



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ (ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ,
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ)

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

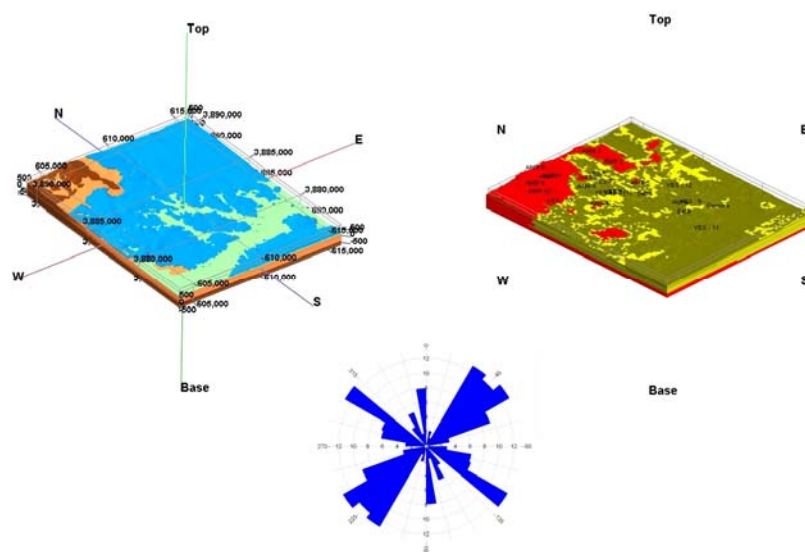
«Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο των Νεογενών σχηματισμών
στην Κεντρική Κρήτη

Βάχλας Γεώργιος

Μηχανικός Ορυκτών Πόρων



Εξεταστική Επιτροπή

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Αν. Καθηγητής (επιβλέπων)
Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής
Μαρκόπουλος Θεόδωρος, Καθηγητής

Ιανουάριος 2009
Χανιά

Αφιερώνεται
Στην οικογένεια μου

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	ii
Κατάλογος Εικόνων.....	iii
Κατάλογος Σχημάτων	iii
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Περίληψη	viii
Abstract.....	ix
Πρόλογος.....	xi
Εισαγωγή.....	xiii
Κεφάλαιο 1 Βιογενές Αέριο	1
1.1 Δημιουργία και προέλευση του μεθανίου οργανικής προέλευσης.....	1
1.2 Αποθετικά περιβάλλοντα	3
1.3. Ο ρόλος της διαγένεσης.....	4
1.3.1 Επιλογή δεικτών για τις συνθήκες πρόδρομης αναερόβιας διαγένεσης.....	6
Κεφάλαιο 2 Γεωλογικό περίγραμμα.....	1
2.1 Γεωλογικό περίγραμμα των Ελληνίδων Οροσειρών	1
2.2 Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης	4
2.3 Νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της Κρήτης	8
2.3.1 Τεκτονοστρωματογραφία	8
2.3.1.1 Ομάδα της Πρίνα.....	8
2.3.1.2 Ομάδα του Τεφελίου.....	9
2.3.1.3 Ομάδα των Βρυσών	9
2.3.1.4 Ομάδα του Ελληνικού	9
2.3.1.5 Ομάδα του Φοινικιά	9
2.3.1.6 Ομάδα Αγίας Γαλήνης	10
2.4 ΟΜΑΔΑ ΤΕΦΕΛΙΟΥ	11
2.4.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΑΝΝΟΥ	12
2.4.2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΧΟΙΝΙΑ.....	13
2.4.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΜΠΕΛΟΥΖΟΥ	14
2.5 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της περιοχής.....	16
2.5.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΑΝΝΟΥ.....	21
2.5.2. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΧΟΙΝΙΑ.....	22
2.5.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΜΠΕΛΟΥΖΟΥ	23
2.5.4. Γενικές παρατηρήσεις για τους τρεις υπό μελέτη σχηματισμούς.....	26
2.6 Απόψεις για την Νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης	26
Κεφάλαιο 3 Μεθοδολογία εργασίας.....	36
3.1 Τριοδιάστατη γεωλογική προσομοίωση	36
3.1.1 Γεωμετρικό Μοντέλο.....	37
3.1.2 Μοντέλο ιδιοτήτων	37
3.1.3 Εκτίμηση ιδιοτήτων	39
3.2 Μεθοδολογία Γεωφυσικής Έρευνας	40
3.2.1 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση	

3.2.2 Διαδικασία ηλεκτρικής βυθοσκόπησης.....	42
3.2.3 Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην περιοχή μελέτης	43
3.3 Λειπομερής επιφανειακή χαρτογράφηση.....	56
3.4 Μεθοδολογία κατασκευής τρισδιάστατων ψηφιακών γεωλογικών μοντέλων της περιοχής μελέτης	59
3.4.1 Παράμετροι κατασκευής ψηφιακών γεωλογικών μοντέλων.	60
3.4.1.1 Κατασκευή λιθολογικών μοντέλων	62
3.4.1.2 Κατασκευή στρωματογραφικών μοντέλων	65
3.4.1.2 Στρωματογραφικά μοντέλα με τοπογραφικό ανάγλυφο.	72
3.4.2 Χαρτογραφικές απεικονίσεις και τρισδιάστατα μοντέλα περιοχής μελέτης.	75
3.4.3 Επεξεργασία στοιχείων ερευνητικών γεωτρήσεων.....	85
Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	94
Βιβλιογραφία.....	101
Ξενη.....	101
Ελληνική.....	105

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Κοιτώντας την περιοχή της λεκάνης Μεσσαράς, από μια ψευδοτρειςδιάστατη δορυφορική εικόνα (α) και από γεωλογικό χάρτη (Creutzburg, N. et al, 1977) (β).....	32
Εικόνα 3.1: Παράδειγμα αποτόπωσης επί χάρτου στοιχείων πεδίου κατά την διάρκεια της λεπτομερούς επιφανειακής γεωλογικής χαρτογράφησης.....	58
Εικόνα 3.2 : Άποψη της θέσης της πρώτης γεώτρησης ALPHA	87
Εικόνα 3.3 : Άποψη της θέσης της δεύτερης γεώτρησης BETA.....	89
Εικόνα 3.4 : Άποψη της θέσης της τρίτης γεώτρησης GAMMA.....	91
Εικόνα 3.5 : Άποψη της θέσης της τέταρτης γεώτρησης DELTA.....	93

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου.	2
Σχήμα 2.2 Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al. 1978).	3
Σχήμα 2.3: Μορφολογική τομή συνολικού μήκους 250χλμ, παράλληλα στην κύρια διεύθυνση ανάπτυξης της Κρήτης (Α-Δ). Η κατακόρυφη κλίμακα είναι παραμορφωμένη σε ποσοστό 100%, για να είναι εμφανής η σχετική μεταβολή του υψομέτρου κατά μήκος της τομής. Σημειώνονται οι θέσεις των μεγαλύτερων ορεινών όγκων καθώς και οι κυριότερες πόλεις της βόρειας ακτής του νησιού.....	4

Σχήμα 2.4 : Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος του ΙΓΜΕ σε κλίμακα 1:500.000. με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.....	5
Σχήμα 2.5: Σχηματική τομή στην οποία φαίνεται η σχετική θέση των Νεογενών σχηματισμών στην περιοχή της Κρήτης [Meulenkamp, 1979].....	10
Σχήμα 2.6: Στρωματογραφική διάρθρωση των διαφορετικών ομάδων στην κεντρική Κρήτη.(Meulenkamp et al.,1979).....	11
Σχήμα 2.7: Σχηματικές λιθοστρωματογραφικές τομές με την διάρθρωση των ομάδων και των σχηματισμών μέσα σε αυτές.....	12
Σχήμα 2.8: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Νεογενών ιζημάτων στην Κρήτη (κατά Meulenkamp et al 1994)	17
Σχήμα 2.9: Λιθοφασική εξέλιξη της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου κατά J.H.ten Veen (1998)	21
Σχήμα 2.10 : Στρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης (από Ζεληλίδη 2008)	25
Σχήμα 2.11 Νεοτεκτονική εξέλιξη της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης (Ten Veen and Postma,1998)	27
Σχήμα 2.12 : Κινήσεις αναδύσεως και καταβυθίσεως γύρω από τον οριζόντιο άξονα Ηρακλείου – Τυμπακίου. Οι αριθμοί δείχνουν το μέγεθος της αναδύσεως ή καταβυθίσεως σε μέτρα, οι οποίες ξεκίνησαν μετά τον 3ο αιώνα μ.Χ. .(Φυτρολάκης, 1980).....	30
Σχήμα 2.13 : Υπόμνημα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι	33
Σχήμα 3.1: Προσομοίωση με τη μέθοδο κανονικού μοντέλου 3D σταθερού μπλοκ	38
Σχήμα 3.2: Γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής και της αντίστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος, για τον υπολογισμό εναλλασσόμενων υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης στρωμάτων, με τη βοήθεια της διάταξης Wenner. (Robinson, Coruh, 1988, σελ. 466).....	42
Σχήμα 3.3:Τα κέντρα των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων επί του γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης.....	44
Σχήμα 3.4 : Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 3.	46
Σχήμα 3.5: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 4.	47
Σχήμα 3.6 Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 5.	48
Σχήμα 3.7: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 6.	49
Σχήμα 3.8: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 7.	50
Σχήμα 3.9: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 8.	51
Σχήμα 3.10:Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 8 (2).	51
Σχήμα 3.11: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 9.	52
Σχήμα 3.12 Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 10.	53
Σχήμα 3.13: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 11.	54
Σχήμα 3.14: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκοπήσης VES – 12.	55
Σχήμα 3.15: Ροδοδιάγραμμα κατανομής των ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης.	58

Σχήμα 3.16: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των γεωγραφικών στοιχείων για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά, στην καρτέλα Locations.....	61
Σχήμα 3.17: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των λιθολογικών στοιχείων τους στην καρτέλα Lithology.....	61
Σχήμα 3.18: Το παράθυρο ρυθμίσεων για την δημιουργία τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων.....	62
Σχήμα 3.19: Το αποτέλεσμα της εντολής Filter Points.....	63
Σχήμα 3.20: Η επίδραση της εντολής Randomize Blending.....	64
Σχήμα 3.21: Τρισδιάστατη (χωρική) χαρτογραφική απεικόνιση της αρχικής περιοχής μελέτης.....	65
Σχήμα 3.22 Ορισμός των στρωματογραφικών ενοτήτων ανά γεώτρηση που θα απαρτίσουν το τελικό στρωματογραφικό μοντέλο.....	66
Σχήμα 3.23: Επιλογή διαδρομής της υποσελίδας Borehole Manager για τη κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου.....	66
Σχήμα 3.24: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου.....	67
Σχήμα 3.25: Το παράθυρο επιλογών με εκτεταμένες τις ρυθμίσεις του αλγορίθμου χρήσης.....	68
Σχήμα 3.26: Ρύθμιση «κατευθυντικής» έρευνας για την εκτίμηση σημείων με ανεπαρκή δεδομένα.....	69
Σχήμα 3.27: Εφαρμογή «πύκνωσης» των δεδομένων με την μέθοδο τριγωνισμού.....	70
Σχήμα 3.28: Επιλογή υπορουτίνας διόρθωσης στρωματογραφικών ενοτήτων.....	71
Σχήμα 3.29: Επιλογή για την αποκοπή μικρού πάχους στρωματογραφικών ενοτήτων απ' την κατασκευή του μοντέλου.....	71
Σχήμα 3.30: Geological Utilities: Επιλογή διαδρομής για την κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου που συνυπολογίζει και το αναγλύφο.....	73
Σχήμα 3.31: Παράθυρο ρυθμίσεων των ήδη κατασκευασμένων επιφανειών (.grd) για την δημιουργία επιφάνειας που θα λαμβάνει υπόψη στρωματογραφικά δεδομένα και τοπογραφικό ανάγλυφο.....	74
Σχήμα 3.32 Στρωματογραφική στήλη των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.....	75
Σχήμα 3.33: Απεικόνιση των δέκα εικονικών γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.....	76
Σχήμα 3.34: Υπέρθυση των ορθοφωτοχάρτων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM).....	77
Σχήμα 3.35: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.....	77
Σχήμα 3.36: Υπέρθυση του γεωλογικού χάρτη στο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.....	78
Σχήμα 3.37:Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.....	78
Σχήμα 3.38 : Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Βορρά - Νότου.....	79
Σχήμα 3.39 :Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Δύσης - Ανατολής.....	79

Σχήμα 3.40: Συνδυαστική γεωλογική τομή εντός της περιοχής μελέτης.....	79
Σχήμα 3.41: Μοντέλο με αρχικό σεί γεωτρήσεων - onlap on - hide thin zones on, 8m χωρίς ανάγλυφο	81
Σχήμα 3.42: Μοντέλο με αρχικό σεί γεωτρήσεων -onlap off - hide thin zones on 8m με ανάγλυφο	82
Σχήμα 3.43: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις - onlap on - hide thin zones on 8m με ανάγλυφο.....	83
Σχήμα 3.44: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις - Onlap off - hide thin zones on 8m με ανάγλυφο.....	84
Σχήμα 3.45: Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης ALPHA	86
Σχήμα 3.46 : Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης BETA	88
Σχήμα 3.47 : Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης GAMMA.....	90
Σχήμα 3.48 : Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης DELTA	92
Σχήμα 4.1: Πρώτη (προσεγγιστική) λιθολογική χαρτογραφική απεικόνιση για την ευρύτερη περιοχή μελέτης	95
Σχήμα 4.2: Λιθολογική χαρτογραφική απεικόνιση για την ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	96
Σχήμα 4.3: Θέσεις ρηγμάτων και τομών στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	97
Σχήμα 4.4 : Χωρικά διαγράμματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	98
Σχήμα 4.5: Χωρική κατανομή επιφανειών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	98
Σχήμα 4.6: Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης.	99

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Συντεταγμένες και βάθος ανίχνευσης γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων.....	45
Πίνακας 3.2 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 3.	45
Πίνακας 3.3 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES -4.	46
Πίνακας 3.4: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 5.	47
Πίνακας 3.5 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 6.	48
Πίνακας 3.6 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 7.	49
Πίνακας 3.7: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 8.	50
Πίνακας 3.8: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 8.	51
Πίνακας 3.9: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 9.	52
Πίνακας 3.10 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 10.	53
Πίνακας 3.11: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 11.	54
Πίνακας 3.12: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 12.	55

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου νεογενών σχηματισμών σε μια συγκεκριμένη περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς στο νότιο τμήμα του νομού Ηρακλείου. Οι σχηματισμοί που μελετήθηκαν και απεικονίστηκαν τρισδιάστατα, αποτελούν δυνητικά μητρικά πετρώματα και ταμιευτήρες μικροβιακής προέλευσης μεθανίου. Για την κατασκευή του τελικού λιθοστρωματογραφικού μοντέλου των σχηματισμών μελέτης συνδυάστηκαν διαφορετικές μεθοδολογίες, τα αποτελέσματα των οποίων τροφοδότησαν δύο διαφορετικά πακέτα μοντελοποιητών. Πρώτο βήμα σε αυτή την κατεύθυνση ήταν η συγκέντρωση στοιχείων από βιβλιογραφική έρευνα εργασιών που σχετίζονται με την τεκτονοστρωματογραφική εξέλιξη των Νεογενών σχηματισμών που δομούν την κεντρική Κρήτη και ειδικότερα την υπό μελέτη λεκάνη. Επόμενο στάδιο της εργασίας ήταν η ερμηνεία, η αξιολόγηση και η συγκριτική μια σειράς ηλεκτρικών βυθοσκοπίσεων που πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα των βυθοσκοπίσεων αξιολογήθηκαν σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από την βιβλιογραφική έρευνα καθώς επίσης από στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τις πολύμηνες εργασίες υπαίθρου (γεωλογική χαρτογράφηση) και ερμηνεύτηκαν τόσο λιθολογικά όσο και στρωματογραφικά. Στην πορεία των ερευνών, αφού δημιουργήθηκε ένα νέο ιζηματολογικό μοντέλο των σχηματισμών της περιοχής μελέτης, καθορίστηκαν τέσσερις θέσεις όπου και ανορύχτηκαν ισάριθμες ερευνητικές γεωτρήσεις. Στηριζόμενοι στη συστηματική δειγματοληψία τριμμάτων των γεωτρήσεων δημιουργήθηκαν λιθολογικές και στη συνέχεια στρωματογραφικές στήλες για τις εν λόγω γεωτρήσεις. Τα ανωτέρω δεδομένα συνδυάστηκαν με τοπογραφικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης. Το σύνολο των δεδομένων εισήχθη στο λογισμικό Rockworks 2006 και με κατάλληλη επεξεργασία κατασκευάστηκαν μια σειρά λιθολογικών και στρωματογραφικών μοντέλων για την υπό μελέτη λεκάνη που

δημιουργήθηκαν σταδιακά και με έλεγχο πάντα από τα δεδομένα πεδίου. Με το συνδυασμό τοπογραφικών δεδομένων, γεωτρητικών δεδομένων και στοιχεία από μετρήσεις πεδίου σε εμφανείς ρηγματογόνες ζώνες και την χρήση του λογισμικού πακέτου Surpac Vision 6.0.3 κατασκευάστηκαν τελικά χωρικές απεικονίσεις των ρηγματογόνων ζωνών και συνδυαστικές χωρικές γεωλογικές τομές (fence diagrams) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Τα γεωμετρικά αυτά αρχικά μοντέλα μπορεί να αποτελέσουν την ουσιαστική βάση για τη δημιουργία μοντέλων ιδιοτήτων (πορώδες, διαπερατότητα) των σχηματισμών μελέτης.

Abstract

The target of the present Master's dissertation is the construction of the three dimensional geological model of the Neogene formations in a specific area of Messara Basin in the south part of Heraklion prefecture. The formations we studied and illustrated in three dimensions, comprise possible source rocks and reservoirs for microbial origin methane. For the synthesis of the final lithostratigraphic model of the studied formations different methodologies were combined, the results of which were fed into two different modelling software. The first step towards this direction was to gather data from literature search in previous works about the tectonostratigraphic evolution of the Neogene formations that build the Central Crete and the investigated basin in particular. The next stage was the interpretation, evaluation and comparative of a series of Vertical Electrical Soundings conducted by the Applied Geophysics Laboratory in the study area. The results of the soundings where evaluated according to the data collected from the literature research as well with data obtained from the extensive field work (geological mapping) and they were interpreted both lithological and stratigraphical. As the research advanced and after the establishment of a new sedimentary model for the formations of the study area, four locations were selected and test drillings were performed. Based on

systematic sampling of drilling debris lithological and following stratigraphic columns were created for the test drills. The above data were combined with topographic features from the study area. All the available data were imported to the Rockworks 2006 software and with appropriate process a series of lithologic and stratigraphic models for the study area were gradually created always in control from the data collected from the field. With the synthesis of topographic data, drill data, measurements from field work in visible fault zones and the use of Surpac Vision 6.0.3 software we finally constructed spatial models of the fault zones and combined spatial geological sections (fence diagrams) of the area of interest. These initial geometric models can become a base for the creation of attribute models (porosity, permeability) for the investigated formations.

Πρόλογος

Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο πρόγραμμα «Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον» του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, μου ανατέθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο «Τριοδιάστατο γεωλογικό μοντέλο των Νεογενών σχηματισμών στην Κεντρική Κρήτη ». Η εργασία αυτή αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ» που συγχρηματοδοτήθηκε στα πλαίσια του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης , ΔΡΑΣΗ 1.2.3 Τεχνολογικά Επιδεικτικά Έργα από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και την Δημοτική Επιχείρηση Αρκαλοχωρίου.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν, με οποιονδήποτε τρόπο στην πραγματοποίηση και την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Κατ' αρχήν στα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ, επιβλέποντα της μεταπτυχιακής διατριβής, για την αμέριστη συμπαράσταση που μου παρείχε, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και για την άριστη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα.

Στον Καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνιο, διευθυντή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, για τα δεδομένα από την περιοχή μελέτης που μας παρείχε, για το χρόνο που διέθεσε για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της εργασίας.

Στον Καθηγητή κ. Μαρκόπουλο Θεόδωρο, διευθυντή του Εργαστηρίου Πετρολογίας – Οικονομικής Γεωλογίας, για το χρόνο που διέθεσε για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και τα ουσιαστικά του σχόλια πάνω στην εργασία.

Στον συνάδελφο, συμφοιτητή και πάνω από όλα φίλο, Νίκο Δημόπουλο για την συμπαράσταση, την υποστήριξη και την εμπύχωση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας ένα μεγάλο ευχαριστώ.

Κλείνοντας, δε θα μπορούσα να παραλείψω τα υπόλοιπα μέλη της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας και φίλους, τη Σταθογιάννη Φωτεινή και το Πυλιώτη Γιάννη, σε αυτούς οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για την άριστη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό τον καιρό και για τη βοήθεια που μου παρείχαν σε ότι τους ζήτησα κατά τη διάρκεια της συνόπαρξης μας στο εργαστήριο.

Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο επεξηγούνται οι μηχανισμοί γένεσης του βιοαερίου καθώς και τα περιβάλλοντα που έχουν τις κατάλληλες συνθήκες για το σχηματισμό του.

Το δεύτερο κεφάλαιο ξεκινάει με ένα συνοπτικό γεωλογικό περίγραμμα των Ελληνίδων Οροσειρών, στην συνέχεια το ενδιαφέρον μετατοπίζεται στην περιοχή της Κρήτης και ειδικότερα στη προαλπική δομή της. Τέλος το κεφάλαιο κλείνει με ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα μετα - αλπικά ιζήματα που δομούν τις Νεογενείς λεκάνες της νήσου και ειδικότερα τη λεκάνη στο νότιο τμήμα του Νομού Ηρακλείου που αποτελεί και την περιοχή μελέτης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την κατασκευή των τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων της περιοχής μελέτης. Αρχικά παρατίθεται η μεθοδολογία της γεωλογικής προσομοίωσης και οι θεωρητικές αρχές αυτής. Κατόπιν παρουσιάζεται η μεθοδολογία συλλογής υπεδafικών δεδομένων από γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις και ο στρωματογραφικός και λιθολογικός συσχετισμός αυτών, η συλλογή δεδομένων από χαρτογράφηση επιφανειακών σχηματισμών και από τη προηγούμενη βιβλιογραφική έρευνα.

Στο τέταρτο, και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και τα τελικά τρισδιάστατα ψηφιακά γεωλογικά μοντέλα των Νεογενών σχηματισμών της περιοχής μελέτης.

Κεφάλαιο 1 Βιογενές Αέριο

1.1 Δημιουργία και προέλευση του μεθανίου οργανικής προέλευσης

Με την απόθεση οργανικού υλικού σε ένα αποθετικό περιβάλλον ξεκινά αμέσως η διαδικασία αποδόμησης του. Σε θαλάσσια ιζήματα, η διάσπαση της οργανικής ύλης από βακτήρια είναι συνδεδεμένη με την κατανάλωση ελεύθερου οξυγόνου, νιτρικών, μαγγανίου, οξυδροξειδίων του σιδήρου και θείου. Η οξείδωση της οργανικής ύλης οδηγείται κυρίως από μικροβιακή δραστηριότητα με το διαλελυμένο θείο να είναι ο τελικός δέκτης ηλεκτρονίων και αυτό οδηγεί στο σχηματισμό υδρόθειου (hydrogen sulfide). Το οργανικό υλικό κάτω από αερόβιες συνθήκες οξειδώνεται σε CO₂ και νερό. Κάτω όμως από αναερόβιες συνθήκες σχηματίζει με την επίδραση μικροοργανισμών βιογενές αέριο, το οποίο πρακτικά αποτελείται από μεθάνιο, με πολύ μικρή συμμετοχή βαρύτερων υδρογονανθράκων. Η διαδικασία αυτή όταν συνοδεύεται από σταδιακή αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας αποτελεί μια τυπική διαγενετική διεργασία που οδηγεί σταδιακά στην δημιουργία κηρογόνου, που αποτελεί την πρώτη ύλη για την δημιουργία μοριακά βαρύτερων θερμογενετικών υδρογονανθράκων.

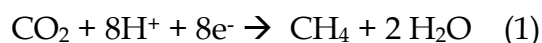
Έτσι λοιπόν οι δύο κύριοι μηχανισμοί σχηματισμού μεθανίου οργανικής προέλευσης είναι :

- Η χαμηλής θερμοκρασίας βακτηριακή μεθανογένεση , και
- Η υψηλής θερμοκρασίας θερμική διάσπαση (thermal cracking) του κηρογόνου

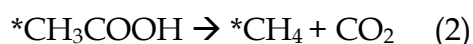
Στη γεωλογική βιβλιογραφία, το αέριο που σχηματίζεται από την αποσύνθεση οργανικής ύλης από αναερόβια βακτήρια συχνά αποκαλείται βιογενετικό ή «βιογενές» αέριο, το οποίο ξεχωρίζεται από το θερμογενετικό αέριο από την σύστασή του και την ισοτοπική υπογραφή του.

Υπάρχουν δύο κύριες διαδρομές του μικροβιακού σχηματισμού του μεθανίου. Από αναγωγή ανθρακικών (carbonate reduction) και οξική ζύμωση (acetate fermentation) (Whiticar et al., 1986).

Εννοώντας αναγωγή ανθρακικών, υποδηλώνεται η γενική αντίδραση



η οποία αποτελεί τον κυρίαρχο τρόπο με τον οποίο συμβαίνει η μεθανογένεση στα θαλάσσια ιζήματα. Όταν η οξική ζύμωση είναι η κυρίαρχη διαδικασία σχηματισμού σε περιβάλλοντα γλυκού νερού και μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη αντίδραση



όπου ο αστερίσκος υποδηλώνει την ανέπαφη και ανεπηρέαστη μεταφορά της ομάδας του μεθυλίου στο υπό δημιουργία μεθάνιο. Θεωρείται ότι μικροποσότητες μεθανίου μπορούν να δημιουργηθούν από οξική ζύμωση, ακόμα και σε θαλάσσια περιβάλλοντα, όταν ο σχηματισμός μεθανίου απ'την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα εμποδίζεται απ'την παρουσία θεικών αλάτων (Whiticar, 2002).

Οι παράγοντες που ευνοούν τον αξιόλογο σχηματισμό βιογενούς αερίου είναι η ταχεία απόθεση ιζημάτων, επαρκές πορώδες για τα μεθανογενετικά βακτήρια και άφθονή οργανική ύλη (Rice, 1993), δηλαδή την δημιουργία ενός ανοξικού περιβάλλοντος με διαθέσιμο CO_2 και χαμηλές συγκεντρώσεις θείου, σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 9 °C έως 110 °C (Huber et al., 1994). Το ανώτερο θερμοκρασιακό όριο σχετίζεται με τις μέγιστες συνθήκες στις οποίες είναι ενεργή η μεθανογένεση κάτω από την επιφάνεια. Το βιογενές μεθάνιο μπορεί να συγκεντρωθεί σε μεγάλες και εμπορικά αξιόλογες ποσότητες. Ο Rice (1992) εκτιμά ότι το 20% των παγκοσμίων αποθεμάτων φυσικού αερίου προέρχεται από αποσύνθεση οργανικής ύλης από αναερόβια βακτήρια. Οι ανωτέρω συνθήκες μπορεί να πληρούνται σε διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα ιζημάτων.

1.2 Αποθετικά περιβάλλοντα

Παρόλο που στις μέρες μας οι υφαλοκρηπίδες αποτελούν μόλις το 8% της συνολικής επιφάνειας των ωκεανών, περίπου ένα πέμπτο ως ένα τρίτο της παγκόσμιας θαλάσσιας παραγωγής λαμβάνει χώρα σε αυτές τις θαλάσσιες περιοχές (Wollast, 1991). Οι υφαλοκρηπίδες για αυτό το λόγο είναι δυνητικά σημαντικές λεκάνες για την απόθεση μεγάλων ποσοτήτων οργανικού άνθρακα και του σχηματισμού βιογενούς αερίου. Υπάρχει ωστόσο κάποια διαφωνία για την τύχη αυτού του άνθρακα.

Τα υποθαλάσσια δέλτα που παρέχουν μεγάλες ποσότητες λεπτόκοκκων ιζημάτων και οι υφαλοκρηπίδα κοντά σε αυτά τα δέλτα είναι περιοχές με αυξημένη συγκέντρωση ιζημάτων και ταφής οργανική ύλης. Οι Ingal και Van Cappellen (1990) πρότειναν ότι η οργανική ύλη που ενταφιάζεται με υψηλούς ρυθμούς συσσώρευσης μπορεί να αποφύγει ακόμα και τους πιο ικανούς μηχανισμούς αποσύνθεσης και για αυτό το λόγο θα είναι λιγότερο διασπασμένη από ότι η οργανική ύλη που ενταφιάστηκε με χαμηλότερους ρυθμούς συσσώρευσης. Τα δέλτα για αυτό το λόγο μπορούν να αποτελούν περιοχές με επαρκή μεταφορά οργανικής ύλης στα μεθανογενετικά βακτήρια. Σε αντίθεση με την απευθείας συσχέτιση της συσσώρευσης ιζημάτων και της διατήρησης του άνθρακα που προτάθηκε για τα περισσότερα δελταικά περιβάλλοντα, ο Aller (1998) προτείνει ότι τα δέλτα μπορούν να χαρακτηρίζονται εναλλακτικά από την ικανή αποσύνθεση οργανικής ύλης, με ποσοστό $\geq 70\%$ (χερσαία) και $\geq 90\%$ (θαλάσσια). Παρά την αρχικά υψηλή παραγωγικότητα και οργανική παροχή που σχετίζεται με τα περισσότερα δέλτα, ο Aller (1998) έδειξε ότι στα υπό μελέτη δέλτα η αντιδραστικότητα της οργανικής ύλης είναι χαμηλή, και ένα μεγαλύτερο ποσοστό του οργανικού άνθρακα είναι συχνά διασπασμένο σε σύγκριση με άλλες θαλάσσιες αποθέσεις με παραπλήσιο ρυθμό συσσώρευσης. Το κυριότερο αίτιο επαρκούς ανακρυστάλλωσης (rem mineralization) είναι οι έντονη φυσική και βιολογική επεξεργασία (reworking) των ιζημάτων που σχετίζεται με ωκεανογραφικά μέτωπα, ανοδικές ροές, παλλίροιες, βιοανάδευση και κύματα, καθώς και με το

συμεταβολισμό δυσκατέργαστου άνθρακα κατά την ταφή με σχετικά αντιδρών άνθρακα (Aller, 1998). Παρόλο που ο Aller (1998) αποδεικνύει επαρκή αποσύνθεση της οργανικής ύλης σε δελταικά περιβάλλοντα, οι Aller and Blair (2004) παρατήρησαν ότι το χερσαίο υλικό υπερκαλύπτει την πιο αργή συνολική καθαρή απώλεια οργανικού άνθρακα από σωματίδια στα ανώτερα τμήματα των αποθέσεων υποθαλάσσιων δέλτα. Ο de Haas et al. (2002), σε μια αναθεώρηση για τα περιβάλλοντα των υφαλοκρηπίδων, συμπέραναν ότι κατά τη διάρκεια επαναλαμβανομένων κύκλων διάβρωσης και επαναπόθεσης οργανικής ύλης και συσχετιζόμενων ιζημάτων, βιολογικές και χημικές διεργασίες οδηγούν στη κρυστάλλωση (mineralization) περισσότερο από 95% του οργανικού άνθρακα που προέρχεται από αρχική απόθεση και ποτάμιες εισροές.

Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό ποσοστό των λεπτόκοκκων ιζημάτων, στην υφαλοκρηπίδα, που περιέχουν οργανικό άνθρακα μπορούν να απομακρυνθούν από ρεύματα ή κύματα.

1.3. Ο ρόλος της διαγένεσης

Η αναγνώριση σε πρόσφατα ιζήματα οργανικής ύλης που δημιουργήθηκε με την επίδραση της πρόδρομης διαγένεσης κάτω από έντονες αναερόβιες συνθήκες αποτελεί γεγονός μεγάλης γεωχημικής σημασίας βοηθώντας στην ανακατασκευή των τελευταίων σταδίων της εξέλιξης της διαγενετικής διεργασίας. Επιπλέον το πρόβλημα του ορισμού των αναερόβιων συνθηκών στην πρόδρομη διαγένεση έχει από μόνο του μεγάλη σημασία. Η διαγένεση ενός ιζήματος εμπεριέχει την έννοια της αναερόβιας ή αναγωγικής φάσης, κατά τη διάρκεια της οποίας το προϋπάρχον οργανικό υλικό μπορεί να μετασχηματίστηκε από αναερόβιους μικροοργανισμούς, καθώς και απ' όλες τις χαρακτηριστικές διαδικασίες ενός τέτοιου περιβάλλοντος. Διαφαίνεται ότι η διάρκεια της φάσης αυτής, αν και δεν έχει διασαφηνιστεί πλήρως, ήταν μάλλον μεγάλη, με την ημιζωή της

σήψης του οργανικού υλικού να κυμαίνεται στα πεντακόσιες χιλιάδες χρόνια (Pelet, 1984). Σε κάθε περίπτωση η ένταση των αναερόβιων αλλαγών σταδιακά μειώνεται, πιθανότατα εξ αιτίας της επικράτησης μη ευνοϊκών συνθηκών για τους αναερόβιους οργανισμούς. Η διάρκεια και ειδικότερα η ένταση αυτών των συνθηκών, αντιπροσωπεύει σημαντικούς γεωχημικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις ευρύτερες διαγενετικές αλλαγές. Ένα δεύτερο πρόβλημα που έχει τύχη μεγάλου προβληματισμού και αναζήτησης είναι ο ορισμός των ορίων. Το όριο μεταξύ της ζώνης οξείδωσης και της ζώνης αναγωγής μπορεί να είναι είτε το ίδιο το ιζημα είτε η επαφή ιζήματος και νερού, είτε η στήλη του νερού (Rickard, 1973).

Αυτό το γεγονός επιφέρει πρόσθετα προβλήματα στην έρευνα της αναερόβιας φάσης της διαγένεσης. Ιδίως για την τρίτη περίπτωση το όριο μπορεί να αλλάξει σημαντικά ανάλογα με την εποχή (Drever, 1982), ή ακόμα και με μεγαλύτερους γεωλογικούς κύκλους (Fonselius, 1967; Berner, 1970). Εξαιτίας της υψηλότερης κινητικότητας των ουσιών στο νερό, και των μεταβολών των συγκεντρώσεων μερικών ουσιών, που είναι απαραίτητες για τις αναερόβιες διεργασίες, στη στήλη του νερού και στα ιζήματα, τα αποτελέσματα των αναερόβιων διεργασιών σ' αυτά τα δύο περιβάλλοντα μπορεί να διαφέρουν. Τα αέρια που σχηματίζονται από αναερόβιες διαδικασίες στο ενδιάμεσο νερό, (CO_2 , N_2 , H_2O , H_2S , κτλ.) μπορεί να διαφεύγουν απ' το ιζημα και αυτό εξαρτάται από το pH, όπως και το είδος συνοχής και σύνδεσης του ιζήματος, η ακόμη και από τη συμπίεση του ιζήματος.

Με τη διαφυγή τους από το ιζημα αυτά τα αέρια μπορούν να συμπαρασύρουν και άλλες κινητές ουσίες κάνοντας την ερμηνεία των επιδράσεων των αναερόβιων συνθηκών επισφαλής. Επιπλέον η εκτίμηση της επίδρασης της αναερόβιας φάσης μπορεί να είναι πολύπλοκη εξ αιτίας της ανακύκλωσης του ιζήματος στη ζώνη οξείδωσης. Για παράδειγμα ο Olausson (1980) ισχυρίστηκε ότι η θαλάσσια βενθονική πανίδα ανακυκλώνεται στα δύο με δέκα εκατοστά του ανώτερου τμήματος των ιζημάτων.

1.3.1 Επιλογή δεικτών για τις συνθήκες πρόδρομης αναερόβιας διαγένεσης

Οι αναερόβιες συνθήκες κατά τη διαγένεση αποτελούν ένα σημαντικό ερευνητικό πεδίο στην οργανική γεωχημεία των παλαιότερων αλλά και πρόσφατων ιζημάτων. Στην βιβλιογραφία περιγράφονται σαν δείκτες αναερόβιων συνθηκών, ή φαίνεται να συνδέονται με αυτές:

- η δυνατότητα παροχής άφθονης οργανικής ύλης,
- το κλάσμα δισθενούς προς τρισθενή σίδηρο,
- το κλάσμα αλκενοειδών προς αλκανοειδή,
- η ποσότητα καροτένιου,
- η ποσότητα των αρωματικών διτερπενίων

Ωστόσο η επίδραση του κάθε γεωχημικού παράγοντα στο στάδιο της πρόδρομης διαγένεσης είναι αρκετά πολύπλοκη όπως δείχνουν τα διάφορα μοντέλα που έχουν προταθεί. Ο Olausson (1980) παρέθεσε τους ακόλουθους παράγοντες για να καθορίσουν τις συνθήκες στην μετα ιζηματογενή φάση της πρόδρομης διαγένεσης.

- Ο ρυθμός/ή ταχύτητα ιζηματογένεσης,
- η φύση και ποσότητα οργανικού υλικού,
- η σήψη του οργανικού υλικού από μικροοργανισμούς,
- η θερμοκρασία,
- η συγκέντρωση οξυγόνου και θεικών,
- οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ οργανικών ενώσεων, καθώς και
- οι αντιδράσεις αυτών με μεταλλικά ιόντα και ορυκτά.

Για να εκτιμηθούν οι αναερόβιες συνθήκες της πρόδρομης διαγένεσης, απαιτούνται δείκτες που συσχετίζονται αξιόπιστα με την αναερόβια φάση. Οι κυριότεροι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην οργανική γεωχημεία είναι: 1) το περιεχόμενο οργανικού άνθρακα 2) το περιεχόμενο του θείου των πυριτών (pyritic sulfur), 3) το κλάσμα ατομικού οξυγόνου προς άνθρακα

1) το περιεχόμενο οργανικού άνθρακα.

Η αφθονία του οργανικού υλικού ή ο ρυθμός καθίζησης της οργανικής ύλης έχει γίνει γενικά αποδεκτή ένδειξη αναερόβιων συνθηκών. (Rickard, 1973). Απ'τη στιγμή που το περιεχόμενο της βιοδιασπώμενης ύλης στο φυσικό υλικό είναι ευθέως ανάλογη με την αρχικό οργανικό υλικό (Berner, 1970) και η ποσότητα της υπολειμματικής βιοδιασπώμενης ύλης, ανάλογη με την αρχική βιοδιασπώμενη ύλη, πάντα με συγκεκριμένους περιορισμούς, αυτές οι ενδείξεις σηματοδοτούν αναερόβιες συνθήκες. Για πρακτικούς λόγους και για να αποφευχθεί επίσης η επίδραση άλλων στοιχείων, είναι πιο πρόσφορη η χρησιμοποίηση του οργανικού άνθρακα, σαν δείκτη. Ωστόσο φαίνεται ότι δεν υπάρχει γενική ποσοτική σχέση μεταξύ του οργανικού άνθρακα και της έντασης των αναερόβιων συνθηκών, διότι η τελευταία επηρεάζεται κι από άλλους παράγοντες.

Οι περιορισμοί στην εφαρμογή του οργανικού άνθρακα (Corg) σαν δείκτη της έντασης των αναγωγικών συνθηκών πρέπει να αναζητηθούν στις διεργασίες που καταλήγουν στην κατανάλωση/καταστροφή της οργανικής ύλης ή στην εξαγωγή της από το ιζημα. Τέτοιες διεργασίες μπορεί να είναι:

- α) η μετατόπιση της ζώνης οξείδωσης προς το εσωτερικό του ιζήματος εξαιτίας της δραστηριότητας της βενθονικής πανίδας ή των κυμάτων
- β) οι περίοδοι ξηρασίας ή άλλες υδρογεωλογικές διαδικασίες
- γ) η προσκόλληση οργανικών ενώσεων στις φυσαλλίδες H_2S , N_2 , CH_4 , N_2O
- δ) η αναδιοργάνωση της οργανικής ύλης
- ε) οι καταγενετικές αλλαγές

Αντίθετα, συνθήκες μη ευνοϊκές για την ύπαρξη αναερόβιων μικροοργανισμών, όπως η προϋπάρχουσα συμπίεση των ιζημάτων, ο σχηματισμός μικροζώνης οξείδωσης, «χημικοί φραγμοί», η αύξηση της συγκέντρωσης τοξικών ουσιών κτλ. καταλήγουν στην διατήρηση της οργανικής ύλης σε ψηλές περιεκτικότητες. Ωστόσο αυτή η οργανική ύλη θα έχει χημικά χαρακτηριστικά η οποία δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό ή τον καθορισμό των αναγωγικών – αναερόβιων συνθηκών.

2) Το περιεχόμενο του θείου των πυριτών

Οι πυρίτες στα ιζήματα είναι βιογενούς προέλευσης και προέρχονται από θείο των θειούχων, το προϊόν της αναερόβιας αναγωγής των θεικών. Ο μηχανισμός για τον σχηματισμών των πυριτών έχει μελετηθεί εκτενώς τόσο σε παλαιά όσο και σε πρόσφατα ιζήματα καθώς επίσης και σε εργαστηριακές έρευνες.

