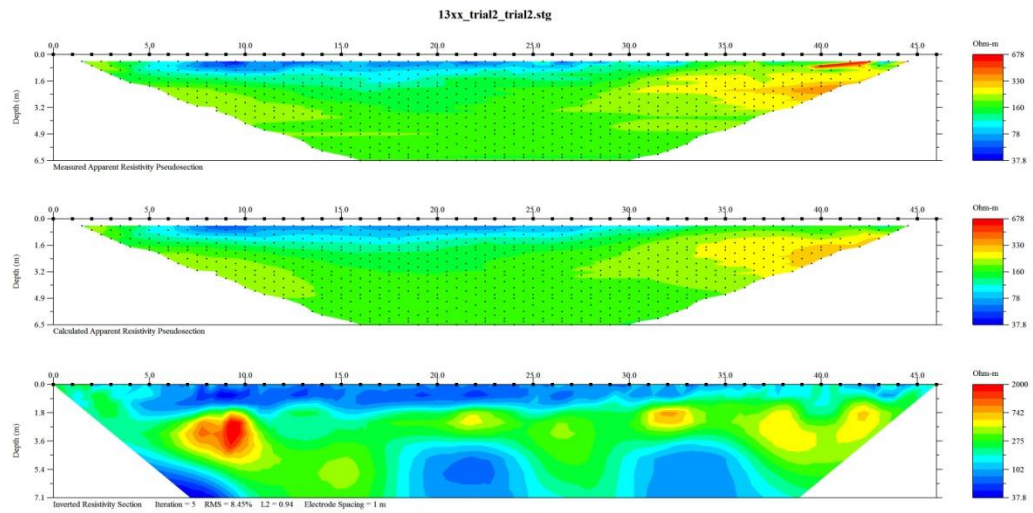
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 11.

LINE 12



Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 12.

LINE 13



Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης LINE 13.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB

[illegible]


```

95     eofc=ftell(Coord);
96     fseek(Coord,0,'r+k');
97     fgetl(Coord);%Skip first line
98     fgetl(Coord);%Skip second line
99
100     %IT MUST BE PROGRAMED TO CALCULATE (INTERPOLATION AND/OR EXTRAPOLATION) THE COORDINATES OF ALL ELECTRODES
101     %IF FEWER COORDINATES ARE GIVEN
102     %-----
103     cfl=1;
104     i=0;
105     while cfl==1;
106         i=i+1;
107         CRD(i,1)=fscanf(Coord,'%d',1); % read ID of Electrode
108         fseek(Coord,1,'s');
109         CRD(i,2)=fscanf(Coord,'%f',1); %X-coordinate
110         fseek(Coord,1,'s');
111         CRD(i,3)=fscanf(Coord,'%f',1); %Y-coordinate
112         fseek(Coord,1,'s');
113         CRD(i,4)=fscanf(Coord,'%f',1); %Z-coordinate
114         if eofc-ftell(Coord)<10;
115             cfl=0;
116         end
117     end
118     fclose(Coord);
119     %Warn if elevation differences are greater than electrode spacing
120     % if max(abs(diff(CRD(:,4))))>ElSp
121     % warning('Elevation difference greater than electrode spacing was detected. This may cause problem!!!')
122     % end
123
124     if size(CRD,1)<NoE;% electrode(s) is(are) missing
125         if misdata==0;%remove missing electrodes also from measurements
126
127             ElVe=1:1:NoE;
128             NoE=size(CRD,1);
129             msE=setdiff(ElVe,CRD(:,1));
130             for i=1:length(msE);
131                 for j=4:7
132                     stgL=size(STG,1);
133                     Ki = find (msE(i)==STG(:,j));
134                     Ki=setdiff(stgL,Ki);
135                     STG=STG(Ki,:);
136                 end
137             end
138             fprintf('Electrode removed: %d\n',msE);%display the removed electrodes
139             fprintf('Remaining measurements : %d\n',size(STG,1));%display the remaining measurements from this STG file
140
141             %else %interpolate missing electrode coordinates (to be programmed)
142             %end
143         end
144     end
145
146     for i=1:NoE
147         Geom(i+TNoE,1)=TNoE+i; %CRD(i,1)+; % Store coordinates of Electrodes
148         Geom(i+TNoE,2:4)=CRD(i,2:4); % Store coordinates of Electrodes
149     end
150
151     Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),1:4)=STG(:,4:7)+TNoE;%Store electrode positions (A B M N)
152     if neg2abs==1; %replace all negative values with the positive ones
153         Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),5)=abs(STG(:,1));%Store abs(V/I)
154     else
155
156         Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),5)=STG(:,1);%Store V/I
157     end
158     Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),6)=STG(:,3);%Store I
159     Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),7)=STG(:,2);%Store Error in %
160
161     TNoE=TNoE+NoE;
162     measNo=measNo+size(STG,1);
163
164     clear STG;
165 end %end of reading gfg files
166 fprintf('Total No of Measurements : %d\n',measNo);%display the remaining measurements from this STG file
167
168
169 [FN,PTH]=WriteURF(FILES,Geom,Meas); %Call the following function WriteURF to write the *.URF file
170
171 fclose('all');
172 %Display some statistical informations
173
174 %Display negative and positive values
175 figure;bar([-1 +1],[length(find(Meas(:,5)<0)) length(find(Meas(:,5)>=0))]);title('Positive and Negative measurements');xlabel('Negative - Positive');ylabel('No of samples');
176
177 %display Voltage distribution
178 minV=Meas(:,5).*Meas(:,6);
179 xx=[0.1 0.2 0.3 0.5 0.7 1 2 3 5 7 10];
180 figure;nn=hist(abs(minV(find(abs(minV)<=10))),xx);hist(abs(minV(find(abs(minV)>=10))),xx);hold on
181 pnn(1)=nn(1);for i=2:length(nn);pnn(i)=pnn(i-1)+nn(i);end
182 plot(xx,pnn,'-x');hold off
183 title('Voltage below 10 mV distribution');xlabel('Voltage (mV)');ylabel('No of samples');
184 clear pnn
185
186 %display abs(V/I) distribution
187 xx=[0.0001 0.0002 0.0003 0.0005 0.0007 0.001];

