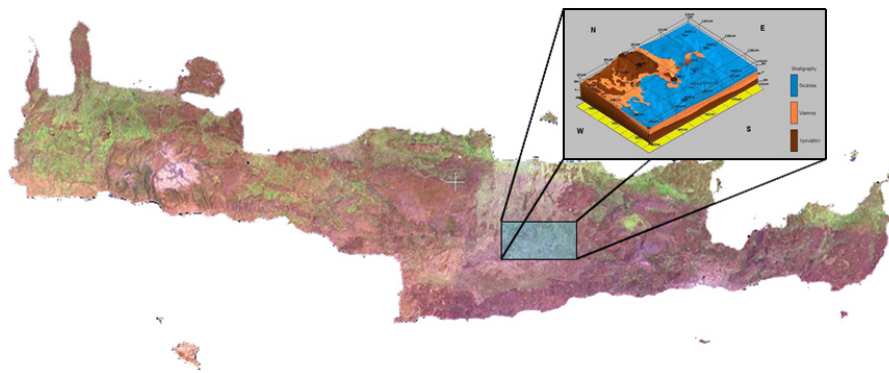




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ  
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
(ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)

Διπλωματική Εργασία

« Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο μεταλλικών σχηματισμών στην περιοχή του Αρκαλοχωρίου της Κεντρικής Κρήτης »



Κιλμπασάνης Σεβαστός

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

ΜΑΡΤΙΟΣ 2008  
ΧΑΝΙΑ

Αφιερώνεται  
Στην οικογένειά μου

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Κατάλογος σχημάτων.....	4
Κατάλογος Πινάκων.....	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ.....	11
1.1. Γεωλογικό περίγραμμα των Ελληνίδων Οροσειρών.....	11
1.2. Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης.....	12
1.2.1. Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις της Κρήτης.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Μεθανογένεση και σαπροπηλοί.....	24
2.1 Δημιουργία και προέλευση του μεθανίου οργανικής προέλευσης.....	24
2.2.Αποθετικά περιβάλλοντα.....	25
2.3. Ο ρόλος της διαγένεσης.....	26
2.3.1 Επιλογή των δεικτών για τις συνθήκες πρόδρομης αναερόβιας διαγένεσης.....	27
2.4 Ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικό - Σαπροπηλοί.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	35
3.1. Εισαγωγή.....	35
3.2 Γεωμετρικό Μοντέλο.....	35
3.3 Εισαγωγή στο λογισμικό Rockworks 2006.....	36
3.3.1.Περιγραφή εργαλείων λειτουργίας.....	36
3.3.1.1. Η υποσελίδα Borehole Manager.....	36
3.3.1.2. Η υποσελίδα Rockware Utilities.....	38
3.3.1.4. Αποθήκευση φύλλου εργασίας.....	41
3.3.1.5. Οπτικοποίηση Αποτελεσμάτων Επεξεργασίας.....	42
3.3.2. Δημιουργία Πλεγματικού Μοντέλου και επισύναψη εικόνων χάρτη.....	44
3.3.3. Χωροθέτηση γεωτρητικών δεδομένων.....	63
3.3.3.1. Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας γεωτρήσεων.....	64
3.3.3.1.1. Τρισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας γεωτρήσεων.....	67
3.3.3.1.2. Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας πολλαπλών γεωτρήσεων.....	69
3.3.4. Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου.....	73
3.3.4.1. Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ.....	76
3.3.4.2. Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ τύπου «Section».....	78
3.3.4.3. Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ τύπου «Fence».....	79
3.3.5 Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου.....	81
3.3.5.1. Στρωματογραφικά μοντέλα με τοπογραφικό ανάγλυφο.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ.....	90
4.1 Λιθολογικό Μοντέλο.....	90
4.2 Αποτελέσματα γεωφυσικών διασκοπήσεων.....	95
4.3 Στρωματογραφικά μοντέλα της περιοχής.....	102
Βιβλιογραφία.....	108

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1: Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. (Κατά Μουντράκη et al. 1983, από J.Mercier, J.Brunn, J.Aubouin et al., 1971). .....	11
Σχήμα 1.2 :Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al. 1978). .....	13
Σχήμα 1.3 :Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000. με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς. ..	13
Σχήμα 1.4: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Νεογενών ιζημάτων στην Κρήτη (κατά Meulenkamp et al 1979). .....	16
Σχήμα 1.5: Λιθοφασική εξέλιξη της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου κατά J.H.ten Veen (1998). .....	18
Σχήμα 1.6 : Τμήμα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι.....	19
Σχήμα 1.7 : Υπόμνημα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι.....	20
Σχήμα 1.8 : Τεκτονικό σκαρίφημα της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου (κατά Fassoulas 2001).....	23
Σχήμα 2.1.: Σχηματική αναπαράσταση της σειράς εμφάνισης των οριζόντων μιας τυπικής σαπροπηλικής ακολουθίας.....	31
Σχήμα 2.2 : :Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι σαπροπηλικοί ορίζοντες της Αν.Μεσογείου σε σχέση με τη διακύμανση του δ <sup>18</sup> O ..Οι αποθέσεις των περισσότερων σαπροπηλών συμπίπτουν με έντονες μειώσεις του δ <sup>18</sup> O ..	32
Σχήμα 2.3:Διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται οι σαπροπηλικοί ορίζοντες σε σχέση με τη διακύμανση της εκκεντρότητας (eccentricity) και της μεταβολής των ισημεριών (precession index).Όλες οι σαπροπηλικές αποθέσεις συμπίπτουν με ελάχιστα του precession index.....	32
Σχήμα 3.1: Η υποσελίδα Βορηολε Μαναγερ. Με μπλέ περίγραμμα περικλείονται όλα τα πεδία (καρτέλες) δεδομένων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζεται η καρτέλα Location με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, το υψόμετρο και το συνολικό βάθος της γεώτρησης AMR-3. ....	37
Σχήμα 3.2 : Geological Utilities, Κύριο Περιβάλλον Εργασίας.....	38
Σχήμα 3.3: Συμπληρωμένο φύλλο εργασίας της υποσελίδας Rockware Utilities.....	39
Σχήμα 3.4: Παράθυρο δημιουργίας νέο φύλλου εργασίας.....	40
Σχήμα 3.5 : Παράθυρο επιλογής μορφοποίησης στηλών.....	41
Σχήμα 3.6 : Παράθυρο απεικόνισης RockPlot2D.....	42
Σχήμα 3.7: Παράθυρο απεικόνισης RockPlot3D.....	43
Σχήμα 3.8 : Παράθυρο απεικόνισης ReportRockworks.....	43
Σχήμα 3.9: Ορθοφωτογραφία από τομέα της περιοχής μελέτης.....	44
Σχήμα 3.10 : Δείγμα αρχείου με τον κατάλογο συντεταγμένων της υπο μελέτη περιοχής.....	45
Σχήμα 3.11: Διαμορφωμένο αναγνώσιμο ASCII File από το Rockworks 2006.....	46
Σχήμα 3.12: Απεικόνιση διαδρομής του προγράμματος για την εισαγωγή του ASCII File στην υποσελίδα Geological Utilities.....	47
Σχήμα 3.13: Παράθυρο επιλογών εισαγωγής του ASCII File.....	48
Σχήμα 3.14 : Εισηγμένα στοιχεία στο φύλλο επεξεργασίας του Geological Utilities.....	49