Έχει γίνει γενικά αποδεκτό ότι τα «συμπαγή» σουλφίδια στα ιζήματα σχεδόν ποτέ δεν ήταν προϊόντα αποσάθρωσης, ώστε να αποτελούν καλούς δείκτες της αναερόβιας ζώνης αυτών.

3) Ατομικό κλάσμα O/C

Το κλάσμα ατομικού O/C είναι γνωστός δείκτης της προέλευσης του πρόδρομου υλικού, αλλά και των διαγενετικών αλλαγών που έχει υποστεί το υλικό αυτό. Συνεπώς, το κλάσμα O/C μπορεί να εκληφθεί ως αποτέλεσμα ενός αριθμού παραγόντων που επηρέασαν την οργανική ύλη του ιζήματος καθ' όλη τη διάρκεια των διαγενετικών διεργασιών.

Τέτοιοι παράγοντες είναι οι ακόλουθοι :

- η φύση του πρόδρομου υλικού
- η εισαγωγή προεπεξεργασμένης (reworked organic matter) οργανικής ύλης
- η ένταση και η διάρκεια του σταδίου της χουμοποίησης
- η προστατευτική δράση αλουμινοπυριτικών ενώσεων
- η προστατευτική δράση των χουμικών στοιχείων
- η προχωρημένη διαγένεση και ωρίμανση

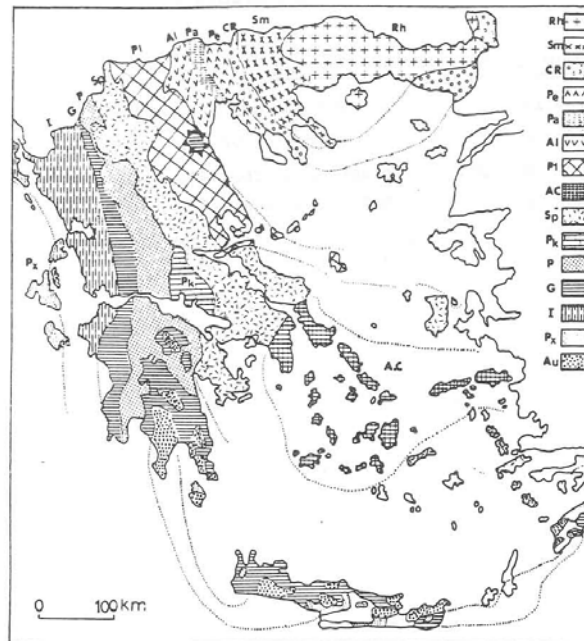
Το πρόδρομο υλικό θα είναι λιγότερο οξειδωμένο σε ένα αναερόβιο απ' ότι σε ένα οξειδωτικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, για την τελική ισορροπία, τα χαμηλότερα κλάσματα O/C αναμένονται σε υλικά που εκτέθηκαν σε ισχυρές αναγωγικές συνθήκες κατά τη πρόδρομη διαγένεση. Επομένως το κλάσμα O/C έχει περιορισμένο δυναμικό ως δείκτης και πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλους δείκτες. (από Pfendt et al 1987 και βιβλιογραφικές αναφορές σε αυτή).

Κεφάλαιο 2 Γεωλογικό περίγραμμα

2.1 Γεωλογικό περίγραμμα των Ελληνίδων Οροσειρών

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 (Σχ.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.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων αποτελούν παλαιογεωγραφικούς χώρους του «Παλιωκεανού» της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της ηπειρωτικής 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 ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της Λαυρασίας.

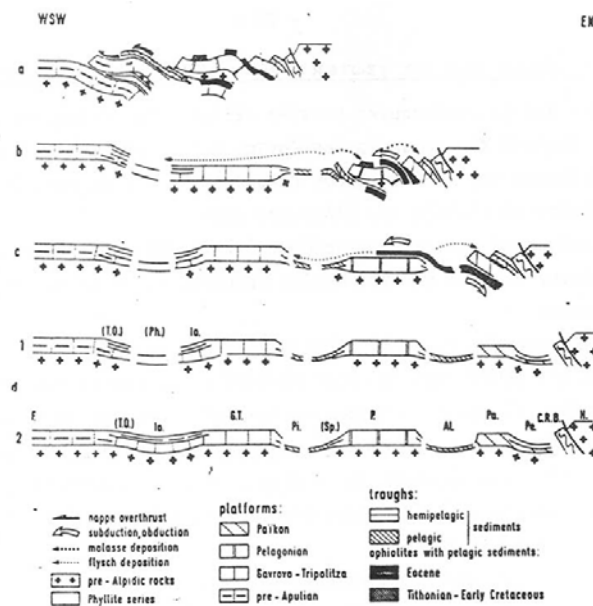


Σχήμα 2.1 Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου.
(Κατά Μουντράκη et al. 1983, από J.Mercier, J.Brunn, J.Aubouin et al., 1971)

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 εντοπίστηκε 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 ωκεάνιος χώρος, το "Ελληνικό ευγεωσύγκλινο". Σε αντίθεση με την γενικευμένη αυτήν αντίληψη το πρώτο γεωδυναμικό μοντέλο που προτάθηκε για την εξέλιξη των

Ελληνίδων είναι των Jacobshagen 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) (Σχ. 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).

- a) Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου.
- b) 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".
- c) 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. ΑΙ = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιροδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, Η = Ενδοχώρα, Ιο = Ιόνιος, Ρ = Πελαγονική, Ρα = Πάικου, Ρε = Παιονίας, Ρη = λεκάνη φυλλιτών, Ρι = Πίνδου, Σβ = Υποπελαγονική, Τ.Ο. = Σειρά Plattenkalk.

2.2 Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης

Το νησί της Κρήτης αποτελεί το μεγαλύτερο νησί του ελλαδικού χώρου και βρίσκεται στα νότια του Αιγαίου πελάγους. Πρόκειται για μια επιμήκη χερσαία περιοχή με γενική διεύθυνση ανάπτυξης την Α-Δ, με τη θαλάσσια περιοχή του Κρητικού πελάγους να βρέχει τις βόρειες ακτές του νησιού και το Λιβυκό πέλαγος να βρέχει τις νότιες. Οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι που δεσπόζουν στο νησί είναι τρεις. Τα Λευκά όρη, με μέγιστο υψόμετρο τα 2.452μ., βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της Κρήτης, νότια της πόλης των Χανίων (Σχ. 2.3) Ο Ψηλορείτης (Ιδη) με υψόμετρο που φτάνει τα 2.456μ. βρίσκεται στην κεντρική Κρήτη, μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Ρεθύμνου και το όρος Δίκτη (2.148μ.) βρίσκεται μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, όπου έχει δημιουργηθεί το μεγάλης έκτασης οροπέδιο του Λασιθίου σε υψόμετρο 850μ. Σημαντικές μορφολογικές εξάρσεις συναντώνται και πιο ανατολικά, μεταξύ των πόλεων Ιεράπετρα και Σητεία (όρη Θριπτής, 1.476μ.), αλλά και κατά μήκος των νοτίων παραλίων της κεντρικής Κρήτης, όπου αναπτύσσονται τα Αστερούσια όρη, με μέγιστο υψόμετρο τα 1.231μ.



Σχήμα 2.3: Μορφολογική τομή συνολικού μήκους 250χλμ, παράλληλα στην κύρια διεύθυνση ανάπτυξης της Κρήτης (Α-Δ). Η κατακόρυφη κλίμακα είναι παραμορφωμένη σε ποσοστό 100%, για να είναι εμφανής η σχετική μεταβολή του υψομέτρου κατά μήκος της τομής. Σημειώνονται οι θέσεις των μεγαλύτερων ορεινών όγκων καθώς και οι κυριότερες πόλεις της βόρειας ακτής του νησιού.

Ενδιάμεσα των παραπάνω ορεινών όγκων το υψόμετρο μειώνεται και δημιουργούνται οι σχετικά μεγάλες λοφοειδείς λεκάνες του Καστελίου, της Ρεθύμνου, του Ηρακλείου και της Ιεράπετρας με μέση διεύθυνση Β-Ν. Με διεύθυνση εγκάρσια σε αυτή και στην περιοχή νότια του Ηρακλείου, έχει δημιουργηθεί η λεκάνη της Μεσσαράς. Οι κύριοι κλάδοι των ποταμών που ρέουν σε όλο το νησί της Κρήτης έχουν μέση διεύθυνση Β-Ν, ενώ το ίδιο συμβαίνει με τα περισσότερα φαράγγια που έχουν δημιουργηθεί στις παράκτιες περιοχές (Σαμαριά, Σφακιανό, Τρυπητή, Αναποδάρη κλπ). Εξαίρεση αποτελεί και πάλι η ανάπτυξη του

υδρογραφικού δικτύου στη λεκάνη της Μεσσαράς, όπου η μέση διεύθυνση είναι περίπου Α-Δ (Βασιλάκης 2006).

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, Σχ. 2.4), 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.



Σχήμα 2.4 : Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος του ΙΓΜΕ σε κλίμακα 1:500.000. με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς

Η Κρήτη έχει και αυτή σαν τμήμα των Ελληνίδων Οροσειρών μια πολύπλοκη γεωλογική δομή αντιπροσωπευτική των πολύπλοκων τεκτονομεταμορφικών διαδικασιών του Αλπικού Ορογενετικού Κύκλου στον χώρο της Ανατολικής Μεσογείου. Χαρακτηριστικό της δομής της είναι η καλυμματική τοποθέτηση τεκτονικών ενοτήτων που αποτελούν λιθοστρωματογραφικές ομάδες πετρωμάτων που διαφέρουν όχι μόνο στην αρχική τους παλαιογεωγραφική προέλευση και

εξάπλωση, αλλά και στη σύσταση και τον βαθμό μεταμόρφωσης. 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 που δομούν την νήσο, εισήγαγαν έναν πολύ μεγάλο αριθμό ονοματολογιών που μόνο οι απόλυτα ειδικοί πλέον μπορούν να διακρίνουν τις ιδιομορφίες και τις διακριτές διαφορές. Μόνο για την τεκτονικά κατώτερη ενότητα, που δομεί το μεγαλύτερο ποσοστό της νήσου, έχουν χρησιμοποιηθεί οι όροι: Talea Ori-Serie (Epting et al. 1972), Ida Zone (Bonneau 1973), Talea Ori-Gruppe (Kuss & Thorbecke 1974), Plattenkalk-Serie (Creutzburg & Seidel 1975), ενότητα/ζώνη Κρήτης-Μάνης (Φυτρολάκης 1978, 1980). 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 (Manutsoglu et al. 1995b).

Η Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων κατατάσσεται στην προχώρα των Ελληνίδων. Τα πετρώματα της εμφανίζονται στην Πελοπόννησο δομώντας τους ορεινούς όγκους του Πάρνωνα, του Ταΰγετου και ολόκληρης της χερσονήσου της Μάνης. Μέσω της Κρήτης όπου και δομούν πάνω από το 70% της νήσου, συνεχίζουν την εμφάνιση τους στην Κάσο, Κάρπαθο και Ρόδο. Ολόκληρη η ακολουθία χαρακτηρίζεται κυρίως από τεκτονική συμπίεσης με έντονη πτύχωση, λεπίωση, εφίπνευσεις και συγκινηματική μεταμόρφωση.

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 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, Koenig & 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 κερατολίθους, 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 δυτικών Ελληνίδων. Στην βάση του βρέθηκαν τρηματοφόρα ηλικίας Κάτω Ολιγόκαινου (Φυτρολάκης 1972, Bonneau 1973).

Τεκτονικά επωθημένη στην ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων βρίσκεται η ενότητα του Τρυπαλίου, που αποτελείται από μεταμορφωμένους δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους έως γραουβάκες, σκούρους κυψελώδεις δολομίτες, άσπρα ζαχαρόκοκκα μάρμαρα και εμφανίσεις γύψου στη βάση. Η ηλικία τους καθορίστηκε με την βοήθεια απολιθωμάτων μεταξύ Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού.

Πάνω από την ενότητα του Τρυπαλίου βρίσκεται η ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών, η οποία περιλαμβάνει φυλλιτες, χαλαζίτες, μετά-ψαμμίτες, μετά-κροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετά-ανδεσίτες, μεταβασίτες. Η ηλικία της είναι μεταξύ Περμίου-Τριαδικού. Στην ενότητα αυτή συμπεριλαμβάνεται από τους περισσότερους ερευνητές και το ημιμεταμορφωμένο σύστημα των Ραβδούχων που αποτελεί και το υπόβαθρο της ανθρακικής ακολουθίας της ζώνης της Τρίπολης που ακολουθεί επίσης με τεκτονική επίσης επαφή και αποτελείται από στο υποκείμενο και τους μεγάλου πάχους νηριτικούς ασβεστόλιθους. Σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται απωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου.

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών, όπως είναι η ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος, η ενότητα των Αστερουσίων που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης.

2.3 Νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της Κρήτης

2.3.1 Τεκτονοστρωματογραφία

Η Κρήτη, βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο του Ελληνικού τόξου και λόγω αυτής της ιδιαίτερης θέσης της, χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη γεωλογική δομή, που οφείλεται στην τεκτονική τοποθέτηση αλληπάλληλων καλυμμάτων από αλπικές ενότητες, σε ένα χώρο με σχετικά μικρό πλάτος αλλά και με διαρκή τεκτονική δραστηριότητα ακόμα και στη μεταλπική περίοδο. Η πολυπλοκότητα αυτή οδήγησε στη μελέτη της Κρήτης από πολλούς ερευνητές, από τα μέσα του 19ου αιώνα και κατά συνέπεια τη δημοσίευση πολλών και διαφορετικών απόψεων, σχετικά με τη δημιουργία, τη σύνθεση και τελικά τη διαδρομή των διαφόρων γεωτεκτονικών ενοτήτων, μέχρι τη σημερινή γεωλογική δομή. Μετά από την αλπική περίοδο, κατά την οποία ολοκληρώθηκε η δημιουργία του προ-νεογενούς υποβάθρου της Κρήτης και όταν η ευρύτερη περιοχή ισορροπεί, αρχίζει η μετα-ορογενετική διαδικασία της ιζηματογένεσης με την απόθεση κλαστικών, μη-θαλάσσιων ιζημάτων κατά τη διάρκεια του Μέσου Μειοκαίνου. Περισσότερες από 60 επίσημες και άτυπες λιθοστρωματογραφικές ενότητες έχουν παρατηρηθεί, από τις οποίες οι περισσότερες εμφανίζονται σ' όλο το νησί και ταξινομούνται σε έξι ομάδες σχηματισμών: την ομάδα της Πρίνα, του Τεφελίου, των Βρυσών, του Ελληνικού, του Φοινικιά και της Αγίας Γαλήνης.

2.3.1.1 Ομάδα της Πρίνα

Τα ιζήματα που αποδίδονται στην ομάδα της Πρίνα αποτελούνται από σκουρόχρωμα, ασβεστολιθικά λατυποπαγή και λατυποκροκακοπαγή. Κατά κύριο λόγο τα συστατικά βρίσκονται μέσα στην καλά συγκολλημένη ασβεστιτική κύρια μάζα. Τα λατυποπαγή και λατυποκροκακοπαγή αποτέθηκαν σε υφάλμυρα ή ρηχής-θάλασσας περιβάλλοντα. Η ομάδα της Πρίνα αντιπροσωπεύει είτε τη βάση της ακολουθίας των νεωγενών, είτε αποτελεί πλευρικό μέρος της επόμενης ομάδας του

Τεφελίου. Σε μερικές θέσεις η ομάδα της Πρίνα περιέχει μεγάλες, βαρυτικά μετατοπισμένες πλάκες προνεογενών ασβεστόλιθων.

2.3.1.2 Ομάδα του Τεφελίου

Η ομάδα του Τεφελίου περιλαμβάνει όλους τους "μη στερεοποιημένους" τεταρτοκλαστικούς σχηματισμούς, που υπέρκεινται της ομάδας της Πρίνα ή επικάθονται ασύμφωνα στο προνεογενές υπόβαθρο, που υπόκεινται των ασβεστιτικών στρωμάτων της ομάδας των Βρυσών. Οι σχηματισμοί που ενσωματώνονται στην ομάδα αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους. Αποθέσεις ποτάμιων, υφάλμυρων και θαλάσσιων περιβαλλόντων.

2.3.1.3 Ομάδα των Βρυσών

Βιοκλαστικοί, συχνά κοραλλιογενείς ασβεστόλιθοι, οι οποίοι αποτελούν εν μέρει το πλευρικό μέρος των εναλλαγών στρωματωμένων και ομοιογενών, ρηχής θάλασσας μαργών. Σε μερικές θέσεις οι μάργες περιέχουν παρεμβολές από το γύψο. Η ομάδα των Βρυσών καλύπτει την ομάδα του Τεφελίου, το προνεογενές υπόβαθρο ή, περιστασιακά, την ομάδα της Πρίνα.

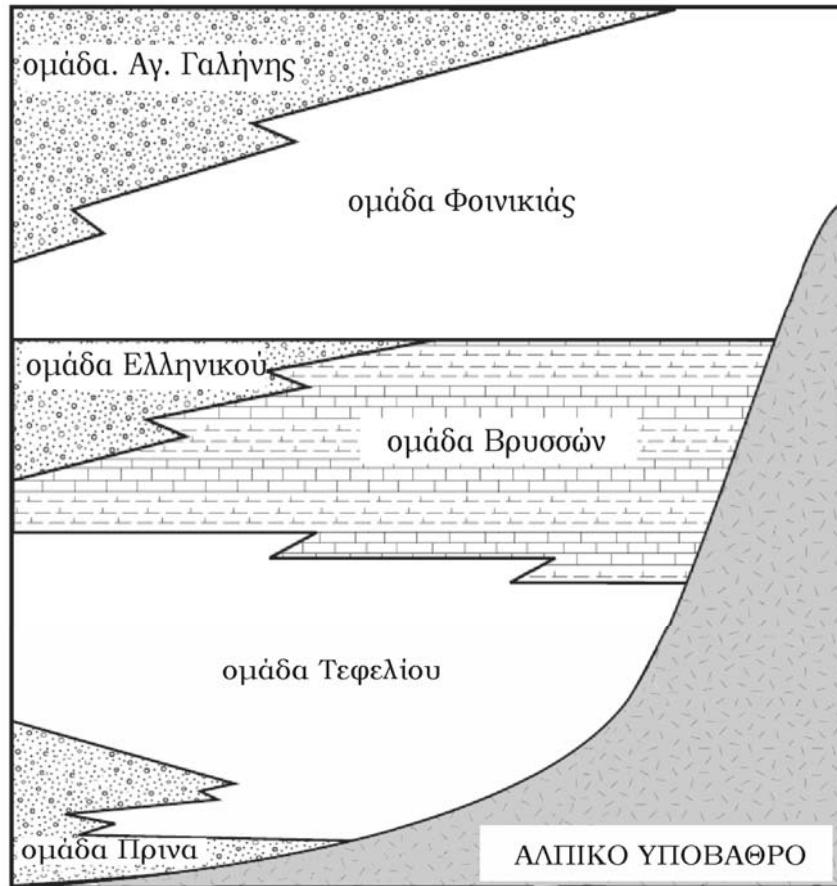
2.3.1.4 Ομάδα του Ελληνικού

Η ομάδα του Ελληνικού αποτελείται από κοκκινωπά, χερσαία κροκαλοπαγή, λιμναίες, σχετικά λεπτόκοκκες στρώσεις και, περιστασιακά, υφάλμυρες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με γύψο. Η ομάδα επικαλύπτει την ομάδα των Βρυσών, το παλαιότερο νεογενές στρώμα ή, σε μερικές θέσεις, το προνεογενές υπόβαθρο.

2.3.1.5 Ομάδα του Φοινικιά

Όλοι οι σχηματισμοί που αποτελούνται από βαθιάς θάλασσας μάργες και από αργίλους που επικαλύπτουν την ομάδα του Ελληνικού ή την ομάδα των Βρυσών ενσωματώνονται στην ομάδα του Φοινικιά. Συχνά οι μάργες και οι άργιλοι εμφανίζονται σε στρώματα και μερικές φορές με πυριτικές ενστρώσεις. Σε πολλές

θέσεις η βάση της ομάδας του Φοινικιά χαρακτηρίζεται από ένα μαργαϊκό λατοποπαγές.



Σχήμα 2.5: Σχηματική τομή στην οποία φαίνεται η σχετική θέση των Νεογενών σχηματισμών στην περιοχή της Κρήτης [Meulenkamp, 1979].

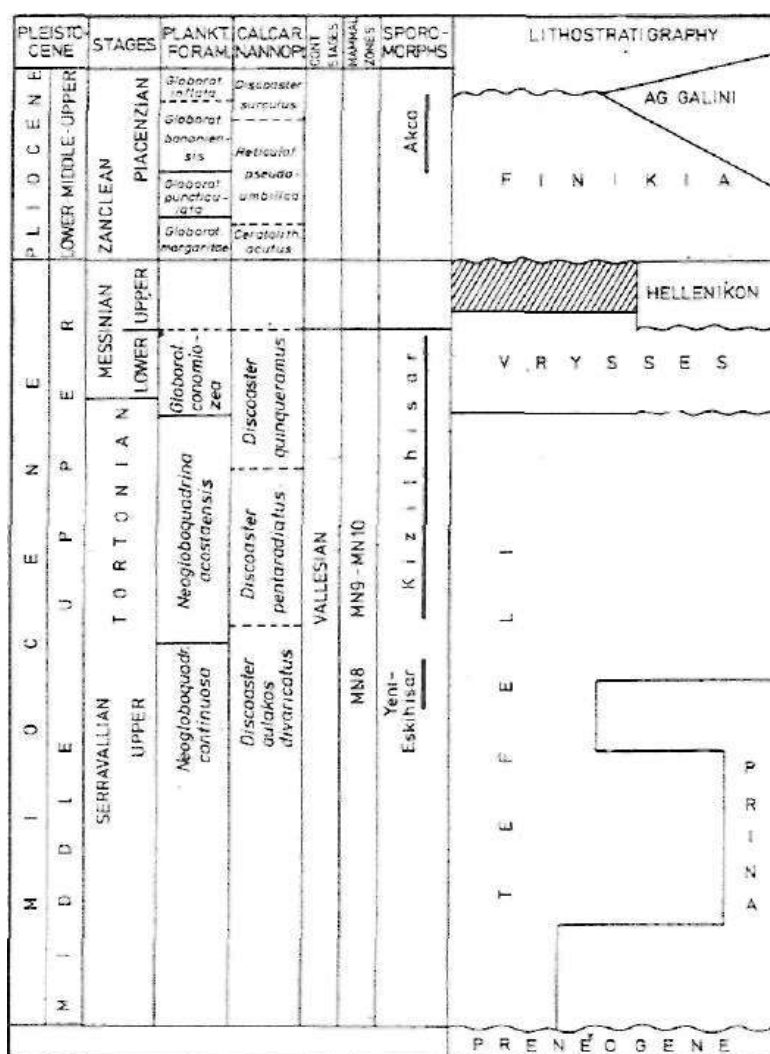
2.3.1.6 Ομάδα Αγίας Γαλήνης

Χονδροειδή, γενικά κοκκινωπά, μη-θαλάσσια κροκαλοπαγή και άμμοι, όποιοι επικαλύπτουν, και είναι εν μέρει το πλευρικό μέρος, των ιζημάτων της ομάδας του Φοινικιά. Η ομάδα της Αγ. Γαλήνης αντιπροσωπεύει την υψηλότερη βραχώδη μονάδα του Νεογενούς στην Κρήτη.

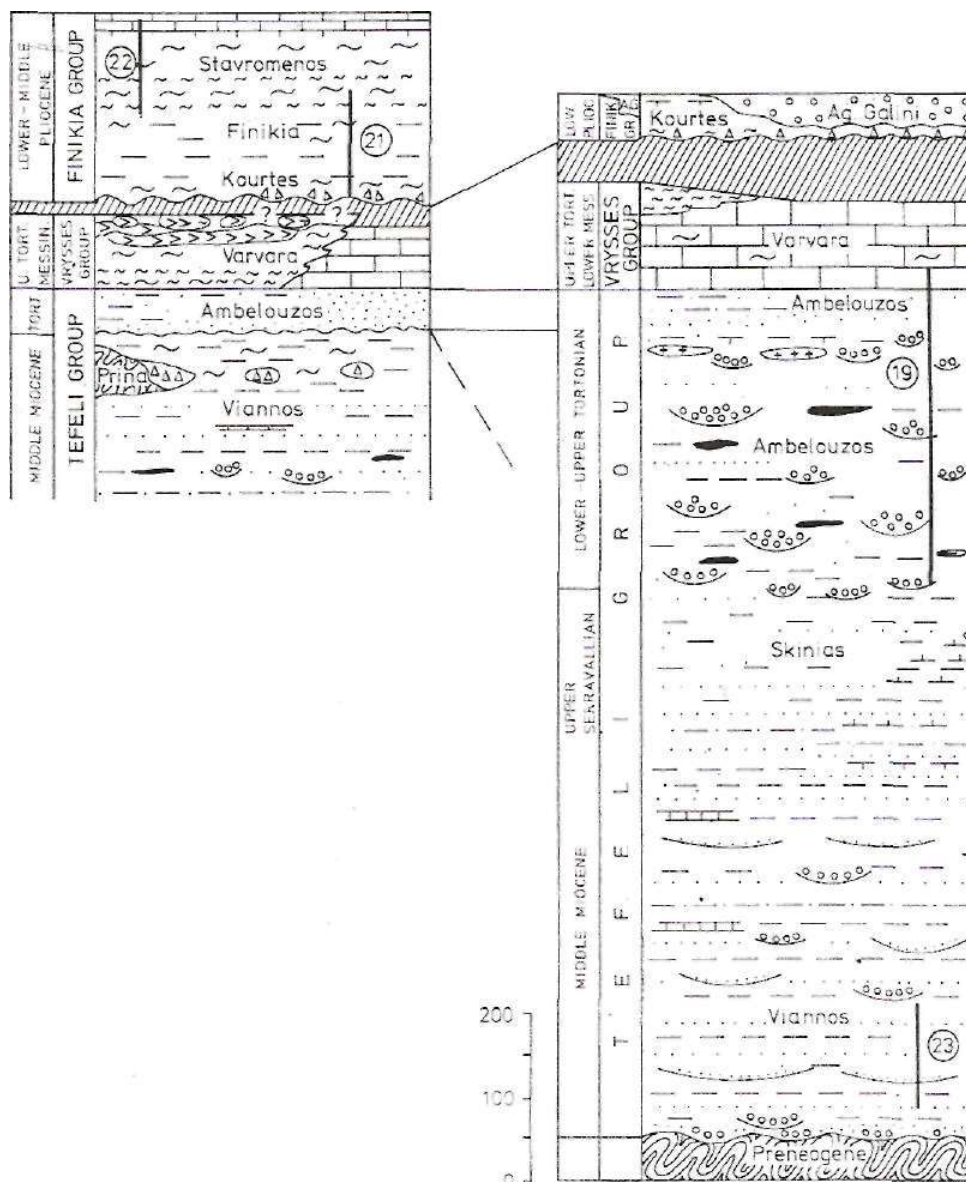
2.4 ΟΜΑΔΑ ΤΕΦΕΛΙΟΥ

Στην ομάδα του Τεφελίου ανήκουν οι σχηματισμοί του Βιάννου, του Σχοινιά, του Αμπελούζου, της Αγίας Βαρβάρας και οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

Η ομάδα Τεφελίου είτε υπέρκειται της ομάδας Πρίνα, είτε επικάθεται ασύμφωνα απευθείας στο προ-Νεογενές υπόβαθρο, καλύπτει στρωματογραφικά την περίοδο από το Σερραβάλλιο μέχρι το Ανώτερο Τορτόνιο και αποτελείται από τρεις επί μέρους σχηματισμούς (Σχ. 2.6 και 2.7).



Σχήμα 2.6: Στρωματογραφική διάρθρωση των διαφορετικών ομάδων στην κεντρική Κρήτη. (Meulenkamp et al., 1979)



Σχήμα 2.7: Σχηματικές λιθοστρωματογραφικές τομές με την διάρθρωση των ομάδων και των σχηματισμών μέσα σε αυτές.

2.4.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΑΝΝΟΥ

Οι αμμώδεις και ιλυώδεις λιμναίες αποθέσεις με μικρές ενδιαστρώσεις από πολύμικτα κροκαλοπαγή ποταμο-χειμάρρειας προέλευσης, συνθέτουν το σχηματισμό Βιάννου, με ηλικία Σερραβάλλιο [Meulenkamp, 1979]. Εμφανίζεται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης Μεσσαράς και στα όριά της με τη λεκάνη Ηρακλείου. Είναι γενικά λεπτο-κοκκώδης και στα πρώην ποτάμια κανάλια κυριαρχούν ψαμμίτες. Οι κατευθύνσεις αυτών των παλαιορευμάτων είναι γενικά προς τα ΝΔ ως Δ. Κοντά στο χωριό Άνω Βιάννος, παρατηρείται μια γενική μείωση του μεγέθους των κόκκων προς τα ανώτερα στρώματα των

ποτάμιων ακολουθιών. Αυτή οφείλεται στη διαπλοκή των ρεμάτων μεταξύ τους και τον αναστομωτικό χαρακτήρα τους με την πλημμυρική κοίτη και σχετίζεται άμεσα με ρηχές, γλυκού νερού, λιμναίες αποθέσεις [Willmann, 1982]. Τοπικά, η θαλάσσια επιρροή έχει πιστοποιηθεί βάσει των υπολειμμάτων πανίδας (π.χ. μεγάλα δείγματα *Ostrea*), ενώ εμφανίζονται και παλιρροιακές αποθέσεις (π.χ. βόρεια του χωριού Τεφέλι). Κοντά στο χωριό Κάνδαρος, ακριβώς δυτικά της Βιάννου, εμφανίζονται ψαμμίτες, που δείχνουν ότι τα παλαιο-ρέματα ρέουν από την ανατολή προς τη δύση, να καλύπτουν τους παλιότερους ορίζοντες της ποταμο-λιμναίας ακολουθίας του σχηματισμού Βιάννου. Οι διευθύνσεις των παλαιο-ρεμάτων και οι παλαιές γραμμές ακτών στους ψαμμίτες στην Κάνδαρο δείχνουν ότι η επίκλυση της θάλασσας γίνεται από τα ΝΝΔ προς τα ΒΒΑ [ten Veen & Postma, 1999]. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού έχει υπολογιστεί κοντά στα 400 μέτρα. Η βορειότερη εμφάνιση του σχηματισμού Βιάννου είναι κοντά στο χωριό Γωνιά με ποταμο-λιμναίες άμμους και μερικές ανθρακικές ενδιαστρώσεις. Στη λεκάνη του Ηρακλείου, ο αντίστοιχος ποταμο-λιμναίος σχηματισμός Βιάννου, είναι ο σχηματισμός Μαλέ.

2.4.2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΚΟΙΝΙΑ

Πάνω από το σχηματισμό Βιάννου και σε συμφωνία με αυτόν, αποτίθεται ο σχηματισμός Σκοινιά, ο οποίος αποτελείται από αργίλους συνδεδεμένους με τη περίοδο του Ανώτερου Σερραβαλλίου και με πάχος περίπου 200 μέτρα [Zachariasse, 1975]. Οι γκρι-μπλε άργιλοι του σχηματισμού Σκοινιά καλύπτουν τους παράκτιους ψαμμίτες του σχηματισμού Βιάννου, βόρεια του χωριού Τεφέλι. Αυτή η ακολουθία απεικονίζει τη συνέχεια της θαλάσσιας επίκλισης, που άρχισε στο Άνω Σερραβάλλιο και είναι συγκρίσιμη με την ακολουθία Μαλές - Παραθύρι - Καλαμαύκα, που βρίσκεται στη λεκάνη της Ιεράπετρας [ten Veen & Postma, 1999]. Στην περιοχή μεταξύ των χωριών Σκοινιάς, Μάρθα και Τεφέλι, οι άργιλοι του σχηματισμού Σκοινιά αποτέθηκαν σε ένα βαθύ (περισσότερο από

200 μέτρα βάθος) θαλάσσιο περιβάλλον. Οι άργιλοι χρονολογήθηκαν στο Κάτω Τορτόνιο [Zachariasse, 1975]. Περιέχουν τουρβιδίτες με αυλάκια (flute casts), που δείχνουν την κατεύθυνση των παλαιο-ρευμάτων να ρέουν προς νότο. Ακριβώς νότια του Τεφελίου, κατολισθήσεις εδαφών που αποτελούνται από πηλίτες, εμφανίζονται στη βάση του σχηματισμού Σκοινιά, ενώ κοντά στη Μάρθα, έχουν παρατηρηθεί και μερικά στρώματα κροκαλοπαγών και άμμων. Κοντά στη χρονική μετάβαση από το Μέσο στο Άνω Μειόκαινο, κατά τη διάρκεια της απόθεσης του σχηματισμού Σκοινιά, έλαβε χώρα η απόθεση ασβεστολιθικών λατυποπαγών και μαζική τοποθέτηση ολισθολιθών αλπικής προέλευσης και ιδιαίτερα ανθρακικής σύστασης τεμάχη, προερχόμενα από την ενότητα της Τρίπολης. Τα καλά στρωμένα λατυποπαγή βρίσκονται να διακόπτουν το σχηματισμό Βιάννου στα βόρεια της λεκάνης της Μεσσαράς, δυτικά του χωριού Γωνιά. Αναφέρεται, ότι η εμφάνιση των λατυποπαγών οριοθετείται στα βόρεια από ένα απότομο ανάστροφο ρήγμα, με διεύθυνση B100A και η τοποθέτηση των λατυπών δείχνει ότι οι τα ρεύματα έρρεαν προς ΝΑ [ten Veen & Postma, 1999]. Τα λατυποπαγή αποτελούνται από σκουρόχρωμες και ανοιχτόχρωμες ανθρακικές λατύπες της ενότητας Τρίπολης και από λατύπες με οφιολιθική σύσταση. Ανατολικά του Προφήτη Ηλία, μεγάλες κατολισθήσεις υλικών, που προέρχονται από τις ενότητες Τρίπολης και Πίνδου, έχουν αναμειχθεί με ιζήματα του σχηματισμού Βιάννου. Σε επιφάνειες διάρρηξης, εντός του ρηξιτεμάχους του Προφήτη Ηλία, έχουν βρεθεί (από συγγραφείς) γραμμές προστριβής ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και εσωτερικές μετακινήσεις που δείχνουν μετακίνηση προς τα νότια [ten Veen & Postma, 1999].

2.4.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΜΠΕΛΟΥΖΟΥ

Κατά την περίοδο του Κάτω Τορτονίου αποτέθηκαν κλαστικά ιζήματα που ανήκουν στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου [Meulenkamp, et al., 1979]. Στρωματογραφικά, ο σχηματισμός αυτός αποτέθηκε πάνω από το σχηματισμό Σκοινιά. Στην ανατολική περιοχή της

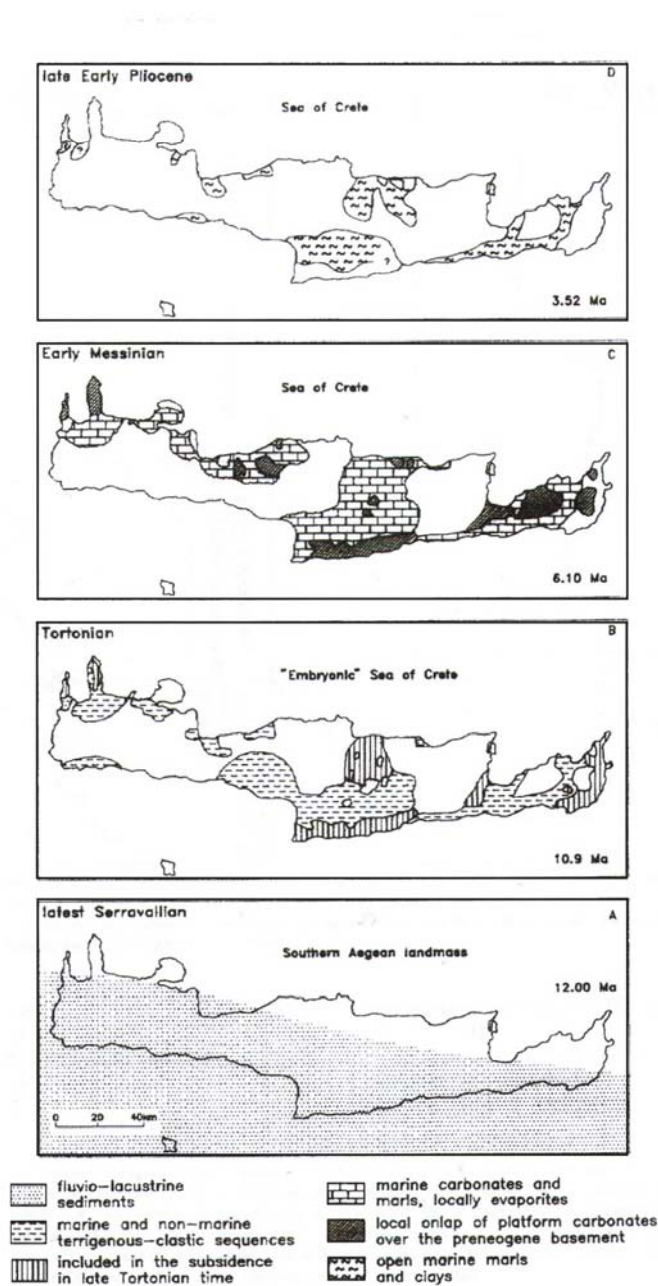
λεκάνης της Μεσσαράς αποκαλύπτεται γωνιώδης ασυμφωνία μεταξύ των δύο σχηματισμών. Το κατώτερο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλία ιζηματογενών φάσεων, από κροκαλοπαγή ριπιδίων μέχρι ομογενείς ψαμμίτες υφαλοκρηπίδας. Επίσης, παρατηρείται μια συνολική τάση βάθυνσης, η οποία αποτελείται από κυκλοθέματα που αντικατοπτρίζουν εναλλαγές λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων δελταϊκών αποθέσεων. Το ηπειρωτικό, έως ρηχό θαλάσσιο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου, έχει προσδιοριστεί, από θηλαστικά και οστρακοειδή, να έχει ηλικία στο Κάτω Τορτόνιο [De Bruijn, et al., 1971], [Sissingh, 1972]. Κατά τη διάρκεια του Τορτονίου, έλαβε χώρα μια μετάβαση από αμμώδεις παράκτιες αποθέσεις, σε συσσωρευμένες μαργαϊκές αποθέσεις ανοιχτής θάλασσας, με χαρακτηριστικό γκρι-μπλε χρώμα. Στρωματογραφικά, αυτή η μετάβαση εκφράζει τη μετάβαση από το κατώτερο προς το ανώτερο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου. Κατά μήκος του νότιου περιθωρίου του όρους Ίδη, κοντά στο χωριό Ζαρός, ο σχηματισμός Αμπελούζου [Meulenkamp, et al., 1979] αποτελείται από δελταϊκές αποθέσεις, που περιλαμβάνουν ακολουθίες από βιτουμενιούχους σχίστες (προδέλτα), άμμους (μέτωπο δέλτα) και αργιλώδεις ως χαλικώδεις δελταϊκές περιοχές, με παλαιοεδάφη και λιγνίτες. Τα διάφορα δελταϊκά συστήματα μεταβαίνουν σε αμμώδεις αποθέσεις ρηχής θάλασσας και υφάλους. Αυτή η μετάβαση προς βαθύτερο θαλάσσιο περιβάλλον προσδιορίζεται από την άφθονη παρουσία του μεγάλου βενθονικού τρηματοφόρου *Hesterostegina* sp., σε αντίθεση με την παράκτια πανίδα που αποτελείται, χαρακτηριστικά, από γαστερόποδα και μαλάκια. Η λεπτομερής στρωματογραφική μελέτη υποδεικνύει ηλικία Ανώτερου Τορτονίου για τις αποθέσεις βαθιάς θάλασσας, που ανήκουν στο σχηματισμό Αμπελούζου [Krijgsman, 1994]. Οι αποθέσεις αυτές εμφανίζονται μόνο στις νοτιότερες περιοχές της λεκάνης Μεσσαράς. Στην περιοχή μεταξύ των χωριών Ζαρού και Αγίας Βαρβάρας, μια παχιά δελταϊκή ακολουθία αποτέθηκε στη διασταύρωση των δύο μεγάλων ρηγμάτων, που διαμορφώνουν τις παρυφές του όρους Ίδη. Βόρεια των Αγίων Δέκα, η δελταϊκή ακολουθία είναι πιο λεπτοκοκκώδης. Νότια από την πεδιάδα της

Μεσσαράς και ανατολικά από το χωριό Μάταλα, η βάση του σχηματισμού Αμπελούζου καλύπτει απευθείας το αλπικό υπόβαθρο. Τα χαμηλότερα μέλη του σχηματισμού αποτελούνται από ποτάμιες ακολουθίες, με κροκαλοπαγή που περιέχουν κροκάλες προερχόμενες από τον υποκείμενο, ηώκαινικό φλύσχη της ενότητας Πίνδου αλλά και οφιολιθικής σύστασης. Προς τα ανώτερα μέλη της κολώνας, οι ποτάμιες αποθέσεις μεταβαίνουν προς παράκτιους και θαλάσσιους πηλίτες και ψαμμίτες, με χαρακτηριστικό τους τα απολιθώματα *Pecten*, *Clypeaster*, *Lithothamnium* και *Ostrea*. Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς, η ύπαρξη των ποτάμιων έως ρηχής θάλασσας φάσεων είναι πιο ετερόκλητη, δείχνοντας διαδοχικούς κύκλους επίκλισης και απόσυρσης της θάλασσας. Σε τομή νότια του χωριού Τεφέλι, παρατηρήθηκε γωνιώδης ασυμφωνία μεταξύ στραμμένων προς βορά αποθέσεων του σχηματισμού Σκοινιά και οριζόντων του σχηματισμού Αμπελούζου [ten Veen, 1998]. Ακόμα πιο νότια, σε τομή του λόφου Κάστελλο, η μετάβαση από το σχηματισμό Σκοινιά προς το σχηματισμό Αμπελούζου, χαρακτηρίζεται από την παρουσία *calcretes*, πάνω στα στρώματα του Σκοινιά, δείχνοντας την παρουσία μιας επιφάνειας διάβρωσης και δημιουργία παλαιοεδάφους, πριν την ασυμφωνία. Ο υπερκείμενος σχηματισμός Αμπελούζου παρουσιάζει μια μετάβαση, από τους αργίλους περιοχής εκβολής ποταμού και κροκαλοπαγών, σε ψαμμίτες μικρού θαλάσσιου βάθους με άφθονα απολιθωμένα οστρακώδη (Βασιλάκης, 2006).