```


ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Resdinv και EarthImager 2D

LINE 1			
ID	X	Y	Z
1	0	40	0
2	1,5	40	0
3	3	40	0
4	4,5	40	0
5	6	40	0
6	7,5	40	0
7	9	40	0
8	10,5	40	0
9	12	40	0
10	13,5	40	0
11	15	40	0
12	16,5	40	0
13	18	40	0
14	19,5	40	0
15	21	40	0
16	22,5	40	0
17	24	40	0
18	25,5	40	0
19	27	40	0
20	28,5	40	0
21	30	40	0
22	31,5	40	0
23	33	40	0
24	34,5	40	0
25	36	40	0
26	37,5	40	0
27	39	40	0
28	40,5	40	0
29	42	40	0
30	43,5	40	0
31	45	40	0
32	46,5	40	0
33	48	40	0
34	49,5	40	0
35	51	40	0
36	52,5	40	0
37	54	40	0
38	55,5	40	0
39	57	40	0
40	58,5	40	0
41	60	40	0
42	61,5	40	0
43	63	40	0
44	64,5	40	0
45	66	40	0
46	67,5	40	0
47	69	40	0
48	70,5	40	0

LINE 2			
ID	X	Y	Z
1	17	0	0
2	17	1	0
3	17	2	0
4	17	3	0
5	17	4	0
6	17	5	0
7	17	6	0
8	17	7	0
9	17	8	0
10	17	9	0
11	17	10	0
12	17	11	0
13	17	12	0
14	17	13	0
15	17	14	0
16	17	15	0
17	17	16	0
18	17	17	0
19	17	18	0
20	17	19	0
21	17	20	0
22	17	21	0
23	17	22	0
24	17	23	0
25	17	24	0
26	17	25	0
27	17	26	0
28	17	27	0
29	17	28	0
30	17	29	0
31	17	30	0
32	17	31	0
33	17	32	0
34	17	33	0
35	17	34	0
36	17	35	0
37	17	36	0
38	17	37	0
39	17	38	0
40	17	39	0
41	17	40	0
42	17	41	0
43	17	42	0
44	17	43	0
45	17	44	0
46	17	45	0
47	17	46	0
48	17	46	0

LINE 3			
ID	X	Y	Z
1	11	14	0
2	12	14	0
3	13	14	0
4	14	14	0
5	15	14	0
6	16	14	0
7	17	14	0
8	18	14	0
9	19	14	0
10	20	14	0
11	21	14	0
12	22	14	0
13	23	14	0
14	24	14	0
15	25	14	0
16	26	14	0
17	27	14	0
18	28	14	0
19	29	14	0
20	30	14	0
21	31	14	0
22	32	14	0
23	33	14	0
24	34	14	0
25	35	14	0
26	36	14	0
27	37	14	0
28	38	14	0
29	39	14	0
30	40	14	0
31	41	14	0
32	42	14	0
33	43	14	0
34	44	14	0
35	45	14	0
36	46	14	0
37	47	14	0
38	48	14	0
39	49	14	0
40	50	14	0
41	51	14	0
42	52	14	0
43	53	14	0
44	54	14	0
45	55	14	0
46	56	14	0
47	57	14	0
48	58	14	0