Σχήμα 3.15: Απεικόνιση διαδρομής του προγράμματος για την δημιουργία χάρτη πλέγματος.....	50
Σχήμα 3.16: Παράθυρο ρυθμίσεων των παραμέτρων του χάρτη πλέγματος.....	50
Σχήμα 3.17: Παράθυρο παραμετροποίησης των συνοριακών συντεταγμένων .....	51
Σχήμα 3.18 : Προβολή επιλογών για δυσδιάστατη ή τρισδιάστατη απεικόνιση .....	52
Σχήμα 3.19: Πρόοδος κατασκευής του πλεγματού μοντέλου .....	53
Σχήμα 3.20: Ολοκληρωμένο πλεγματού μοντέλο .....	54
Σχήμα 3.21: Ρύθμιση υψομετρικού υπομνήματος.....	55
Σχήμα 3.22 : Ρύθμιση παραμετροποίησης υπομνήματος .....	55
Σχήμα 3.23 : Πλεγματού Μοντέλο με ρυθμισμένες τις παραμέτρους υψομέτρου.....	56
Σχήμα 3.24 : Geological Utilities: Επιλογή διαδρομής για την επισύναψη ορθοφωτοχάρτη στο κατασκευασμένο πλεγματού μοντέλο.....	56
Σχήμα 3.25 : Παράθυρο επιλογών επισύναψης των δύο χαρτών .....	57
Σχήμα 3.26 : Rockplot3D, Χάρτης ψηφιακού τοπογραφικού αναγλύφου .....	58
Σχήμα 3.27: Rockplot3D, Επισύναψη γεωλογικού χάρτη στο πλεγματού μοντέλο.....	59
Σχήμα 3.28 : Εμφάνιση αρχείου .xml απευθείας από το Rockplot3D.....	60
Σχήμα 3.29: Επιλογή διαδρομής για την επισύναψη του δεύτερου αρχείου .xml.....	61
Σχήμα 3.30: Παράθυρο επιλογής επισύναψης επιθυμητού αρχείου .xml.....	61
Σχήμα 3.31: Προσαρτημένο μοντέλο των δύο επιφανειών με ανοιχτό το παράθυρο διαλόγου ρύθμισης διαφάνειας της ανώτερης επιφάνειας.....	62
Σχήμα 3.32 : Το προσαρτημένο μοντέλο με ρύθμιση διαφάνειας της ανώτερης επιφάνειας στο 25% .....	63
Σχήμα 3.33: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των γεωγραφικών στοιχείων για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά, στην καρτέλα Locations.....	64
Σχήμα 3.34: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των λιθολογικών στοιχείων τους στην καρτέλα Lithology. ....	65
Σχήμα 3.35 : Παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής 2D – Striplog .....	66
Σχήμα 3.36: Η λιθολογική στήλη που προκύπτει για την γεώτρηση AMR-3 .....	67
Σχήμα 3.37: Το παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής Single Log 3D.....	68
Σχήμα 3.38 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας της γεώτρησης AMR-3 με το υπόμνημά της.....	69
Σχήμα 3.39 : Οι ρυθμίσεις απεικόνισης της εντολής Multilog Profile.....	70
Σχήμα 3.40 : Επιλογή γεωτρήσεων για την δημιουργία λιθολογικού προφίλ.....	71
Σχήμα 3.41: Προφίλ λιθολογίας μέσω της εντολής Multilog Profile.....	72
Σχήμα 3.42: Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού προφίλ με την εντολή Multilog Section.....	72
Σχήμα 3.43: Λιθολογικό προφίλ με την εντολή Multi-Log Section .....	73
Σχήμα 3.44: Το παράθυρο ρυθμίσεων για την δημιουργία τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων.....	74
Σχήμα 3.45: Το αποτέλεσμα της εντολής Filter Points .....	75
Σχήμα 3.46: Η επίδραση της εντολής Randomize Blending .....	75
Σχήμα 3.47: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας του κοιτάσματος.....	76
Σχήμα 3.48 : Ρυθμίσεις της εντολής Profile .....	77
Σχήμα 3.49 : Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού προφίλ.....	78
Σχήμα 3.50: Προφίλ τύπου «Section» .....	79