2.5 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της περιοχής

Για την κατανόηση της λιθοστρωματογραφικής εξέλιξης και της στρωματογραφικής θέσης των σχηματισμών ενδιαφέροντος της περιοχής μελέτης, δηλαδή των ιζηματολογικών ακολουθιών που αποτέθηκαν τα τελευταία δεκατρία περίπου εκατομμύρια χρόνια, δίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από τις έρευνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για την Κρήτη.

Στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται μια σειρά από απλοποιημένους παλαιογεωγραφικούς χάρτες. Οι διαδοχικές παλαιογεωγραφικές διατάξεις αντικατοπτρίζουν τέσσερα κύρια επεισόδια κατά την εξέλιξη του ανάγλυφου κατά μήκος της διατομής στην κεντρική Κρήτη. Κατά την διάρκεια του πρώτου επεισοδίου (Άνω Σαρραβάλλιο) στη περιοχή λάμβανε χώρα λιμναία ιζηματογένεση και οριοθετούσε την ξηρά του νοτίου Αιγαίου (Southern Aegean landmass).



Σχήμα 2.8: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Νεογενών ιζημάτων στην Κρήτη (κατά Meulenkaamp et al 1994)

Το δεύτερο και τρίτο επεισόδιο (Ανώτατο Σαρραβάλλιο-Μεσσήνιο) δημιούργησαν ένα παλαιογεωγραφικό καθεστώς, όπου οι σημερινές κορυφογραμμές που οριοθετούν και διατέμνουν την λεκάνη του Ηρακλείου, άρχισαν να παίζουν ενεργό ρόλο στην παλαιογεωγραφία και την τοπογραφία του πυθμένα. Κατά την διάρκεια του Άνω Μειοκαίνου αναπτύχθηκε η λεκάνη του Ηρακλείου ενώ οι κορυφογραμμές της κεντρική Κρήτης με διεύθυνση Α-Δ άρχισαν να διαχωρίζουν την λεκάνη στο βόρειο και νότιο τμήμα της. Το τέταρτο επεισόδιο χαρακτηρίζεται από την έντονη άνοδο όλης της περιοχής κατά το Πλείο-Πλειστόκαινο.

Μια διαφορετική άποψη εκφράστηκε για την εξέλιξη της περιοχής από τον J.H.ten Veen (1998). Οι λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες που σχηματίστηκαν μπορούν να περιγραφούν ως ακολούθως:

1) Μετά την ολοκλήρωση της τεκτονικής ορογενετικής φάσης που οδήγησε στον σχηματισμό του προνεογενούς ηλικίας πακέτου καλυμμάτων των Εξωτερικών Ελληνίδων και κατά συνέπεια και της Κρήτης, η ιζηματογένεση στις λεκάνες του Νεογενούς ξεκίνησε με την απόθεση χερσαίων κλαστικών κατά την διάρκεια Μέσο Μειόκαινου. Οι αμμώδεις και ιλυώδεις αποθέσεις με μικρές παρενοστρώσεις από κροκαλοπαγή πλήρωσης καναλιού ανήκουν στο **σχηματισμό του Βιάννου**

2) Περίπου κατά την Μέσο-Άνω Μειόκαινου μετάβαση, έλαβε χώρα επαναπόθεση ασβεστολιθικών λατυποπαγών και μαζική τοποθέτηση ασυνήθιστων τεμαχών από παλαιότερους ασβεστόλιθους της ζώνης της Τρίπολης.

3) Στο Κατώτερο Τορτόνιο αποτέθηκαν τα κλαστικά του κατώτερου μέρους του **σχηματισμού Αμπελούζου**. Στρωματογραφικά, αυτός ο σχηματισμός υπέρκειται του **σχηματισμού Σκοινιά**. Το κατώτερο μέρος του σχηματισμού Αμπελούζου χαρακτηρίζεται από ιζηματογενείς φάσεις που κυμαίνονται από αδρομερή κροκαλοπαγή αλλουβιακού ρυπιδίου ως τους ομοιογενείς ψαμμίτες υφαλοκρηπίδας. Μια τάση εμβάθυνσης που αρχίζει να εμφανίζεται μπορεί να τεκμηριωθεί από τους υψηλότερης τάξης κύκλους

απόσυρσης/επίκλησης, όπως απεικονίζεται από τις εναλλαγές αδρόκοκκων με λεπτόκοκκων δελταϊκών αποθέσεων. Το ηπειρωτικό έως ρηχής θάλασσας μέρος του σχηματισμού Αμπελούζου έχει χρονολογηθεί ως Κάτω Τορτονίου.

4) Κατά την διάρκεια του Τορτονίου πραγματοποιήθηκε μια μετάβαση από αποθέσεις παράκτιας άμμου σε συσσώρευση μπλε-γκρι μαργών ανοιχτής θάλασσας. Στη στρωματογραφική καταγραφή αυτό εκφράζεται από τη μετάβαση από το χαμηλότερο στο ανώτερο μέρος του σχηματισμού Αμπελούζου. Η λεπτομερής στρωματογραφία δείχνει ηλικία Άνω Τορτονίου για τις αποθέσεις βαθιάς θάλασσας του σχηματισμού Αμπελούζου.

5) Την απόθεση χερσαίων κλαστικών ακολούθησε η συσσώρευση των ασβεστόλιθων και μαργών του Μεσσηνίου. Αυτή η αλλαγή είναι φανερή στα ιζήματα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα του Μεσσηνίου. Στα βορειότερα και νοτιότερα μέρη της περιοχής, το χαμηλότερο μέρος του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα αποτελείται από τις μικτές χερσαίες κλαστικές/ασβεστιτικές αποθέσεις. Ρηχής θάλασσας αποθέσεις υπέρκεινται ασύμφωνα του σχηματισμού Αμπελούζου. Στην γύρω περιοχή το μέλος σχηματισμού Πύργος υπέρκειται ασύμφωνα των κεκλιμένων αποθέσεων των σχηματισμών Βιάννου και Αμπελούζου και αποτελούνται από ψαμμίτες. Στη βάση της ακολουθίας βρίσκονται κάποιες αδρομερείς χερσαίες αποθέσεις. Στο νότιο μέρος της περιοχής, μέλος σχηματισμού Πύργος υπέρκειται του σχηματισμού Αμπελούζου, στην κορυφή του οποίου υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι είχε χερσόψει. Το ανώτερο όριο του μέλος σχηματισμού Πύργος χαρακτηρίζεται από τα χερσογενή κλαστικά και από την αλλαγή προς τους βιογενής ασβεστόλιθους και μάργες

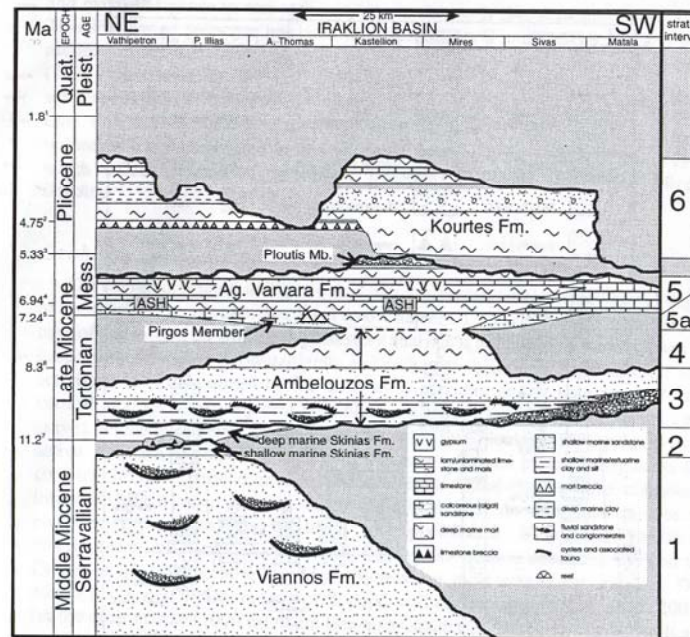
Στο κεντρικό μέρος της λεκάνης ο σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας χαρακτηρίζεται από ομοιογενείς λαμινοειδείς μάργες, που συσσωρεύονται σε μια βαθιά θαλάσσια λεκάνη. Οι αποθέσεις στη βάση της κατωφέρειας που είναι πλευρικά ισοδύναμες με το μέλος σχηματισμού Πύργος, εναλλάσσονται με μάργες βαθιάς θάλασσας που ανήκουν στην κορυφή του σχηματισμού Αμπελούζου. Το όριο μεταξύ του σχηματισμού Αμπελούζου βαθιάς θάλασσας και του υπερκείμενου σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα

χαρακτηρίζεται από την ξαφνική αλλαγή από μπλε-γκρίζες μάργες στις υπόλευκες λαμινοειδείς μάργες. Το μέλος σχηματισμού Πύργος δεν είναι παρόν, παρόλο που εμφανίζονται κροκαλοπαγή πλήρωσης καναλιού στο μεταβατικό τμήμα μεταξύ των δύο σχηματισμών.

6) Στο νότιο μέρος της λεκάνης του Ηρακλείου τα ιζήματα του Κατώτατου Πλειοκαίνου υπέρκεινται των ασβεστολίθων Κάτω Μεσσηνίου. Το κατώτερο Πλειόκαινο αποτελείται από υπόλευκες μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους βαθιάς θάλασσας που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της Πλειοκαινικής επίκλυσης που τερμάτισε την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου. Αυτές οι βαθιάς θάλασσας αποθέσεις περνούν προς τα πάνω σε περισσότερο αμμώδεις και κροκαλοπαγείς αποθέσεις. Η ακολουθία απεικονίζει ρήχευση, ως και χέρσευση ως αποτέλεσμα στην κλίση των στρωμάτων προς το Βορρά. Στο νότιο τμήμα, η ανύψωση κατά το ανώτερο Κάτω Πλειόκαινο ακολουθήθηκε από την καινούρια ταπείνωση στο κατώτερο Άνω Πλειόκαινο, την οποία ακολούθησε μια δεύτερη ανύψωση κατά το Άνω Πλειόκαινο ως σήμερα. Στο βόρειο τμήμα, τα ιζήματα του Κατώτερου Πλειοκαίνου είναι ενσωματωμένα με τα μαργαϊκά λατυποπαγή, τα οποία απεικονίζουν ένα επεισόδιο τεκτονικής αστάθειας που ακολούθησε την επίκλυση του Κάτω Πλειοκαίνου.

Τα ανωτέρω έχουν απεικονιστεί ομαδοποιημένα στο σχήμα 2.9 .

Από την εργασία υπαίθρου και τις εργαστηριακές αναλύσεις προέκυψε ένα νέο ιζηματολογικό μοντέλο για την εξέλιξη των σχηματισμών Βιάννου, Σχοινιά και Αμπελούζου στην περιοχή μελέτης. Η στρωματογραφική αυτή διάρθρωση (Σχήμα 2.10) τροποποιεί τις προηγούμενες περιγραφές μόνο σε σχέση με τα πάχη των σχηματισμών και δίνει με περισσότερη λεπτομέρεια γενικά ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών αυτών (Ζεληλίδης 2008, αδημοσίευτα στοιχεία από τεχνική έκθεση έργου).



Σχήμα 2.9: Λιθοφασική εξέλιξη της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου κατά J.H.ten Veen (1998)

Η περιγραφή αυτή έχει ως ακολούθως:

2.5.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΑΝΝΟΥ

Η μετάβαση από τον υποκείμενο Φλύσχη στον Σχηματισμό του Βιάννου αποτελείται από 30-40 μέτρα εναλλαγές ψαμμιτικών στρωμάτων με παρενστρώσεις αργιλικών και κροκαλοπαγών στρωμάτων μικρού πάχους. Μέσα στους ψαμμίτες διαπιστώθηκε η ύπαρξη σκαφοειδούς διασταυρούμενης στρώσης. Η παρουσία εδαφικών οριζόντων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για χερσαία ιζήματα.

Στην συνέχεια και πάνω από τα προηγούμενα χερσαία ιζήματα παρατηρήθηκε η ύπαρξη 6 ιζηματογενών κύκλων, περίπου 100 μέτρα πάχους έκαστος, με αυξανόμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω. Κάθε κύκλος ξεκινάει με συνεκτικούς αργίλους που σταδιακά προς τα πάνω περνάνε σε λεπτές εναλλαγές πηλών-αργίλων-άμμων με χρωματικές αλλαγές και έντονη παρουσία λιμναίων απολιθωμάτων. Οι 4 κατώτεροι κύκλοι κλείνουν προς τα πάνω με εναλλαγές στρωμάτων άμμων και αργίλων. Το πάχος των

αμμούχων στρώματων φτάνει τα 30οπι ενώ τα αργιλικά στρώματα παρουσιάζουν ελασμάτωση. Η συμμετοχή της άμμου στα κατώτερα 70μέτρα είναι μικρότερη το 5% ενώ στα ανώτερα 30 μέτρα φθάνει το 80%. 5 Οι δύο ανώτεροι κύκλοι στα ανώτερα 30 μέτρα τους αποτελούνται από άμμους με σκαφοειδή διασταυρούμενη στρώση και ποσοστό συμμετοχής άμμου μεγαλύτερη το 95%.

Χαρακτηριστικό του Σχηματισμού αυτού είναι η αυξημένη συμμετοχή οργανικού υλικού περισσότερο στα ανώτερα λεπτοστρωμένα αργιλικά στρώματα αλλά και κατά θέσεις μέσα στις άμμους των τεσσάρων κατώτερων κύκλων.

Τα στρώματα του Σχηματισμού αυτού κλείνουν NNA με αριθμητική τιμή περίπου 20°, ενώ μετρήθηκαν ρήγματα σύγχρονα με την ιζηματογένεση με διεύθυνση ABA-ΔNΔ και διεύθυνση κλίσης BBD.

Έξω από την περιοχή μελέτης και στα νότια περιθώρια της λεκάνης ιζηματογένεσης (περιοχή Βιάννου) ο Σχηματισμός Βιάννου στον πόδα του κυρίου ρήγματος σχηματισμού της λεκάνης, που σήμερα είναι ανυψωμένη, αποτελείται στη βάση του από εναλλαγές χερσαίων κροκαλοπαγών με άμμους και αργίλους, ενώ κατά θέσεις υπάρχουν και στρώματα με τύρφη. Στην οροφή του κυρίου ρήγματος και στα νοτιοανατολικά περιθώρια της λεκάνης ο Σχηματισμός αποτελείται από παχιά στρώματα ψαμμιτών κατά θέσεις ισχυρά διαγεννημένων πλούσιων σε φυτικά απολιθώματα. Μέσα στους ψαμμίτες αναγνωρίστηκαν θυμωνιασμένα κανάλια με παλαιορευματική διεύθυνση από ΔΒΔ προς ΑΝΑ και ορίζοντες με ολισθήσεις . Οι ψαμμίτες κάθονται πάνω σε αργιλικά στρώματα με σπάνια ύπαρξη απολιθωμάτων (cardium).

2.5.2. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΧΟΙΝΙΑ

Σύμφωνα πάνω από τον Σχηματισμό του Βιάννου αναπτύσσεται ο Σχηματισμός του Σχοινιά με συνολικό πάχος 150μέτρα. Ο Σχηματισμός αυτός συντίθεται από 2 κύκλους με αυξανόμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω, πάχους 70 - 80μέτρα έκαστος. Κάθε κύκλος αποτελείται από 50-60

μέτρα συμπαγή άργιλο που προς τα πάνω περνάει απότομα σε 10-15 μέτρα εναλλαγές συνεκτικών αμμούχων στρωμάτων πάχους 20-30 εκ και αργιλικών στρωμάτων 10-15 εκ πάχους. Το χρώμα της αργίλου είναι πιο ανοιχτόχρωμο σε σχέση με αυτό των αργίλων του υποκείμενου σχηματισμού ενώ η παρουσία της άμμου είναι μικρότερη. Χαρακτηριστικές δομές τα badlands που δημιουργούνται εξ' αιτίας της διάβρωσης των αργίλων, στο κατώτερο τμήμα κάθε κύκλου, δείκτης της απουσίας της άμμου και της μεγαλύτερης συμμετοχής της αργίλου.

Σημειώνεται ότι στον Σχηματισμό αυτό δεν βρέθηκαν στρωματίδια κάρβουνου ή φυτικά απολιθώματα, ενώ τα απολιθώματα είναι θαλάσσιας προέλευσης.

Τα στρώματα του Σχηματισμού αυτού κλείνουν ΝΝΔ με αριθμητική τιμή μικρότερη των 20°, ενώ μετρήθηκαν ρήγματα σύγχρονα με την ιζηματογένεση με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και διεύθυνση κλίσης ΒΒΑ

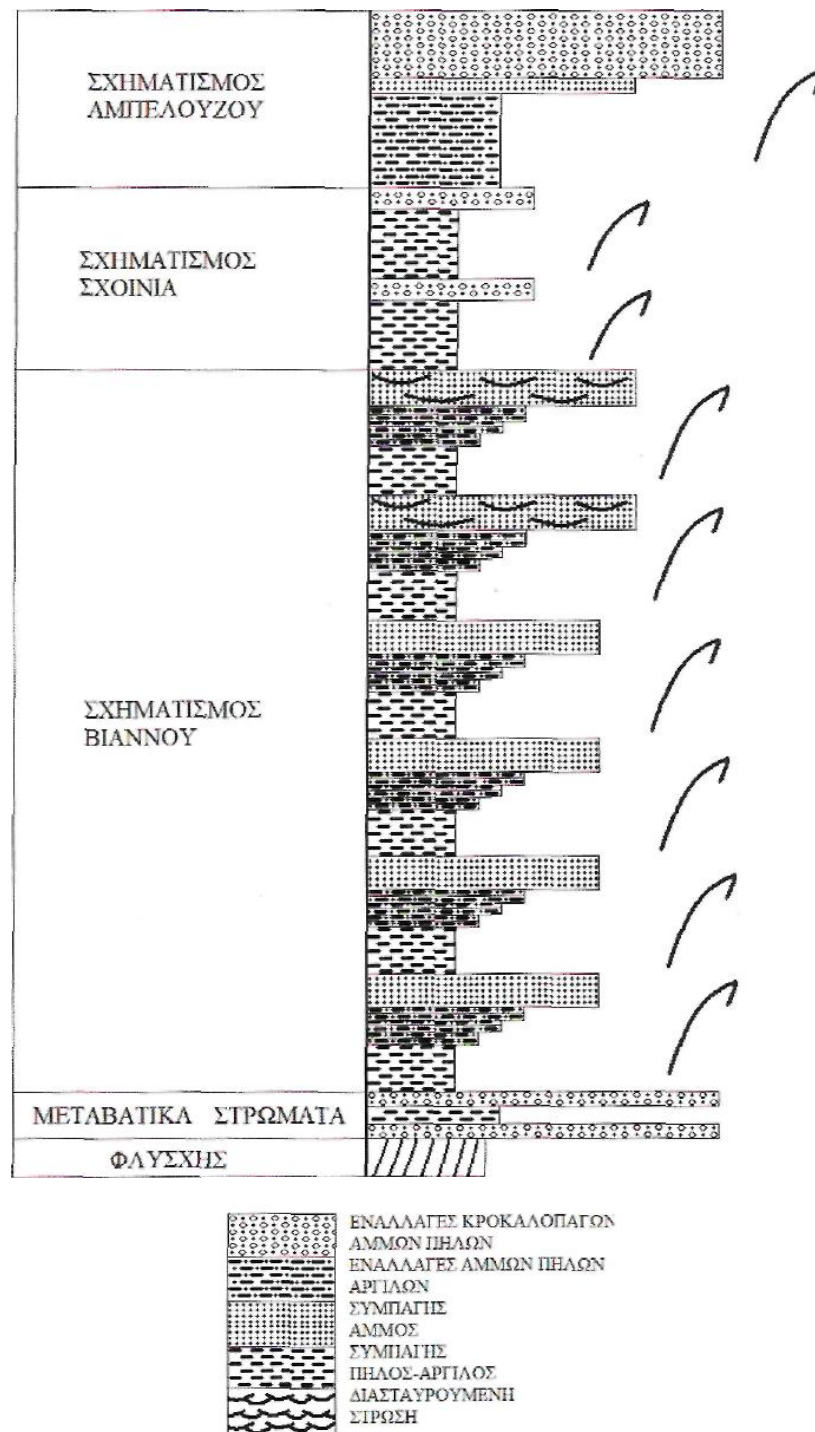
Έξω από την περιοχή μελέτης και στα νότια περιθώρια της λεκάνης ιζηματογένεσης (περιοχή Σχοινιά) μέσα στον Σχηματισμό του Σχοινιά βρέθηκαν κοραλιογενείς ύφαλοι, ψαμμίτες με μεγάλη πλευρική συνέχεια, επίπεδη βάση, έντονη την παρουσία της σειράς Bouma, και ψαμμίτες με ταφοκοινότητες όπου βρέθηκαν πολλά είδη εμβρυακών απολιθωμάτων αλλά και μεγάλων απολιθωμάτων (π.χ. *Ostrea*, *Pecten*). Όλα τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για θαλάσσιο ρηχό περιβάλλον που όμως επειδή βρίσκεται κοντά στο κύριο ρήγμα σχηματισμού της λεκάνης κάθε φορά που δρά το ρήγμα λόγω αστάθειας έχουμε ανάπτυξη σεισμοτουρβιδιτών.

2.5.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΜΠΕΛΟΥΖΟΥ

Ο σχηματισμός αυτός έχει την μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη και καλύπτει κύρια το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, έχει μέγιστο πάχος 100-150 μέτρα και αποτελείται από ένα κύκλο ιζηματογένεσης. Ο κύκλος αυτός αποτελείται από 70-80 μέτρα εναλλαγές γκρι αργίλων και άμμων που προς τα

πάνω περνάνε σε κίτρινους άμμους, πάχους 10-15 μέτρων, και στην συνέχεια σε εναλλαγές πηλών-άμμων-κροκαλοπαγών καφέ έως κόκκινου χρώματος με συνολικό πάχος από 30-80 μέτρα. Το κατώτερο τμήμα χαρακτηρίζεται από συμπαγείς πηλούς-αργίλους στη βάση που προς πάνω περνάνε σε λεπτές εναλλαγές άμμων-πηλών-αργίλων με παρουσία λιμναίων απολιθωμάτων, και φυτικών υπολειμμάτων, όπως και στον σχηματισμό του Βιάννου. Οι κίτρινοι άμμοι δομούνται από παχιά στρώματα άμμου και παρενστρώσεις αργιλικών στρωμάτων ενώ αναγνωρίστηκε και ορίζοντας με συγκέντρωση απολιθωμάτων κύρια *Ostrea lamellosa*, αλλά και άλλων απολιθωμάτων όπως *cardium*, *pecten*, *cladocora cespitosa*, *cerithium*, *arca*, κ.α. Τέλος, ο σχηματισμός του Σχοινιά στο ανώτερο του τμήμα και κάτω από τις Μεσοήνιες γύψους του σχηματισμού της Αγ. Βαρβάρας, αποτελείται από καφέ-κόκκινου-κίτρινου χρώματος, εναλλαγές κροκαλοπαγών, αμμούχων και πηλούχων στρωμάτων, ενώ κατά θέσεις υπάρχουν φακοί τύρφης.

Τα στρώματα και του Σχηματισμού αυτού κλείνουν ΝΝΔ με αριθμητική τιμή περίπου 15°, ενώ μετρήθηκαν ρήγματα σύγχρονα με την ιζηματογένεση με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και διεύθυνση κλίσης ΒΒΑ. Εκτός των ανωτέρω ρηγμάτων μετρήθηκαν και ρήγματα με διεύθυνση κλίσης ΝΝΔ. Η σύγχρονη δράση των ρηγμάτων με ίδια διεύθυνση αλλά αντίρροπη διεύθυνση κλίσης έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία τάφρων και κεράτων που περισσότερο φαίνεται να επηρεάζει το ανώτερο τμήμα του σχηματισμού αυτού.



Σχήμα 2.10 : Στρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης (από Ζεληλίδη 2008)

2.5.4. Γενικές παρατηρήσεις για τους τρεις υπό μελέτη σχηματισμούς

A. Η γεωλογική χαρτογράφηση των παραπάνω τριών σχηματισμών, στην περιοχή μελέτης έδειξε πως ο σχηματισμός του Βιάννου έχει την μέγιστη επιφανειακή του εμφάνιση στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και έρχεται σε επαφή με τον υποκείμενο φλύσχη, ενώ δεν επιβεβαιώθηκε η μεγάλη επιφανειακή εμφάνιση, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη, τόσο βόρεια του Μεταξοχωρίου όσο και στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής μελέτης.

B. Όλοι οι σχηματισμοί κλίνουν νότια και η επιφανειακή τους εμφάνιση σταδιακά περιορίζεται, από τον παλαιότερο προς τον νεώτερο, νότια.

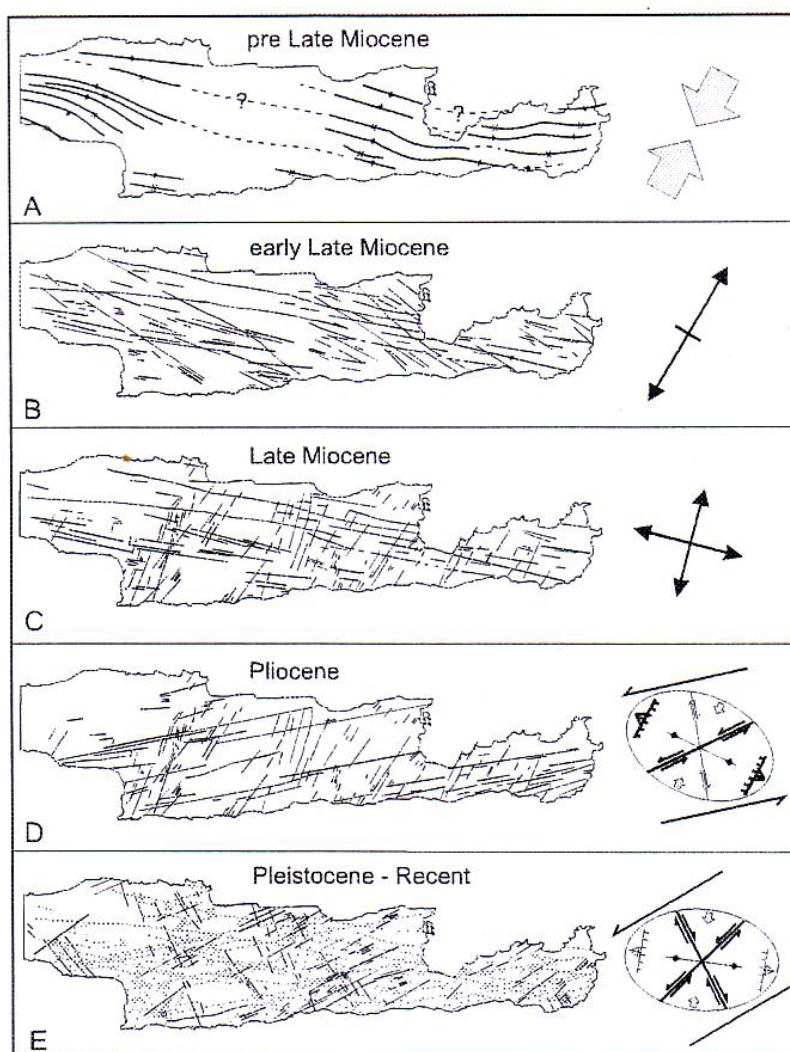
2.6 Απόψεις για την Νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης

Η ύπαρξη νέων τεκτονικών κινήσεων είχε διαπιστωθεί από τους γεωλόγους στις αρχές του 20ού αιώνα. Ο πρώτος που μελέτησε συστηματικότερα τις κινήσεις αυτές ήταν ο Schultz το 1939 και ο οποίος πρότεινε τον όρο Νέα Τεκτονική. Ο Obruchev (1948) προτείνει τον όρο Νεοτεκτονική και τον εξηγεί ως την μελέτη των νέων και πρόσφατων κινήσεων που έγιναν στο τέλος του Τριτογενούς και το πρώτο ήμισυ του Τεταρτογενούς. Κατά τον Hancock (1986), η αρχή της νεοτεκτονικής φάσης μιας ορισμένης περιοχής είναι εκείνη που αρχίζει με τη δημιουργία και τη διαμόρφωση των σημερινών ορίων και κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η νεοτεκτονική περίοδος της Κρήτης αρχίζει αμέσως μετά την τελική πτύχωση, κατά την οποία η Κρήτη και η γύρω περιοχή είχαν μεταβληθεί σε ξηρά (Δρακόπουλος κ.α., 1983). Από ιζηματολογικά (Postma et al., 1993) και τεκτονικά (Meulenkamp et al., 1988) στοιχεία αποδεικνύεται ότι η συμπίεση ήταν το κυρίαρχο είδος της παραμόρφωσης κατά το Μέσο - Ανώτερο Μειόκαινο που οδήγησε στην πτύχωση με διεύθυνση B130A και B100A, ισοκλινούς τύπου (Fassoulas et al., 1994) (σχήμα 2.11). Οι πτυχές με διεύθυνση A-Δ, θεωρούνται ότι οφείλονται σε συμπιεστική παραμόρφωση κατά το Ανώτερο Μειόκαινο-Πλειόκαινο (Meulenkamp et al., 1988, Fassoulas et al.,

1994). Στις συμπιεστικές δυνάμεις που δημιούργησαν αρχικά την πλαστική – πτυχωσιγενούς τύπου παραμόρφωση οφείλεται η δράση αναστροφών ρηγμάτων διεύθυνσης B100A κατά το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο.

Κατά το κατώτερο Τορτόνιο, λαμβάνουν χώρα κανονικά ρήγματα με διεύθυνση B130A και B100A. Η ελάχιστη κύρια τάση πρέπει να είχε BBA-NNΔ προσανατολισμό (J.H. ten Veen at al., 1998)(σχήμα 2.11). Σύμφωνα με τους Δρακόπουλος κ.α., 1983, Φυτρολάκης, 1980 κ.α., κατά το Τορτόνιο νέα ρήγματα διεύθυνσης B-N και A-Δ, δημιουργούν τεκτονικές τάφρους και τεκτονικές εξάρσεις.



Σχήμα 2.11 Νεοτεκτονική εξέλιξη της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης (Ten Veen and Postma, 1998)

Δέον να σημειωθεί ότι ρηγματογόνο τεκτονική με διεύθυνση B-N και A-Δ, διαπιστώνει ο Φυτρολάκης (1980) ήδη από το τέλος του Λαγγίου έως

Μέσο (?) Σερραβάλιο. Ο τεκτονισμός του κατώτερου Τορτόνιου έως κατώτερου Μεσσηνίου (Ανώτερο Μειόκαινο) συνίσταται από θραυσιγενή εφελκυστική παραμόρφωση με κανονικά ρήγματα διεύθυνσης B100A και B20A. Στο διάστημα αυτό ανυψωτικές κινήσεις μεταβάλλουν τα τεκτονικά βυθίσματα σε κλειστές λεκάνες και ρηχές λιμνοθάλασσες, με στρώματα λγνιτών και γύψου, αντίστοιχα. Ο ρηγματογόνος τεκτονισμός με διεύθυνση B75A οδηγεί στη δημιουργία γωνιωδών ασυμφωνιών μεταξύ των αποθέσεων του Μεσσηνίου και Κατώτερου Πλειοκαίνου (Ten Veen and Postma, 1998). Οι Οροσειρές των Λευκών Ορέων, Ίδης, Δίκτης και Σητείας ανυψώνονται στο σημερινό τους υψόμετρο, εξαιτίας έντονων κατακόρυφων κινήσεων ενώ άλλα τμήματα καταποντίζονται, λαμβάνοντας έτσι το νησί την σημερινή του εικόνα (Φυτρολάκης, 1980). Για την περίοδο του Κατώτερου Πλειοκαίνου έως Κατώτερο Πλειστόκαινο, οι Mercier et al. (1989), προτείνουν έναν ΒΒΔ-ΝΝΑ εφελκυσμό στην κεντρική και ανατολική. Οι ίδιοι ερευνητές θεωρούν ότι το εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς στο Αιγαίο επηρεάζεται από μια αδύναμη συμπίεση που σε συνδυασμό μπορούν να αποδώσουν την αριστερόστροφη διάτμηση που διαπίστωσαν στα ρήγματα διεύθυνσης B75A. Για την περίοδο, από το μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα οι Angelier et al. (1982) θεωρούν ότι το νότιο τμήμα του Ελληνικού Τόξου ελέγχεται από αξονικό εφελκυσμό και από κινήσεις κατά μήκος ρηγμάτων Β-Ν. Οι Lyon-Caen et al. (1982) και Armijo et al. (1992) πιστεύουν ότι η Πελοπόννησος και η Κρήτη επηρεάζονται σήμερα από έναν εφελκυσμό Α-Δ και από Β-Ν ρήγματα με ολίσθηση κατά κλίση (dip-slip faults). Ρήγματα διεύθυνσης B50A προέρχονται από ΒΔ-ΝΑ έκταση κατά το μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα όπως πιστεύουν ο Mercier (1981) και οι Mercier et al. (1989). Οι Ten Veen and Postma (1998), θεωρούν τα ρήγματα διεύθυνσης B160A ως σχετικά πρόσφατα καθώς τέμνουν εκείνα με διεύθυνση B75A που είναι Πλειοκαινικής ηλικίας. Κατά το διάστημα του Πλειστοκαίνου, η δράση τεκτονικών δυνάμεων σε συνδυασμό με την τήξη των παγετώνων, οδήγησαν σε διακυμάνσεις της θαλάσσιας στάθμης (Δρακόπουλος κ.ά., 1983, Φυτρολάκης, 1980) και επακόλουθα στον σχηματισμό θαλάσσιων αναβαθμίδων (Τυρρήνιας ηλικίας).

Οι σύγχρονες αναδύσεις και καταβυθίσεις είναι εκείνες που λαμβάνουν χώρα κατά τους ιστορικούς χρόνους δηλαδή μετά τον 3ον αιώνα μ.Χ. (Φυτρολάκης, 1980). Πρώτος ο Spratt (1865) παρατήρησε ότι οι παλιές ακτογραμμές στην Δυτική Κρήτη βρίσκονται ψηλότερα από την θαλάσσια στάθμη και ότι στην Ανατολική Κρήτη εντοπίζονται σε διάφορες θέσεις υποβυθισμένα αρχαία κτίσματα. Με διάφορες έρευνες μεταξύ των οποίων και ραδιοχρονολογήσεις ο Hafemann (1960,1965) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ανύψωση στις δυτικές ακτές, άρχισε μετά τον 3ον αιώνα μ.Χ.. Ο ίδιος ερευνητής δέχεται μια καταβύθιση της τάξεως των 2 m, οφειλόμενη σε ευστατική ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης. Ακολούθησε μια τεκτονική ανύψωση στην Δυτική Κρήτη η οποία υπερέβη την προαναφερθείσα ευστατική ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης. Ανύψωση της ακτής στην Μονή Πρέβελη κατά 1.5 με 2 m, διαπιστώνει ο Ψαριανός (1961), αποδίδοντας της τοπικό χαρακτήρα. Ανύψωση της ακτής στην ανατολική πλευρά της χερσονήσου Γραμβούσας και καταβύθιση Τηγάνι - Μπάλου πιστοποιείται από τον Δερμιτζάκη (1972,1973). Κατά τον Φυτρολάκη,(1980) το δυτικό τμήμα του νησιού παρουσιάζει ανάδυση (με εξαιρέσεις κάποιες περιοχές) εν αντιθέσει με το ανατολικό που παρουσιάζεται να καταδύεται. Η παρατήρηση αυτή οδήγησε τον συγκεκριμένο ερευνητή στην θεώρηση ενός οριζόντιου άξονα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (Ηράκλειο-Τυμπάκι) (σχήμα 2.12). Η διαφοροποίηση στην φορά κίνησης των δύο τμημάτων οφείλεται στην υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας για το δυτικό τμήμα του νησιού (περιοχή ανάδυσης) και στα ρήγματα μετασχηματισμού (τάφροι Πλίνιου και Στράβωνα) για την καταβύθιση του ανατολικού τμήματος.

Περιοχή μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Κρήτης, αποτελεί μια ιδιαίτερη νεοτεκτονική δομή που αποτελείται από δύο ξεχωριστές μεταλπικές λεκάνες, αυτήν της Μεσσαράς στα νότια και του Ηρακλείου στα βόρεια, με διαφορετικούς προσανατολισμούς ανάπτυξης η κάθε μία. Μία παρατήρηση από παλαιότερους γεωλογικούς χάρτες, δορυφορικές εικόνες, αλλά και τη θέση της Κρήτης στο Ελληνικό τόξο, είναι ότι η λεκάνη της Μεσσαράς έχει πολύ γεωμετρική διάταξη, σχετίζεται με επιφανειακό εφελκυστικό πεδίο, το οποίο έχει εγκάρσια διεύθυνση σε σχέση με τη ζώνη υποβύθισης (Σχήμα 2.4). Θα μπορούσε να πρόκειται για μία συμμετρική λεκάνη με διεύθυνση Α-Δ, με ενεργά περιθωριακά ρήγματα ίδιας διεύθυνσης, που να διαχωρίζουν αλπικούς από μεταλπικούς σχηματισμούς, οι οποίοι να καλύπτουν ασύμφωνα το αλπικό υπόβαθρο στον ενδιάμεσο χώρο της λεκάνης.

Παρατηρώντας όμως καλύτερα φαίνεται ότι δεν ισχύει η υπόθεση της συμμετρικής λεκάνης, καθώς δε φαίνεται να υπάρχουν συνεχή περιθωριακά ρήγματα είτε στο βόρειο είτε στο νότιο περιθώριο. Μάλιστα, στα βόρεια της λεκάνης, η περιθωριακή ρηξιγενής ζώνη διακόπτεται απότομα και αντί ανάλογης τεκτονικής δομής, αναπτύσσεται με διεύθυνση Β-Ν , εγκάρσια σε αυτήν της Μεσσαράς, η λεκάνη του Ηρακλείου. Τα περιθώρια της τελευταίας δεν είναι ξεκάθαρα, ενώ συχνές είναι οι εμφανίσεις του αλπικού υποβάθρου στον ενδιάμεσο χώρο.