LINE 4			
ID	X	Y	Z
4	14	16	0
5	15	16	0
6	16	16	0
7	17	16	0
8	18	16	0
9	19	16	0
10	20	16	0
11	21	16	0
12	22	16	0
13	23	16	0
14	24	16	0
15	25	16	0
16	26	16	0
17	27	16	0
18	28	16	0
19	29	16	0
20	30	16	0
21	31	16	0
22	32	16	0
23	33	16	0
24	34	16	0
25	35	16	0
26	36	16	0
27	37	16	0
28	38	16	0
29	39	16	0
30	40	16	0
31	41	16	0
32	42	16	0
33	43	16	0
34	44	16	0
35	45	16	0
36	46	16	0
37	47	16	0
38	48	16	0
39	49	16	0
40	50	16	0
41	51	16	0

LINE 5			
ID	X	Y	Z
4	14	18	0
5	15	18	0
6	16	18	0
7	17	18	0
8	18	18	0
9	19	18	0
10	20	18	0
11	21	18	0
12	22	18	0
13	23	18	0
14	24	18	0
15	25	18	0
16	26	18	0
17	27	18	0
18	28	18	0
19	29	18	0
20	30	18	0
21	31	18	0
22	32	18	0
23	33	18	0
24	34	18	0
25	35	18	0
26	36	18	0
27	37	18	0
28	38	18	0
29	39	18	0
30	40	18	0
31	41	18	0
32	42	18	0
33	43	18	0
34	44	18	0
35	45	18	0
36	46	18	0
37	47	18	0
38	48	18	0
39	49	18	0
40	50	18	0
41	51	18	0

LINE 6			
ID	X	Y	Z
4	14	20	0
5	15	20	0
6	16	20	0
7	17	20	0
8	18	20	0
9	19	20	0
10	20	20	0
11	21	20	0
12	22	20	0
13	23	20	0
14	24	20	0
15	25	20	0
16	26	20	0
17	27	20	0
18	28	20	0
19	29	20	0
20	30	20	0
21	31	20	0
22	32	20	0
23	33	20	0
24	34	20	0
25	35	20	0
26	36	20	0
27	37	20	0
28	38	20	0
29	39	20	0
30	40	20	0
31	41	20	0
32	42	20	0
33	43	20	0
34	44	20	0
35	45	20	0
36	46	20	0
37	47	20	0
38	48	20	0
39	49	20	0
40	50	20	0
41	51	20	0

LINE 7			
ID	X	Y	Z
4	14	22	0
5	15	22	0
6	16	22	0
7	17	22	0
8	18	22	0
9	19	22	0
10	20	22	0
11	21	22	0
12	22	22	0
13	23	22	0
14	24	22	0
15	25	22	0
16	26	22	0
17	27	22	0
18	28	22	0
19	29	22	0
20	30	22	0
21	31	22	0
22	32	22	0
23	33	22	0
24	34	22	0
25	35	22	0
26	36	22	0
27	37	22	0
28	38	22	0
29	39	22	0
30	40	22	0
31	41	22	0
32	42	22	0
33	43	22	0
34	44	22	0
35	45	22	0
36	46	22	0
37	47	22	0
38	48	22	0
39	49	22	0
40	50	22	0
41	51	22	0

LINE 8			
ID	X	Y	Z
4	14	24	0
5	15	24	0
6	16	24	0
7	17	24	0
8	18	24	0
9	19	24	0
10	20	24	0
11	21	24	0
12	22	24	0
13	23	24	0
14	24	24	0
15	25	24	0
16	26	24	0
17	27	24	0
18	28	24	0
19	29	24	0
20	30	24	0
21	31	24	0
22	32	24	0
23	33	24	0
24	34	24	0
25	35	24	0
26	36	24	0
27	37	24	0
28	38	24	0
29	39	24	0
30	40	24	0
31	41	24	0
32	42	24	0
33	43	24	0
34	44	24	0
35	45	24	0
36	46	24	0
37	47	24	0
38	48	24	0
39	49	24	0
40	50	24	0
41	51	24	0