Σχήμα 3.51: Παράθυρο επιλογών γραμμών προφίλ για τη κατασκευή του διαγράμματος τύπου «Fence» .....	80
Σχήμα 3.52 : Προφίλ τύπου «Fence» με την θέση των προφίλ που το συνθέτουν.....	80
Σχήμα 3.53 : Ορισμός των στρωματογραφικών ενοτήτων ανά γεώτρηση που θα απαρτίσουν το τελικό στρωματογραφικό μοντέλο. ....	81
Σχήμα 3.54: Επιλογή διαδρομής της υποσελίδας Borehole Manager για τη κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου.....	82
Σχήμα 3.55: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου .....	83
Σχήμα 3.56 : Το παράθυρο επιλογών με εκτεταμένες τις ρυθμίσεις του αλγορίθμου χρήσης.....	84
Σχήμα 3.57: Ο εκθέτης επιρροής «στάθμισης» απροσδιόριστων (χωρίς επαρκή δεδομένα) σημείων.....	85
Σχήμα 3.58 : Ρύθμιση «κατευθυντικής» έρευνας για την εκτίμηση σημείων με ανεπαρκή δεδομένα .....	85
Σχήμα 3.59: Ρύθμιση για την απαλοιφή διπλών ή πολύ κοντινών σημείων.....	85
Σχήμα 3.60 : Εφαρμογή φίλτρου, και ρύθμιση του για τον υπολογισμό μέσω των όρων τιμών Z.....	86
Σχήμα 3.61 : Εφαρμογή «πύκνωσης» των δεδομένων με την μέθοδο τριγωνισμού.....	86
Σχήμα 3.62: Επιλογή υπορουτίνας διόρθωσης στρωματογραφικών ενοτήτων .....	87
Σχήμα 3.63 : Επιλογή για την αποκοπή μικρού πάχους στρωματογραφικών ενοτήτων απ' την κατασκευή του μοντέλου .....	87
Σχήμα 3.64: Geological Utilities: Επιλογή διαδρομής για την κατασκευή στρωματογραφικού μοντελου που συνυπολογίζει και το αναγλύφο.....	88
Σχήμα 3.65 : Παράθυρο ρυθμίσεων των ήδη κατασκευασμένων επιφανειών (.grd) για την δημιουργία επιφάνειας που θα λαμβάνει υπόψη στρωματογραφικά δεδομένα και τοπογραφικό ανάγλυφο.....	89
Σχήμα 4.1: Στρωματογραφική στήλη των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.....	90
Σχήμα 4.2: Απεικόνιση των δέκα εικονικών γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.....	90
Σχήμα 4.3:Υπέρθωση των ορθοφωτοχάρτων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM).....	91
Σχήμα 4.4:Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.....	92
Σχήμα 4.5:Υπέρθωση του γεωλογικού χάρτη στο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.....	93
Σχήμα 4.6:Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.....	93
Σχήμα 4.7:Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Βορρά - Νότου.....	94
Σχήμα 4.8:Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Δύσης - Ανατολής.....	94
Σχήμα 4.9:Συνδυαστική γεωλογική τομή εντός της περιοχής μελέτης.....	94
Σχήμα 4.10: Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων - onlap off - hide thin zones off χωρίς ανάγλυφο.....	103
Σχήμα 4.11: Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων - onlap on - hide thin zones on, 8m χωρίς ανάγλυφο .....	104
Σχήμα 4.12 : Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων –onlap off – hide thin zones on 8μ με ανάγλυφο.....	105
Σχήμα 4.13: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις - onlap on - hide thin zones on 8m με ανάγλυφο.....	106

Σχήμα 4.14: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις – Onlap off – hide thin zones on on 8μ με ανάγλυφο.....	107
--	-----

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 2-1: Τα σαπροπηλικά στρώματα που έχουν αποθεθεί τα τελευταία 400ka. (1: Jorissen et al.,1993, 2: Perissoratis and Piper,1992, 3: Maldorando and Stanley,1978, 4 : Olausson,1961, 5: Rossignol-Strick et al., 1982, 6: Muerdier et al., 1984, 7:Oggioni and Zandini 1987, 8: Parisi, 1987, 9: Cita et al., 1982, 10: Cita et al., 1977, 11: Hilgen (1991), 12: Lourens et al., 1996) (Cramp et al.,1999).....	31
Πίνακας 4-1 Συντεταγμένες και βάθη διασκοπήσεων.....	95
Πίνακας 4-2 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 3. ....	96
Πίνακας 4-3: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES –4. ....	97
Πίνακας 4-4: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 5. ....	98
Πίνακας 4-5: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 6. ....	99
Πίνακας 4-6: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 7. ....	100
Πίνακας 4-7: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 8. ....	101
Πίνακας 4-8: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 8. ....	102

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μια διπλωματική εργασία αποτελεί τόσο για τον φοιτητή που την εκπονεί, την οικογένειά του, όσο και για τους ανθρώπους με τους οποίους συνεργάζεται για την ολοκλήρωση της, μια εμπειρία που απαιτεί προσπάθεια, επιμονή και υπομονή σε όλα τα επίπεδα και συχνά επιφυλάσσει αρκετά προβλήματα πάσης φύσεως που όλοι οι εμπλεκόμενοι σε αυτή τη διαδικασία καλούνται να τα επιλύσουν και μάλιστα τις περισσότερες φορές υπό τη πίεση του χρόνου. Ολοκληρώνοντας λοιπόν το πόνημα αυτό,

από τη θέση αυτή, θα ήθελα να εκφράσω στις ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν, με οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας για την αμέριστη συμπαράσταση του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και για το ενδιαφέρον του σε οποιοδήποτε εμπόδιο θα μπορούσε να συμβάλει στην απρόσκοπτη εκπόνηση και ολοκλήρωσή της. Η συνεργασία μαζί του με βοήθησε στην προσέγγιση αναλυτικών και συνθετικών συλλογισμών και στη κατανόηση όλων όσων οφείλει να κατέχει ένας μηχανικός και δη ένας Μηχανικός Ορυκτών Πόρων. Η παρουσία του ήταν αδιάλειπτη και αποτέλεσε και για μένα μια απύθμενη πηγή γνώσης και αλλά και χρήσιμων προβληματισμών που συχνά προέκυπταν μέσα από τις συζητήσεις. Στους καθηγητές κ.κ. Βαφείδη Αντώνιο, Πρόεδρο του Τμήματος και Διευθυντή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, καθώς και Μαρκόπουλο Θεόδωρο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας που δέχτηκαν να συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή καθώς επίσης για τα στοιχεία και τις επισημάνσεις τους επί της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στον κ. Hamdan Hamdan, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων και υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος, για τις λεπτομερειακές διευκρινίσεις που συνέβαλαν στην κατανόησή των στοιχείων γεωφυσικών διασκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής στην περιοχή μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή του Αρκαλοχωρίου του νομού Ηρακλείου.