Ακόμη, στο νοτιοδυτικό άκρο της λεκάνης της Μεσσαράς εμφανίζονται μεταλπικά ιζήματα και εκτός του ιδεατού χώρου της νεοτεκτονικής λεκάνης, γεγονός που δημιουργεί προβληματισμούς ως προς την τοποθέτηση του νότιου περιθωρίου της. Στην ίδια περιοχή, φαίνεται ότι κυριαρχούν δομές με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, οι οποίες έχουν επηρεάσει τους μεταλπικούς σχηματισμούς, σε αντίθεση με τις μεγαλύτερες δομές διεύθυνσης Α-Δ, οι οποίες αποτυπώνονται στους σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου. Ανάλογων διευθύνσεων δομές φαίνεται

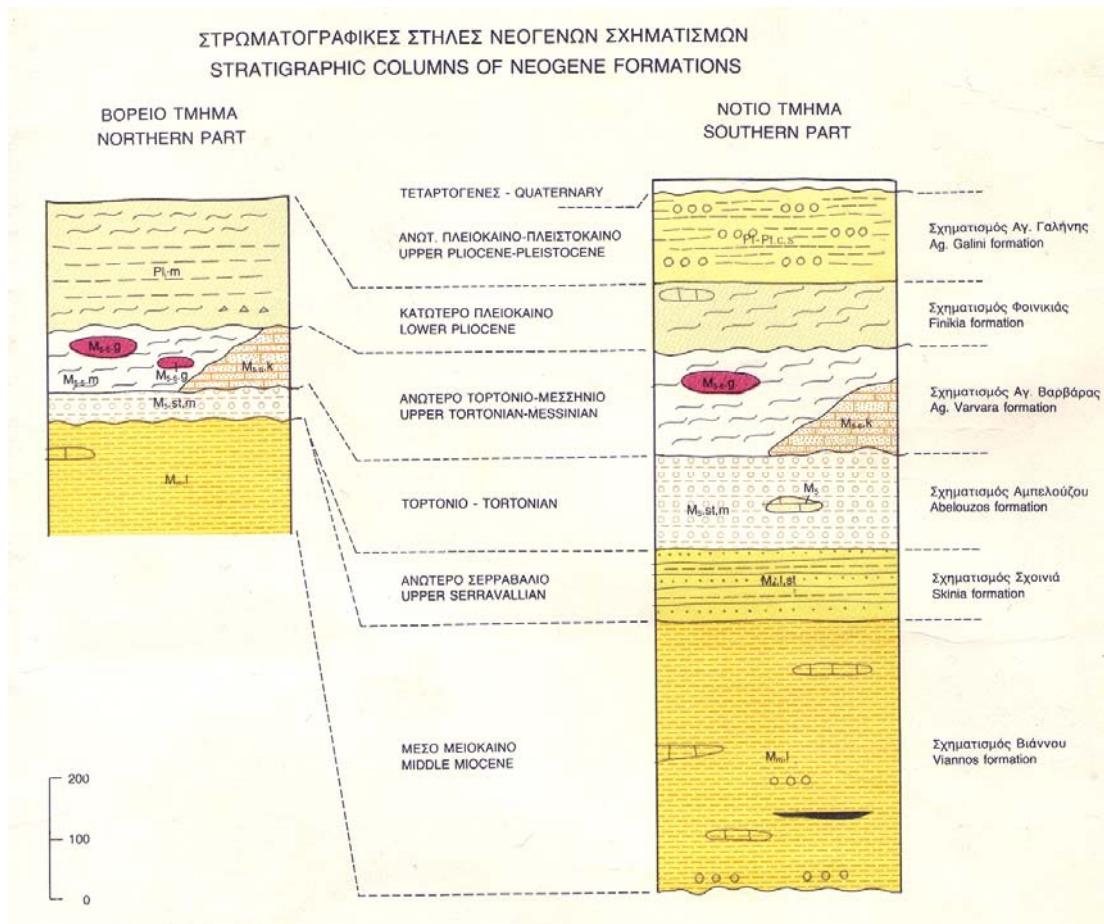
να συνυπάρχουν σε όλη την έκταση της λεκάνης, γεγονός το οποίο περιπλέκει τις σκέψεις σχετικά με τη χρονική ανάλυση της δράσης των ρηγμάτων που τις έχουν δημιουργήσει.

Τέλος, αυτό που θα μπορούσε να παρατηρηθεί, με βάση τη μορφολογία, είναι μια ενιαία υδρολογική λεκάνη στην περιοχή της Μεσσαράς, με διεύθυνση Α-Δ, να ξεκινάει από τα ανατολικά όρη του Λασιθίου και να καταλήγει στον όρμο της Μεσσαράς, στα δυτικά. Η ύπαρξη αυτής της μορφολογικής ιδιαιτερότητας είναι που διαφοροποιεί τη νότια περιοχή της κεντρικής Κρήτης από τις υπόλοιπες νότιες ακτές του νησιού, όπου η ροή των ποταμών γίνεται προς τα νότια. Σε αυτήν συμβάλλει και η ανάπτυξη των Αστερουσίων Ορέων, με γραμμική ανάπτυξη Α-Δ, τα οποία απομονώνουν την λεκάνη από το Λιβυκό πέλαγος.



Εικόνα 2.1: Κοιτώντας την περιοχή της λεκάνης Μεσσαράς, από μια ψευδοτριδιάστατη δορυφορική εικόνα (α) και από γεωλογικό χάρτη (Creutzburg, N. et al, 1977) (β).

Οι παχιές ακολουθίες ιζημάτων και ιζηματογενών πετρωμάτων έχουν συνοπτικά αποτυπωθεί στον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι ως ακολούθως (Σχήμα 2.13):



Σχήμα 2.13 : Υπόμνημα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι

(Επεξήγηση του Υπομνήματος του Γεωλογικού Χάρτη)

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Κώνιοι κορημάτων και πλευρικό κορήματα: λατύπες, κυρίως ανθρακικής σύστασης, ποικίλου μεγέθους, αναμεμιγμένες με ερυθρογή, χαλαρές και κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένες.

Αλλουβιακές αποθέσεις: χαλαρά, αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και υλικά ελουβιακού μανδύα.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ – ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Ποταμολιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, άμμοι, ιλυόλιθοι και τεφρο-κιτρινωπά αργιλικά στρώματα. αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού Αγ. Γαλήνης.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Ποτάμια αναβαθμίδες.

ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ (;)

Σχηματισμός Αγ. Γαλήνης: κυρίως ποτάμια και λιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, ερυθρές και κιτρινωπές άμμοι, ιλυόλιθοι και ερυθρές κιτρινωπές ή τεφρές ιλυώδεις άργιλοι, με μερικά στρώματα μαργαϊκών ασβεστολίθων.

ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Σχηματισμός Φοινικιάς: λευκές και ανοικτόφαιες μάργες, ομοιογενείς, συχνά ψαμμιτικές, με παρεμβολές φυλλωδών μαργών. Εξελίσσονται προς τα πάνω σε τεφρές ψαμμιτικές μάργες, καστανές άμμους και κατά θέσεις ασβεστιτικούς ψαμμίτες, κατά μήκος των περιθωρίων της λεκάνης Μεσσαρά. Η βάση του σχηματισμού τοπικά συνίσταται από ένα αδιαβάθμητο «μαργαϊκό λατυποπαγές», με συστατικά λευκών ομοιογενών μαργών, ασβεστολίθων και μαργών του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας, πρασινωπών αργίλων και προνεογενών πετρωμάτων.

Απολιθώματα:

Ostrea, Dentalium, Turritella, Natica, Conus, Murex, Trochus, Pecten, Flabellipecten, Amusium, Cardium, Venus, Lithothamnium, Corals, Bryozoa, Brachiopoda. Echinoidea

ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΟΡΤΟΝΙΟ-ΜΕΣΣΗΝΙΟ

Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας: βιοκλαστικοί, κατά θέσεις κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, υφαλώδεις ασβεστόλιθοι και ολισθημένοι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, εναλλαγές φυλλωδών και ομοιογενών συχνά ασβεστιτικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων, και γύψοι παρεμβαλλόμενοι στη σειρά των φυλλωδών-ομοιογενών μαργών. Στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού κοντά στην Άνω Άκρια, απαντούν ασβεστιτικοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.

Εντός του σχηματισμού παρεμβάλλονται βιοκλαστικοί και υφαλογενείς ασβεστόλιθοι, πλούσιοι σε *Chlypeaster, Pecten, Heterostegina, Bryozoa* και κατά θέσεις Κοράλλια.

Στις φυλλώδεις μάργες αφθονούν υπολείμματα ψαριών και φυτικά λείψανα, και στις ομοιογενής μάργες *Discospirina* sp.

Απολιθώματα:

TOPTONIO

Σχηματισμός Αμπελούζου: ακανόνιστες εναλλαγές από θαλάσσια, υφάλμυρα και ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθους, τεφροκύανες μάργες, ιλυώδεις άργιλους και λιγνίτες. Στα κατώτερα ή μεσαία μέλη του σχηματισμού εμφανίζονται θραύσματα υφάλων με Κοράλια, Φύκη και Υδρόζωα.

Απολιθώματα:

Planorbis, Neritina, Melanopsis, υλίο, Hydrobia, Terebralia, Ostrea, Crassostrea, Cerithium, Turritella, Natica, Conus, Heterostegina, Neogloboquadrina acostaensis (BLOW). *Globorotalia menardii* (PARKER, JONES & BRADY)

ΑΝΩΤΕΡΟ-ΜΕΣΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

Σχηματισμός Ηλία: λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή, αποτελούμενα κυρίως από λατύπες και κροκάλες προερχόμενες από σκούρους προνεογενείς ασβεστόλιθους. με ασβεστιτική συγκολλητική ύλη. Σε μερικές θέσεις, παρατηρείται σαφής στρώση που είναι αποτέλεσμα εναλλαγών είτε αδρομερών και λεπτομερών οριζόντων είτε ασβεστολιθικών και ψαμμιτικών στρωμάτων. Τα λατυποπαγή συχνά συνοδεύονται από σκούρα σώματα προνεογενών ασβεστολίθων που είτε αποτελούν τμήμα του προνεογενούς υποβάθρου (κατά θέσεις) είτε απαντούν σαν αλλόχθονα στοιχεία μέσα στη νεογενή σειρά

ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΕΡΡΑΒΑΛΙΟ

Σχηματισμός Σχοινιά: γενικά καλά στρωμένες σκούρες τεφρές ή πρασινοκύανες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι με παρεμβολές καστανόχρωμων ψαμμιτών. Το όριο με τον υποκείμενο σχηματισμό Βιάννου έχει τοποθετηθεί κατ' εκτίμηση στη βάση του κατώτερου θαλάσσιου στρώματος.

Απολιθώματα:

Turritella, Murex, Conus, Natica, Cardium, Pecten, Neogloboquadrina continua (BLOW)

ΜΕΣΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

Σχηματισμός Βιάννου: ποταμολιμναίες, σκούρες τεφρές έως πρασινωπές άργιλοι, γενικά καλά στρωμένες ιλυώδεις άργιλοι με λιγνίτη κατά θέσεις ή και ενστρώσεις ασβεστόλιθων και καστανόχρωμοι ψαμμίτες καλά διαβαθμισμένοι. Παρεμβολές πολύμικτων κροκαλοπαγών κυρίως στο κάτω τμήμα του σχηματισμού.

Απολιθώματα:

Planorbis, Neritina, Melanopsis, Brothia

Κεφάλαιο 3 Μεθοδολογία εργασίας

Στο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την κατασκευή των τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων των Νεογενών σχηματισμών της Κεντρικής Κρήτης. Σε πρώτη φάση θα επεξηγηθεί η διαδικασία της τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης με τις κύριες αρχές που τη διέπουν. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκοπησης με την οποία συλλέξαμε υπεδαφικά δεδομένα από την περιοχή μελέτης. Ακολούθως θα παρατεθούν τα αποτελέσματα της γεωλογικής χαρτογράφησης των επιφανειακών σχηματισμών. Κλείνοντας το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τη διαδικασία κατασκευής των τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων με τη χρήση του λογισμικού πακέτου Rockworks 2006.

3.1 Τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση (3D geological modelling) με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή άρχισε να εφαρμόζεται και να εξελίσσεται από και για τις ανάγκες του μεταλλευτικού κλάδου στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Η ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών έδωσε ώθηση στην εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων με την βοήθεια υπολογιστή (CAD - Computer Aided Design).

Η γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού (π.χ. SURPAC VISION, ROCKWORKS, lynx, DATA MINE, GOCAD κ.α.). Τα πακέτα αυτά έχουν έναν πυρήνα CAD εμπλουτισμένο με ειδικά εργαλεία και συναρτήσεις γεωμετρικής και χαρτογραφικής επεξεργασίας (τεκτονική ανάλυση, μοντελοποίηση ρηγμάτων, χαρτογραφικά συστήματα συντεταγμένων). Εκτός από το σχεδιαστικό πυρήνα, τα πακέτα αυτά συμπληρώνονται από τμήματα στατιστικής επεξεργασίας και γεωστατιστικής μοντελοποίησης για την εκτίμηση των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (γεωχημική σύσταση, μηχανικές ιδιότητες, περατότητα κ.ά.), από εξειδικευμένη βάση δεδομένων για

γεωτρήσεις (τυποποιημένο format σε όλα τα συστήματα), από χαρτογραφικό τμήμα, από ειδικό λογισμικό παρουσίασης (visualization).

3.1.1 Γεωμετρικό Μοντέλο

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση μιας γεωλογικής δομής μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό ομοίωμα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτού του μοντέλου είναι:

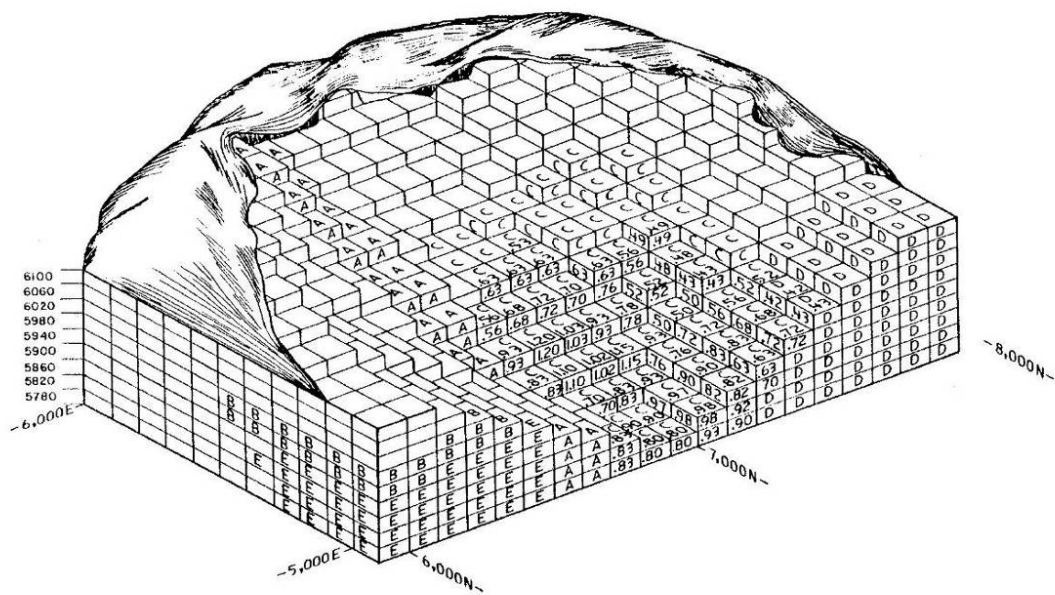
- Τοπογραφία
- Γεωλογική χαρτογράφηση επιφανείας
- Γεωλογικές τομές
- Στοιχεία γεωτρήσεων
- Γεωφυσικά στοιχεία
- Στοιχεία διαγραφιών σε γεωτρήσεις
- Στοιχεία στρωματογραφικά και τεκτονικά (στρωματογραφικές αλληλουχίες, χωρικά στοιχεία σχηματισμών, τεκτονικά στοιχεία κτλ.).
- Κάθε μορφής δεδομένα αναλύσεων και υπολογισμών (γεωχημικά, πετρογραφικά, μετρήσεων ή υπολογισμού διαπερατότητας κτλ)

3.1.2 Μοντέλο ιδιοτήτων

Τα γεωλογικά μοντέλα διαφοροποιούνται από τις περισσότερες βιομηχανικές CAD εφαρμογές επειδή εκτός από τη γεωμετρία πρέπει να αναπαριστούν και την κατανομή στο χώρο των ιδιοτήτων (διακριτών ή συνεχών) του γεωλογικού σχηματισμού που προσομοιώνουν. Οι διακυμάνσεις των συνεχών χαρακτηριστικών στο χώρο μοντελοποιούνται με το διαχωρισμό σε διακριτούς όγκους (κυψέλες) ομοιόμορφες ή και μεταβλητού μεγέθους. Στον όγκο κάθε κυψελίδας του χώρου η κατανομή των παραμέτρων θεωρείται ομογενής (Houlding 2000).

i. Κανονικά μοντέλα 3D σταθερού μπλοκ

Σε αυτήν την κατηγορία μοντέλων το γεωλογικό σώμα χωρίζεται σε κυψέλες ίσου όγκου και ίδιου σχήματος. Ο τρόπος αυτός επιτρέπει την εύκολη εκτίμηση της χωρικής κατανομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος από σημειακές μετρήσεις (π.χ. γεωτρήσεις) με τη χρήση μεθόδων μαθηματικής παρεμβολής και γεωστατιστικής (Kriging). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η χονδροειδής προσέγγιση της γεωμετρίας στα όρια του μοντέλου, σχετικά μεγάλος χώρος αποθήκευσης στον υπολογιστή και μέτρια αποτελέσματα σε περίπτωση ανομοιομερούς κατανομής των δειγμάτων.



Σχήμα 3.1: Προσομοίωση με τη μέθοδο κανονικού μοντέλου 3D σταθερού μπλοκ

ii. Κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ

Σε αυτά τα μοντέλα γειτονικά μπλοκ με ίδιες ιδιότητες ομαδοποιούνται σε ένα μεγαλύτερο μπλοκ, μειώνοντας σημαντικά τον απαιτούμενο χώρο αποθήκευσης σε σχέση με τα μοντέλα σταθερού μπλοκ. Τα μπλοκ έχουν ίδιο

σχήμα αλλά διαφορετικό όγκο. Επιπλέον επιτρέπουν την καλύτερη προσέγγιση της γεωμετρίας, επιλέγοντας μικρότερο μέγεθος μπλοκ στα όρια του μοντέλου.

iii. Μη κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ

Με αυτά τα μοντέλα τα γεωλογικά αντικείμενα διακριτοποιούνται με μπλοκ διαφορετικού όγκου και σχήματος και έτσι προσαρμόζονται καλύτερα στη διαφορετική πυκνότητα και είδος των διαθέσιμων στοιχείων (π.χ. γεωτρήσεις και γεωλογικές τομές). Η πιο συνηθισμένη υλοποίηση αυτής της προσέγγισης είναι η μέθοδος των διαδοχικών τομών. Με αυτήν ένα γεωλογικό σώμα κατασκευάζεται με τη σύνδεση διαδοχικών παράλληλων τομών. Η μέθοδος εφαρμόζεται περισσότερο για γεωμετρική μοντελοποίηση και λιγότερο για μοντέλο ιδιοτήτων, αφού προϋποθέτει ενιαίες ιδιότητες σε όλη την έκταση της τομής.

3.1.3 Εκτίμηση ιδιοτήτων

Ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία και το στάδιο της μελέτης επιλέγονται διάφοροι τρόποι εκτίμησης των ιδιοτήτων ώστε να δοθούν τιμές στα μπλοκ του μοντέλου.

Στο πρώτο στάδιο, πριν από την εκτίμηση των τιμών των μπλοκ, γίνεται στατιστική επεξεργασία των στοιχείων (μορφή κατανομής, μέσος όρος, διασπορά), έλεγχος για πιθανές τιμές εκτός των ορίων. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο για την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας, επειδή ορισμένες μέθοδοι απαιτούν συγκεκριμένες κατανομές των δεδομένων. Ακόμη τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που θα προκύψουν από την εκτίμηση πρέπει να είναι συγκρίσιμα με αυτά του αρχικού δείγματος.

Οι πιο απλές μέθοδοι εκτίμησης είναι αυτές του κοντινότερου δείγματος (nearest neighbor) και των πολυγώνων επίδρασης των γεωτρήσεων. Πιο σύνθετες μέθοδοι είναι η επιβάρυνση αντίστροφης απόστασης (Inverse Distance Weighting – IDW), που μειώνει την επίδραση των δειγμάτων στην

εκτιμώμενη τιμή ανάλογα με την απόστασή τους από το μπλοκ και η μέθοδος Kriging. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη γεωστατιστική δομική ανάλυση και προϋποθέτει την ύπαρξη αρκετών στοιχείων, για τον υπολογισμό της συνάρτησης του βαριόγραμματος που περιγράφει τη μεταβολή του συσχετισμού των στοιχείων στο χώρο. Το βαριόγραμμα είναι διανυσματική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των δειγμάτων. Σε περίπτωση που μπορεί να υπολογιστεί το τρισδιάστατο ελλειψοειδές των βαριόγραμμάτων, η μέθοδος Kriging δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και επιτυγχάνεται αξιόπιστη αναπαράσταση της τρισδιάστατης δομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος. Επιπλέον η μέθοδος παρέχει και τιμές του σφάλματος εκτίμησης, για καλύτερο έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων (Houlding W.S. 1994,2000, Καπαγερίδης Κ.Ι. 2006)

3.2 Μεθοδολογία Γεωφυσικής Έρευνας

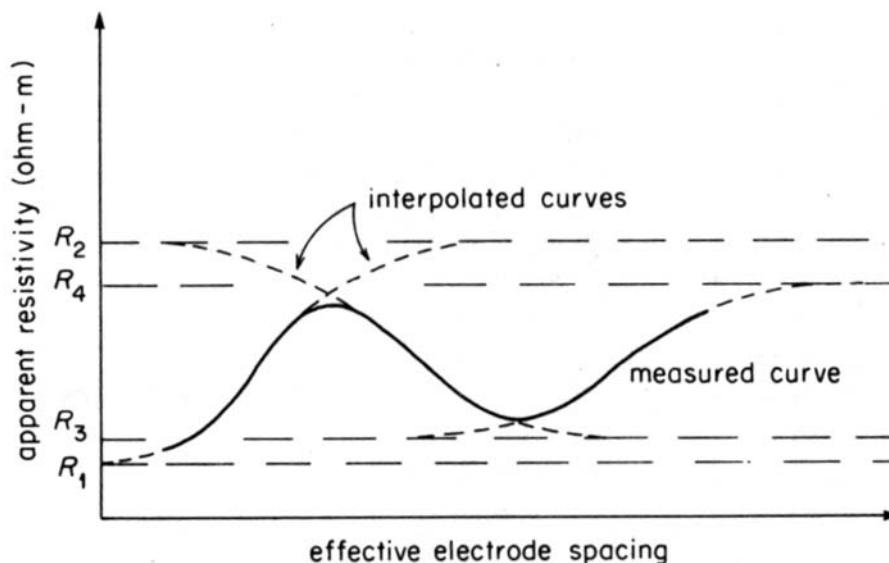
Η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου ηλεκτρικής αντίστασης, στην οποία μελετάται η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Απεικονίζει δηλαδή την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης κατά μία μόνο διάσταση, αυτή του βάθους, πράγμα το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με πληροφορίες από γεώτρηση. Στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση αντί του γεωφυσικού χάρτη, προκύπτει γράφημα της ειδικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους. Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, βασίζεται στις κατακόρυφες μεταβολές, με αποτέλεσμα τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων. Η βυθοσκόπηση είναι μία σχετικά γρήγορη και μικρού κόστους γεωηλεκτρική διασκόπηση η οποία επιτρέπει την εξαγωγή αξιόλογων συμπερασμάτων για την εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος.

3.2.1 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, προκύπτει από τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων.

Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση R_a σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή K . Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας συνεχώς την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος διαρέει μεγαλύτερα βάθη. Άρα, η ηλεκτρική αντίσταση των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επηρεάζει τη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Εναλλαγές, υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης, μπορεί να εμφανισθούν σε γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της απόστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος (σχήμα 3.2).

Ανάμεσα στις διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, η διάταξη Wenner είναι η λιγότερο κατάλληλη για τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (παρόλο που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά), λόγω της μετακίνησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων σε κάθε πρόσθετη μέτρηση. Αντίθετα στη διάταξη Schlumberger τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν στην ίδια θέση, και μόνο τα ηλεκτρόδια του ρεύματος μετακινούνται για κάθε επιπλέον μέτρηση. Τέλος, η διάταξη διπόλου–διπόλου, όπου τα ηλεκτρόδια ρεύματος παραμένουν σταθερά και μετακινούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού, είναι η πιο κατάλληλη για βαθιές βυθοσκοπήσεις.



Σχήμα 3.2: Γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής και της αντίστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος, για τον υπολογισμό εναλλασσόμενων υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης στρωμάτων, με τη βοήθεια της διάταξης Wenner. (Robinson, Coruh, 1988, σελ. 466).

3.2.2 Διαδικασία ηλεκτρικής βυθοσκόπησης

Η διαδικασία εκτέλεσης της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα, αναφερόμενα με σειρά προτεραιότητας.

Ορίζεται η ευθεία πάνω στην οποία θα γίνει η ανάπτυξη της γραμμής, η οποία πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν παράλληλα. Έτσι, ελέγχεται η περιοχή μελέτης πριν να ξεκινήσει η βυθοσκόπηση για την αποφυγή προβλημάτων όπως η ύπαρξη χειμάρρων, φαραγγιών, λόφων, οικημάτων, φρακτών κ.α.

Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται στο σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της Βυθοσκόπησης (Ο), το οποίο επιλέγεται ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής.

Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του σημείου Ο σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων Α, Β με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V . Στη συνέχεια τοποθετούνται

τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Η συνάρτηση μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ρ_a , με το βάθος σχεδιάζεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί κατά τη λήψη των μετρήσεων έτσι ώστε να ελέγχεται με ένα ακόμη τρόπο η αξιοπιστία των μετρήσεων.

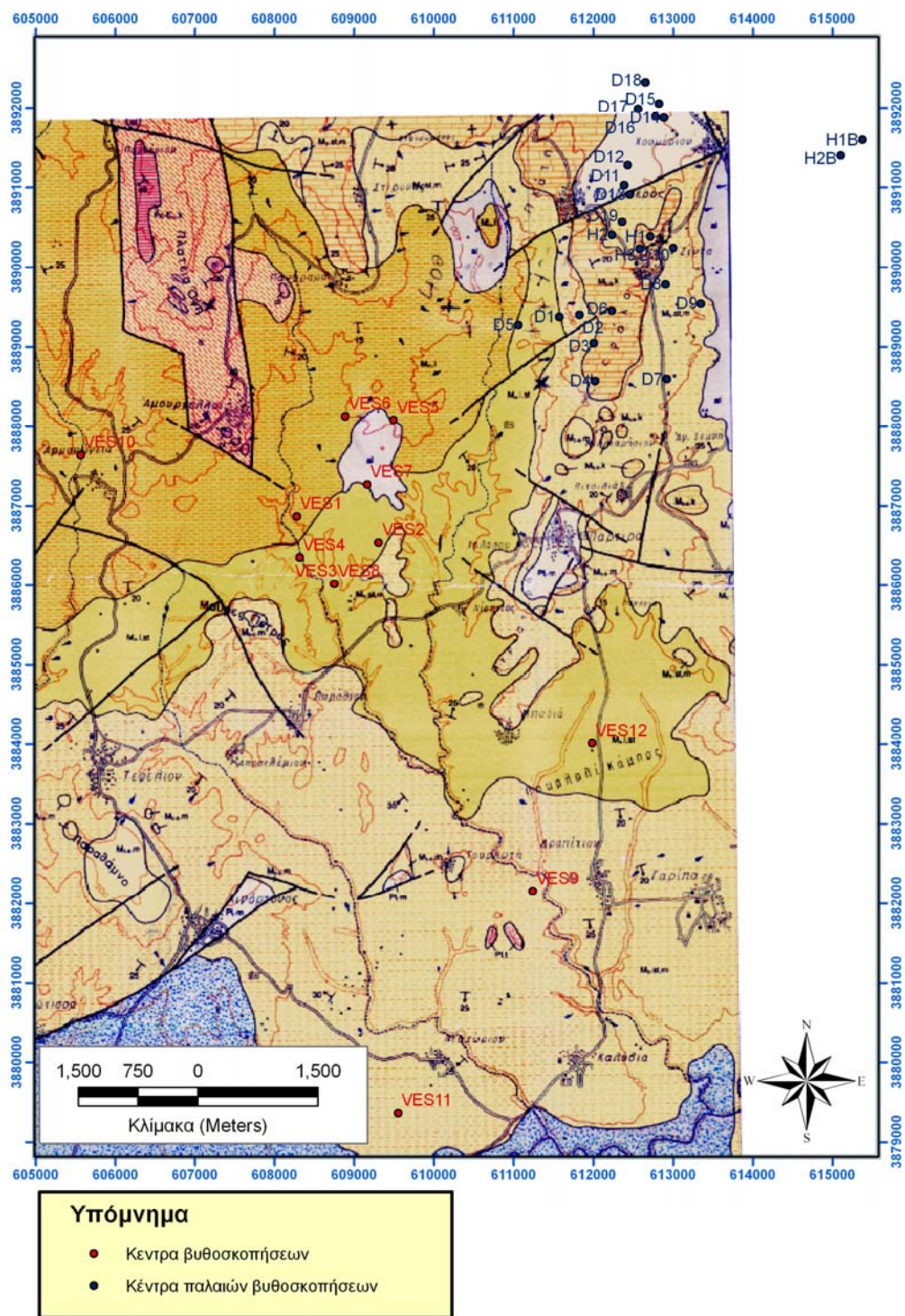
Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης $AB/2$, ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το 0,1 mV, η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του $MN/2$ και για το ίδιο $AB/2$ λαμβάνεται διπλή μέτρηση.

Το μέγιστο μήκος της ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος καθορίζεται από το αν έχει εντοπιστεί γεωηλεκτρικά το πέτρωμα που στόχο έχει η βυθοσκοπήση. Η κατάσταση αυτή διαπιστώνεται από την ανοδική ή την καθοδική πορεία της καμπύλης.

Η απόσταση του ημιαναπτύγματος $AB/2$ και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την μετέπειτα επεξεργασία τους

3.2.3 Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην περιοχή μελέτης

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής τον Ιούνιο του 2007 και το Απρίλιο του 2008, μια σειρά γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων με στόχο την ανάκτηση υπεδαφικών δεδομένων για την περιοχή. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 12 βυθοσκοπήσεις, εκ των οποίων οι 10 κρίθηκαν αξιόπιστες και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του τρισδιάστατου ψηφιακού γεωλογικού μοντέλου της περιοχής. Οι θέσεις των κέντρων των βυθοσκοπήσεων στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης φαίνονται στο επόμενο σχήμα (σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.3: Τα κέντρα των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων επί του γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης.

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται οι συντεταγμένες των βυθοσκοπήσεων, τα μέγιστα βάθη ανίχνευσης και το μέγιστο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων.

	Χ	Υ	Ζ	Βάθος	Ανάπτυγμα ηλεκτροδίων
VES 3	608750	3886018	301	215	1300
VES 4	608309	3886350	290	95	560
VES 5	609490	3888077	432	215	1300
VES 6	608882	3888124	414	215	1300
VES 7	609158	3887266	368	366	1220
VES 8 (1)	608747	3886018	287	330	2000
VES 8 (2)	608747	3886018	287	330	2000
VES 9	611236	3882155	200	106	1220
VES 10	605561	3887634	353	76	940
VES 11	609547	3879365	205	81	1220
VES 12	611984	3884013	273	110	2600

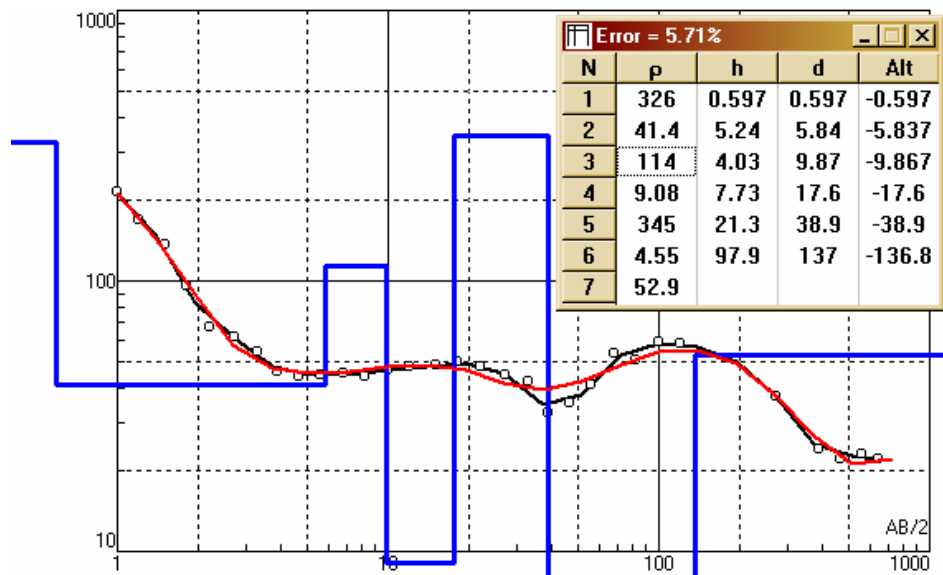
Πίνακας 3.1 Συντεταγμένες και βάθος ανίχνευσης γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων.

Τα αποτελέσματα των βυθοσκοπήσεων καθώς και η λιθολογική και στρωματογραφική συσχέτισή τους παρατίθεται στη συνέχεια.

VES - 3

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	0,6	326		
Μάργα	5,24	42	Ψαμμίτης	Σχοινιάς
Ψαμμίτης	4	114		
Μάργα - Άργιλος	7,73	9		
Ψαμμίτης	21,3	345		
Μάργα - Άργιλος	97,9	4	Μάργα	
Μάργα	78.2	52		

Πίνακας 3.2 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 3.

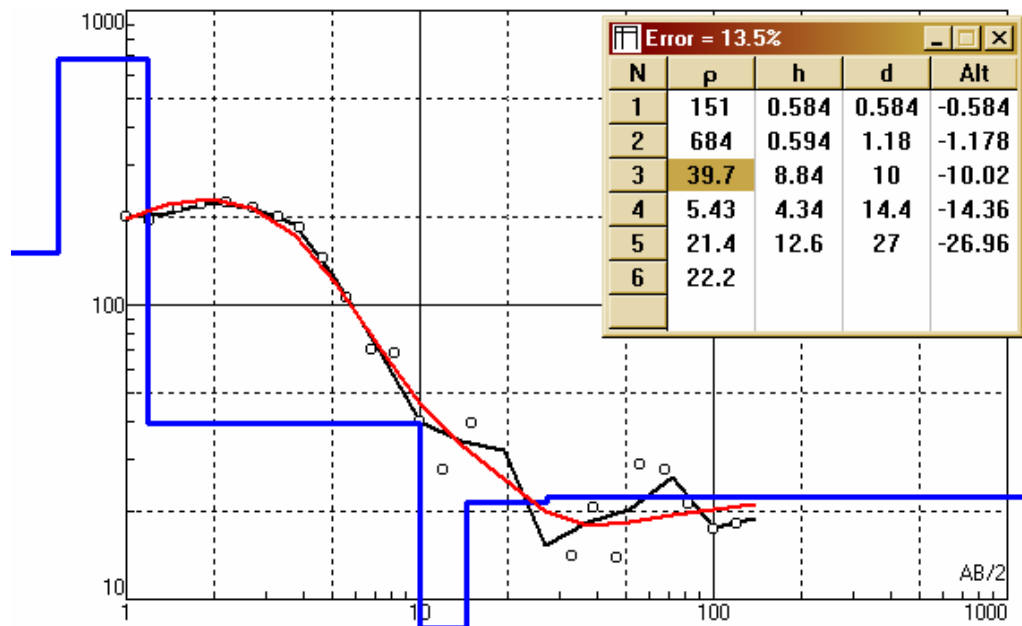


Σχήμα 3.4 : Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 3.

VES - 4

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	1,7	151-684		
Μάργα	8,8	40	Μάργα	Βιάννος
Μάργα - Αργίλος	4,34	5		
Μάργα	12,6	21		
Μάργα	67,6	22		

Πίνακας 3.3 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES -4.

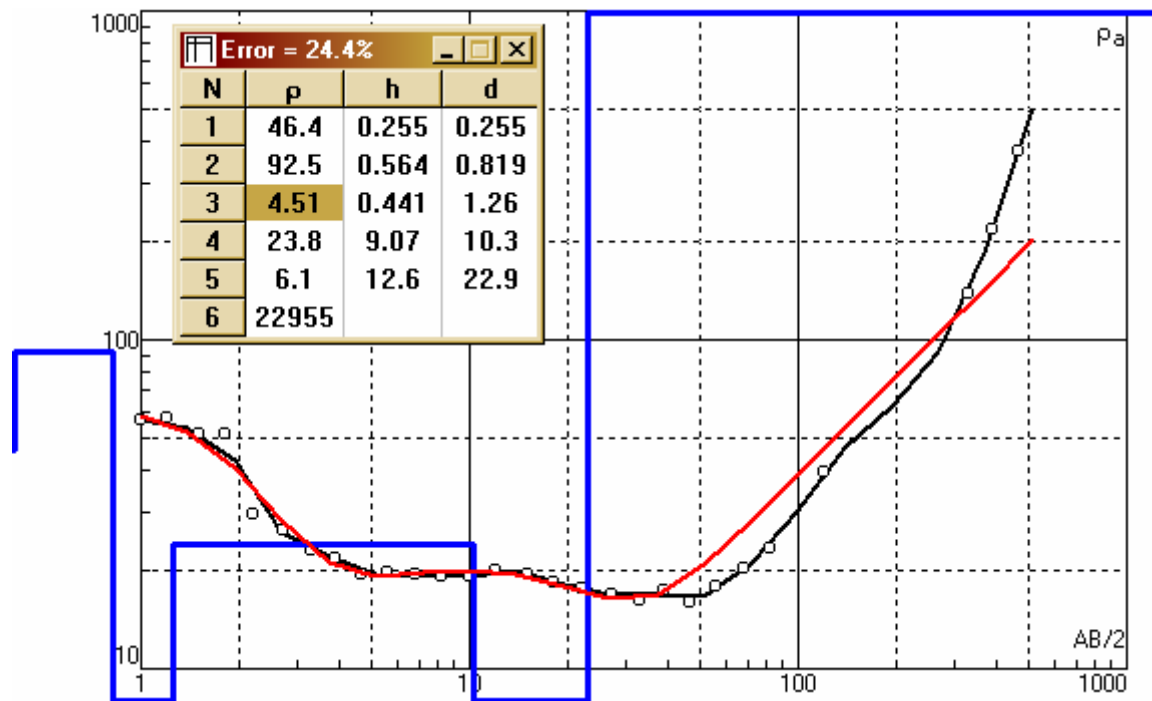


Σχήμα 3.5: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 4.

VES - 5

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	1.26	50	Μάργα	Βιάννος
Μάργα	9	23		
Μάργα - Άργιλος	12	6		
Ψαμμίτης	193	23000	Ψαμμίτης	

Πίνακας 3.4: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 5.

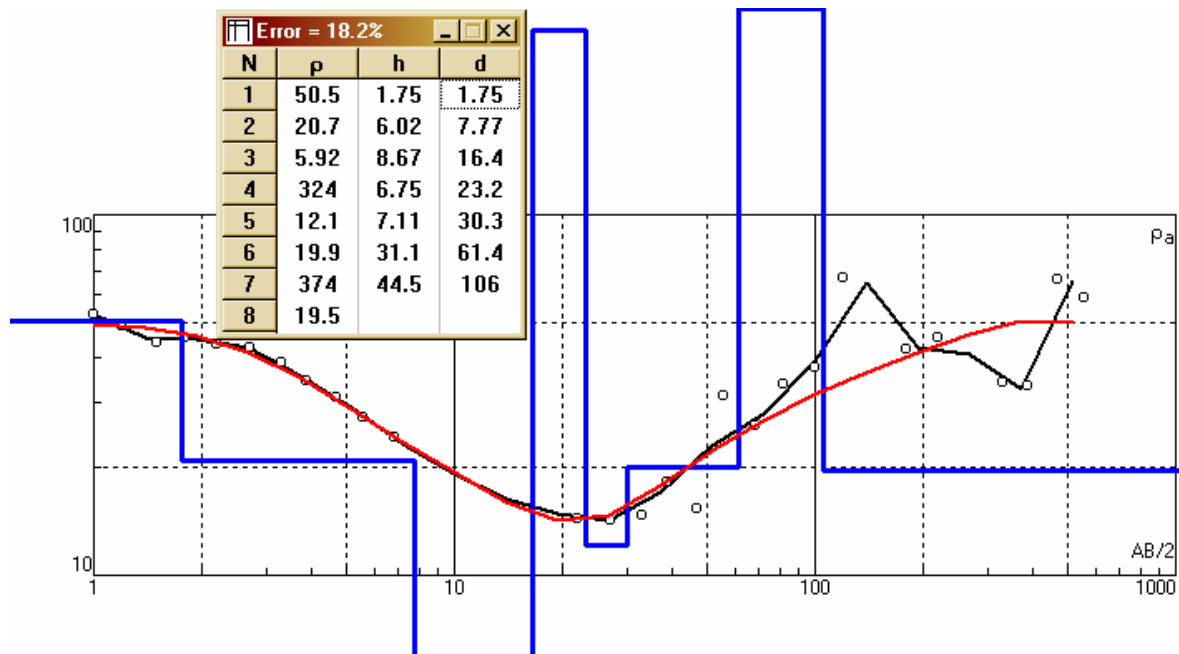


Σχήμα 3.6 Γεωηλεκτρική καμπύλη της βοθοσκοπικής VES – 5.

VES – 6

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	1.75	50		Βιάννος
Μάργα	14	15	Μάργα	
Ψαμμίτης	7	324	Ψαμμίτης	
Μάργα	38	15	Μάργα	
Ψαμμίτης	45	374	Ψαμμίτης	
Μάργα	109.25	20	Μάργα	

Πίνακας 3.5 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES – 6.