LINE 9			
ID	X	Y	Z
1	11	26	0
2	12	26	0
3	13	26	0
4	14	26	0
5	15	26	0
6	16	26	0
7	17	26	0
8	18	26	0
9	19	26	0
10	20	26	0
11	21	26	0
12	22	26	0
13	23	26	0
14	24	26	0
15	25	26	0
16	26	26	0
17	27	26	0
18	28	26	0
19	29	26	0
20	30	26	0
21	31	26	0
22	32	26	0
23	33	26	0
24	34	26	0
25	35	26	0
26	36	26	0
27	37	26	0
28	38	26	0
29	39	26	0
30	40	26	0
31	41	26	0
32	42	26	0
33	43	26	0
34	44	26	0
35	45	26	0
36	46	26	0
37	47	26	0
38	48	26	0
39	49	26	0
40	50	26	0
41	51	26	0
42	52	26	0
43	53	26	0
44	54	26	0
45	55	26	0
46	56	26	0
47	57	26	0
48	58	26	0

LINE 10			
ID	X	Y	Z
1	11	28	0
2	12	28	0
3	13	28	0
4	14	28	0
5	15	28	0
6	16	28	0
7	17	28	0
8	18	28	0
9	19	28	0
10	20	28	0
11	21	28	0
12	22	28	0
13	23	28	0
14	24	28	0
15	25	28	0
16	26	28	0
17	27	28	0
18	28	28	0
19	29	28	0
20	30	28	0
21	31	28	0
22	32	28	0
23	33	28	0
24	34	28	0
25	35	28	0
26	36	28	0
27	37	28	0
28	38	28	0
29	39	28	0
30	40	28	0
31	41	28	0
32	42	28	0
33	43	28	0
34	44	28	0
35	45	28	0
36	46	28	0
37	47	28	0
38	48	28	0
39	49	28	0
40	50	28	0
41	51	28	0
42	52	28	0
43	53	28	0
44	54	28	0
45	55	28	0
46	56	28	0
47	57	28	0
48	58	28	0

LINE 11			
ID	X	Y	Z
1	11	33	0
2	12	33	0
3	13	33	0
4	14	33	0
5	15	33	0
6	16	33	0
7	17	33	0
8	18	33	0
9	19	33	0
10	20	33	0
11	21	33	0
12	22	33	0
13	23	33	0
14	24	33	0
15	25	33	0
16	26	33	0
17	27	33	0
18	28	33	0
19	29	33	0
20	30	33	0
21	31	33	0
22	32	33	0
23	33	33	0
24	34	33	0
25	35	33	0
26	36	33	0
27	37	33	0
28	38	33	0
29	39	33	0
30	40	33	0
31	41	33	0
32	42	33	0
33	43	33	0
34	44	33	0
35	45	33	0
36	46	33	0
37	47	33	0
38	48	33	0
39	49	33	0
40	50	33	0
41	51	33	0
42	52	33	0
43	53	33	0
44	54	33	0
45	55	33	0
46	56	33	0
47	57	33	0
48	58	33	0

LINE 12			
ID	X	Y	Z
1	11	35	0
2	12	35	0
3	13	35	0
4	14	35	0
5	15	35	0
6	16	35	0
7	17	35	0
8	18	35	0
9	19	35	0
10	20	35	0
11	21	35	0
12	22	35	0
13	23	35	0
14	24	35	0
15	25	35	0
16	26	35	0
17	27	35	0
18	28	35	0
19	29	35	0
20	30	35	0
21	31	35	0
22	32	35	0
23	33	35	0
24	34	35	0
25	35	35	0
26	36	35	0
27	37	35	0
28	38	35	0
29	39	35	0
30	40	35	0
31	41	35	0
32	42	35	0
33	43	35	0
34	44	35	0
35	45	35	0
36	46	35	0
37	47	35	0
38	48	35	0
39	49	35	0
40	50	35	0
41	51	35	0
42	52	35	0
43	53	35	0
44	54	35	0
45	55	35	0
46	56	35	0
47	57	35	0
48	58	35	0

LINE 13			
ID	X	Y	Z
1	11	2	0
2	12	2	0
3	13	2	0
4	14	2	0
5	15	2	0
6	16	2	0
7	17	2	0
8	18	2	0
9	19	2	0
10	20	2	0
11	21	2	0
12	22	2	0
13	23	2	0
14	24	2	0
15	25	2	0
16	26	2	0
17	27	2	0
18	28	2	0
19	29	2	0
20	30	2	0
21	31	2	0
22	32	2	0
23	33	2	0
24	34	2	0
25	35	2	0
26	36	2	0
27	37	2	0
28	38	2	0
29	39	2	0
30	40	2	0
31	41	2	0
32	42	2	0
33	43	2	0
34	44	2	0
35	45	2	0
36	46	2	0
37	47	2	0
38	48	2	0
39	49	2	0
40	50	2	0
41	51	2	0
42	52	2	0
43	53	2	0
44	54	2	0
45	55	2	0
46	56	2	0
47	57	2	0
48	58	2	0