Στον γεωλόγο και κάτοχο μεταπτυχιακού τίτλου του τμήματος κ. Παναγόπουλο Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Στον μεταπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και φίλο Βάχλα Γεώργιο, για τη συνεργασία του στην ολοκλήρωση κατασκευής του μοντέλου.

Επίσης σε όλους τους συναδέλφους συμφοιτητές μου στη Ερευνητική Μονάδα Γεωλογίας, (Στρωματογραφία, Τεκτονική Γεωλογίας Περιβάλλοντος) για το ευχάριστο κλίμα φιλίας, συνεργασίας και υποστήριξης που συνέβαλε στην απρόσκοπτη και αποδοτική λειτουργία της ομάδας εργασίας σε ό,τι αφορούσε τη συγκεκριμένη εργασία.

Στην καλή μου φίλη Αμαλία Σίσκου, καθώς και στην οικογένειά της για την πολύτιμη συνεισφορά τους στο θέμα της διαμονής μου στα Χανιά, για την φιλοξενία τους και τη βοήθεια τους, που μου επέτρεψε να ασχοληθώ εξ ολοκλήρου με την διεκπεραίωση της εργασίας μου.

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όσους ανθρώπους δεν είναι δυνατό να αναφέρω στο παρόν κείμενο και με βοήθησαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στα χρόνια των σπουδών μου για να βελτιωθώ ως δέκτης πολύτιμης επιστημονικής γνώσης, αλλά κυρίως ανθρώπινης.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου των μεταλλικών σχηματισμών της περιοχής του Αρκαλοχωρίου του νομού Ηρακλείου, στην Κεντρική Κρήτη, χρησιμοποιώντας το σύνολο των διαθέσιμων χωρικών στοιχείων, με απώτερο στόχο την προσέγγιση ενός δυνητικού ταμιευτήρα βιογενούς μεθανίου στην περιοχή, που θεωρείται ότι έχει προέλθει από την αποδόμηση εγκλωβισμένης οργανικής ύλης, εντός των κλαστικών σχηματισμών, κατά το Νεογενές. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού χρησιμοποιήθηκαν, πέραν από τους γεωλογικούς χάρτες της περιοχής ενδιαφέροντος, δεδομένα που προήλθαν από ορθοφωτοχάρτες της περιοχής, στοιχεία για την κατασκευή των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, καθώς επίσης εργασίες πεδίου και γεωφυσικές διασκοπήσεις της περιοχής μελέτης. Η εισαγωγή των δεδομένων, η επεξεργασία τους, και η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού πακέτου Rockworks 2006. Με στοιχεία του υπάρχοντα γεωλογικού χάρτη της περιοχής κατασκευάστηκε ένα αρχικό μοντέλο, το οποίο εμπλουτίστηκε από δεδομένα εργασιών πεδίου και στοιχεία γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από γεωτρητικές δραστηριότητες των τελευταίων ετών έχει αποδειχθεί ότι στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Ηρακλείου εμφανίζονται γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν θύλακες βιοαερίου (μεθανίου). Το αέριο αυτό, αν αποδειχθεί ότι βρίσκεται σε σημαντικές ποσότητες, μπορεί να παραχθεί με χαμηλό κόστος, λόγω του μικρού βάθους εμφάνισης αλλά και της δυνατότητας συμπαραγωγής του με νερό για άρδευση και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Το βιοαέριο στην ευρύτερη περιοχή του Ν. Ηρακλείου θεωρείται ότι έχει δημιουργηθεί από την αποδόμηση οργανικής ύλης που έχει εναποτεθεί και εγκλωβιστεί σε γεωλογικούς σχηματισμούς του Νεογενούς. Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ» που ανατέθηκε από την ΓΓΕΤ στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος Κρήτης 2000-2006, Μέτρο 1.2, Πρόγραμμα «Επιδεικτικά Έργα: ΠΕΠΕΡ-Κρήτη».

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου των μεταλλικών σχηματισμών της περιοχής του Αρκαλοχωρίου του νομού Ηρακλείου, στην Κεντρική Κρήτη, χρησιμοποιώντας το σύνολο των διαθέσιμων χωρικών στοιχείων, για την κατανόηση της χωρικής κατανομής των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, με απώτερο στόχο την προσέγγιση ενός δυνητικού ταμειυτήρα βιογενούς μεθανίου στην περιοχή.