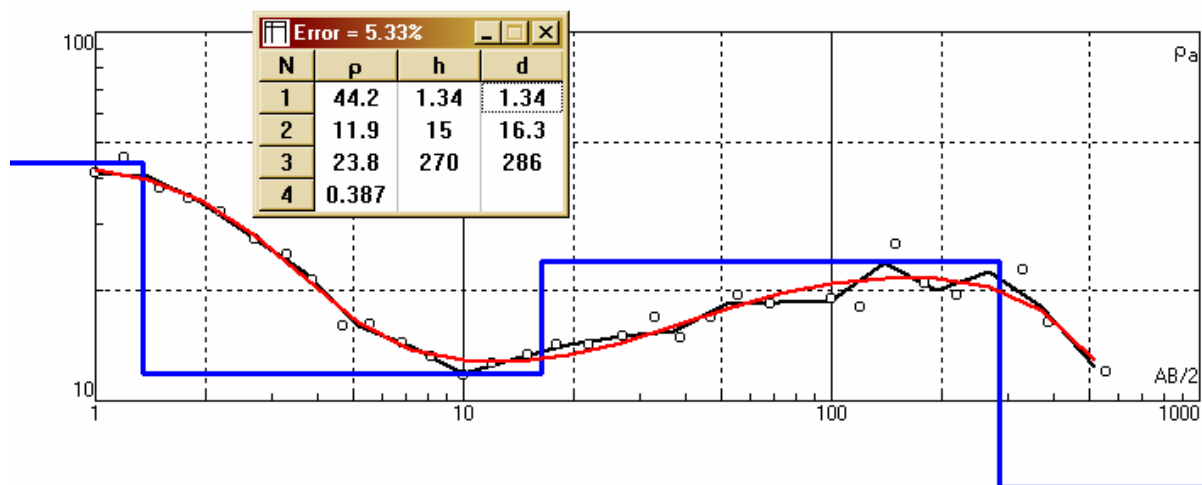


Σχήμα 3.7: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 6.

VES - 7

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	1.3	44		
Μάργα - Άργιλος	15	12	Μάργα	Σχοινιάς
Μάργα	270	24		
Μάργα - Άργιλος	79.7	0.4	Μάργα	Βιάννος

Πίνακας 3.6 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 7.

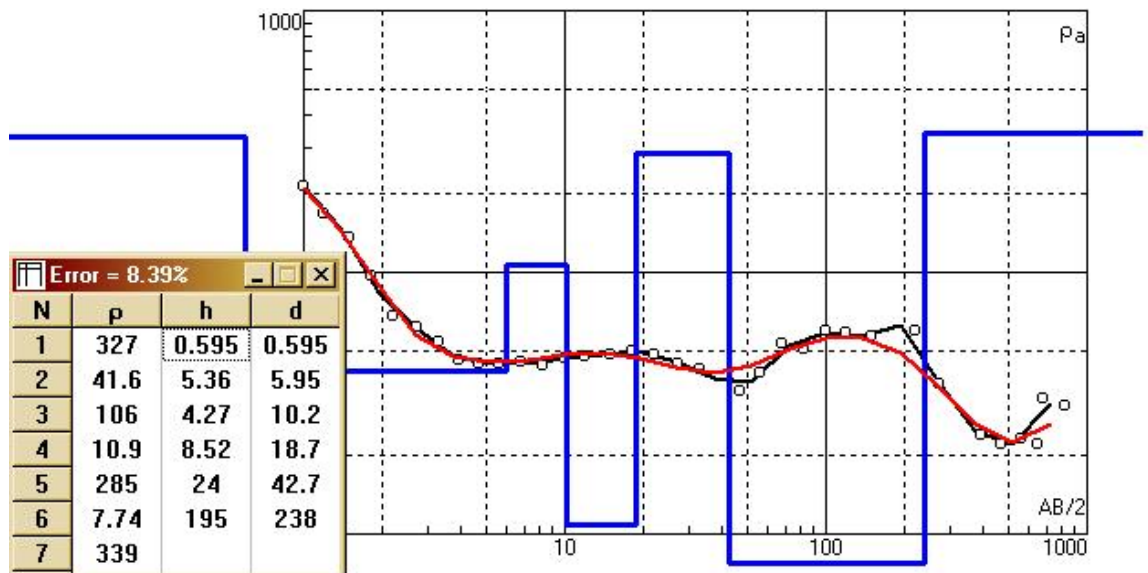


Σχήμα 3.8: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 7.

VES - 8 (1)

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	0.6	327		
Μάργα	5.5	42	Μάργα	Σχοινιάς
Ψαμμίτης	4.3	106		
Μάργα - Άργιλος	8.5	11		
Ψαμμίτης	24	285	Ψαμμίτης	Βιάννος
Μάργα - Άργιλος	195	8	Μάργα	
Ψαμμίτης	97.6	340	Ψαμμίτης	

Πίνακας 3.7: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 8.

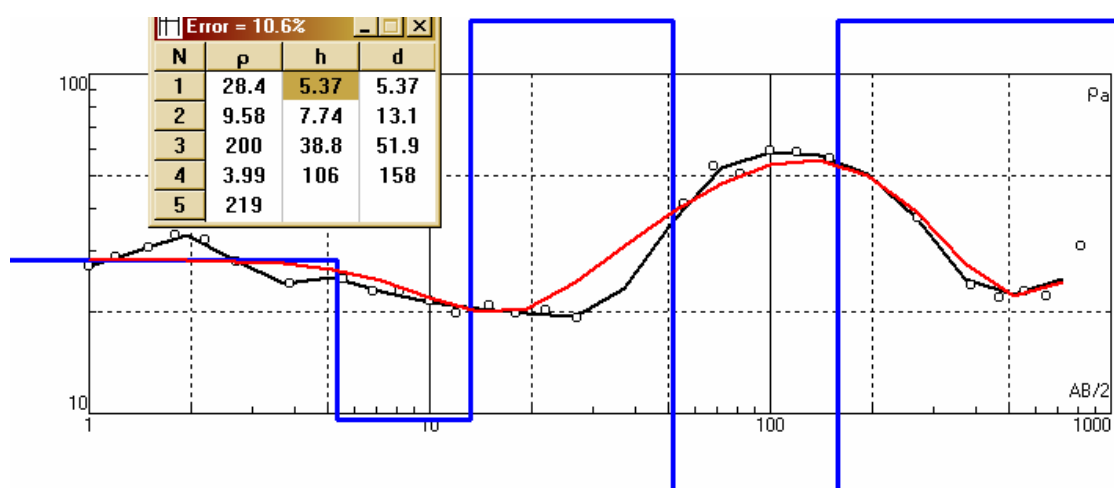


Σχήμα 3.9: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 8.

VES 8 - (2)

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Μάργα	5.4	28	Μάργα	Σχοινιάς
Μάργα - Άργιλος	7.7	10		
Ψαμμίτης	40	200	Ψαμμίτης	
Μάργα - Άργιλος	106	4	Μάργα	Βιάννος
Ψαμμίτης	170.9	220	Ψαμμίτης	

Πίνακας 3.8: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 8.

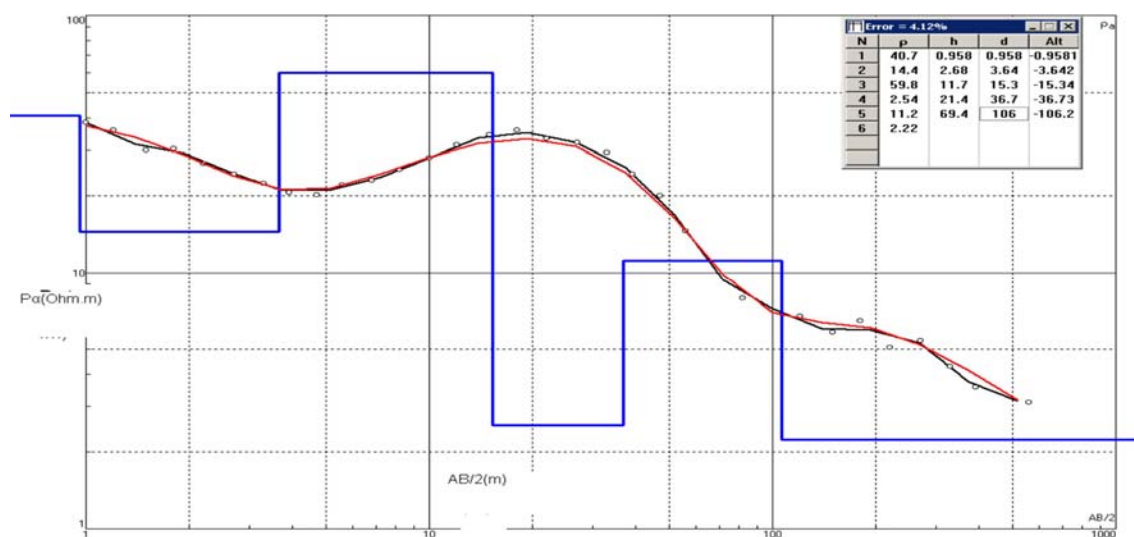


Σχήμα 3.10: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 8 (2).

VES - 9

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό Κάλυμμα	>1	40	Μάργα	Αμπελούζος
Μάργα - Άργιλος	2,5	14		
Μάργα	12	60	Ψαμμίτης	
Μάργα - Άργιλος	21	2,5	Μάργα	
Μάργα	70	11		

Πίνακας 3.9: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 9.

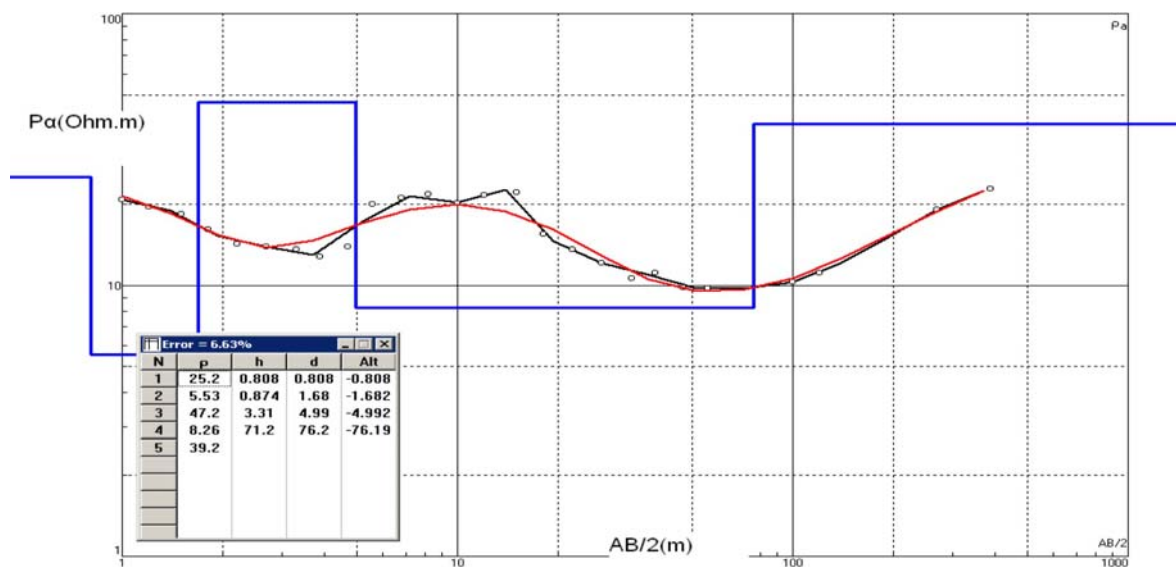


Σχήμα 3.11: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 9.

VES - 10

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό Κάλυμμα	>1	25	Μάργα	Βιάννος
Μάργα - Άργιλος	0,8	5		
Ψαμμίτης	3	47	Ψαμμίτης	
Μάργα - Άργιλος	71	8	Μάργα	

Πίνακας 3.10 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 10.

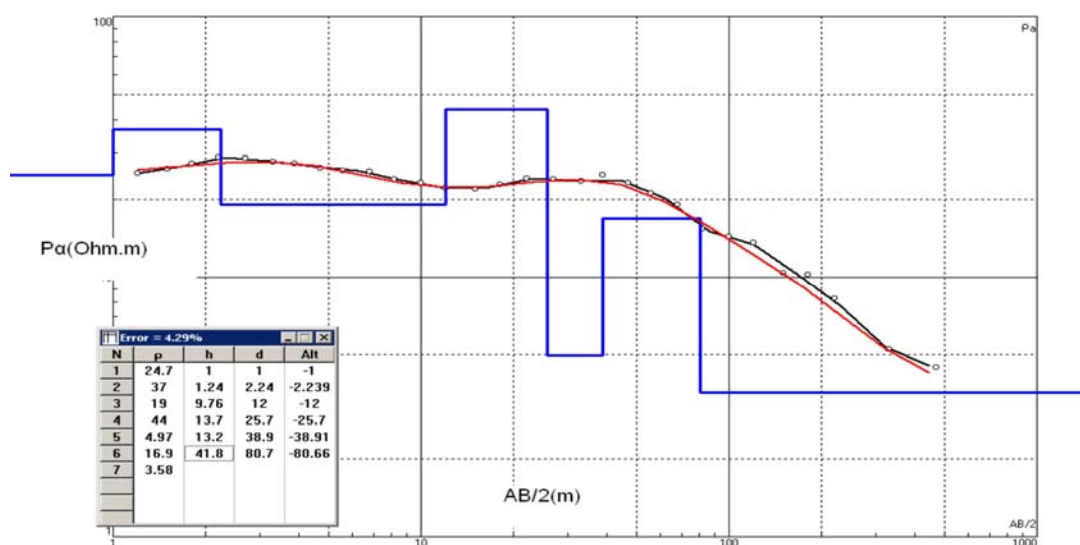


Σχήμα 3.12 Γεωηλεκτρική καμπύλη της βοήθσκοπησης VES - 10.

VES - 11

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό Κάλυμμα	>1	25	Μάργα	Αμπελούζος
Μάργα - Άργιλος	1	37		
Μάργα	3	20		
Μάργα - Άργιλος	14	44		
Μάργα	13	5		
Μάργα - Άργιλος	42	17		

Πίνακας 3.11: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 11.

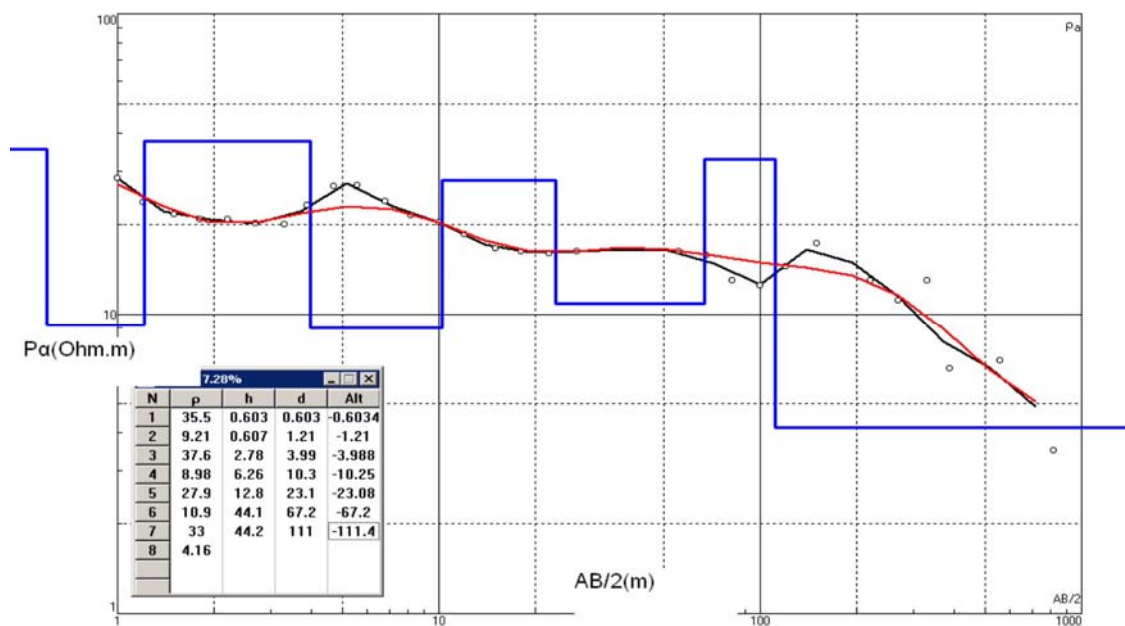


Σχήμα 3.13: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βυθοσκόπησης VES - 11.

VES 12

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση (Ωm)	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό Κάλυμμα	>1	35	Μάργα	Σχοινιάς
Μάργα - Άργιλος	3	38		
Άργιλος	6	9		
Μάργα - Άργιλος	13	28		
Άργιλος	44	11		
Μάργα	44	33		

Πίνακας 3.12: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 12.



Σχήμα 3.14: Γεωηλεκτρική καμπύλη της βοθοσκόπησης VES - 12.

3.3 Λεπτομερής επιφανειακή χαρτογράφηση

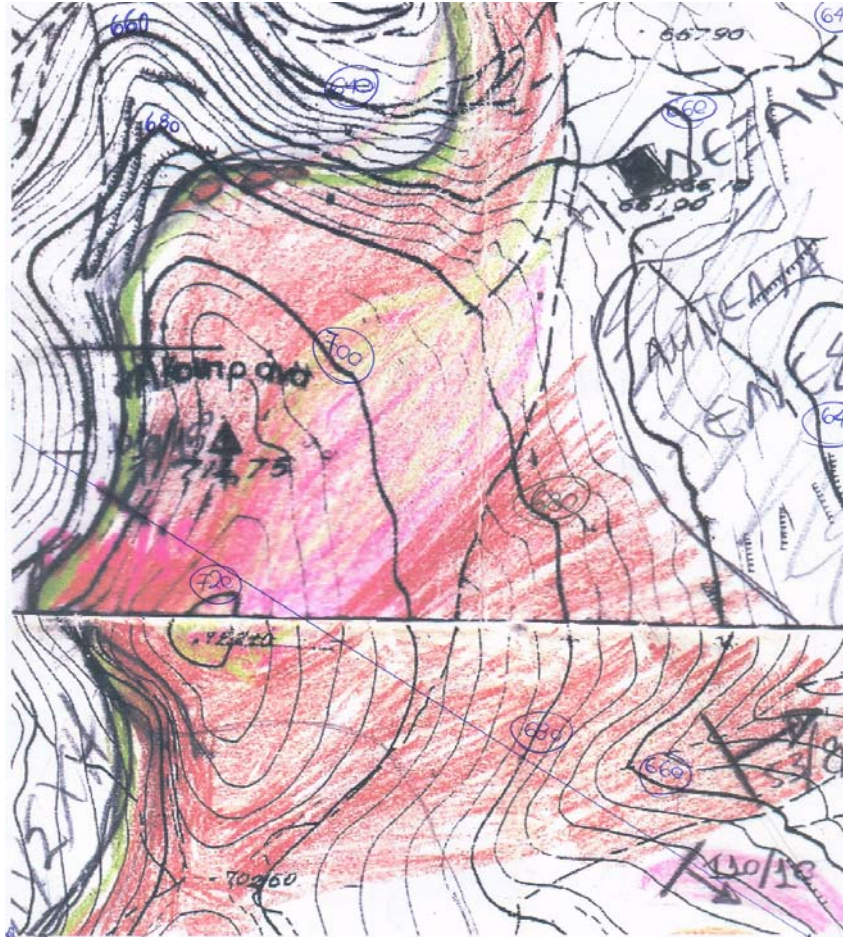
Για την επιφανειακή χαρτογράφηση η χρήση των δεδομένων που προκύπτουν από την περιγραφή των λιθολογιών των σχηματισμών είναι κατάλληλη για τις περιπτώσεις εκείνες που οι λιθολογικές διαφορές είναι έντονα διαφορετικές και ταυτόχρονα σημαντικές. Η χαρτογράφηση ιζημάτων χαμηλής διαπερατότητας, που είναι πλούσια σε οργανογενή πηλό και άργιλο και παρενστρωμένων ιζημάτων υψηλότερης διαπερατότητας όπως οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή, όπως στην προκείμενη περίπτωση, στηρίχθηκαν αρχικά στην καταγραφή και την επί χάρτου απεικόνιση των δεδομένων αυτών.

Το πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπισθεί κατά την λεπτομερή επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση ήταν ότι λόγω της λιθολογίας (μάργες) των Νεογενών σχηματισμών δημιουργήθηκε στην ευρύτερη περιοχή έντονη εδαφοκάλυψη. Ταυτόχρονα, στην περίπτωση διατήρησης των ψαμμιτικών τμημάτων σε συνδυασμό την τεκτονική δραστηριότητα δημιουργήθηκαν έντονα πρανή από τα οποία ήταν αδύνατη η δειγματοληψία. Όπως έχει αναφερθεί και στο ιζηματολογικό μοντέλο για την περιοχή οι σχηματισμοί Βιάννου και Σκοινιά αποτελούνται από ακολουθίες ψαμμιτών-μαργών χωρίς κάποιον ιδιαίτερο ορίζοντα αναφοράς. Η αρχική τους διαφοροποίηση έγινε στον υπάρχοντα γεωλογικό χάρτη μόνο με στρωματογραφικά κριτήρια. Τα υπάρχοντα όρια δεν είναι αναγνωρίσιμα στο πεδίο. Η έλλειψη δυνατότητας παλαιοντολογικού-στρωματογραφικού προσδιορισμού μας οδήγησε σε χαρτογραφική τακτική που στηρίχθηκε: α) σε συνδυασμό λιθολογικών-λιθοφασικών κριτηρίων, β) παρατηρήσεων-μετρήσεων και εκτός της περιοχής μελέτης, γ) άμεσο συσχετισμό με το ιζηματολογικό μοντέλο και δ) στην ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Πέραν όλων μέγιστη βοήθεια παρείχε για συγκριτική χαρτογράφηση η φυσική τομή 6 περίπου χιλιομέτρων μεταξύ των συνοικισμών Αρμανώγεια-Τεφέλη-Λιγόρτυνος.

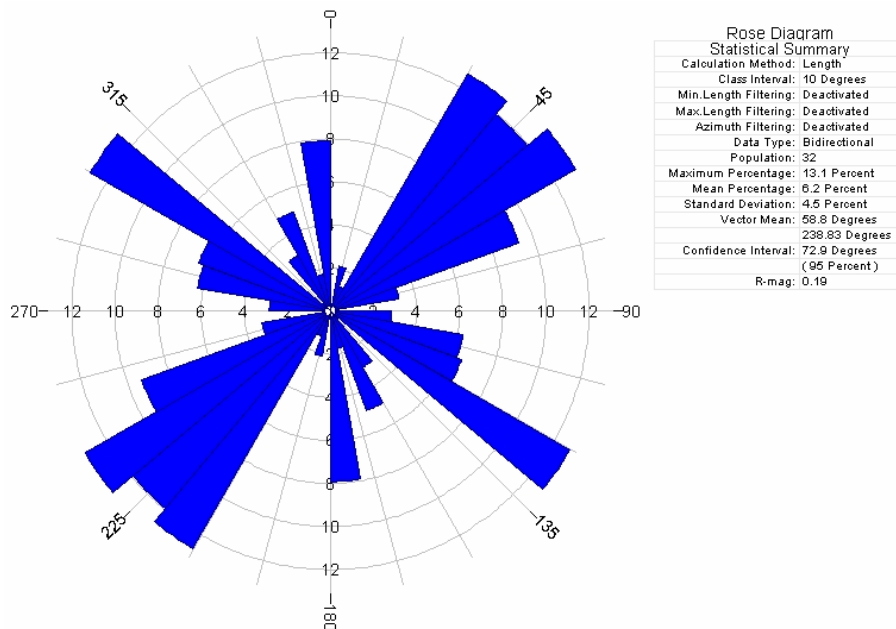
Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων από το πεδίο έγινε με τους κανόνες της κλασσικής γεωλογικής χαρτογράφησης. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, που συμπληρώθηκε από το σύνολο των υπαρχόντων για την περιοχή δεδομένων, οδήγησε στην τελική χαρτογραφική απεικόνιση και έγινε με την χρήση απόλυτων γεωμετρικών κανόνων. Τα περισσότερα δεδομένα της επιφανειακής γεωλογικής χαρτογράφησης είναι γεωμετρικού τύπου (παρατάξεις, κλίσεις) που καταγράφηκαν συστηματικά ύστερα από παρατηρήσεις και μετρήσεις. Δεν έλειψε όμως και η ανάλυση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων και πληροφοριών, όπου προσεγγίζονται και παρουσιάζεται το αποτέλεσμα από μακροχρόνιες, επάλληλες χωροχρονικές γεωλογικές διεργασίες, που απαιτούν και εμπεριέχουν ταυτόχρονα την ερμηνεία του ερευνητή-χαρτογράφου. Τα δεδομένα αυτά είναι η ερμηνεία ασαφών ορίων, είτε λόγω εδαφοκάλυψης είτε λόγω έλλειψης άλλων μετρήσιμων στοιχείων.

Για την γεωμετρική και χωρική προσέγγιση των επιφανειών ασυνεχειών (μικρά και μεγάλοι μήκους ρήγματα) που εμφανίζονται στην περιοχή συντάχθηκε ροδοδιάγραμμα στατιστικής επεξεργασίας. Η στατιστική επεξεργασία και απεικόνιση, έγινε με το πρόγραμμα «Rockworks 2006». Συνολικά έγιναν 32 μετρήσεις σε διάφορες θέσεις που απεικονίστηκαν στο επόμενο σχήμα 3.15 όπου και απεικονίζονται οι τρεις διαφορετικές διευθύνσεις ρηγμάτων.

Το σύνολο των ανωτέρω στοιχείων χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του αναλυτικού γεωλογικού χάρτη της περιοχής έρευνας βιοαερίου.



Εικόνα 3.1: Παράδειγμα αποτόπωσης επί χάρτου στοιχείων πεδίου κατά την διάρκεια της λεπτομερούς επιφανειακής γεωλογικής χαρτογράφησης



Σχήμα 3.15: Ροδοδιάγραμμα κατανομής των ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης.

3.4 Μεθοδολογία κατασκευής τρισδιάστατων ψηφιακών γεωλογικών μοντέλων της περιοχής μελέτης

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση μιας γεωλογικής δομής μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό ομοίωμα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της χωρικής χαρτογραφικής απεικόνισης (του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου μιας περιοχής) είναι τοπογραφικά δεδομένα, στοιχεία από την λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση επιφανείας, γεωλογικές τομές, γεωφυσικά στοιχεία, στοιχεία γεωτρήσεων και τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα για την περιοχή. Για την κατασκευή των ψηφιακών μοντέλων της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα στρωματογραφικά δεδομένα από τον υπάρχοντα γεωλογικό χάρτη της περιοχής καθώς και από τη λεπτομερή χαρτογράφηση επιφανείας, τα δεδομένα 8 ερευνητικών γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων (VES - 3 έως VES - 8), 5 εικονικές γεωτρήσεις σε διάφορες θέσεις εντός του χώρου μελέτης με λιθολογικά και στρωματογραφικά δεδομένα που προέκυψαν από εργασίες υπαίθρου καθώς και τοπογραφικά στοιχεία από 16 ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM - Digital Terrain Models) μαζί με τους αντίστοιχους ορθοφωτοχάρτες. Η κατασκευή των ψηφιακών γεωλογικών μοντέλων έγινε με τη χρήση του λογισμικού Rockworks 2006. Το λογισμικό Rock Works 2006 αποτελεί το εργαλείο αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης γεωλογικών χωρικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, το λογισμικό αυτό ειδικεύεται στην επεξεργασία γεωμετρικού τύπου επιφανειακών χαρτογραφικών δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών καθώς επίσης και στην δυνατότητα επεξεργασίας και απεικόνισης υποεπιφανειακών δεδομένων υπό μορφή γεωτρήσεων, τομών, επάλληλων τομών (fence diagrams), στερεών μοντέλων και χαρτών τόσο σε δισδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Οι κύριες επιφάνειες εργασίας του λογισμικού είναι η Borehole data manager και η Rock Ware Utilities.

Η Borehole data manager χρησιμεύει στην εισαγωγή δεδομένων γεωτρήσεων: γεωφυσικές / γεωτεχνικές / γεωχημικές μετρήσεις, στρωματογραφικές επαφές και λιθολογικές περιγραφές πυρήνων,

πιεζομετρικές επιφάνειες και διακλάσεις. Με τα δεδομένα αυτά κατασκευάζονται λιθολογικοί / στρωματογραφικοί χάρτες, απεικονίσεις χωροθέτησης γεωτρήσεων, ισοπληθείς χάρτες, τομές προς την επιθυμητή κάθε φορά διεύθυνση και τρισδιάστατα μοντέλα.

Η Rock Ware Utilities είναι ένα απλό φύλλο εισαγωγής δεδομένων παρόμοιο με τα φύλλα του MS Excel. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή χαρτών και τρισδιάστατων κατανομών από δεδομένα που δεν προέρχονται από γεωτρήσεις, όπως μετρήσεις υψομέτρων για την κατασκευή χαρτών ισοϋψών και τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφανείας (DEMs ή DTMs). Επιπλέον, περιέχει εργαλεία δημιουργίας στερεών μοντέλων, στατιστικής επεξεργασίας, δισδιάστατης και τρισδιάστατης ανάλυσης διαρρήξεων (ροδογράμματα, στερεοδιαγράμματα, χάρτες γραμμώσεων), υδρολογικών και υδρογεωλογικών διαγραμμάτων (διαγράμματα ροής, διαγράμματα Piper και Stiff).

3.4.1 Παράμετροι κατασκευής ψηφιακών γεωλογικών μοντέλων.

Για την κατασκευή των ψηφιακών γεωλογικών μοντέλων αρχικά δημιουργείται η βάση δεδομένων με τα γεωτρητικά δεδομένα μέσα από το μενού Borehole Manager. Για κάθε γεώτρηση συμπληρώνονται οι συντεταγμένες της κορυφής (κολάρο) της γεώτρησης (σχήμα 3.16) καθώς και η λιθολογία και η στρωματογραφία των σχηματισμών που διατρέχει (σχήμα 3.17)

Borehole Data Manager (12 boreholes)

Location Orientation Lithology Stratigraphy Intervals (I-Data)

Location Information

Required Fields

Name: AMR-3 Symbol: [Symbol]

Easting: 611,168.3502 Northing: 3,890,280.8799

Elevation: 400.0 Total Depth: 1,000.0

☐ Optional Fields

Σχήμα 3.16: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των γεωγραφικών στοιχείων για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά, στην καρτέλα Locations.

Borehole Data Manager (12 boreholes)

Location Orientation Lithology Stratigraphy Intervals (I-Data) Points (P-Data) Fractures

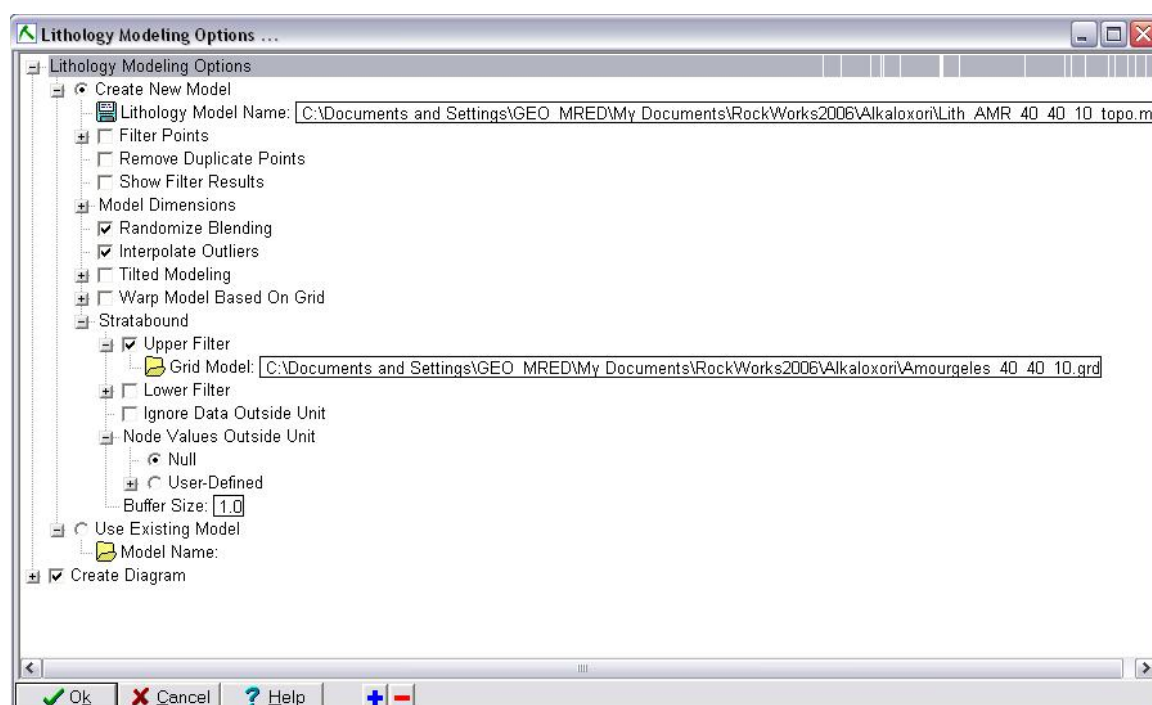
	Depth to Top	Depth to Base	Keyword	Comment
AMR-1	0.0	15.0	sandstone	Sxoinias
AMR-2	15.0	75.0	marls	
AMR-3	75.0	95.0	sandstone	
AMR-4	95.0	145.0	marls	
AMR-5	145.0	175.0	sandstone	Vianos
VES-3	175.0	245.0	marls	
VES-4	245.0	275.0	sandstone	
VES-5	275.0	345.0	marls	
VES-6	345.0	375.0	sandstone	
VES-7	375.0	445.0	marls	
VES-8 (1)	445.0	475.0	sandstone	
VES-8 (2)	475.0	545.0	marls	
	545.0	575.0	sandstone	
	575.0	645.0	marls	
	645.0	675.0	sandstone	
	675.0	745.0	marls	
	745.0	1,000.0	fluscl	Ypovathro

Σχήμα 3.17: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των λιθολογικών στοιχείων τους στην καρτέλα Lithology.

Για την κατασκευή του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής χρησιμοποιείται το μενού Utilities. Εισάγουμε το αρχείο ASCII με τα στοιχεία ανάγλυφου της περιοχής που συνοδεύουν τους ορθοφωτοχάρτες και με την εντολή Maps → Grid Based Maps κατασκευάσαμε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) της περιοχής μελέτης.

3.4.1.1 Κατασκευή λιθολογικών μοντέλων

Το λογισμικό Rockworks 2006 έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα από τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν ορισθεί μέσω της υποσελίδας Borehole Manager, με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου. Για την δημιουργία του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου επιλέγουμε από το μενού εντολών διαδοχικά Lithology → Model. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 3.18 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου.



Σχήμα 3.18: Το παράθυρο ρυθμίσεων για την δημιουργία τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων.

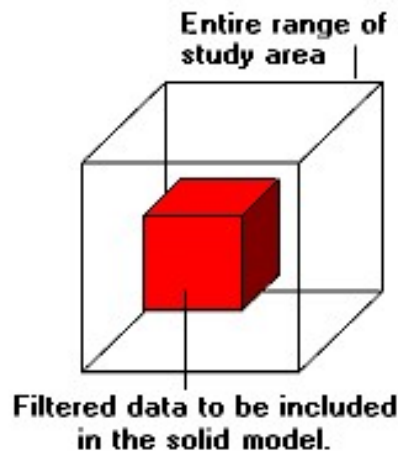
Αναλυτικότερα, η ρύθμιση των παραμέτρων δημιουργίας λιθολογικών μοντέλων περιγράφεται στη συνέχεια:

Lithology Modeling Options: Αρχικά ορίζεται εάν θα χρησιμοποιηθεί ένα υπάρχον λιθολογικό μοντέλο ή εάν θα δημιουργηθεί ένα καινούργιο. (Εάν υπάρχει ήδη ένα λιθολογικό μοντέλο, η δημιουργία διαφορετικού είδους τομής, όπως για παράδειγμα μιας τομής «φράχτη», απλοποιείται σημαντικά αφού δεν είναι αναγκαία η δημιουργία ξανά αρχικού μοντέλου. Το υπάρχον μοντέλο έχει τις ίδιες ιδιότητες οπότε δεν χρειάζεται να δημιουργηθεί ξανά.)

Create new model: Επιλέγεται για τη δημιουργία νέου μοντέλου και δίνει πρόσβαση στις ακόλουθες μετρήσεις:

Lithology Model Name: Στο πεδίο αυτό εισάγεται ένα όνομα για το λιθολογικό μοντέλο. Τα λιθολογικά μοντέλα έχουν πάντα κατάληξη .mod

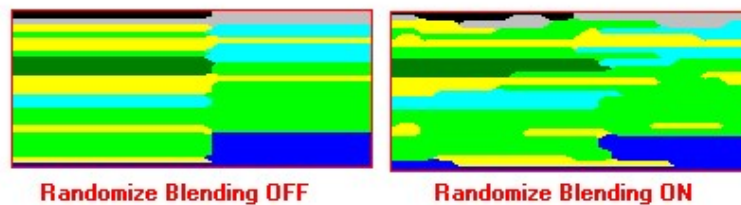
Filter Points: Η επιλογή αυτή φιλτράρει, βάσει κάποιου περιορισμού που θέτει ο χρήστης, δεδομένα που βασίζονται στις συντεταγμένες X,Y,Z ούτως ώστε να περιοριστούν οι διαστάσεις του μοντέλου που θα δημιουργηθεί.



Σχήμα 3.19: Το αποτέλεσμα της εντολής Filter Points

Model Dimensions: Από αυτό το πεδίο ορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου. Καθορίζουν τα όρια του καθώς και τον αριθμό των κόμβων για το στερεό μοντέλο. Με την επιλογή Hardware Project Dimensions ως διαστάσεις του μοντέλου ορίζονται οι διαστάσεις που υπάρχουν στο μενού Project Dimensions. Με την επιλογή Adjust Project Dimensions, εισάγονται χειροκίνητα οι διαστάσεις του μοντέλου. Εισάγοντας και την επιλογή Confirm Dimensions θα εμφανιστεί παράθυρο διαλόγου πριν αρχίσει η μοντελοποίηση, για πιθανές αλλαγές στις διαστάσεις του μοντέλου.

Randomize Blending: Η επιλογή αυτή εξομαλύνει τις απότομες αλλαγές στη λιθολογία.



Σχήμα 3.20: Η επίδραση της εντολής Randomize Blending

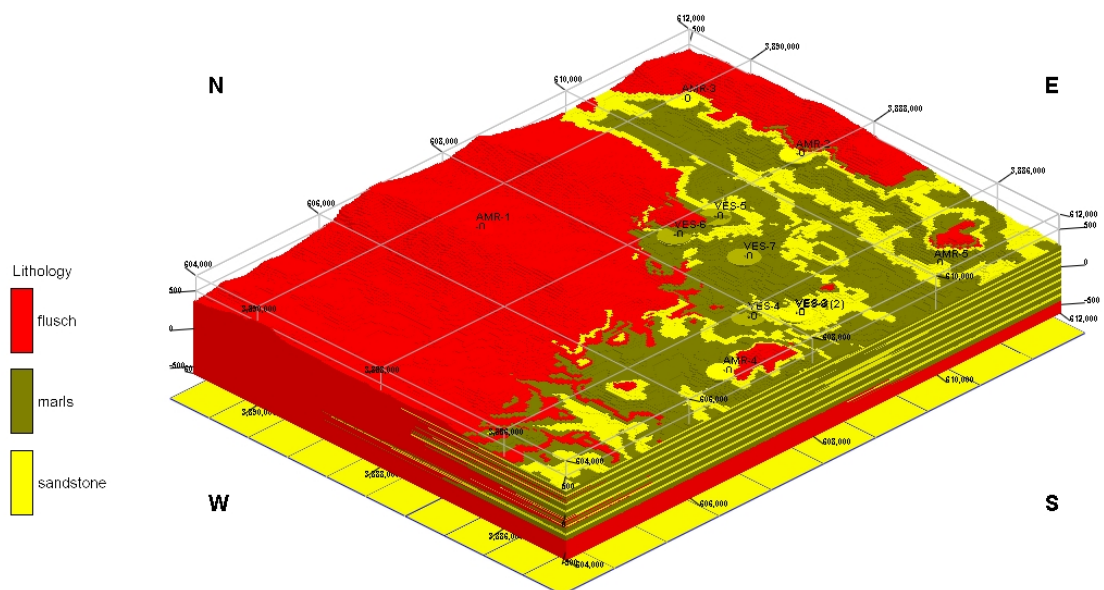
Interpolate Outliers: Αν επιλεγθεί, το πρόγραμμα θα προσδιορίσει λιθολογικούς τύπους για όλους τους κόμβους, ασχέτως της απόστασής τους από μία γεώτρηση. Αν δεν επιλεγθεί, οι απομακρυσμένοι αυτοί κόμβοι, θα έχουν τιμή 0 για λιθολογικό τύπο.

Stratabound: Η επιλογή αυτή «περιορίζει» το στερεό μοντέλο από μία ανώτερη ή κατώτερη επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι μόνο οι κόμβοι που βρίσκονται μεταξύ προκαθορισμένων επιφανειών θα συνυπολογιστούν. Η ανώτερη επιφάνεια μπορεί να είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο ή κάποιο άλλο επίπεδο. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τους κατάλληλους χάρτες πλέγματος (grid map) για να ορίσουν την άνω και κάτω επιφάνεια περιορισμού.

Use Existing Model: Από αυτό το πεδίο επιλέγεται ένα ήδη υπάρχον λιθολογικό μοντέλο το οποίο θα έχει την κατάληξη .mod.