FRAG LINE 1			
ID	X	Y	Z
1	3,5	3,5	0
2	3,5	4,5	0
3	3,5	5,5	0
4	3,5	6,5	0
5	3,5	7,5	0
6	3,5	8,5	0
7	3,5	9,5	0
8	3,5	10,5	0
9	3,5	11,5	0
10	3,5	12,5	0
11	3,5	13,5	0
12	3,5	14,5	0
13	3,5	15,5	0
14	3,5	16,5	0
15	3,5	17,5	0
16	3,5	18,5	0
17	3,5	19,5	0
18	3,5	20,5	0
19	3,5	21,5	0
20	3,5	22,5	0
21	3,5	23,5	0
22	3,5	24,5	0
23	3,5	25,5	0
24	3,5	26,5	0
25	3,5	27,5	0
26	3,5	28,5	0
27	3,5	29,5	0
28	3,5	30,5	0
29	3,5	31,5	0
30	3,5	32,5	0
31	3,5	33,5	0
32	3,5	34,5	0
33	3,5	35,5	0
34	3,5	36,5	0
35	3,5	37,5	0
36	3,5	38,5	0
37	3,5	39,5	0
38	3,5	40,5	0
39	3,5	41,5	0
40	3,5	42,5	0
41	3,5	43,5	0
42	3,5	44,5	0
43	3,5	45,5	0
44	3,5	46,5	0
45	3,5	47,5	0
46	3,5	48,5	0
47	3,5	49,5	0
48	3,5	50,5	0
49	3,5	51,5	0
50	3,5	52,5	0
51	3,5	53,5	0
52	3,5	54,5	0
53	3,5	55,5	0
54	3,5	56,5	0
55	3,5	57,5	0

FRAG LINE 2			
ID	X	Y	Z
1	3,5	33,5	0
2	4,5	33,5	0
3	5,5	33,5	0
4	6,5	33,5	0
5	7,5	33,5	0
6	8,5	33,5	0
7	9,5	33,5	0
8	10,5	33,5	0
9	11,5	33,5	0
10	12,5	33,5	0
11	13,5	33,5	0
12	14,5	33,5	0
13	15,5	33,5	0
14	16,5	33,5	0
15	17,5	33,5	0
16	18,5	33,5	0
17	19,5	33,5	0
18	20,5	33,5	0
19	21,5	33,5	0
20	22,5	33,5	0
21	23,5	33,5	0
22	24,5	33,5	0
23	25,5	33,5	0
24	26,5	33,5	0
25	27,5	33,5	0
26	28,5	33,5	0
27	29,5	33,5	0
28	30,5	33,5	0
29	31,5	33,5	0
30	32,5	33,5	0
31	33,5	33,5	0
32	34,5	33,5	0
33	35,5	33,5	0
34	36,5	33,5	0
35	37,5	33,5	0
36	38,5	33,5	0
37	39,5	33,5	0
38	40,5	33,5	0
39	41,5	33,5	0
40	42,5	33,5	0
41	43,5	33,5	0
42	44,5	33,5	0
43	45,5	33,5	0
44	46,5	33,5	0
45	47,5	33,5	0
46	48,5	33,5	0
47	49,5	33,5	0
48	50,5	33,5	0
49	51,5	33,5	0
50	52,5	33,5	0
51	53,5	33,5	0
52	54,5	33,5	0
53	55,5	33,5	0
54	56,5	33,5	0

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager3D

LINE 1			
ID	X	Y	Z
3	0	40	0
4	1,5	40	0
5	3	40	0
6	4,5	40	0
7	6	40	0
8	7,5	40	0
9	9	40	0
10	10,5	40	0
11	12	40	0
12	13,5	40	0
13	15	40	0
14	16,5	40	0
15	18	40	0
16	19,5	40	0
17	21	40	0
18	22,5	40	0
19	24	40	0
20	25,5	40	0
21	27	40	0
22	28,5	40	0
23	30	40	0
24	31,5	40	0
25	33	40	0
26	34,5	40	0
27	36	40	0
28	37,5	40	0
29	39	40	0
30	40,5	40	0
31	42	40	0
32	43,5	40	0
33	45	40	0
34	46,5	40	0
35	48	40	0
36	49,5	40	0
37	51	40	0
38	52,5	40	0
39	54	40	0
40	55,5	40	0