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας έχει ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται στοιχεία για το γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης και ειδικότερα για την περιοχή μελέτης, για την κατανόηση της στρωματογραφικής εξέλιξης και της στρωματογραφικής θέσης των σχηματισμών ενδιαφέροντος της περιοχής αυτής. Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται γενικά για την μεθανογένεση, το ρόλο της διαγένεσης στην διαδικασία αυτή, τα αποθετικά περιβάλλοντα ιζηματογένεσης και γίνεται μια συνοπτική αναφορά στις διεργασίες δημιουργίας σαπροπηλών και σαπροπηλικών οριζόντων που θεωρούνται τα μητρικά πετρώματα για την δημιουργία και έκλυση του βιογενούς (μικροβιακού) μεθανίου.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα εφάλλληλα στάδια για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου. Περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό ROCKWORKS 2006 για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους, την υπέρθεση αυτών από γεωλογικούς χάρτες και ορθοφωτοχάρτες καθώς και η εισαγωγή και επεξεργασία γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με την κατασκευή του πρώτου τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου της περιοχής με στοιχεία από τον υπάρχοντα γεωλογικό χάρτη.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 4 ερμηνεύονται στοιχεία εργασιών πεδίου (γεωλογικά και γεωφυσικά) και κατασκευάζονται σταδιακά τρισδιάστατα μοντέλα και το τελικό στρωματογραφικό μοντέλο της περιοχής μελέτης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

## 1.1. 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 (Εικ. 1.1) διακρίθηκαν ήδη από τον Brunh (1956) σε Εξωτερικές και Εσωτερικές με βάση κυρίως τον ορογενετικό τεκτονισμό που οι σχηματισμοί των ζωνών αυτών έχουν υποστεί. Ποιο ειδικά, οι σχηματισμοί των Εξωτερικών ζωνών έχουν υποστεί κατά το Τριτογενές ένα μόνο ορογενετικό τεκτονισμό και κατέχουν το δυτικό και νότιο τμήμα του ελλαδικού χώρου, ενώ οι σχηματισμοί των Εσωτερικών, εκτός από τον τεκτονισμό του Τριτογενούς, έχουν υποστεί επιπλέον και έναν πρώιμο ορογενετικό τεκτονισμό, που έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Κρητιδικό, και κατέχουν το ανατολικό (εσωτερικό) τμήμα του ελλαδικού χώρου.



Σχήμα 1.1: Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. (Κατά Μουντράκη et al. 1983, από J.Mercier, J.Brunh, J.Aubouin et al., 1971).

Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων αποτελούν παλαιογεωγραφικούς χώρους του «Παλιωκεανού» της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της υπερηπείρου της Παγγαίας ενός ηπειρωτικού τεμάχους που δημιουργήθηκε κατά την Βαρίσκια Ορογένεση. Μέσα στο ωκεάνιο χώρο της Τηθύος η ανάπτυξη μεσοωκεάνιας ράχης που λειτούργησε στο Λιάσιο-Δογγέριο του Ιουρασικού οδήγησε στην διάσπαση της Παγγαίας, στην δημιουργία δύο νέων ηπειρωτικών τεμαχών, της Λαυρασίας και της

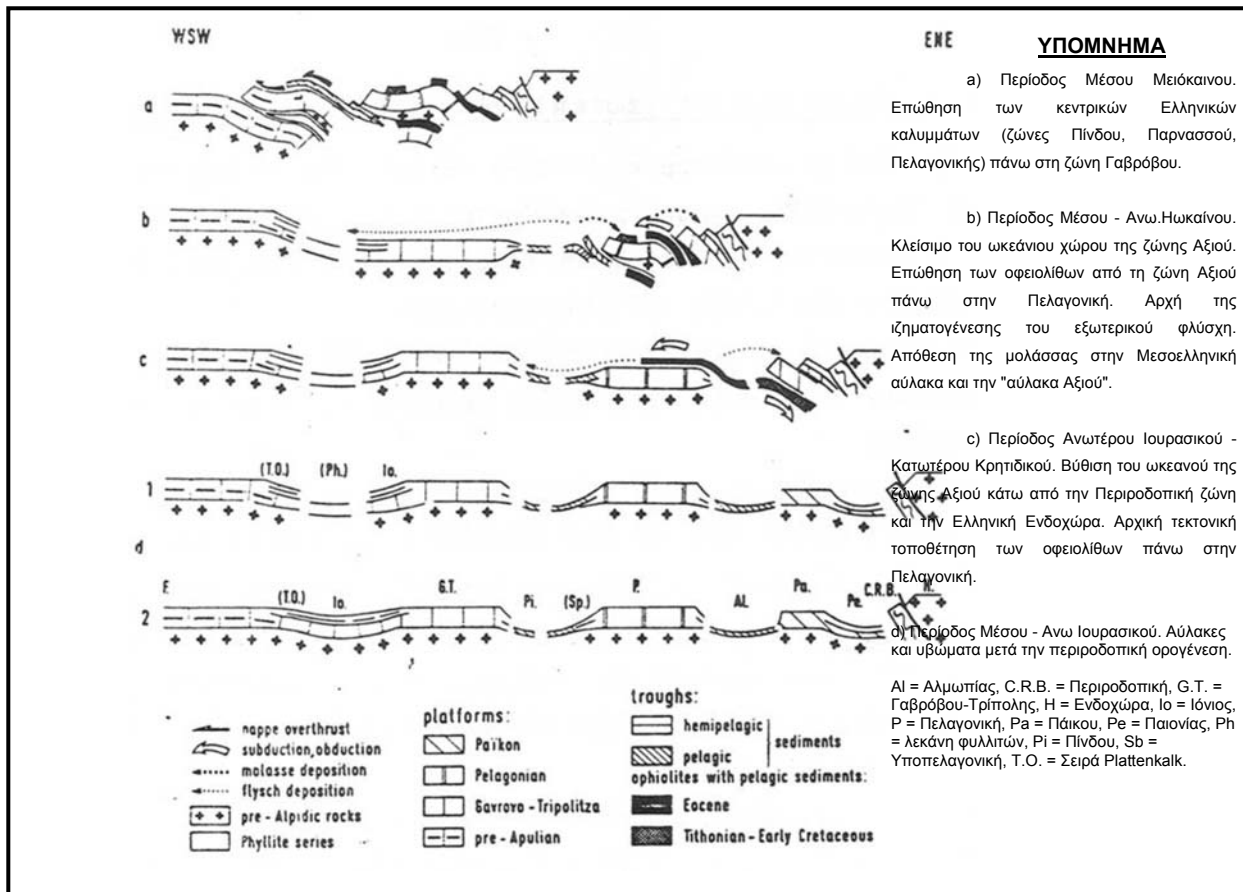
Γκοτβάνας και ταυτόχρονα στην υποβύθιση του ωκεάνειου φλοιού της Τηθύος κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της Λαυρασίας. Το τελευταίο γεγονός που ξεκίνησε το Μέσο Ιουρασικό και ολοκληρώθηκε το Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό οριοθετεί την απαρχή του τελευταίου Ορογενετικού κύκλου του Αλπικού και ταυτόχρονα για τον Ελληνικό χώρο, την διαφοροποίηση και την τεκτονική εξέλιξη των γεωτεκτονικών Ζωνών των Ελληνίδων οροσειρών.