Lithology Legend: Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό εισάγεται στο προφίλ υπόμνημα που περιλαμβάνει τους λιθολογικούς τύπους με τα σχέδια και το χρωματισμό τους ακριβώς όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.

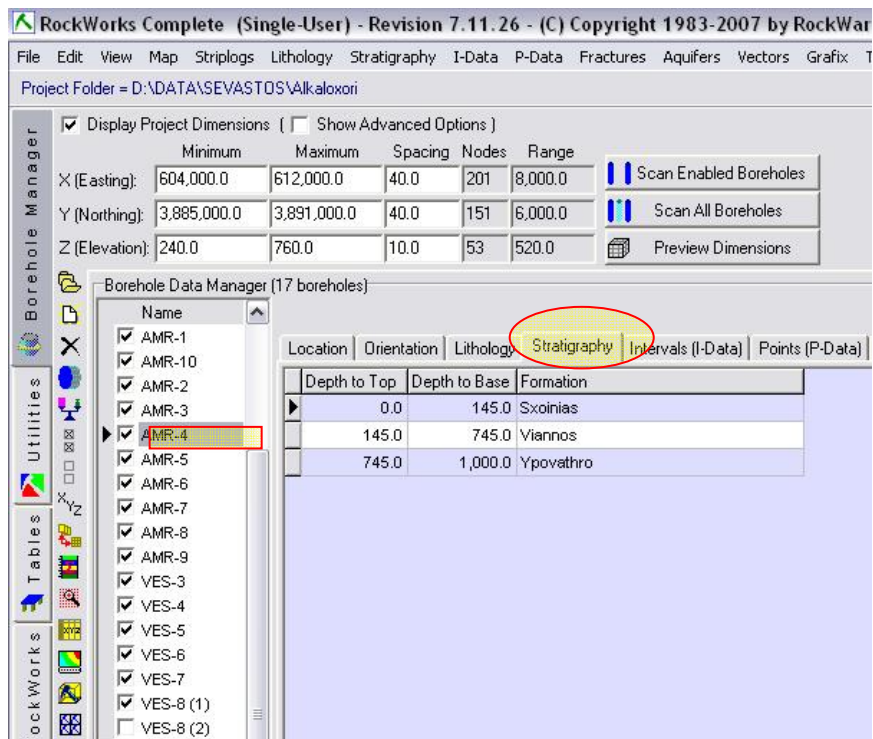
Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η τρισδιάστατη (χωρική) χαρτογραφική απεικόνιση της αρχικής περιοχής μελέτης, δηλαδή του δημοτικού διαμερίσματος Πανοράματος-Παρτίρων



Σχήμα 3.21: Τρισδιάστατη (χωρική) χαρτογραφική απεικόνιση της αρχικής περιοχής μελέτης

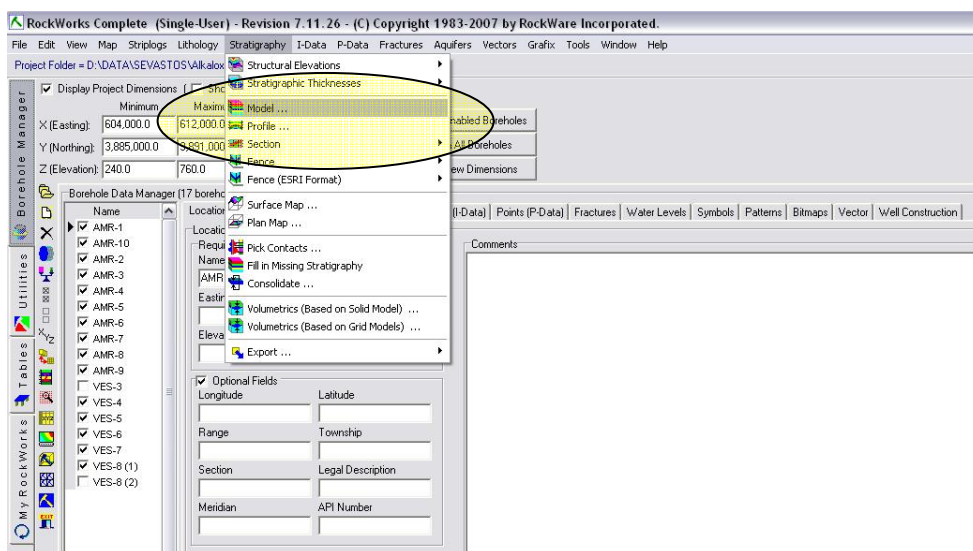
3.4.1.2 Κατασκευή στρωματογραφικών μοντέλων

Το Rockworks 2006 έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα στρωματογραφικά μοντέλα από τα δεδομένα γεωτρήσεων και γεωφυσικών διασκοπήσεων, με τη προϋπόθεση ότι αυτά προηγουμένως έχουν ορισθεί μέσω του μενού Stratigraphy της υποσελίδας Borehole Manager, με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου.

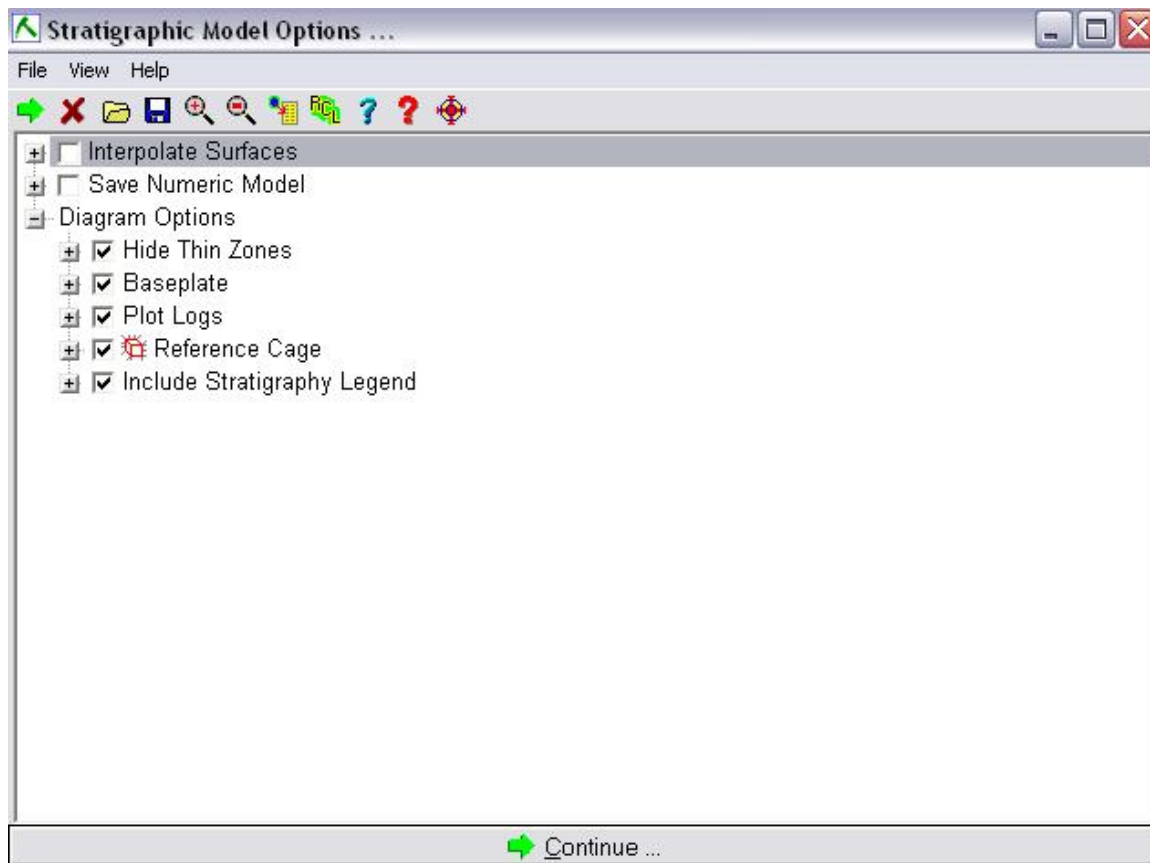


Σχήμα 3.22 Ορισμός των στρωματογραφικών ενοτήτων ανά γεώτρηση που θα απαρτίσουν το τελικό στρωματογραφικό μοντέλο

Για την δημιουργία του τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου επιλέγουμε από το μενού εντολών διαδοχικά Stratigraphy → Model. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 3.23 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του μοντέλου.



Σχήμα 3.23: Επιλογή διαδρομής της υποσελίδας Borehole Manager για τη κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου

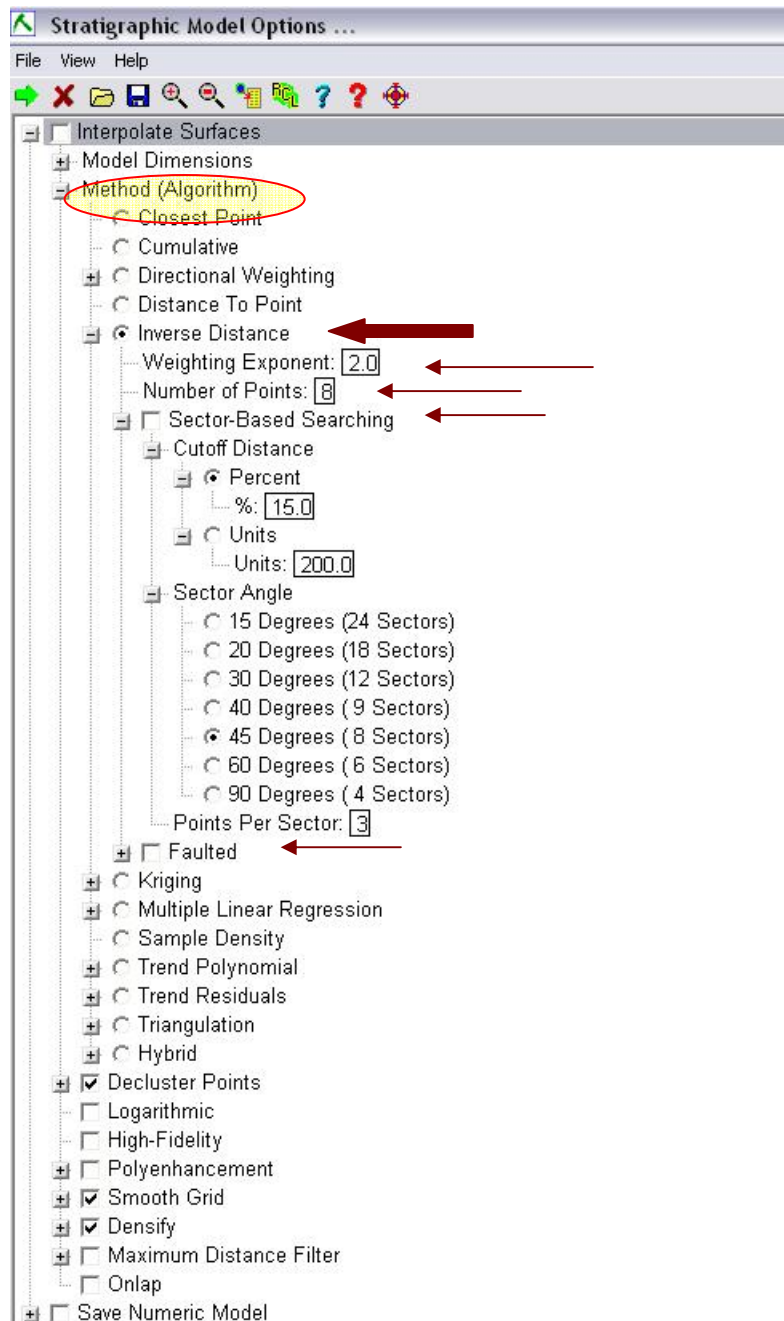


Σχήμα 3.24: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου

Αρχικά απενεργοποιήθηκε απ' το μενού του Borehole Manager η γεώτρηση VES-3 καθώς γειτνίαζε με την VES-8 οπότε τα δεδομένα για την θέση κάλυψης ήταν επαρκή.

Στη συνέχεια οι ρυθμίσεις που επιλεχθήκαν για την δημιουργία του μοντέλου είναι οι ακόλουθες :

Ο Αλγόριθμος **Inverse Distance, weighting exp=2, #of points = 8, No sector searching, No fault.**

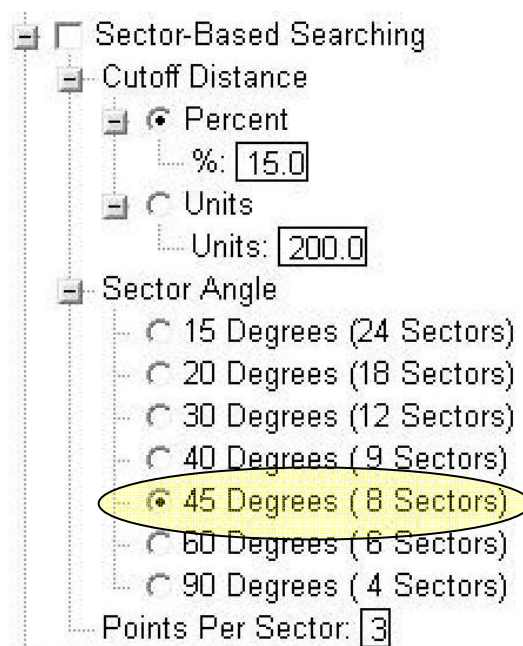


Σχήμα 3.25: Το παράθυρο επιλογών με εκτεταμένες τις ρυθμίσεις του αλγορίθμου χρήσης

Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας από τους απλούστερους και πιο αξιόπιστους αλγορίθμους για την εκτίμηση μιας τιμής σε σημεία που δεν υπάρχει μέτρηση. Στο σημείο που ζητείται η τιμή αντιστοιχείται ένας «σταθμισμένος» μέσος όρος όλων των τιμών που είναι γνωστές ή ο μέσος όρος τιμών γειτονικών σημείων σε ορισμένη διεύθυνση. Οι τιμές που είναι γνωστές «σταθμίζονται» σύμφωνα με το αντίστροφο της απόστασής τους από το σημείο το οποίο θέλουμε να υπολογιστεί, υψωμένη σε μια δύναμη που ορίζεται από το χρήστη. Όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη τόσο μικρότερη επιρροή έχουν τα πιο απομακρυσμένα σημεία στην υπολογιζόμενη τιμή. Ο

εκθέτης καθορίζει πόσο «τοπική» ή πόσο «γενικευμένη» θα είναι η εκτίμηση. Οι προτεινόμενες τιμές για τον εκθέτη είναι μεταξύ 2 και 3 και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνά το 5.

Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα ο χρήστης να υποδείξει στον αλγόριθμο να ψάξει σε συγκεκριμένους τομείς ορισμένου εύρους, για να βρει γειτονικές τιμές για τον υπολογισμό της άγνωστης τιμής. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το πεδίο Sector - based searching. Το εύρος του τομέα ορίζεται από τον χρήστη. Αυτό το είδος κατευθυντικής έρευνας μπορεί να βελτιώσει την εκτίμηση της άγνωστης τιμής σε περιοχές που έχουμε συγκεντρώσεις γνωστών τιμών. Επίσης αυξάνει το χρόνο επεξεργασίας.



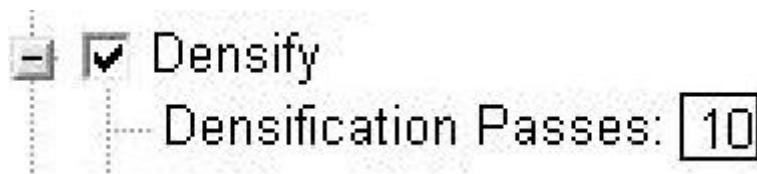
Σχήμα 3.26: Ρύθμιση «κατευθυντικής» έρευνας για την εκτίμηση σημείων με ανεπαρκή δεδομένα.

Στα πεδία **Sector Angle** επιλέγεται το εύρος της γωνίας του τομέα έρευνας ενώ στο πεδίο Points per Sector ορίζεται πόσα σημεία θα επιλεχθούν από τον τομέα για την εκτίμηση.

Decluster on, res 250. Η εντολή αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν συγκεντρώσεις σημείων ή διπλά σημεία. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζει έναν κানাβο στα δεδομένα σύμφωνα με τη ανάλυση (resolution)

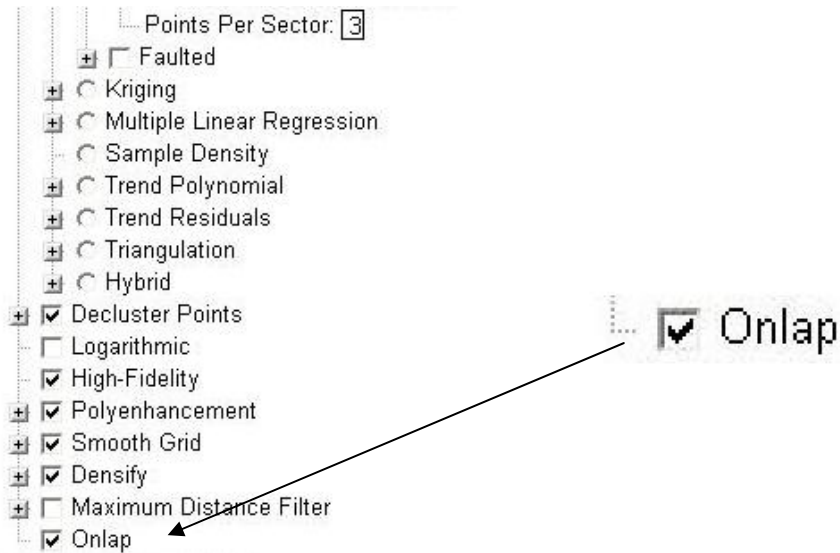
που θα επιλέξει ο χρήστης. Σε κάθε κελί του κανάβου το πρόγραμμα συλλέγει τις τιμές που περιέχονται. Στη συνέχεια δίνει στο κάθε κελί τον μέσο όρο των τιμών των σημείων που περιέχει. Αν δεν περιέχει κανένα σημείο τότε απορρίπτεται. Τα επεξεργασμένα στοιχεία του κανάβου στέλνονται στη συνέχεια στην υπορουτίνα που θα δημιουργήσει το τελικό μοντέλο.

Smooth grid on, 1,1. Όταν ενεργοποιείται το εργαλείο αυτό υπολογίζονται οι μέσοι όροι των τιμών Z των δεδομένων μας βασιζόμενοι σε ένα οριζόμενο από τον χρήστη μέγεθος φίλτρου. Η διαδικασία αυτή απομακρύνει θόρυβο από το μοντέλο και τονίζει τις τοπικές τάσεις. Το μέγεθος του φίλτρου ορίζεται στο πεδίο Filter Size ενώ ο αριθμός επαναλήψεων του φίλτρου στο πεδίο Iterations.



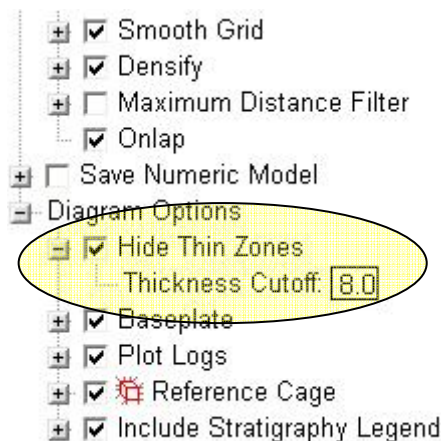
Σχήμα 3.27: Εφαρμογή «πύκνωσης» των δεδομένων με την μέθοδο τριγωνισμού.

Densify on, 10. Βασικό γιατί δεν έχουμε πολλά δεδομένα. Η υπορουτίνα αυτή εισάγει στα XYZ δεδομένα μας επιπλέον στοιχεία που προκύπτουν από την αυτόματη εφαρμογή ενός δικτύου τριγωνισμού Delaunay. Από το δίκτυο που δημιουργείται τα σημεία που αντιστοιχούν στα κέντρα των νέων τριγώνων προστίθενται στα αρχικά δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται περισσότερα σημεία ελέγχου σε περιοχές όπου τα δεδομένα μας είναι ανεπαρκή. Σε περιοχές που υπάρχουν πολλά αρχικά δεδομένα η υπορουτίνα δεν προσθέτει επιπλέον σημεία. Η διαδικασία αυτή αυξάνει σημαντικά το χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων ανάλογα με τον αριθμό επαναλήψεων.



Σχήμα 3.28: Επιλογή υπορουτίνας διόρθωσης στρωματογραφικών ενοτήτων

Onlap = on. Η υπορουτίνα αυτή, όταν ενεργοποιείται, διορθώνει στρωματογραφικά μοντέλα στα οποία τμήματα μιας ανώτερης στρωματογραφικά ενότητας εκτείνονται κάτω από τη βάση μιας χαμηλότερης ενότητας. Το πρόγραμμα δίνει προτεραιότητα στις χαμηλότερες ενότητες δημιουργώντας το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω.



Σχήμα 3.29: Επιλογή για την αποκοπή μικρού πάχους στρωματογραφικών ενοτήτων απ' την κατασκευή του μοντέλου

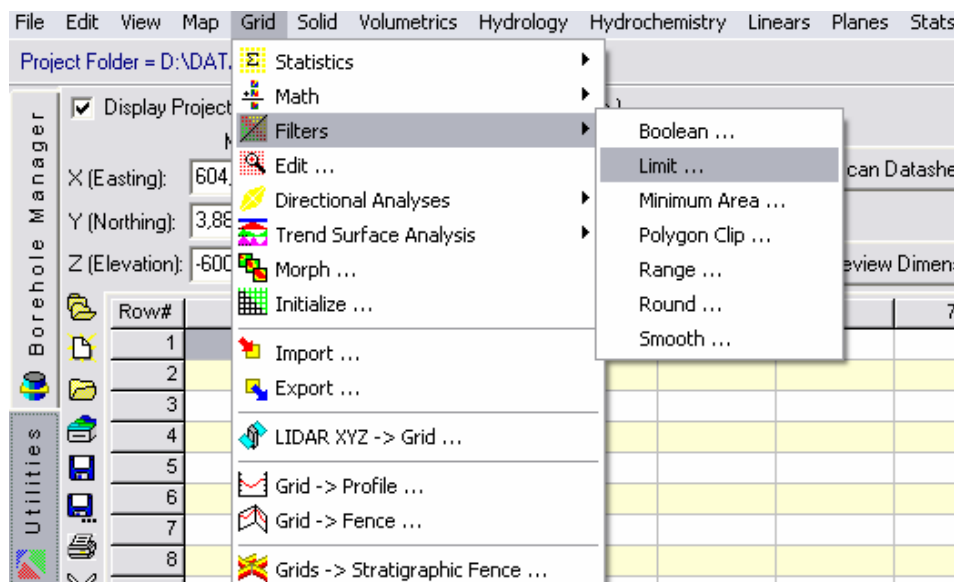
Diagram options hide thin zones on, 8. Η επιλογή αυτή απομακρύνει τμήματα των στρωματογραφικών ενοτήτων που έχουν πάχος μικρότερο από κάποιο όριο (cutoff) που ορίζεται από το χρήστη. Η τιμή αυτή πρέπει να επιλεγεί ύστερα από δοκιμές ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις όπου θα απομακρυνθεί μεγάλο μέρος των στρωμάτων. Για λεπτούς σχηματισμούς τιμές κοντά στο 1 είναι ικανοποιητικές.

Για την εξαγωγή του τελικού μοντέλου γίνανε αρκετές δοκιμές με διαφορετικούς συνδυασμούς των προαναφερθέντων παραμέτρων ούτως ώστε να βρεθεί ο συνδυασμός που θα αναπαριστά καλύτερα την γεωλογία της περιοχής σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες και της παρατηρήσεις πεδίου. Για την καλύτερη αναπαράσταση της γεωλογίας περιοχής προστέθηκαν «εικονικές» γεωτρήσεις σε σημεία που δεν είχαμε γεωτρητικά δεδομένα αλλά η στρωματογραφία της περιοχής ήταν γνωστή με ακρίβεια. Συνολικά τοποθετήθηκαν 3 τέτοιες γεωτρήσεις. Η πρώτη τοποθετήθηκε στο υψηλότερο σημείο της περιοχής όπου έχουμε εμφάνιση του φλυσχικού υποβάθρου. Αυτό έγινε για να παρουσιαστεί καλύτερα η εμφάνιση του υποβάθρου σε συνδυασμό με το τοπογραφικό ανάγλυφο του μοντέλου στη θέση αυτή. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν 2 «εικονικές» γεωτρήσεις, βάθους 40 μέτρων, στα δυτικά οι οποίες διατήρησαν το σχηματισμό του Βιάννου. Αυτό έγινε γιατί οι επί τόπου παρατηρήσεις και ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής εμφανίζουν την ενότητα αυτή στα δυτικά του χωριού Αμουργέλες. Τα αρχικά δεδομένα που υπήρχαν διαθέσιμα δεν ήταν αρκετά για να εμφανίσουν την ενότητα αυτή κατά την μοντελοποίηση.

3.4.1.2 Στρωματογραφικά μοντέλα με τοπογραφικό ανάγλυφο.

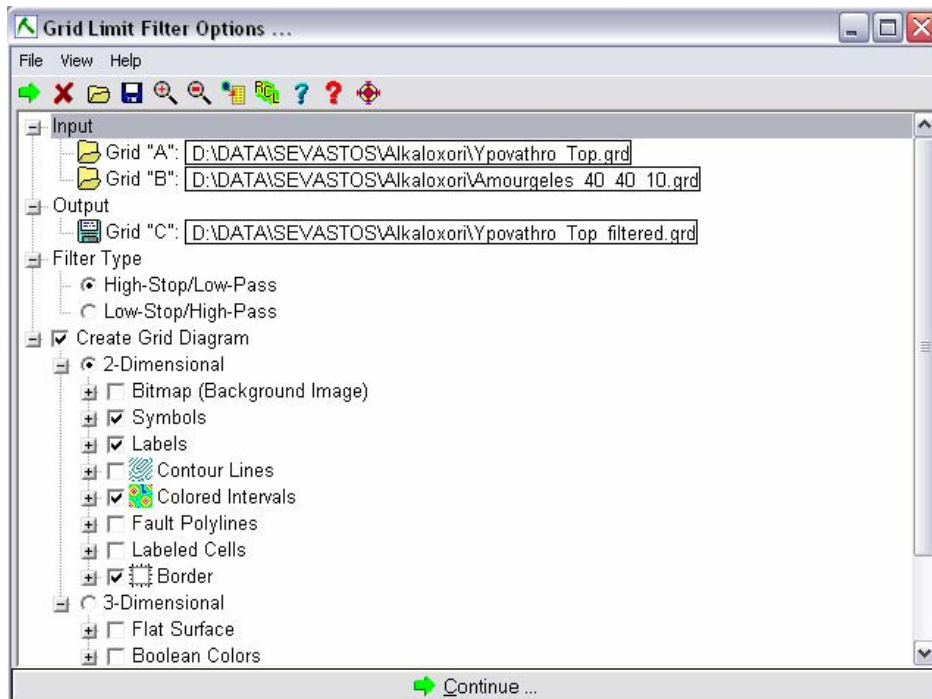
Το μενού stratigraphy δεν μπορεί να εξάγει απευθείας μοντέλα στρωματογραφίας που να λαμβάνουν υπόψιν και το ανάγλυφο της περιοχής. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο χρειάζεται να γίνει μια επεξεργασία των grid files που σχηματίζουν το στρωματογραφικό μοντέλο. Στα στρωματογραφικά μοντέλα κάθε ενότητα ορίζεται από την ανώτερη και κατώτερη επιφάνεια της ενότητας. Πρόκειται για τρισδιάστατους χάρτες επιφανειών σαν αυτούς που δημιουργούνται από την εντολή Grid based maps του μενού Utilities.

Για να δημιουργηθεί λοιπόν ένα μοντέλο στρωματογραφίας που λαμβάνει υπόψιν το ανάγλυφο χρησιμοποιείται την εντολή Utilities Grid /Filter/Limit.



Σχήμα 3.30: Geological Utilities: Επιλογή διαδρομής για την κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου που συνοπολογίζει και το αναγλύφο

Με αυτή τη εντολή εφαρμόζεται ένα φίλτρο High Pass/Low Stop σε δύο τρισδιάστατες επιφάνειες (τύπου grid). Το φίλτρο αυτό ουσιαστικά φιλτράρει ποιες τιμές υψομέτρου της επιφάνειας A (Grid “A”) ξεπερνούν τις τιμές υψομέτρου τις επιφάνειας B (Grid “B”) που αποτελεί το άνω φράγμα. Όσες τιμές της επιφάνειας A είναι μεγαλύτερες από τις τιμές της επιφάνειας B στην ίδια θέση αντικαθίστανται από την τιμή που υπάρχει στην επιφάνεια B. Τα αποτελέσματα του φίλτρου αποθηκεύονται σε μια νέα επιφάνεια Γ (Grid “C”) όπως φαίνεται στο σχήμα 3.31 .



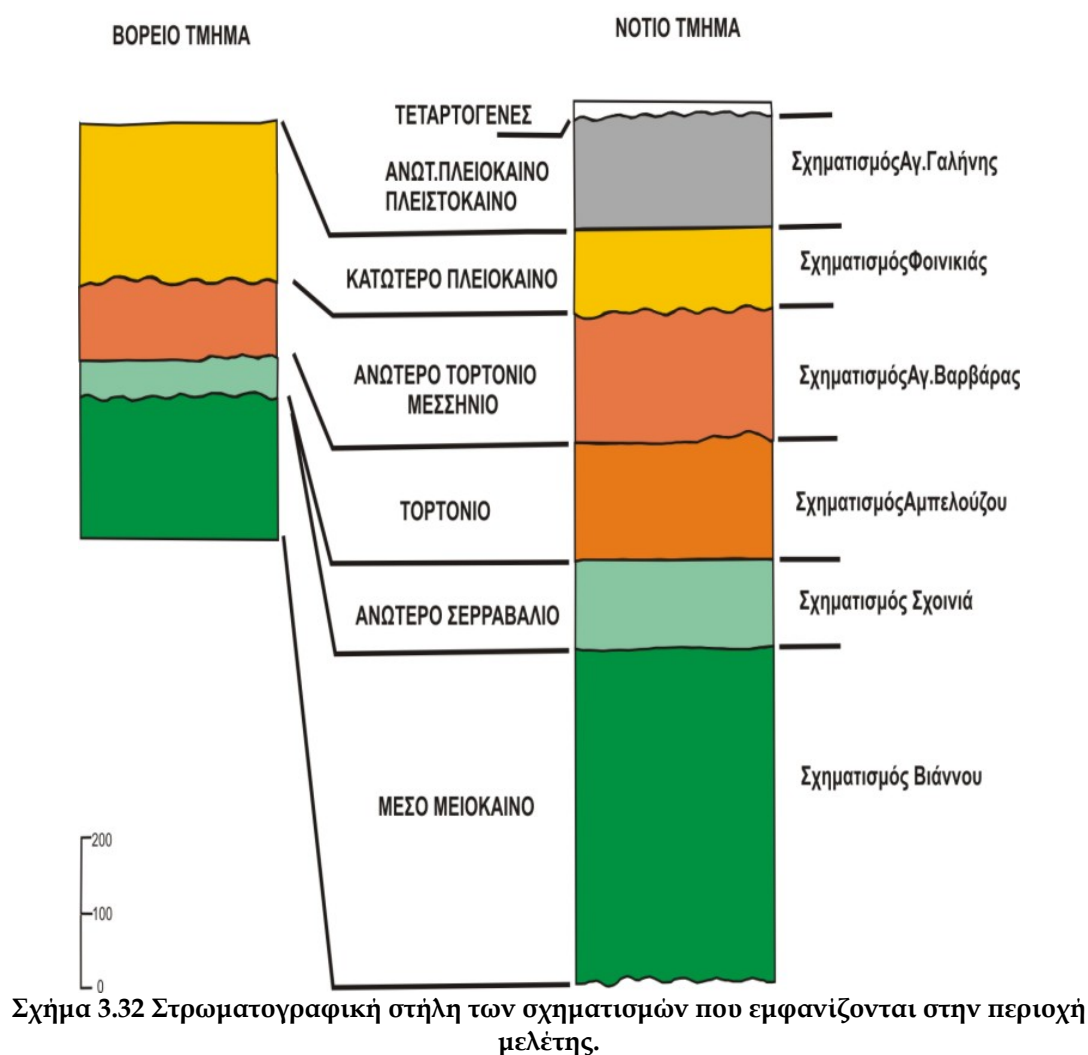
Σχήμα 3.31: Παράθυρο ρυθμίσεων των ήδη κατασκευασμένων επιφανειών (.grd) για την δημιουργία επιφάνειας που θα λαμβάνει υπόψη στρωματογραφικά δεδομένα και τοπογραφικό ανάγλυφο.

Με αυτή τη διαδικασία περάστηκαν όλες οι επιφάνειες που ορίζουν τις ενότητες Βιάννου και Σχοινιά από το φίλτρο έχοντας ορίσει σαν άνω φράγμα την επιφάνεια που ορίζει το τοπογραφικό ανάγλυφο. Έτσι όπου αυτές οι επιφάνειες εξείχαν στο αρχικό μοντέλο στρωματογραφίας, από το τοπογραφικό ανάγλυφο πλέον έχουν φιλτραριστεί ώστε να μην το ξεπερνάνε και να σταματάνε εκεί που το συναντάνε. Ύστερα από δοκιμές κρίθηκε απαραίτητο να γίνει το φιλτράρισμα αυτό και στην ανώτερη επιφάνεια της ενότητας του υποβάθρου μιας και αυτή εμφανίζεται στην επιφάνεια. Στην συνέχεια μετονομάστηκαν τα φιλτραρισμένα αρχεία επιφανείας των σχηματισμών, δίνοντας τους το όνομα που είχαν όπως τα δημιούργησε το μενού Stratigraphy/Model. Τέλος χρησιμοποιήθηκε ξανά η εντολή δημιουργίας στρωματογραφικού μοντέλου έχοντας απενεργοποιήσει το πεδίο Interpolate surfaces. Με αυτό τον τρόπο το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις φιλτραρισμένες επιφάνειες για την δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου. Το νέο μοντέλο θα έχει το τοπογραφικό ανάγλυφο συνδυασμένο με το στρωματογραφικό μοντέλο.

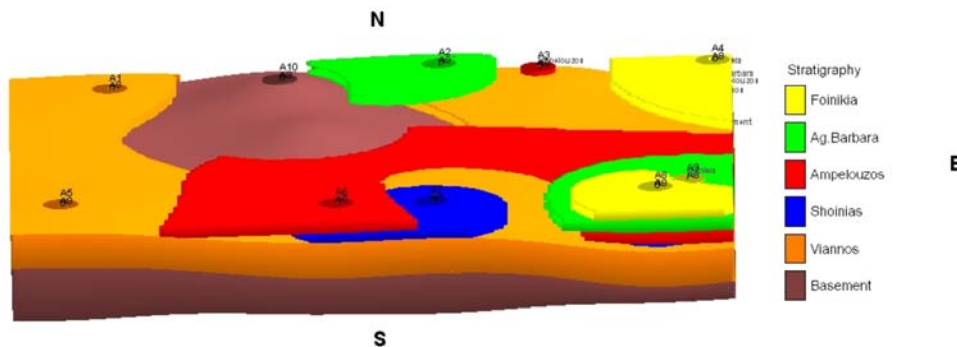
3.4.2 Χαρτογραφικές απεικονίσεις και τρισδιάστατα μοντέλα περιοχής μελέτης.

Χρησιμοποιώντας αρχικά τις στρωματογραφικές στήλες του υπάρχοντος γεωλογικού χάρτη κατασκευάστηκαν συγκριτικές στρωματογραφικές στήλες των ελαχίστων και μέγιστων παχών των σχηματισμών που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Σχήμα 3.32).

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΤΗΛΕΣ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ



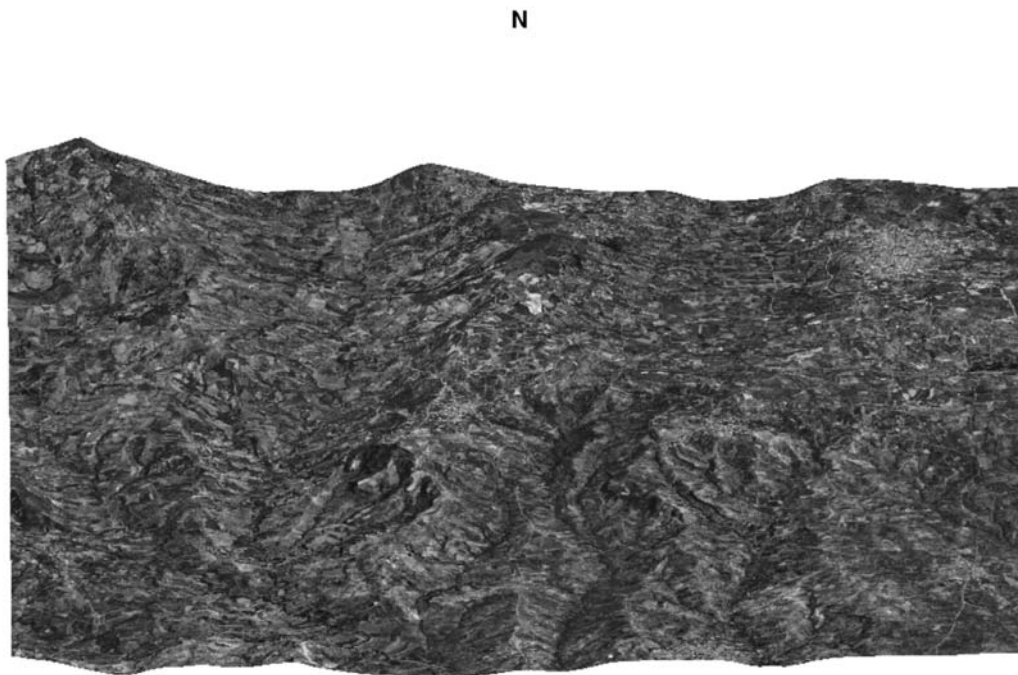
Με βάση τα στοιχεία από τις εργασίες υπαίθρου και την γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 που πραγματοποιήθηκε στην στενή περιοχή τοποθετήθηκαν στην αρχικά οριοθετημένη περιοχή δέκα εικονικές γεωτρήσεις (Σχήμα 3.33).



Σχήμα 3.33: Απεικόνιση των δέκα εικονικών γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.

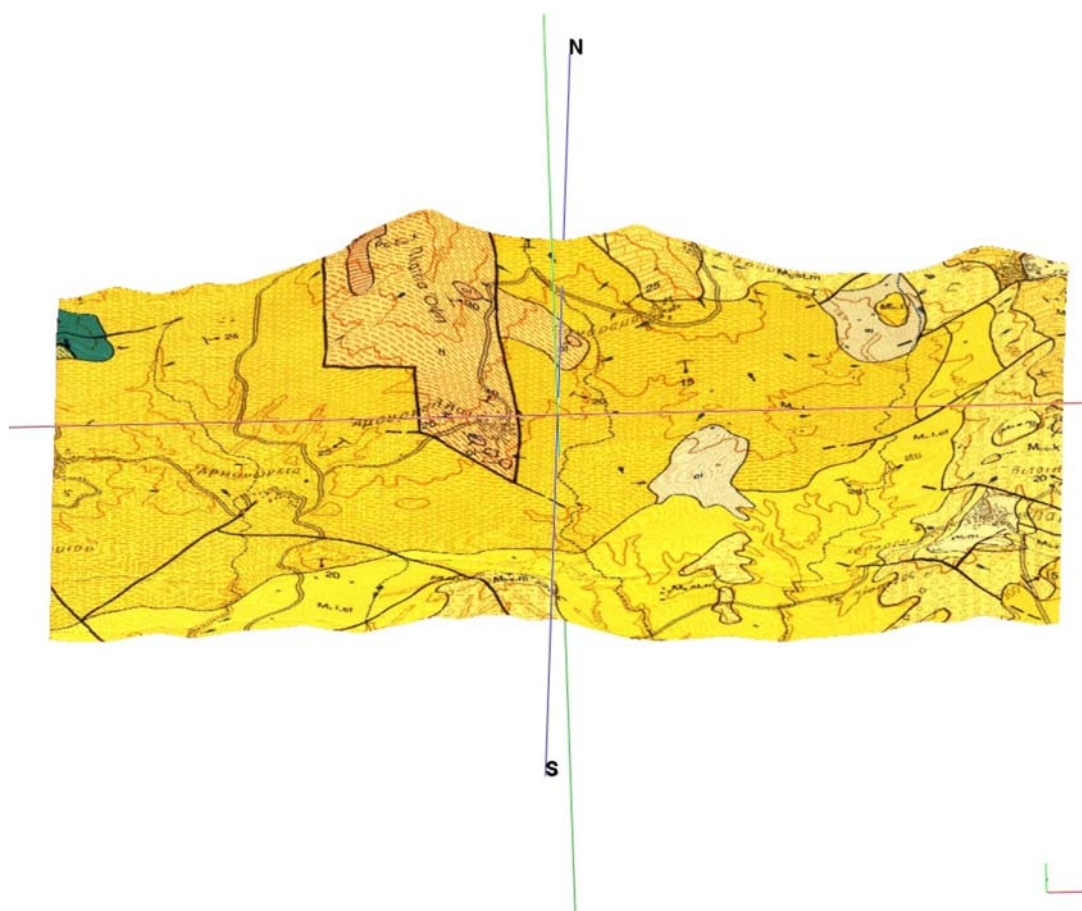
Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το ψηφιακό ομοίωμα της περιοχής μελέτης. Πάνω του τοποθετήθηκαν έξι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής. Από αυτόν τον συνδυασμό προέκυψε ένα ακριβές τρισδιάστατο ομοίωμα της τοπογραφίας με σημαντικά στοιχεία γεωμετρικού τύπου (Σχήμα 3.34). Πάνω σε αυτό τοποθετήθηκαν ψηφιακά στοιχεία του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα 3.35) και προέκυψε ο συνδυασμός των ανωτέρω, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.36.