LINE 2			
ID	X	Y	Z
3	14	0	0
4	14	1	0
5	14	2	0
6	14	3	0
7	14	4	0
8	14	5	0
9	14	6	0
10	14	7	0
11	14	8	0
12	14	9	0
13	14	10	0
14	14	11	0
15	14	12	0
16	14	13	0
17	14	14	0
18	14	15	0
19	14	16	0
20	14	17	0
21	14	18	0
22	14	19	0
23	14	20	0
24	14	21	0
25	14	22	0
26	14	23	0
27	14	24	0
28	14	25	0
29	14	26	0
30	14	27	0
31	14	28	0
32	14	29	0
33	14	30	0
34	14	31	0
35	14	32	0
36	14	33	0
37	14	34	0
38	14	35	0
39	14	36	0
40	14	37	0
41	14	38	0
42	14	39	0
43	14	40	0

LINE 3			
ID	X	Y	Z
1	8	12	0
2	9	12	0
3	10	12	0
4	11	12	0
5	12	12	0
6	13	12	0
7	14	12	0
8	15	12	0
9	16	12	0
10	17	12	0
11	18	12	0
12	19	12	0
13	20	12	0
14	21	12	0
15	22	12	0
16	23	12	0
17	24	12	0
18	25	12	0
19	26	12	0
20	27	12	0
21	28	12	0
22	29	12	0
23	30	12	0
24	31	12	0
25	32	12	0
26	33	12	0
27	34	12	0
28	35	12	0
29	36	12	0
30	37	12	0
31	38	12	0
32	39	12	0
33	40	12	0
34	41	12	0
35	42	12	0
36	43	12	0
37	44	12	0
38	45	12	0
39	46	12	0
40	47	12	0
41	48	12	0
42	49	12	0
43	50	12	0
44	51	12	0
45	52	12	0
46	53	12	0
47	54	12	0
48	55	12	0

LINE 4			
ID	X	Y	Z
4	11	14	0
5	12	14	0
6	13	14	0
7	14	14	0
8	15	14	0
9	16	14	0
10	17	14	0
11	18	14	0
12	19	14	0
13	20	14	0
14	21	14	0
15	22	14	0
16	23	14	0
17	24	14	0
18	25	14	0
19	26	14	0
20	27	14	0
21	28	14	0
22	29	14	0
23	30	14	0
24	31	14	0
25	32	14	0
26	33	14	0
27	34	14	0
28	35	14	0
29	36	14	0
30	37	14	0
31	38	14	0
32	39	14	0
33	40	14	0
34	41	14	0
35	42	14	0
36	43	14	0
37	44	14	0
38	45	14	0
39	46	14	0
40	47	14	0
41	48	14	0
42	49	14	0
43	50	14	0
44	51	14	0
45	52	14	0
46	53	14	0
47	54	14	0
48	55	14	0

LINE 5			
ID	X	Y	Z
4	11	16	0
5	12	16	0
6	13	16	0
7	14	16	0
8	15	16	0
9	16	16	0
10	17	16	0
11	18	16	0
12	19	16	0
13	20	16	0
14	21	16	0
15	22	16	0
16	23	16	0
17	24	16	0
18	25	16	0
19	26	16	0
20	27	16	0
21	28	16	0
22	29	16	0
23	30	16	0
24	31	16	0
25	32	16	0
26	33	16	0
27	34	16	0
28	35	16	0
29	36	16	0
30	37	16	0
31	38	16	0
32	39	16	0
33	40	16	0
34	41	16	0
35	42	16	0
36	43	16	0
37	44	16	0
38	45	16	0
39	46	16	0
40	47	16	0
41	48	16	0
42	49	16	0
43	50	16	0
44	51	16	0
45	52	16	0
46	53	16	0
47	54	16	0
48	55	16	0

LINE 6			
ID	X	Y	Z
4	11	18	0
5	12	18	0
6	13	18	0
7	14	18	0
8	15	18	0
9	16	18	0
10	17	18	0
11	18	18	0
12	19	18	0
13	20	18	0
14	21	18	0
15	22	18	0
16	23	18	0
17	24	18	0
18	25	18	0
19	26	18	0
20	27	18	0
21	28	18	0
22	29	18	0
23	30	18	0
24	31	18	0
25	32	18	0
26	33	18	0
27	34	18	0
28	35	18	0
29	36	18	0
30	37	18	0
31	38	18	0
32	39	18	0
33	40	18	0
34	41	18	0
35	42	18	0
36	43	18	0
37	44	18	0
38	45	18	0
39	46	18	0
40	47	18	0
41	48	18	0
42	49	18	0
43	50	18	0
44	51	18	0
45	52	18	0
46	53	18	0
47	54	18	0
48	55	18	0