Από τα πρωταρχικά και σημαντικά ερωτήματα με τα οποία απασχολήθηκε η παγκόσμια γεωεπιστημονική κοινότητα ήταν και παραμένει η ακριβής θέση και τα όρια του «μητρικού» αυτού ωκεανού της Τηθύος. Ειδικότερα για τον ευρύτερο χώρο της Ελλάδας το πρόβλημα 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. (1978) και το οποίο προβλέπει την ύπαρξη των ωκεάνιων λεκανών Παιονίας, Αλμωπίας, Υποπελαγονικής - Πίνδου και της φυλλιτικής σειράς μεταξύ Ιονίου ζώνης και «Πλακωδών Ασβεστολίθων» (Plattenkalk) (Εικ. 1.2). 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.

## 1.2. Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης

Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, οι γνώσεις μας για την γεωλογική δομή της Κρήτης έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών στα πλαίσια μεγάλου αριθμού προγραμμάτων ευρωπαϊκών και εθνικών ερευνητικών ινστιτούτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησε στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης το 1977 σε κλίμακα 1/200.000. Όπως φαίνεται στον χάρτη αυτόν αλλά και στους επόμενους που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000, (Εικ. 1.3), 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 1.2 :Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al. 1978).



Σχήμα 1.3 :Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος 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 ενότητων 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 (Ertting 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 Πάρωνα, του Ταύγετου 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, επιπεύσεις 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 (Ertting 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 φυλλίτες, χαλαζίτες, μετά-ψαμμίτες, μετά-κροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετά-ανδειςίτες,

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 με τεκτονική επίσης επαφή και αποτελείται στο υποκείμενο από τους μεγάλου πάχους νηριτικούς ασβεστόλιθους. Σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου.

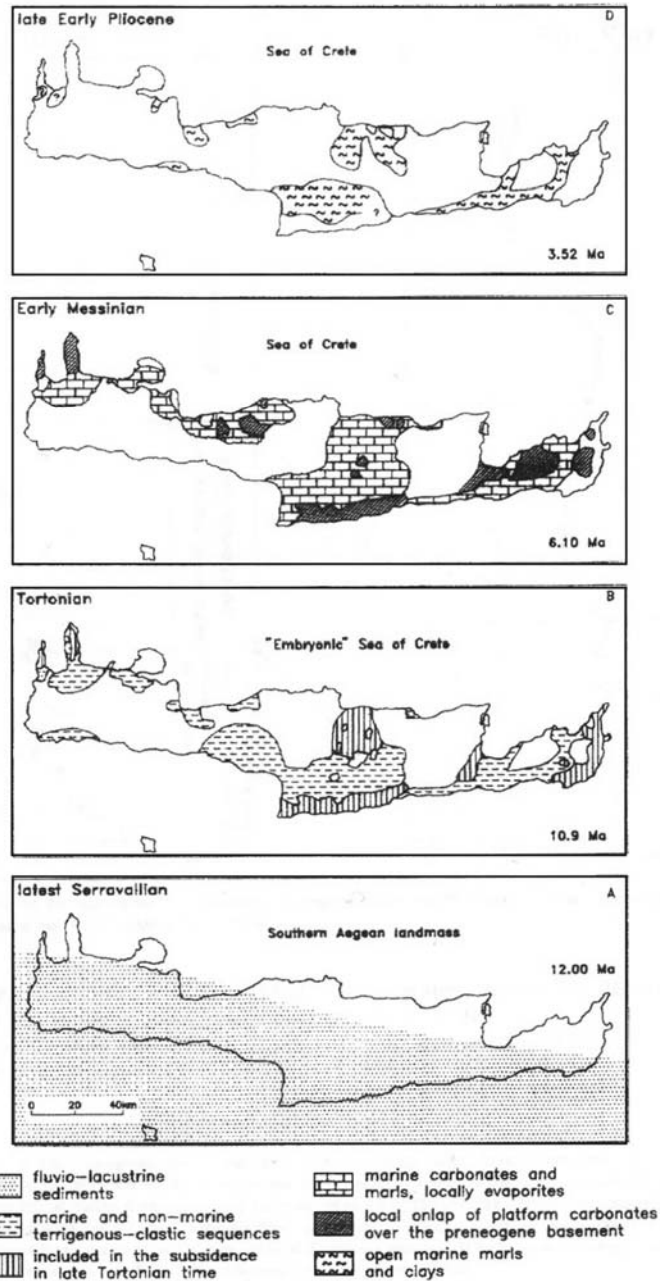
Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λέπια των εσωτερικών ζωνών, όπως είναι η ενότητα της Αρβης που περιλαμβάνει τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος, η ενότητα των Αστερουσίων που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.

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.

### **1.2.1. Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις της Κρήτης**

Για την κατανόηση της στρωματογραφικής εξέλιξης και της στρωματογραφικής θέσης των σχηματισμών ενδιαφέροντος της περιοχής μελέτης, μέσα στη ευρύτερη λεκάνη του Νεογενούς, 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.