Στο ψηφιακό αυτόν χάρτη παρουσιάζονται το σύνολο των γεωμετρικού τύπου στοιχείων (όρια σχηματισμών, ρήγματα κτλ). Σε αυτόν τον χάρτη ενσωματώθηκαν τα στοιχεία των εικονικών γεωτρήσεων και κατασκευάστηκε ο τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Σχήμα 3.37).

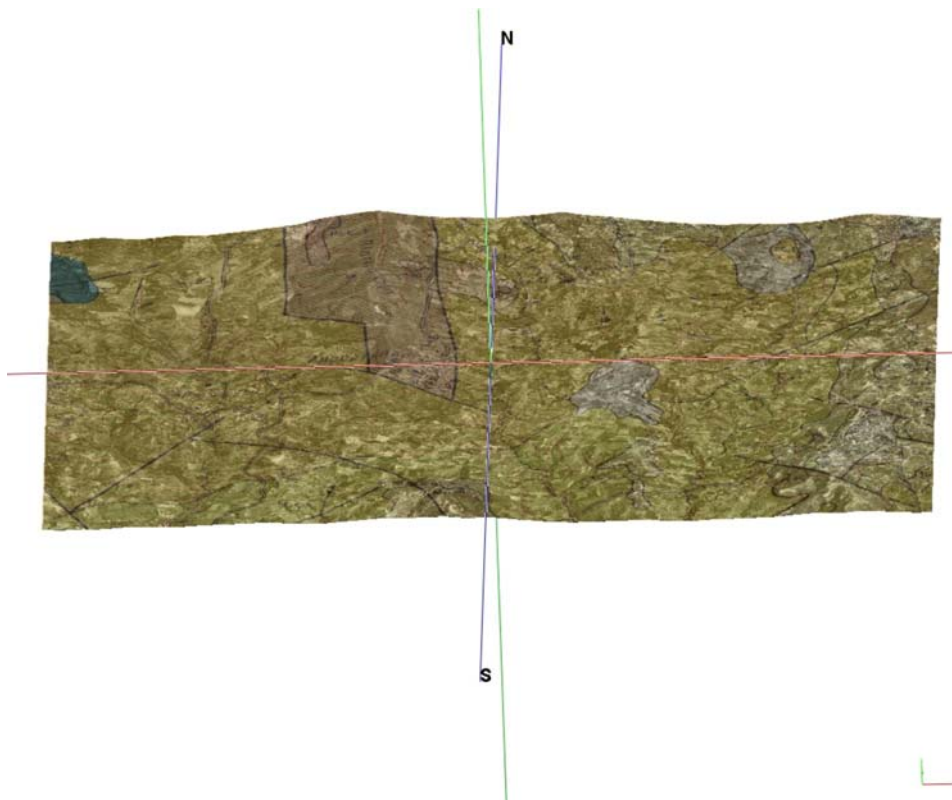


S

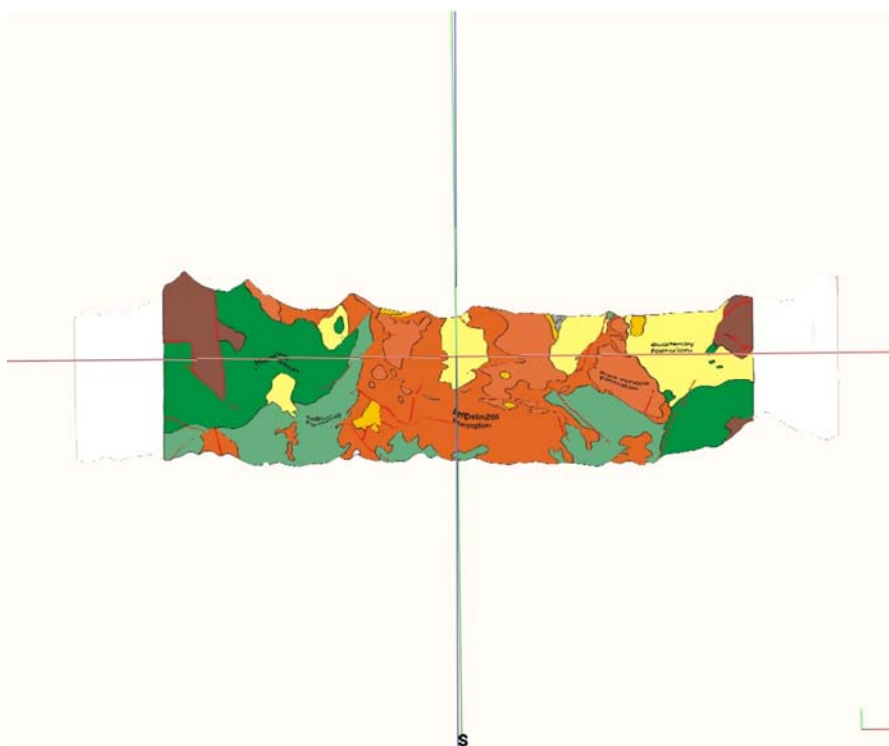
Σχήμα 3.34: Υπέρθεση των ορθοφωτοχάρτων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM).



Σχήμα 3.35: Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

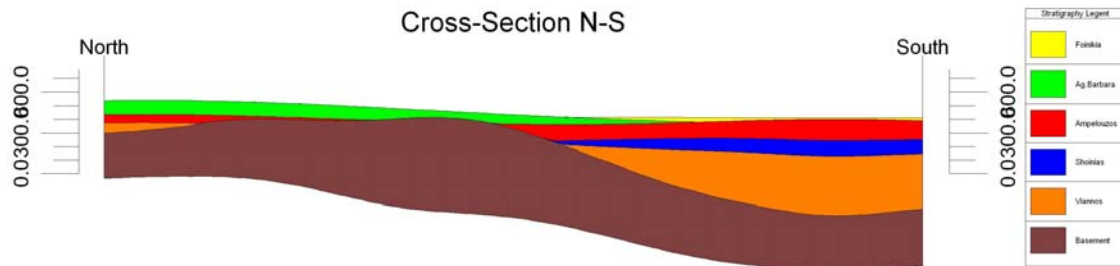


Σχήμα 3.36: Υπέρθεση του γεωλογικού χάρτη στο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

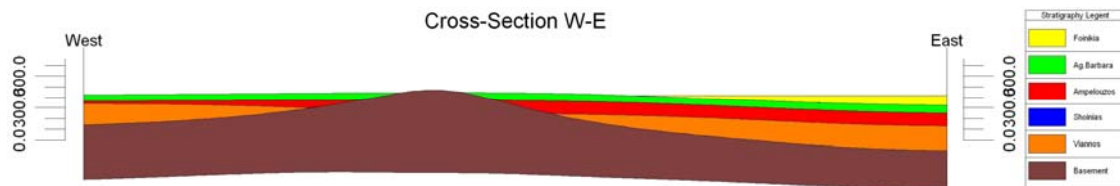


Σχήμα 3.37: Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

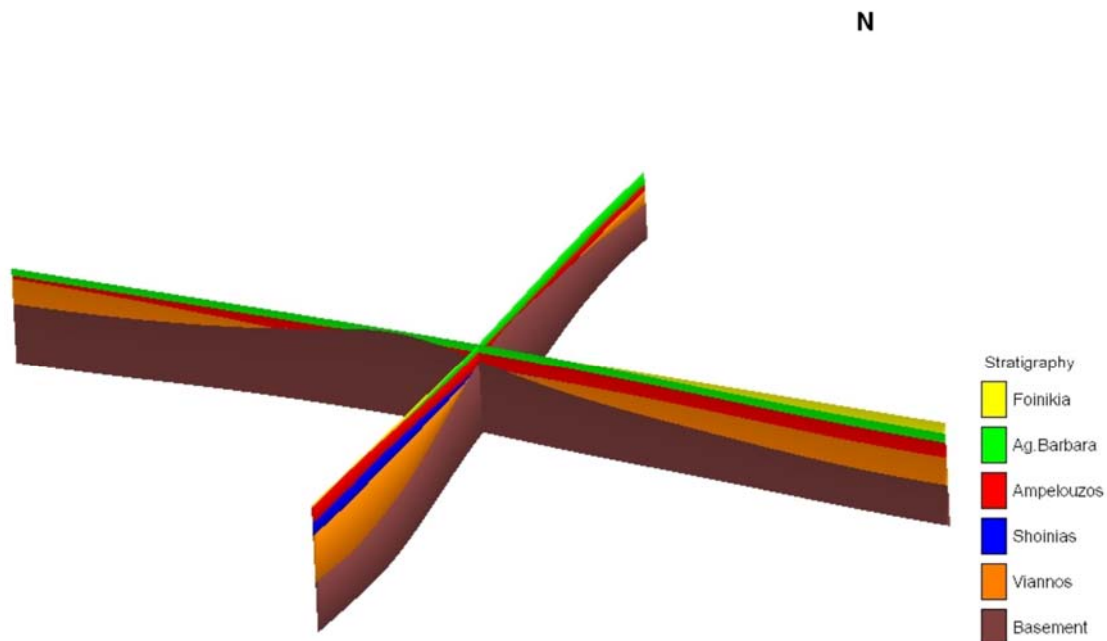
Στην συνέχεια κατασκευάστηκαν σε προκαθορισμένες διευθύνσεις γεωλογικές τομές (Σχήματα 3.38, 3.39 και 3.40).



Σχήμα 3.38 : Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Βορρά - Νότου.



Σχήμα 3.39 :Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Δύσης - Ανατολής.



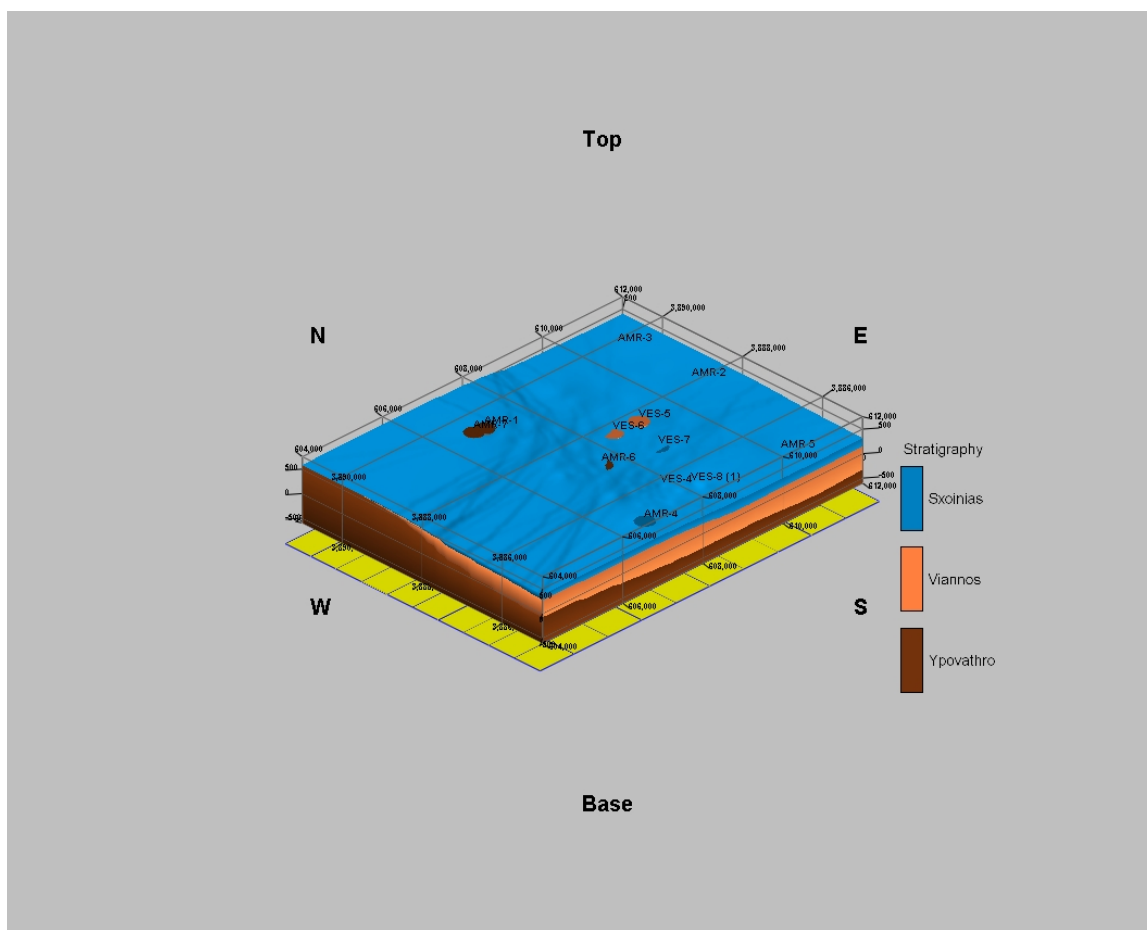
S

Σχήμα 3.40: Συνδυαστική γεωλογική τομή εντός της περιοχής μελέτης.

Ο συνδυασμός της υφιστάμενης τοπογραφίας, τα στοιχεία του υπάρχοντος γεωλογικού χάρτη και τα αποτελέσματα εργασιών πεδίου συνδυάστηκαν με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ερμηνεία των γεωφυσικών δισκοπίσεων και εισήχθησαν στο Rockworks 2006 για την κατασκευή των στρωματογραφικών χαρτογραφικών απεικονίσεων αρχικά

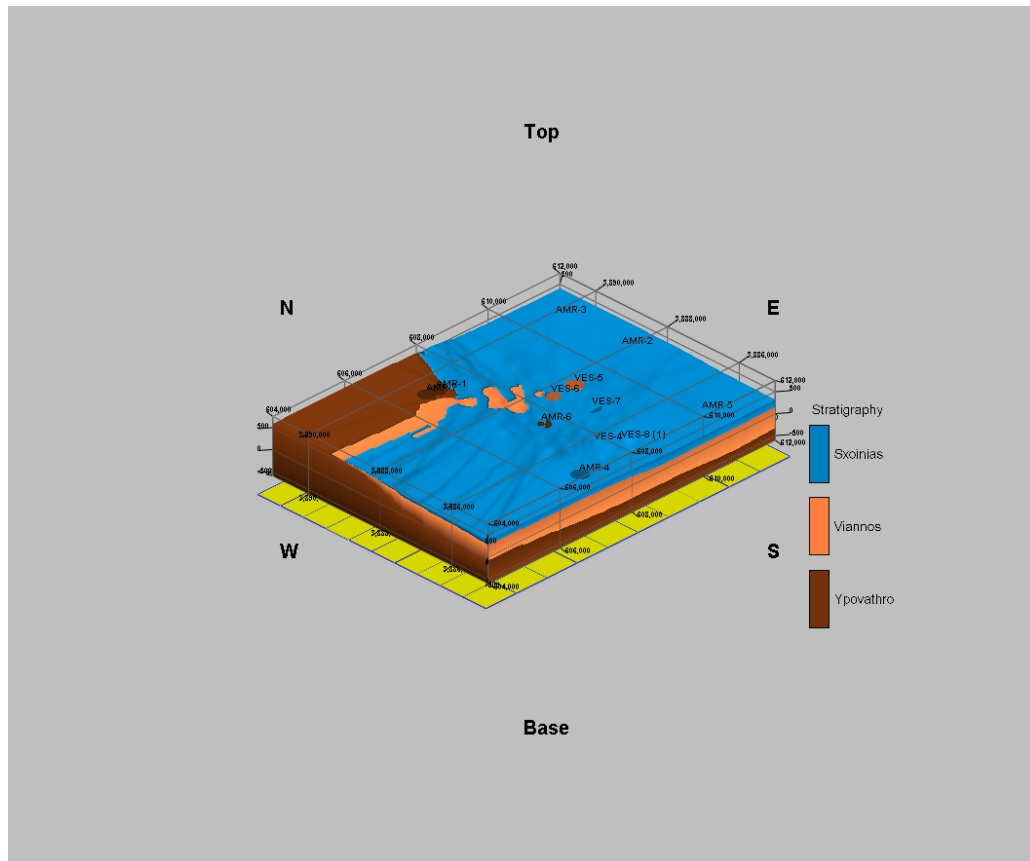
της στενής περιοχής Παρτίρων -Πανοράματος. Το μοντέλο προέκυψε σταδιακά σε πέντε διακριτά στάδια.

Αρχικά εισήχθησαν τα στοιχεία των βυθοσκοπήσεων υπό μορφή γεωτρήσεων,6 στον αριθμό, και η στρωματογραφία από τις εργασίες πεδίου υπό μορφή εικονικών γεωτρήσεων. Τοποθετήθηκαν συνολικά σε συγκεκριμένο χωρικό περίγραμμα 5 εικονικές γεωτρήσεις. Με τις υπορουτίνες Onlap off και Hide thin zones 0m του προγράμματος κατασκευάστηκε το πρώτο στρωματογραφικό μοντέλο (σχήμα 5.10).



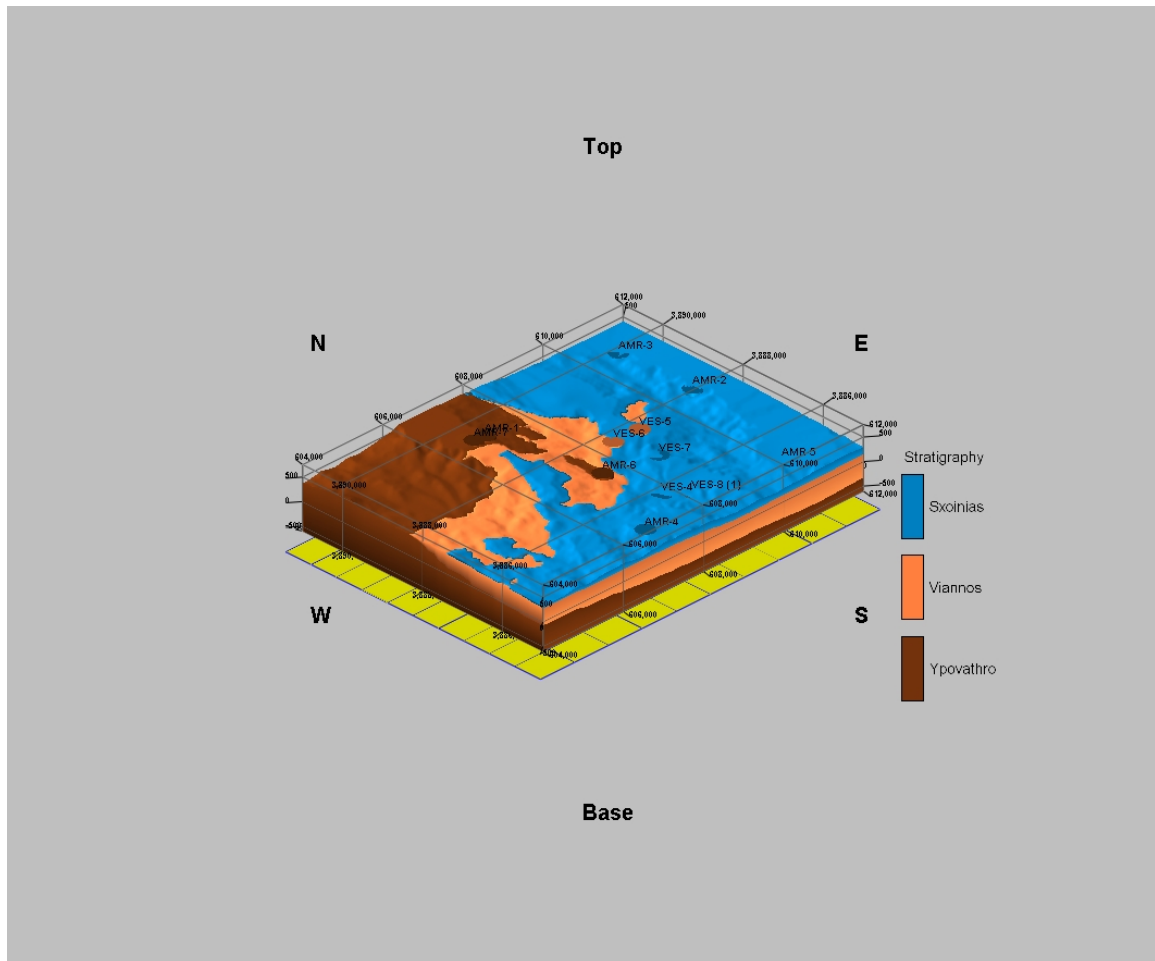
Σχήμα 5.10: Μοντέλο με αρχικό σκετ γεωτρήσεων - onlap off - hide thin zones off χωρίς ανάγλυφο

Στη συνέχεια αλλάζοντας τις παραμέτρους για το φιλτράρισμα των σχηματισμών που δεν εμφανίζονται στα βορειοδυτικά της περιοχής (απομακρύνοντας συγκεκριμένα πάχη σχηματισμών σε θέσεις που δεν εμφανίζονται) κατασκευάστηκε το επόμενο μοντέλο (Σχήμα 3.41)



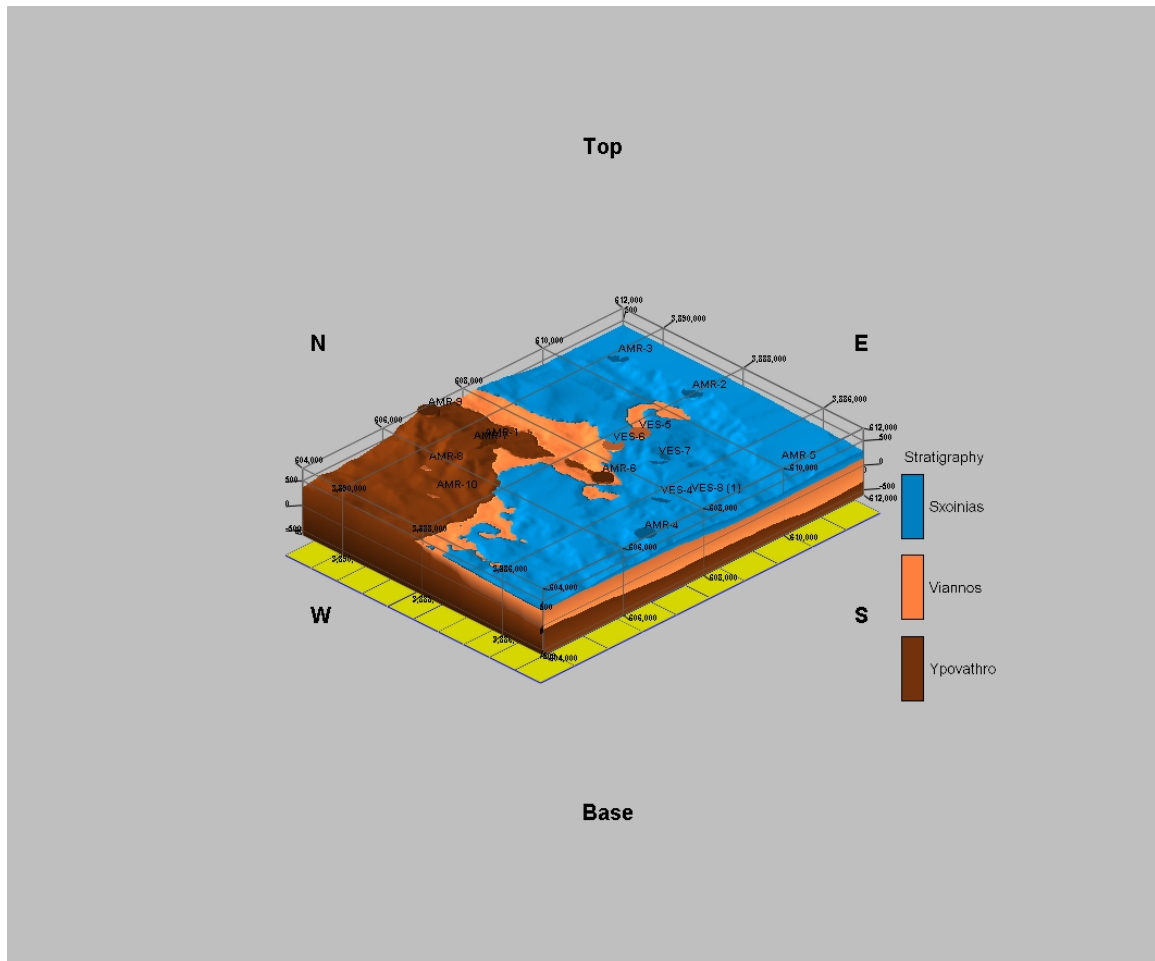
Σχήμα 3.41: Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων - onlap on - hide thin zones on, 8m χωρίς ανάγλυφο

Στη συνέχεια εισήχθη στο προηγούμενο μοντέλο το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής και κατασκευάστηκε το μοντέλο του σχήματος 3.42



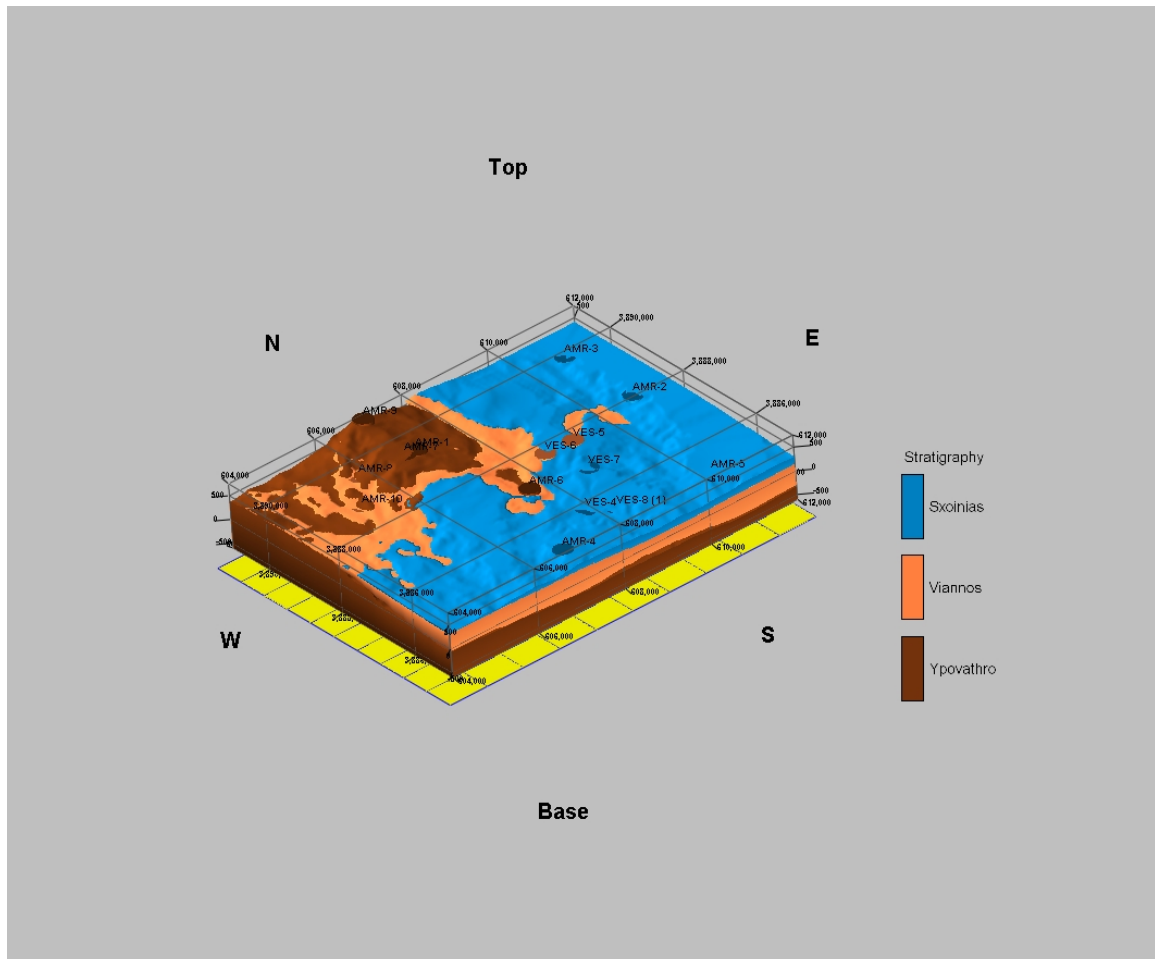
Σχήμα 3.42: Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων -onlap off - hide thin zones on 8μ με ανάγλυφο

Στο μοντέλο του σχήματος 3.42 εισήχθησαν επιπλέον 4 εικονικές γεωτρήσεις στα βορειοδυτικά με πραγματικά στοιχεία πάχους από μετρήσεις πεδίου και κατασκευάστηκε το επόμενο μοντέλο του σχήματος 3.43.



Σχήμα 3.43: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις - onlap on - hide thin zones on 8m με ανάγλυφο

Όπως φαίνεται στο μοντέλο αυτό στη βορειοδυτική περιοχή που δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία το υπόβαθρο έχει μεγαλύτερη εξάπλωση. Για να περιοριστεί η εξάπλωση του υποβάθρου αλλάχθηκαν οι ρυθμίσεις του πεδίου Onlap. Απενεργοποιώντας την ρύθμιση αυτή, κατασκευάστηκε η χαρτογραφική απεικόνιση του σχήματος 3.44 που ικανοποιεί εν μέρει τις παρατηρήσεις των εργασιών πεδίου.



Σχήμα 3.44: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις – Onlap off – hide thin zones on 8μ με ανάγλυφο.

Μετά την κατασκευή της πρώτης χωρικής χαρτογραφικής απεικόνισης της αρχικής περιοχής μελέτης (Πανοράματος-Παρτίρων), κρίθηκε απαραίτητο να επεκταθεί η γεωλογική χαρτογράφηση και να δημιουργηθεί η χωρική χαρτογραφική απεικόνιση μιας ευρύτερης περιοχής επεκτείνοντας την περιοχή χαρτογράφησης προς τα νότια και ανατολικά. Οι λόγοι που επέβαλαν την επέκταση αυτή είναι οι εξής:

- Οι εργασίες πεδίου καθώς και τα ερμηνευμένα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων συγκρινόμενα με το νέο ιζηματολογικό μοντέλο που προτάθηκε για την περιοχή μελέτης έδειξαν ότι η νεοτεκτονική δραστηριότητα δημιούργησε προς τα νοτιοανατολικά μια βαθύτερη λεκάνη ιζηματογένεσης
- Η δράση των κυρίων ρηγμάτων οριοθέτησε το μέγεθος του μέγιστου βάθους αλλά και την έκταση της λεκάνης αυτής
- Παρατηρήθηκε ένας έντονος κατακερματισμός των δύο ενοτήτων (Βιάννου και Σκοινιά) στο βόρειο τμήμα της αρχικής περιοχής

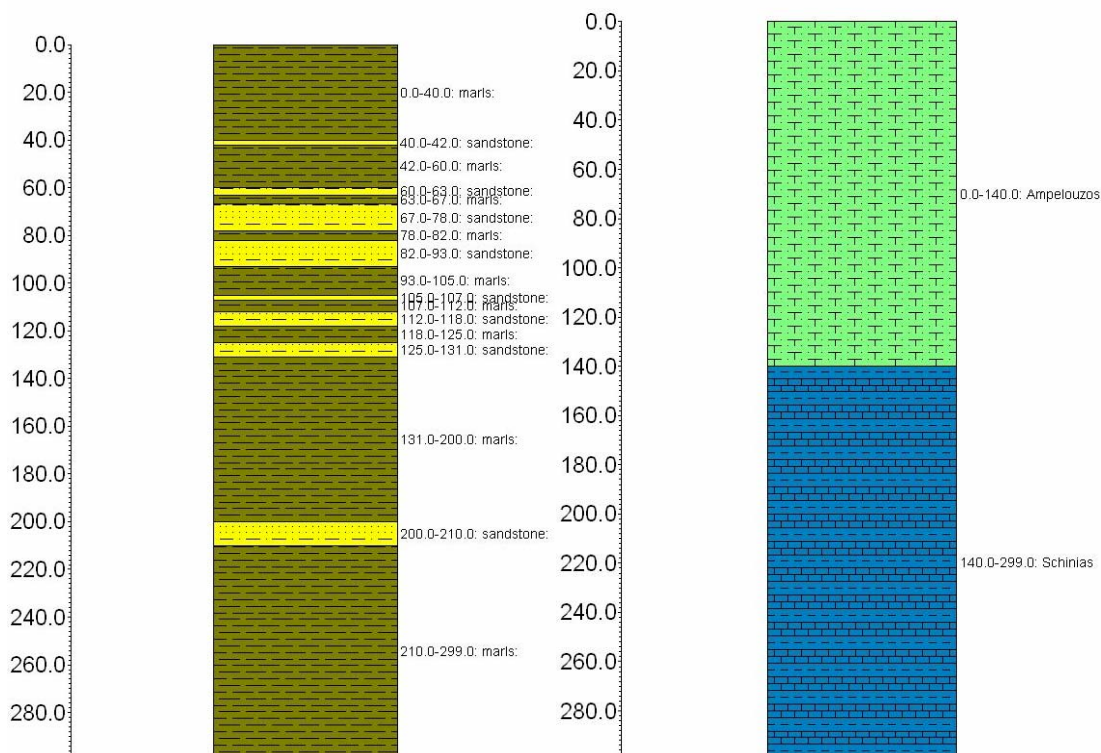
- Θεωρήθηκε αναγκαίο να συμπεριληφθεί στις αρχικές τριοδιάστατες χαρτογραφικές απεικονίσεις και η κατανομή του σχηματισμού του Αμπελούζου.
- Εισηχθήσαν στα νέα μοντέλα της διευρυμένης περιοχής μελέτης και τα δεδομένα από τις τέσσερις ερευνητικές γεωτρήσεις οι οποίες ερμηνεύτηκαν όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

3.4.3 Επεξεργασία στοιχείων ερευνητικών γεωτρήσεων

Με την ολοκλήρωση της χαρτογράφησης των επιφανειακών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης και σε συνδυασμό με το γεωλογικό και ιζηματολογικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για την περιοχή, καθοριστήκαν οι θέσεις ανόρυξης τεσσάρων ερευνητικών γεωτρήσεων στην περιοχή που περικλείεται από τα χωριά Πυράθιο, Μπαδιά, Γαρίπα, Καλύβια και Τουρλωτή. Για την ανόρυξη των γεωτρήσεων χρησιμοποιήθηκε περιστροφικό γεωτρώπανο τύπου Ingersoll Rand T4 w 1050 C.F.M/ 350 P.S.I . Συνολικά διανοίχτηκαν 1440 μέτρα σε τέσσερις γεωτρήσεις. Σε κάθε γεώτρηση συλλέγονταν δείγματα υλικού από την επιστροφή του γεωτρητικού πολφού ώστε να γίνει καταγραφή διατρυόμενων σχηματισμών. Στην συνέχεια παρατίθενται οι λιθολογικές στήλες των διατρηθέντων σχηματισμών για κάθε γεώτρηση, καθώς και η στρωματογραφική τους συσχέτιση.

Γεώτρηση Alpha

Η γεώτρηση Alpha ανοίχθηκε ΒΑ του χωριού Τουρλωτή και είχε βάθος 299 μέτρα. Η διάτρηση ξεκίνησε με 8 ¾" και τοποθέτηση στα πρώτα 6 μέτρα χαλύβδινης σωλήνας 8 ¾" και διάτρηση με 8 ½" στα επόμενα μέτρα.



Σχήμα 3.45: Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης ALPHA

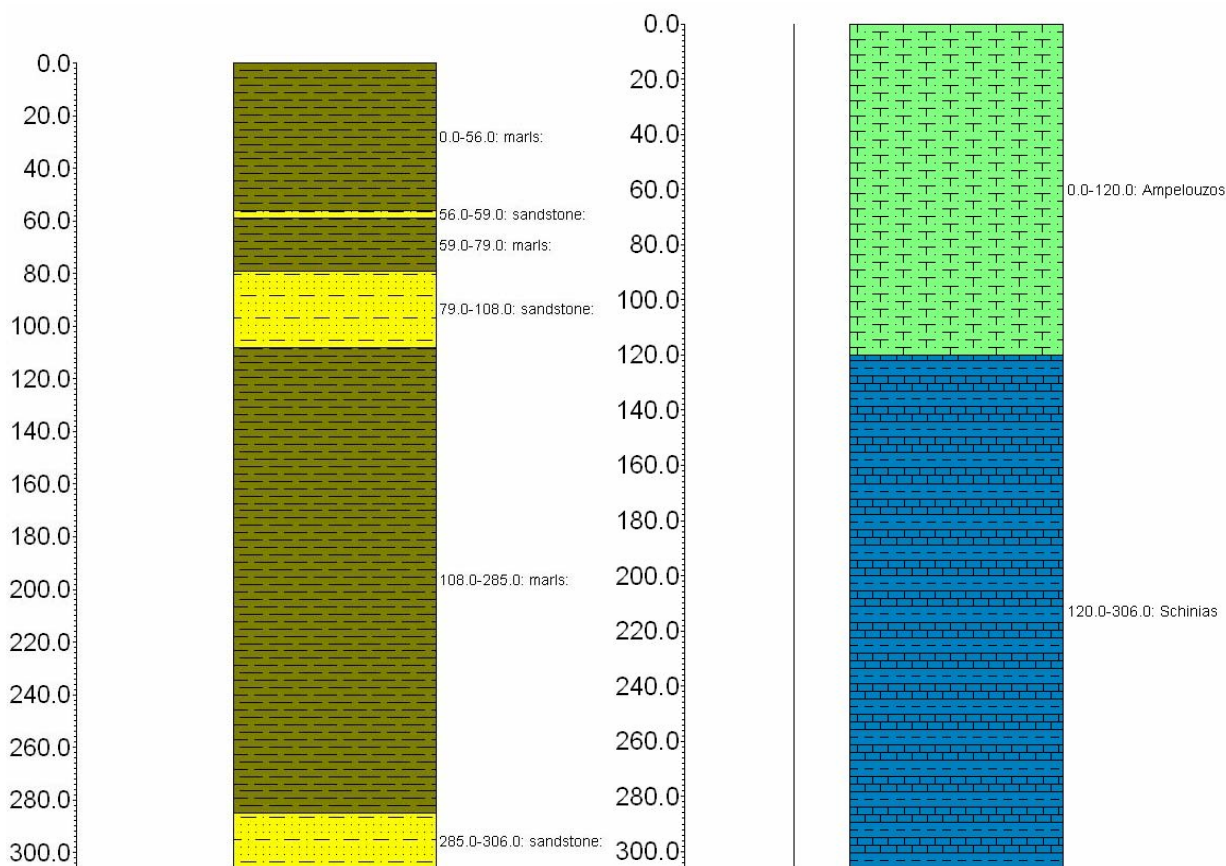
Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.45, η γεώτρηση διαπερνά πάγκους ιλυολιθών πάχους 40 μέτρων και στη συνέχεια εναλλαγές ψαμμιτών και μαργών μέχρι βάθους 140 μέτρων περίπου. Σύμφωνα με το ιζηματολογικό μοντέλο της λεκάνης, αυτές οι εναλλαγές είναι χαρακτηριστικές στο σχηματισμό του Αμπελούζου. Κατόπιν η γεώτρηση διασχίζει ένα πάγκο ιλυολιθών πάχους 60 μέτρων περίπου, στη συνέχεια μια παρεμβολή ψαμμιτών πάχους 10 μέτρων και μετά μέχρι το τέλος της ξανά πάγκο ιλυολιθών. Το μεγάλο πάχος των ιλυολιθικών πάγκων και το ψαμμιτικό στρώμα υποδηλώνουν ότι πρόκειται για τους δύο κύκλους του σχηματισμού του Σχοινιά.



Εικόνα 3.2 : Αποψη της θέσης της πρώτης γεώτρησης ALPHA

Γεώτρηση Beta

Η δεύτερη γεώτρηση ανοίχθηκε ΝΑ του χωριού Τουρλωτή και είχε βάθος 306 μέτρα. Η διάτρηση ξεκίνησε με 8 3/4" και τοποθέτηση στα πρώτα 5 μέτρα χαλύβδινης σωλήνας 8 3/4" και διάτρηση με 8 1/2" στα επόμενα μέτρα. Τα πρώτα 80 μέτρα περίπου διατρέχουν ιλυολιθικό πάγκο πάχους 80 μέτρων περίπου στον οποίο παρεμβάλλεται ψαμμιτικό στρώμα πάχους 3 μέτρων σε βάθος 56 μέτρων. Τα στοιχεία αυτά εντάσσουν τα ανώτερα 120 μέτρα της γεώτρησης στο σχηματισμό του Αμπελούζου.