LINE 7			
ID	X	Y	Z
4	11	20	0
5	12	20	0
6	13	20	0
7	14	20	0
8	15	20	0
9	16	20	0
10	17	20	0
11	18	20	0
12	19	20	0
13	20	20	0
14	21	20	0
15	22	20	0
16	23	20	0
17	24	20	0
18	25	20	0
19	26	20	0
20	27	20	0
21	28	20	0
22	29	20	0
23	30	20	0
24	31	20	0
25	32	20	0
26	33	20	0
27	34	20	0
28	35	20	0
29	36	20	0
30	37	20	0
31	38	20	0
32	39	20	0
33	40	20	0
34	41	20	0
35	42	20	0
36	43	20	0
37	44	20	0
38	45	20	0
39	46	20	0
40	47	20	0
41	48	20	0
42	49	20	0
43	50	20	0
44	51	20	0
45	52	20	0
46	53	20	0
47	54	20	0
48	55	20	0

LINE 8			
ID	X	Y	Z
4	11	22	0
5	12	22	0
6	13	22	0
7	14	22	0
8	15	22	0
9	16	22	0
10	17	22	0
11	18	22	0
12	19	22	0
13	20	22	0
14	21	22	0
15	22	22	0
16	23	22	0
17	24	22	0
18	25	22	0
19	26	22	0
20	27	22	0
21	28	22	0
22	29	22	0
23	30	22	0
24	31	22	0
25	32	22	0
26	33	22	0
27	34	22	0
28	35	22	0
29	36	22	0
30	37	22	0
31	38	22	0
32	39	22	0
33	40	22	0
34	41	22	0
35	42	22	0
36	43	22	0
37	44	22	0
38	45	22	0
39	46	22	0
40	47	22	0
41	48	22	0
42	49	22	0
43	50	22	0
44	51	22	0
45	52	22	0
46	53	22	0
47	54	22	0
48	55	22	0

LINE 9			
ID	X	Y	Z
1	8	24	0
2	9	24	0
3	10	24	0
4	11	24	0
5	12	24	0
6	13	24	0
7	14	24	0
8	15	24	0
9	16	24	0
10	17	24	0
11	18	24	0
12	19	24	0
13	20	24	0
14	21	24	0
15	22	24	0
16	23	24	0
17	24	24	0
18	25	24	0
19	26	24	0
20	27	24	0
21	28	24	0
22	29	24	0
23	30	24	0
24	31	24	0
25	32	24	0
26	33	24	0
27	34	24	0
28	35	24	0
29	36	24	0
30	37	24	0
31	38	24	0
32	39	24	0
33	40	24	0
34	41	24	0
35	42	24	0
36	43	24	0
37	44	24	0
38	45	24	0
39	46	24	0
40	47	24	0
41	48	24	0
42	49	24	0
43	50	24	0
44	51	24	0
45	52	24	0
46	53	24	0
47	54	24	0

LINE 10			
ID	X	Y	Z
1	8	26	0
2	9	26	0
3	10	26	0
4	11	26	0
5	12	26	0
6	13	26	0
7	14	26	0
8	15	26	0
9	16	26	0
10	17	26	0
11	18	26	0
12	19	26	0
13	20	26	0
14	21	26	0
15	22	26	0
16	23	26	0
17	24	26	0
18	25	26	0
19	26	26	0
20	27	26	0
21	28	26	0
22	29	26	0
23	30	26	0
24	31	26	0
25	32	26	0
26	33	26	0
27	34	26	0
28	35	26	0
29	36	26	0
30	37	26	0
31	38	26	0
32	39	26	0
33	40	26	0
34	41	26	0
35	42	26	0
36	43	26	0
37	44	26	0
38	45	26	0
39	46	26	0
40	47	26	0
41	48	26	0
42	49	26	0
43	50	26	0
44	51	26	0
45	52	26	0
46	53	26	0
47	54	26	0

LINE 11			
ID	X	Y	Z
1	8	31	0
2	9	31	0
3	10	31	0
4	11	31	0
5	12	31	0
6	13	31	0
7	14	31	0
8	15	31	0
9	16	31	0
10	17	31	0
11	18	31	0
12	19	31	0
13	20	31	0
14	21	31	0
15	22	31	0
16	23	31	0
17	24	31	0
18	25	31	0
19	26	31	0
20	27	31	0
21	28	31	0
22	29	31	0
23	30	31	0
24	31	31	0
25	32	31	0
26	33	31	0
27	34	31	0
28	35	31	0
29	36	31	0
30	37	31	0
31	38	31	0
32	39	31	0
33	40	31	0
34	41	31	0
35	42	31	0
36	43	31	0
37	44	31	0
38	45	31	0
39	46	31	0
40	47	31	0
41	48	31	0
42	49	31	0
43	50	31	0
44	51	31	0
45	52	31	0
46	53	31	0
47	54	31	0
48	55	31	0