Στην Εικ. 1.4 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 (Ανω Σαρραβάλλιο) στη περιοχή λάμβανε χώρα λιμναία ιζηματογένεση και οριοθετούσε την ξηρά του νοτίου Αιγαίου (Southern Aegean landmass). 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 κεντρικής 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.



Σχήμα 1.4: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Νεογενών ιζημάτων στην Κρήτη (κατά Meulenkamp et al 1979).

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 παρενστρώσεις 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 ριπιδίου 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 Τορτόνιο.

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.

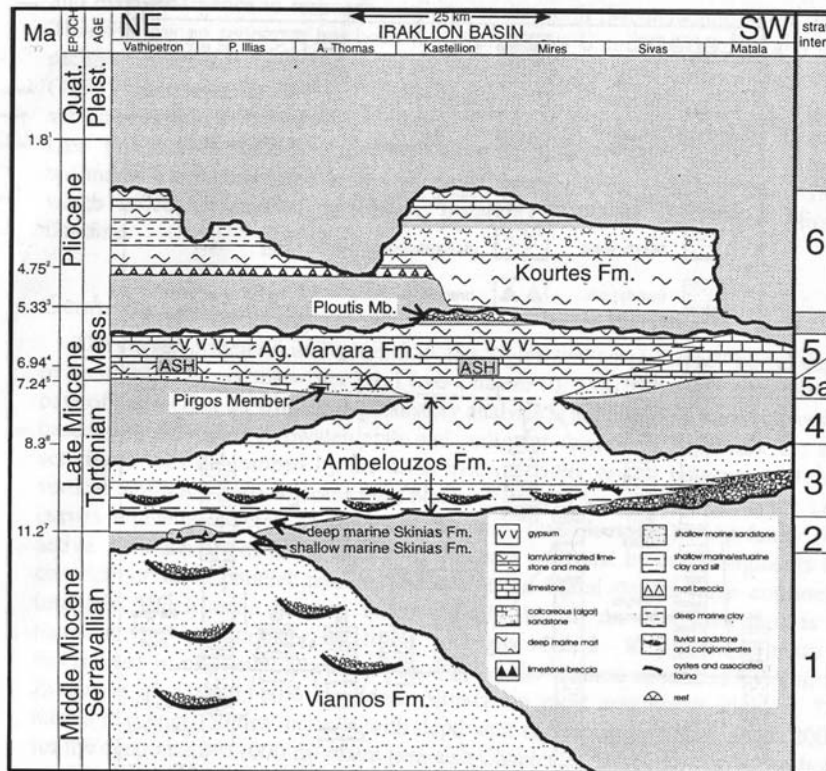
5) Την απόθεση χερσαίων κλαστικών ακολούθησε η συσσώρευση των ασβεστόλιθων και μαργών του Μεσσηνίου. Αυτή η αλλαγή είναι φανερή στα ιζήματα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα του Μεσσηνίου. Στα βορειότερα και νοτιότερα μέρη της περιοχής, το χαμηλότερο μέρος του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα αποτελείται από τις μικτές 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 χερσαίψει. 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 ρήχωση, ως και χέρσωση 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 μαργαίκα λατυποπαγή, τα οποία απεικονίζουν ένα επεισόδιο τεκτονικής αστάθειας που ακολούθησε την επίκλυση του Κάτω Πλειοκαίνου (Από Μανούτσογλου 2007).

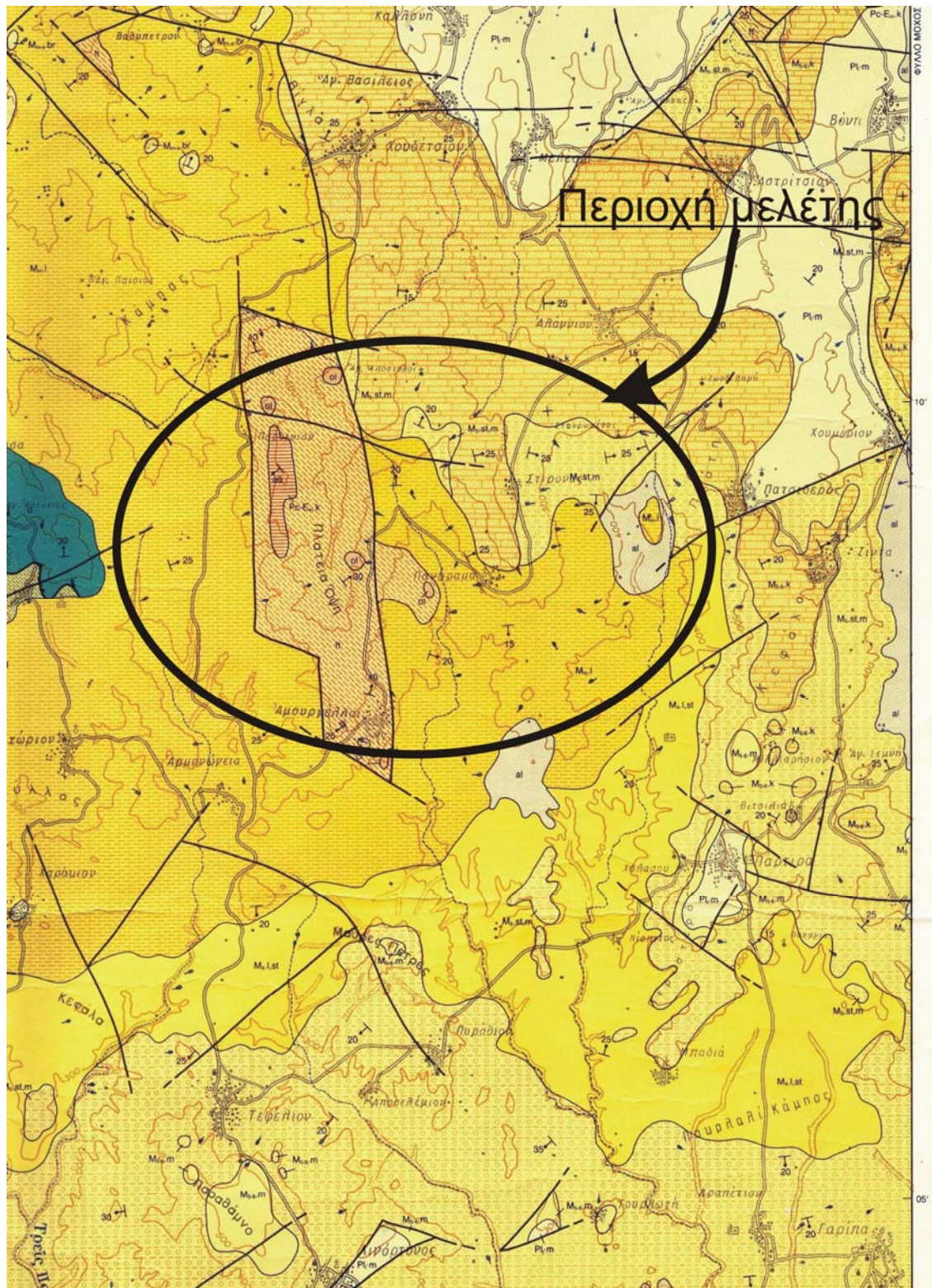
Τα ανωτέρω έχουν απεικονιστεί ομαδοποιημένα στην Εικ. 1.5.