Σχήμα 3.46 : Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης ΒΕΤΑ

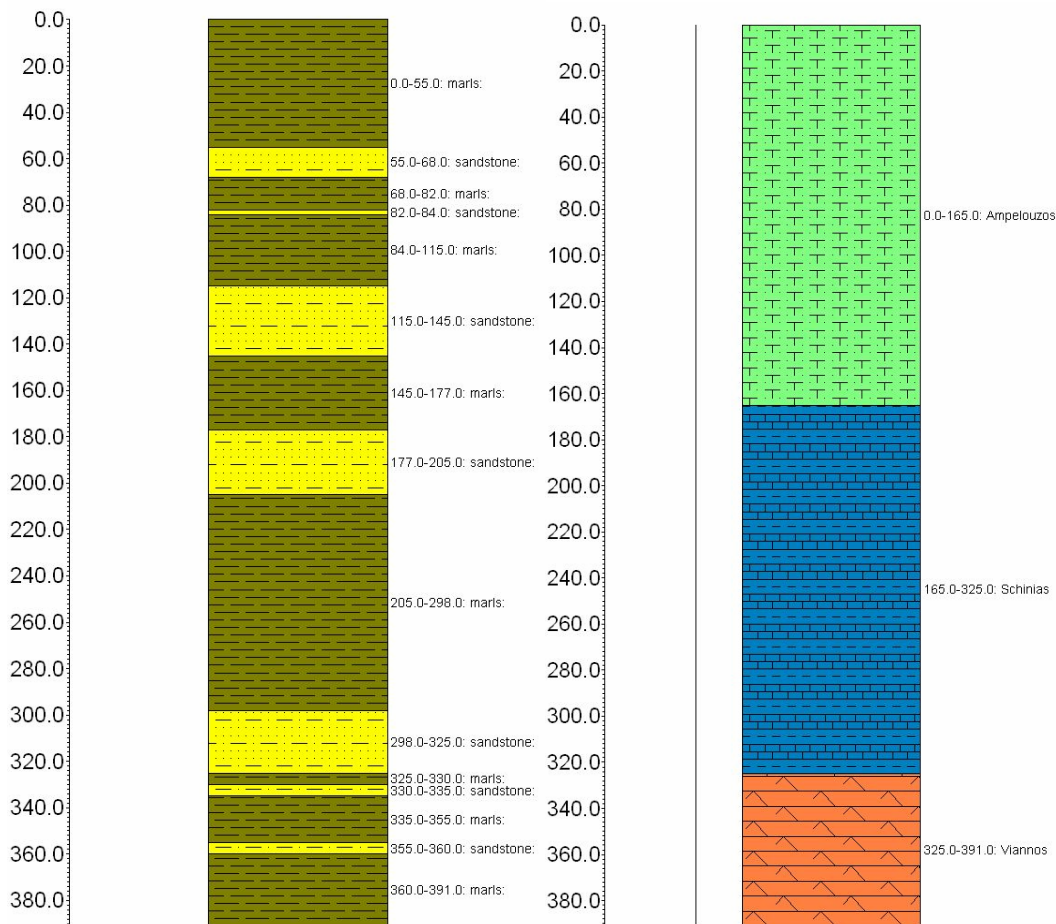
Κάτω από τους προηγούμενους σχηματισμούς βρίσκεται ένας ακόμα υλολιθικός πάγκος πάχους 160 μέτρων ενώ στα τελευταία μέτρα της γεώτρησης, από 285 μέτρα έως 306 μέτρα, διατρύονται ψαμμίτες. Η συγκεκριμένη εναλλαγή είναι, κατά πάσα πιθανότητα, ο πρώτος από τους δύο κύκλους του σχηματισμού Σχοινιά, σύμφωνα με το ιζηματολογικό μοντέλο της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 3.3 : Άποψη της θέσης της δεύτερης γεώτρησης ΒΕΤΑ

Γεώτρηση Gamma

Η τρίτη γεώτρηση πραγματοποιήθηκε ΒΒΑ του χωριού Καλύβια. Το συνολικό βάθος της γεώτρησης ήταν 391 μέτρα και η διάτρηση ξεκίνησε με διεύρυνση με 12 ½" τα πρώτα 9 μέτρα και τοποθέτηση χαλύβδινης σωλήνας 10 ¾" στα 6 μέτρα και διάτρηση με 8 ½" στα επόμενα μέτρα.



Σχήμα 3.47 : Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης GAMMA

Όπως προκύπτει από τη λιθολογική στήλη (σχήμα 3.47) στα πρώτα 165 μέτρα της γεώτρησης διατρέχονται μαργαϊκοί πάγκοι πάχους 50 μέτρων ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλονται ψαμμιτικοί σχηματισμοί με πάχος που κυμαίνεται από 2 έως και 30 μέτρα. Το τμήμα αυτό περιέχει χαρακτηριστικά που απαντώνται στο σχηματισμό του Αμπελούζου. Από τα 165 μέτρα έως τα 325 η γεώτρηση διαπερνά αρχικά ένα μαργαϊκό οριζόντα μικρού πάχους, στη συνέχεια ψαμμίτη πάχους 28 μέτρων. Στη συνέχεια ακολουθεί ένας μεγάλος πάγκος ιλυολίθων πάχους 95 μέτρων και ψαμμίτες πάχους 30 μέτρων που αποτελούν το σχηματισμό του Σχοινιά. Τα υπόλοιπα 76 μέτρα διατρέχουν εναλλαγές ψαμμιτών πάχους 4-5 μέτρων και μαργαϊκών πάγκων πάχους τουλάχιστον 20 μέτρων. Οι δύο αυτές επαναλαμβανόμενες λιθολογίες είναι οι δύο ανώτεροι κύκλοι ιζηματογένεσης του Σχηματισμού του Βιάννου.

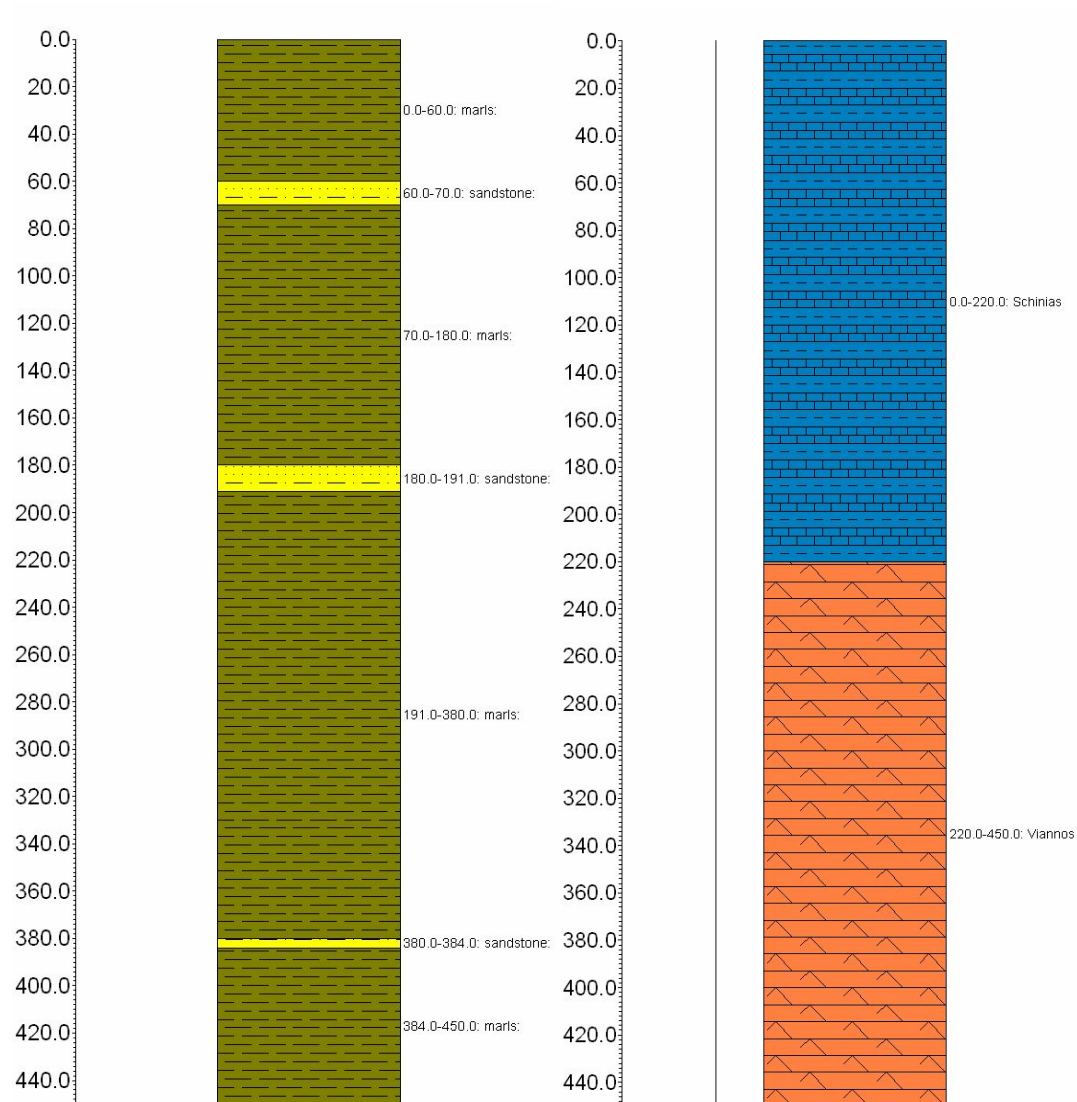


Εικόνα 3.4 : Άποψη της θέσης της τρίτης γεώτρησης GAMMA

Γεώτρηση Delta

Η τέταρτη γεώτρηση, ήταν η βαθύτερη που ανορύχθηκε και είχε συνολικό μήκος 450 μέτρα. Βρίσκεται ανάμεσα στα χωριά Πυράθιο και Μπαδιά. Στα πρώτα 220 μέτρα διατρέχει δύο μαργαϊκούς πάγκους πάχους 60 και 110 μέτρων ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται ψαμμιτικός ορίζοντας 10 μέτρων. Κάτω από το δεύτερο πάγκο παρεμβάλλεται ξανά ψαμμιτικός ορίζοντας. Στρωματογραφικά η λιθολογική αυτή σειρά ανήκει στην ενότητα του Σχοινιά. Η υπόλοιπη γεώτρηση, από τα 191 μέτρα έως και το τέλος της διαπερνά μαργαϊκούς σχηματισμούς με μία μόνο παρεμβολή ενός ψαμμιτικού ορίζοντα από τα 380 έως τα 384 μέτρα. Η ύπαρξη κυρίως ιλυολιθικών σχηματισμών μεγάλου πάχους σε αυτό το τμήμα της γεώτρησης

συνηγورεί ότι το τμήμα αυτό εντάσσεται στρωματογραφικά στο σχηματισμό του Βιάννου.



Σχήμα 3.48 : Λιθολογία και λιθοστρωματογραφική ερμηνεία της πρώτης γεώτρησης DELTA

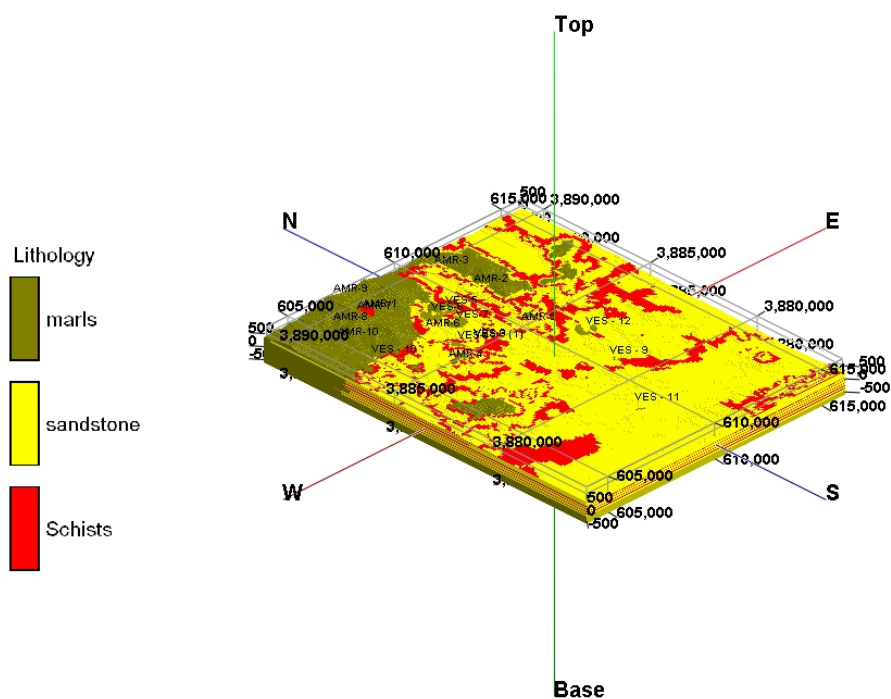


Εικόνα 3.5 : Αποψη της θέσης της τέταρτης γεώτρησης DELTA

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Αντίστοιχα με την κατασκευή της πρώτης χαρτογραφικής απεικόνισης που είχε διαστάσεις 8 km από Δυτικά προς Ανατολικά και 6 km από Βορρά προς Νότο και είχαν χρησιμοποιηθεί 16 DTM και οι αντίστοιχοι ορθοφωτοχάρτες, το επόμενο βήμα για την κατασκευή της ο χαρτογραφικής απεικόνισης της ευρύτερης περιοχής ήταν να συνδεθούν τα δεδομένα για την μορφολογία του ανάγλυφου. Στα ήδη υπάρχοντα δεδομένα προστέθηκαν 8 νέα DTM και οι αντίστοιχοι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής. Η διευρυμένη περιοχή χαρτογράφησης έχει διαστάσεις 12 χιλ. από δυτικά προς ανατολικά και 15 χιλ. από Βορρά προς Νότο. Στηριζόμενοι στα στοιχεία της γεωλογικής χαρτογράφησης κατασκευάστηκαν στη συνέχεια λεπτομερείς γεωλογικοί χάρτες της περιοχής οι οποίοι εμπεριέχουν τα στοιχεία που προέκυψαν από νέες βυθοσκοπίσεις που βρίσκονταν μέσα στα νέα όρια της διευρυμένης περιοχής και τελικά τα στοιχεία από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του γεωτρητικού προγράμματος.

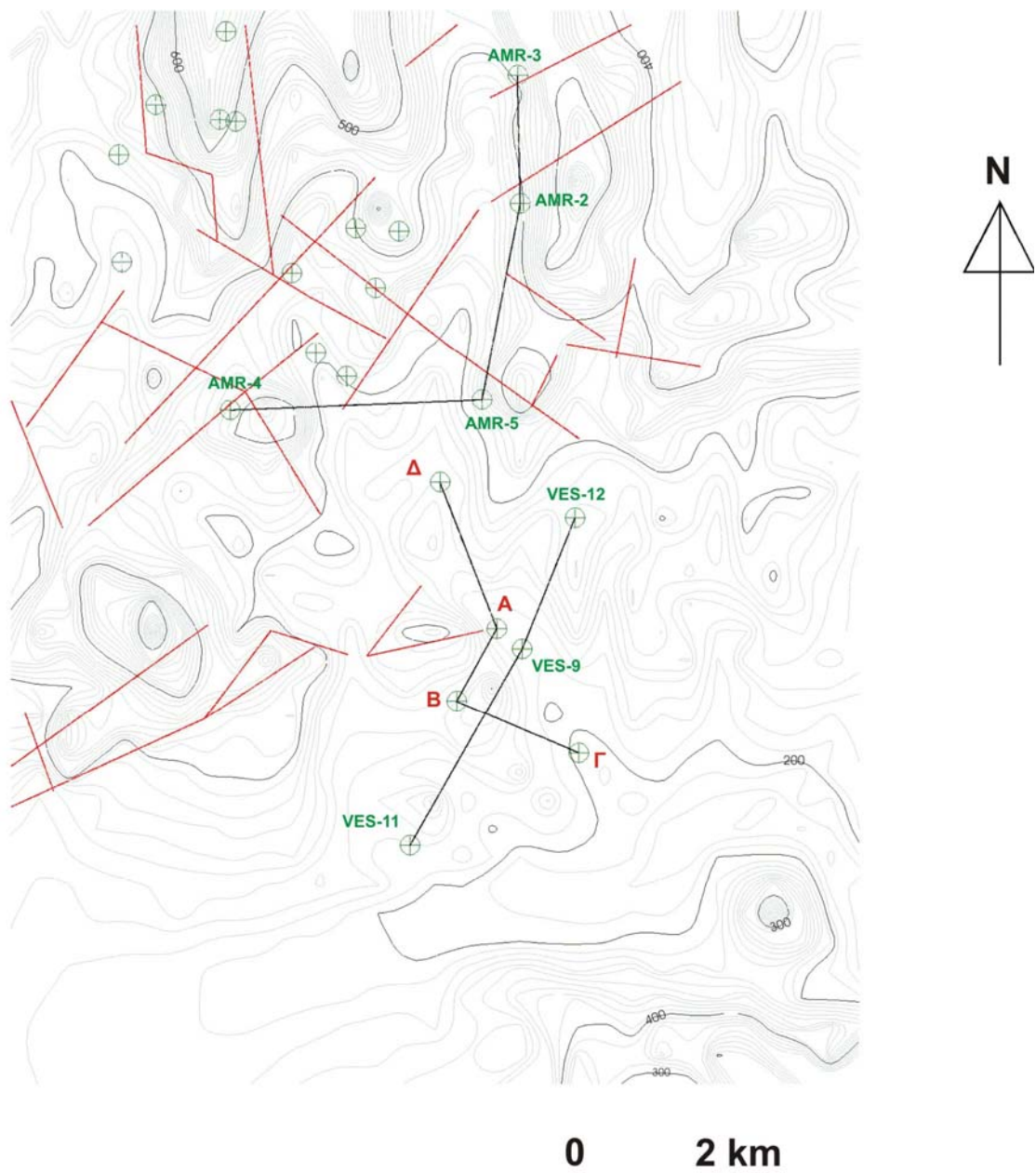
Στη συνέχεια κατασκευάστηκε μια πρώτη λιθολογική χαρτογραφική απεικόνιση για την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα που είχαμε στη διάθεσή μας, πέρα από τα γεωφυσικά και γεωτρητικά δεδομένα του αρχικού μοντέλου, ήταν τέσσερις νέες ηλεκτρικές βυθοσκοπίσεις που βρίσκονταν μέσα στα νέα όρια του διευρυμένου μοντέλου. Το μοντέλο που προέκυψε φαίνεται στο σχήμα 4.1.



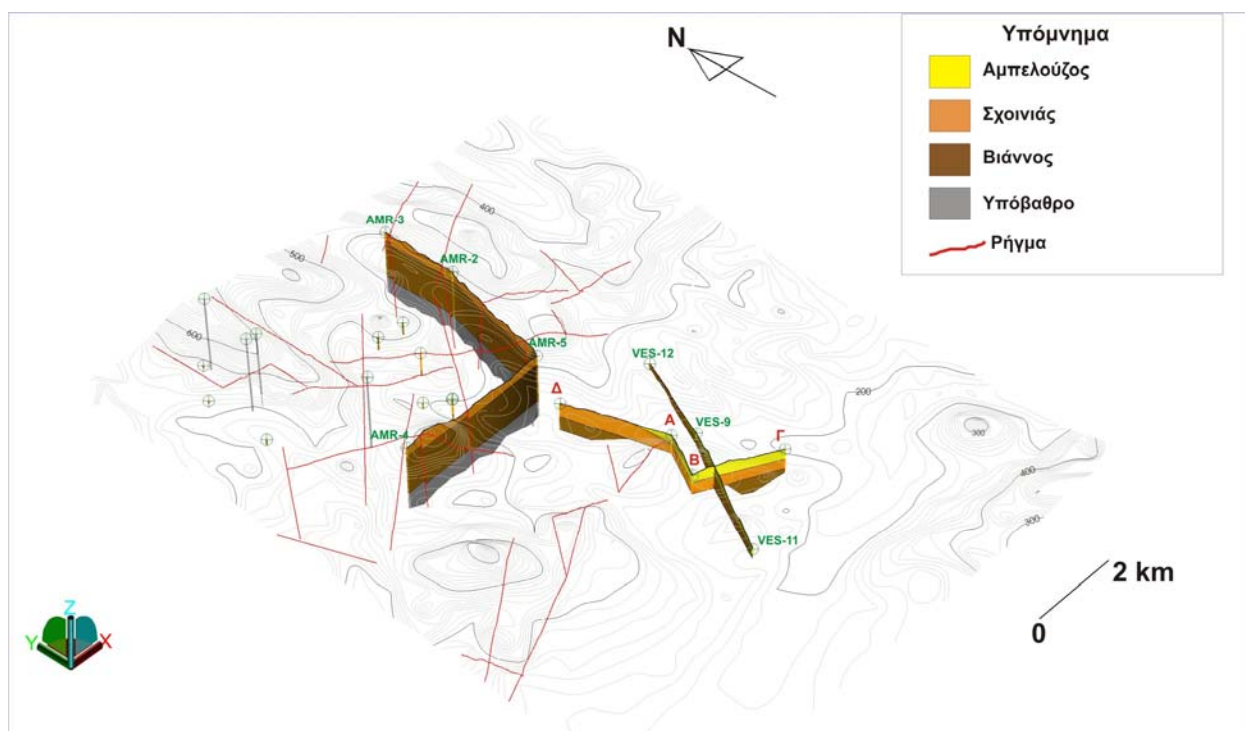
Σχήμα 4.1: Πρώτη (προσεγγιστική) λιθολογική χαρτογραφική απεικόνιση για την ευρύτερη περιοχή μελέτης

Μετά την πραγματοποίηση των τεσσάρων ερευνητικών γεωτρήσεων είχαμε στη διάθεση μας επιπλέον δεδομένα για την κατασκευή ενός ακριβέστερου λιθολογικού μοντέλου. Το νέο μοντέλο που προέκυψε φαίνεται στο επόμενο σχήμα 4.2.

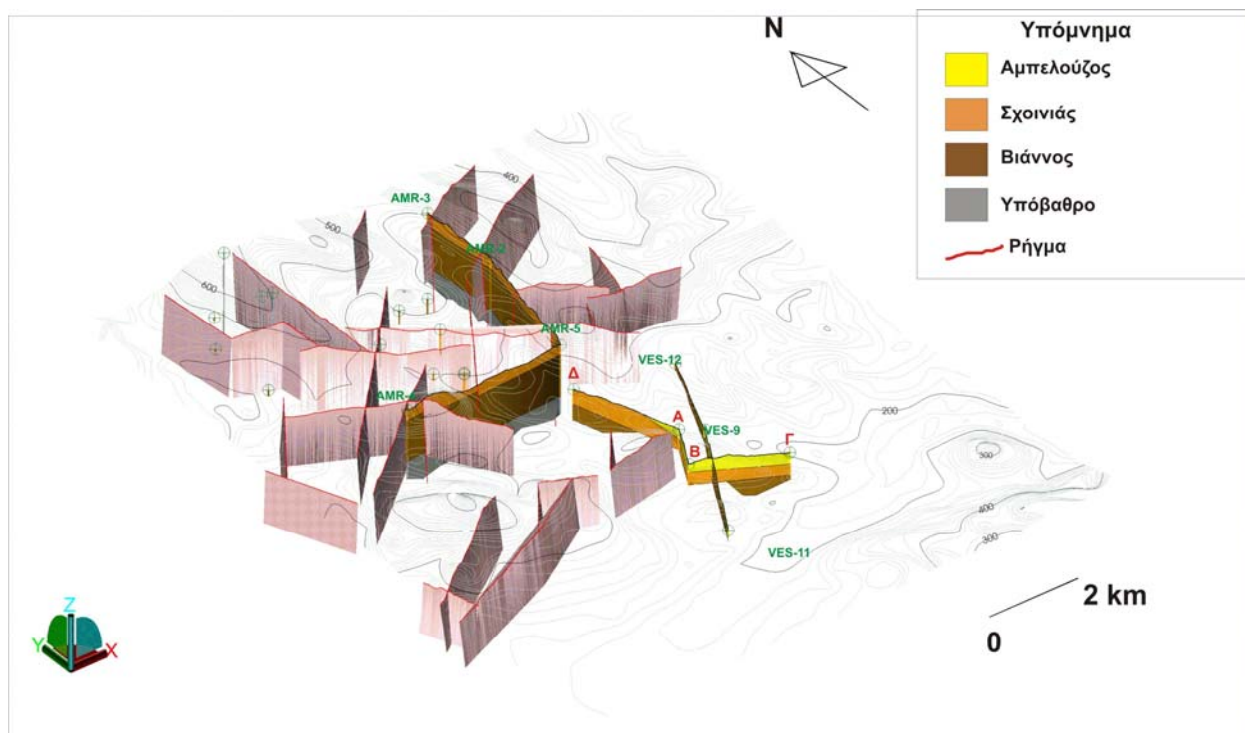
ογκομετρικά. Κατασκευάστηκε εκ νέου 3-διάστατη χωρική βάση δεδομένων με το σύνολο των στοιχείων. Στην συνέχεια μοντελοποιήθηκαν οι ρηξιγενείς επιφάνειες, μεταφέροντας στα προβληθέντα στο ψηφιακό μοντέλο της τοπογραφίας ίχνη των ρηγμάτων τα στοιχεία για τη διεύθυνση και κλίση τους, όπως μετρήθηκαν κατά την εργασία υπαίθρου. Τέλος, συσχετίζοντας τα στοιχεία των γεωφυσικών διασκοπήσεων και των γεωτρήσεων μεταξύ τους και με τις θέσεις των ρηγμάτων κατασκευάστηκαν οι συνθετικές γεωλογικές τομές που παρουσιάζονται στα σχήματα 4.3, 4.4 και 4.5



Σχήμα 4.3: Θέσεις ρηγμάτων και τομών στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

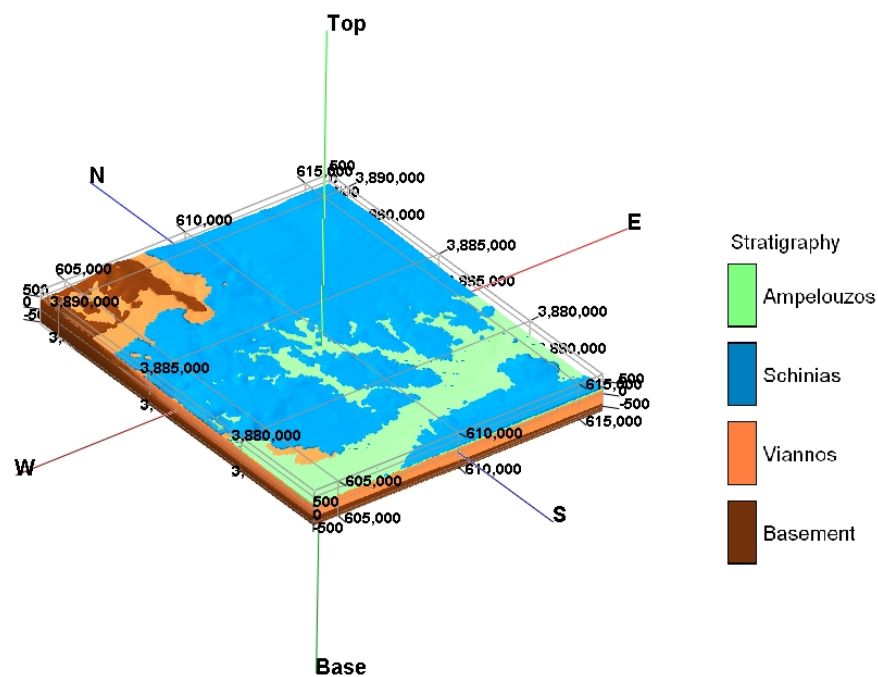


Σχήμα 4.4 : Χωρικά διαγράμματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης



Σχήμα 4.5: Χωρική κατανομή επιφανειών ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Το τελικό βήμα ήταν η κατασκευή της τελικής χαρτογραφικής απεικόνισης που θα περιλαμβάνει το σύνολο των ανωτέρω στοιχείων. Ο λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της διευρυμένης περιοχής μελέτης παρατίθεται στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Η μέθοδος της τρισδιάστατης γεωλογικής απεικόνισης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την κλασσική, στατικού τύπου απεικόνιση (γεωλογικό χάρτη):

- Ο μελετητής υποστηρίζεται στην κατασκευή ενός λογικά ορθού προτύπου. Σφάλματα και αντινομίες γίνονται εμφανή κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής προσομοίωσης και μπορούν να διορθωθούν.

- Στα πρώιμα στάδια της μελέτης υποστηρίζονται οι αποφάσεις για τη συλλογή επιπλέον στοιχείων, ενώ η διαδικασία για μετατροπή, ενημέρωση, και αναθεώρηση του γεωλογικού μοντέλου γίνεται γρήγορα και αξιοποιώντας όλα τα προϋπάρχοντα στοιχεία,
- Τα σφάλματα ερμηνείας, σε σχέση με τον κλασσικό γεωλογικό χάρτη περιορίζονται αισθητά, επειδή στο ψηφιακό ομοίωμα μεταφέρονται και συνδυάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο τα συλλεγόμενα πρωτογενή στοιχεία, τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και οι εμπειρίες και απόψεις του ερευνητή.
- Το γεωλογικό μοντέλο δεν υποστηρίζεται μόνο από αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές αλλά από την δυνατότητα κατασκευής οποιασδήποτε τομής η τομών σε κάθε διεύθυνση.
- Οι πληροφορίες που περιέχονται στο πρότυπο μπορούν εύκολα να αναπαραχθούν και να παρουσιαστούν π.χ. με τη μορφή τομών σε διάφορες διευθύνσεις, υπεδαφικών χαρτών, τρισδιάστατων μπλοκ διαγραμμάτων.
- Γίνεται δυνατή η εύκολη και ακριβής ποσοτικοποίηση της γεωλογικής πληροφορίας (όγκοι, πάχη, άλμα ρηγμάτων, κλπ.) και η αντίστοιχη παρουσίαση (π.χ. χάρτες ισοπαχών, ομαδοποίηση, ή γενεές ρηγμάτων).
- Γίνεται εύκολη η ενσωμάτωση ψηφιακών εικόνων και στοιχείων από τηλεπισκοπικούς δορυφόρους, ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα, μοντέρνα τοπογραφικά όργανα, και δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS).

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των εργασιών οδήγησε στην δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου των σχηματισμών που δομούν και εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης. Το γεωμετρικό αυτό μοντέλο αποτελεί ταυτόχρονα και μοντέλο ιδιοτήτων μιας και κατασκευάστηκε με βάση τη χωρική κατανομή λιθοτύπων που συγκριτικά και κατ' επέκταση ερμηνεύτηκαν σε λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Στο αρχικό αυτό μοντέλο μπορούν στη συνέχεια να ενσωματωθούν και να επεξεργαστούν σημαντικές πρόσθετες ιδιότητες όπως το πορώδες και η διαπερατότητα των σχηματισμών, η χωρική κατανομή των οποίων θα έδινε χρήσιμη πληροφορία για μια πρώτη προσέγγιση γεωλογικών αποθεμάτων του μεθανίου στην περιοχή.

Βιβλιογραφία

Ξενη

- Aller, R.C. (1998): Mobile deltaic and continental shelf muds as suboxic, fluidized bed reactors. *Mar. Chem.* 61, 143– 155.
- Aller, R.C., Blair, N.E. (2004): Early diagenetic remineralization of sedimentary organic C in the Gulf of Papua deltaic complex (Papua New Guinea): Net loss of terrestrial C and diagenetic fractionation of C isotopes. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 68, (9), 1815–1825.
- Angelier, J., N. Lyberis, X. Le Pichon, E. Barrier, & P. Huchon (1982), The tectonic development of the Hellenic arc and the sea of Crete: A synthesis, *Tectonophysics*, 86
- Armijo et al. (1992) : East – west extension and Holocene normal – fault scarps in the Hellenic arc. *Geology*, 20, 491-494
- Berner R. A. (1970): Sedimentary pyrite formation. *Am. J. Sci.* 268, 1--23.
- Bonneau, 1973. Sur les affinités ioniennes des “calcaires en plaquettes” epimétamorphiques de la Crète, le charriage de la série de Gavrovo-Tripolitza et la structure de l’ arc égéen. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 277: 2453-2456, Paris.
- Brunn, J. (1956): Contribution a l’étude Geologique du Pinde Septentrional et d’une partie de la Macedoine Occidentale, *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 7, pp. 1-358
- Creutzburg N. & E. Seidel, 1975. On the Present Knowledge of the Pre-Neogene Geology in Crete (Greece). *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 149, 363-383, Stuttgart
- Creutzburg, N., C. W. Drooger, J. E. Meulenkaamp, J. Papastamatiou, W. Sannemann, E. Seidel, & A. Tataris (1977), General geological map of Crete (scale 1:200.000), I.G.M.E., Athens.
- De Bruijn, H., P. Y. Sondaar, & W. J. Zachariasse (1971), Mammalia and

- Foraminifera from the Neogene of Kastellios Hill (Crete), a corelation of continental and marine biozones, paper presented at Koninkl. Nederl. Akad. Weten., Amsterdam.
- De Haas, H., van Weering, T.C.E., de Stigter, H. (2002): Organic carbon in shelf seas: sinks or sources, processes and products. *Cont. Shelf Res.* 22, 691– 717.
- Drever J. L. (1982): *The Geochemistry of Natural Waters*, p. 285. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Epting M., Kudrass H.R., Leppig U. & Schaefer A. (1972): *Geologie der Talea Ori/Kreta*. - *Neues Jahrbuch Geol. Palaeont. Abh.*, **141**, 259-285, Stuttgart.
- Fassoulas, C., A. Kiliass, & D. Mountrakis (1994a), New data about the pre-Oligocene structural evolution of Crete (Greece), *Bull. Soc. Geol. Greece*, 30, 67-81.
- Fonselius S. H. (1967): Hydrography of the Baltic deep basins 11: Fishery Board of Sweden. *Ser. Hydrogr. Rep.* 20, I-31.
- Huber, H., Huber, R., Loedermann, H.-D., Stetter, O.K. (1994): Search for hyperthermophilic microorganisms in fluids obtained from the KTB pump test. *Sci. Drill.* 4, 127–129.
- Houlding, W. Simon, 1994. "3D Geoscience Modeling; Computer Techniques for Geological Characterization". Springer-Verlag, Berlin-New York.
- Houlding, W. Simon, 2000. "Practical geostatistics". Springer-Verlag, Berlin-New York.
- Ingall, E.D., Van Cappellen, P. (1990): Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 373– 386.
- Jacobshagen et al. (1976): *Alpidischer Gebirgsbau und Krustenstruktur des Peloponnes*. - *Z.d.t. geol. Ges.*, Hannover
- Jacobshagen et al. (1978): Structure and geodynamic evolution af the Aegean region. - In H.Closs, D.H. Roeder & K.Schmidt (eds): *Alps, Apennines*,

- Hellenides.- Inter. Union Comm. Geodynamics, Sci. Rept. 38"537-564, Stuttgart (Schweizerbart)
- König, H. & Kuss, S.E. (1980): Neue Daten zur Biostratigraphie des permotriadischen Autochthons der Insel Kreta.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1980: 525-540.
- Krijgsman, W., Hilgen, F.J. Langereis, C.G. and Zachariasse, W.J. (1994), The age of the Tortonian/Messinian boundary, Earth and Planetary Science Letters, 121, 533-547.
- Kuss, S.E. and Thorbecke, G. (1974): Die praneogenen Gesteine der Insel Kreta und ihr Korrelierbarkeit im agaischen Raum. -Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg in Breisgau 64, pp. 39-75.
- Lyon-Caen et al., 1982. Active deformation of a segment of arc: the straight of Kythira, Hellenic arc, Greece. J. Struct Geol. 4, 299 - 311
- Manutsoglu E., Mertmann D., Soujon A., Dornsiepen U.F. & Jacobshagen V. (1995): Zur Nomenklatur der Metamorphite auf der Insel Kreta, Griechenland. - Berliner geowiss. Abh., E 16, 559-567, Berlin.
- Mercier et al. , 1989. Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. Basin Res. 2, 49 - 71
- Mercier, J.L., (1981). Extensional - compresional tectonics associated with the Agean Arc: comparison with Andean Cordillera of south Peru - north Bolivia. Philos. Trans. R. Soc. London A 300, 337 - 355
- Meulenkamp, J.E., Jonkers, A., Spank, P., (1979): Late Miocene to Early Pliocene development of Crete, -Proceedings of the VI colloquium on the Geology of the Aegean Region, Athens, pp. 137 –149.
- Meulenkamp, J. E., M. J. R. Wortel, W. A. van Wamel, W. Spakman, & E. duyn Strating (1988), On the Hellenic subduction zone and the geodynamic evolution of Crete since the late middle Miocene, Tectonophysics, 146, 203-215.
- Meulenkamp, J. E., G. L. van der Zwaan, & W. A. van Wamel (1994), On late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic Arc, Tectonophysics, 234, 53-72.
- Olausson E. (1980): The carbon dioxide--calcium carbonate system in estuaries. In Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries (Edited by Olausson E. and Care I.),pp. 297-305. Wiley, Chichester.

- Pelet R. (1984): A model for the biological degradation of recent sedimentary organic matter. In *Advances in Organic Geochemistry 1983* (Edited by Schenck P. A., Leeuw J. W. de and Lijmbach G. W. M.), pp. 317-325. Pergamon Press, Oxford.
- Pfendt P.A., Krsmanovic V.D., and Vitorovic D. (1987): Indication of reducing conditions in early diagenesis: The Aleksinac oil shale as example - *Advances in Organic Geochemistry Org. Geochem. Vol. 13, Nos 4-6*, pp. 791-799.
- Postma, G., A. R. Fortuin, & W. A. van Wamel (1993), Basin-fill patterns controlled by tectonics and climate: the Neogene "fore-arc" basins of eastern Crete as a case history, *Spec. Publs Int. Ass. Sediment.*, 20, 335-362.
- Robinson, E. S. & Coruh, C., (1988), "Basic Exploration Geophysics", New York: Johny Wily.
- Rice, D., 1992. Controls, habitat, and resource potential of ancient bacterial gas. In: Vially, R. (Ed.), *Bacterial Gas*. Editions Technip, Paris, pp. 91-118.
- Rice, D.D., 1993. dBiogenicT gas: controls, habitats, and resource potential. In: Howell, D.G. (Ed.), *The Future of Energy Gases*. US Government Printing Office, Washington, pp. 583- 606.
- Rickard D. T. (1973): Limiting conditions for synsedimentary sulfide ore formation. *Econ. Geol.* 68, 605-617
- Sissingh, W. (1972), Late Cenozoic Ostracoda of the South Aegean island arc, *Utrecht Micropal. Bull.*, 6, 187.
- Ten Veen, J. H. (1998), Neogene outer-arc evolution in the Cretan segment of the Hellenic arc: Tectonic, sedimentary and geodynamic reconstructions, PhD thesis, 191 pp, Universiteit Utrecht.
- Ten Veen, J. H., & G. Postma (1999), Neogene tectonics and basin fill patterns in Hellenic outer-arc (Crete, Greece). *Basin Research*, 11, 223-241.
- Wollast, R. (1991): The coastal organic carbon cycle: fluxes, sources and sinks. In: Mantoura, R.F.C., Martin, J.-M., Wollast, R. (Eds.), *Ocean Margin Processes in Global Change*. Dahlem Workshop Reports. Wiley Interscience, Chichester, pp. 365-381

Whiticar, M.J., Faber, E., & Schoell, M. (1986): Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO₂ reduction vs. acetate fermentation – isotope evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50, 693–709.

Whiticar, M.J. (2002): Diagenetic relationships of methanogenesis, nutrients, acoustic turbidity, pockmarks and freshwater seepages in Eckernförde Bay. *Marine Geology*, 182, 29–53.

Willmann, R. (1982), Biostratigraphisch wichtige Süsswassergastropoden (Prosobranchia, Hydrobiidae) aus dem Neogen des Agaiscs Raumes, N.Jb. Geol. Paläont. Abh., 162, 304–331.

Zachariasse, W. J. (1975), Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Late Neogene of Crete (Greece), *Utrecht Micropal. Bull.*, 143.

Ελληνική

Βασιλάκης Ε.Μ., (2006). Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης Μεσσαράς, Κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών., Διδακτορική διατριβή, Αθήνα

Δερμιτζάκη (1972, 1973)

Δρακόπουλος κ.α., 1983

Ζεληλίδης Α., (2008). Γεωλογικό μοντέλο της περιοχής – Επιλεγμένες θέσεις γεωτρήσεων. – Αδημοσίευτη έκθεση προόδου φυσικού αντικείμενου, 5 – 21, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05, ΓΤΕΤ., Αθήνα.

Καπαγερίδης Κ. Ιωάννης, (2006). «Εισαγωγή στην γεωστατιστική». Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Φυτρολάκης, (1972). Η επίδραση ορογενετικών τινών κινήσεων και ο σχηματισμός της γύψου εις την Ανατολικήν Κρήτην (επαρχία Σητείας). Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., 9/1: 81–100, Αθήνα

Φυτρολάκης, Ν. (1978): Συμβολή της στη γεωλογική έρευνα της Κρήτης. – Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., XIII/2, 101–115, Αθήνα.

Φυτρολάκης, Ν. (1980), Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα, Διατριβή επί υφηγεσία thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ψαριανός (1961),