LINE 12			
ID	X	Y	Z
1	8	33	0
2	9	33	0
3	10	33	0
4	11	33	0
5	12	33	0
6	13	33	0
7	14	33	0
8	15	33	0
9	16	33	0
10	17	33	0
11	18	33	0
12	19	33	0
13	20	33	0
14	21	33	0
15	22	33	0
16	23	33	0
17	24	33	0
18	25	33	0
19	26	33	0
20	27	33	0
21	28	33	0
22	29	33	0
23	30	33	0
24	31	33	0
25	32	33	0
26	33	33	0
27	34	33	0
28	35	33	0
29	36	33	0
30	37	33	0
31	38	33	0
32	39	33	0
33	40	33	0
34	41	33	0
35	42	33	0
36	43	33	0
37	44	33	0
38	45	33	0
39	46	33	0
40	47	33	0
41	48	33	0
42	49	33	0
43	50	33	0
44	51	33	0
45	52	33	0
46	53	33	0
47	54	33	0
48	55	33	0

LINE 13			
ID	X	Y	Z
1	8	0	0
2	9	0	0
3	10	0	0
4	11	0	0
5	12	0	0
6	13	0	0
7	14	0	0
8	15	0	0
9	16	0	0
10	17	0	0
11	18	0	0
12	19	0	0
13	20	0	0
14	21	0	0
15	22	0	0
16	23	0	0
17	24	0	0
18	25	0	0
19	26	0	0
20	27	0	0
21	28	0	0
22	29	0	0
23	30	0	0
24	31	0	0
25	32	0	0
26	33	0	0
27	34	0	0
28	35	0	0
29	36	0	0
30	37	0	0
31	38	0	0
32	39	0	0
33	40	0	0
34	41	0	0
35	42	0	0
36	43	0	0
37	44	0	0
38	45	0	0
39	46	0	0
40	47	0	0
41	48	0	0
42	49	0	0
43	50	0	0
44	51	0	0
45	52	0	0
46	53	0	0
47	54	0	0

FRAG LINE 1			
ID	X	Y	Z
1	1	1	0
2	1	2	0
3	1	3	0
4	1	4	0
5	1	5	0
6	1	6	0
7	1	7	0
8	1	8	0
9	1	9	0
10	1	10	0
11	1	11	0
12	1	12	0
13	1	13	0
14	1	14	0
15	1	15	0
16	1	16	0
17	1	17	0
18	1	18	0
19	1	19	0
20	1	20	0
21	1	21	0
22	1	22	0
23	1	23	0
24	1	24	0
25	1	25	0
26	1	26	0
27	1	27	0
28	1	28	0
29	1	29	0
30	1	30	0
31	1	31	0
32	1	32	0
33	1	33	0
34	1	34	0
35	1	35	0
36	1	36	0
37	1	37	0
38	1	38	0
39	1	39	0
40	1	40	0

LINE FRAG 2			
ID	X	Y	Z
1	1	31,5	0
2	2	31,5	0
3	3	31,5	0
4	4	31,5	0
5	5	31,5	0
6	6	31,5	0
7	7	31,5	0
8	8	31,5	0
9	9	31,5	0
10	10	31,5	0
11	11	31,5	0
12	12	31,5	0
13	13	31,5	0
14	14	31,5	0
15	15	31,5	0
16	16	31,5	0
17	17	31,5	0
18	18	31,5	0
19	19	31,5	0
20	20	31,5	0
21	21	31,5	0
22	22	31,5	0
23	23	31,5	0
24	24	31,5	0
25	25	31,5	0
26	26	31,5	0
27	27	31,5	0
28	28	31,5	0
29	29	31,5	0
30	30	31,5	0
31	31	31,5	0
32	32	31,5	0
33	33	31,5	0
34	34	31,5	0
35	35	31,5	0
36	36	31,5	0
37	37	31,5	0
38	38	31,5	0
39	39	31,5	0
40	40	31,5	0
41	41	31,5	0
42	42	31,5	0
43	43	31,5	0
44	44	31,5	0
45	45	31,5	0

46	46	31,5	0
47	47	31,5	0
48	48	31,5	0
49	49	31,5	0
50	50	31,5	0
51	51	31,5	0
52	52	31,5	0
53	53	31,5	0
54	54	31,5	0