Σχήμα 1.5: Λιθοφασική εξέλιξη της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου κατά J.H.ten Veen (1998).

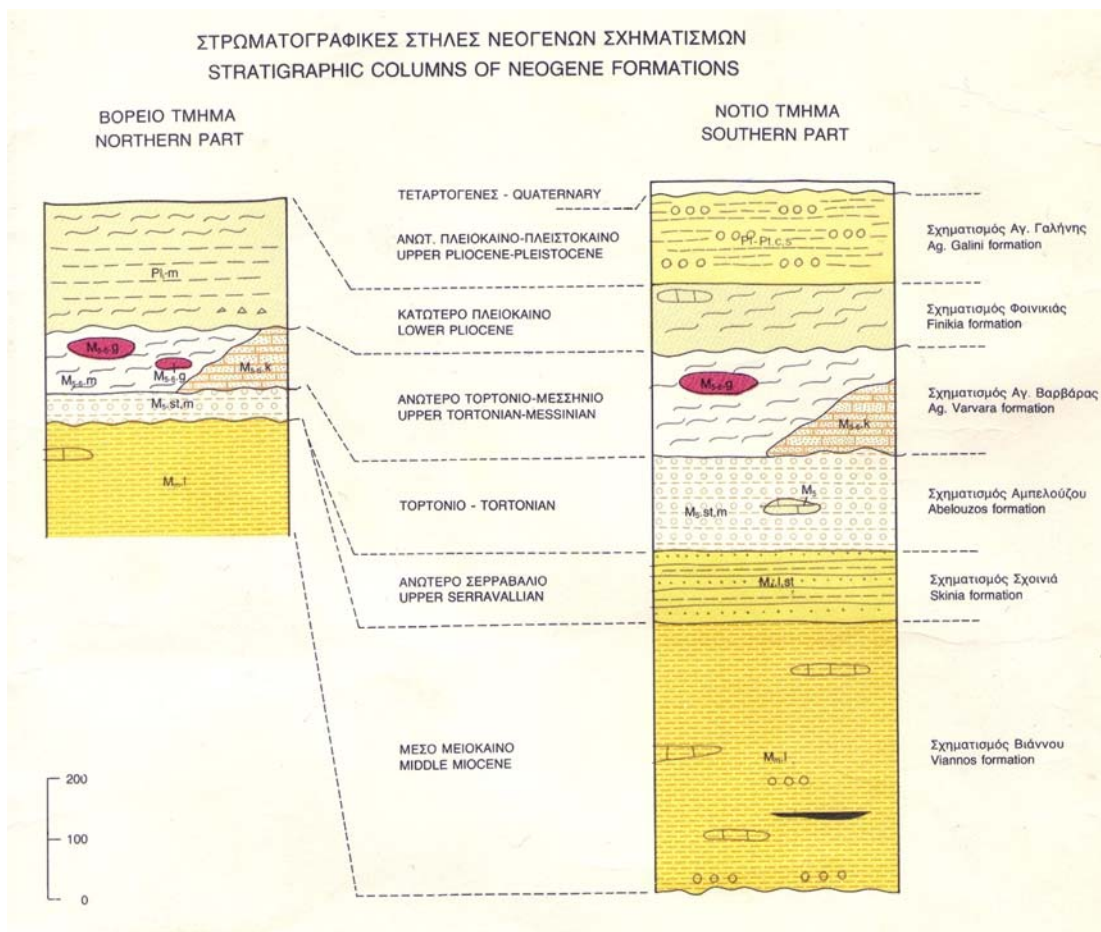
Οι παχιές ακολουθίες ιζημάτων και ιζηματογενών πετρωμάτων έχουν συνοπτικά αποτυπωθεί στον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι τμήμα του οποίου παρατίθεται στις εικόνες. 1.6 και 1.7.





Σχήμα 1.6 : Τμήμα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάνα.





**Σχήμα 1.7 : Υπόμνημα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο Επάνω Αρχάναι.**

(Επεξήγηση του Υπομνήματος του Γεωλογικού Χάρτη)

### ΤΕΡΤΑΤΟΓΕΝΕΣ

#### ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Κώνιοι κορημάτων και πλευρικό κορήματα: λατύπες, κυρίως ανθρακικής σύστασης. ποικίλου μεγέθους, αναμειγμένες 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, ιλύλιθοι και τεφρο-κιτρινωπά αργιλικά στρώματα. αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού Αγ. Γαλήνης.

#### ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Ποτάμιες 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 άργιλων 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 *Clypeaster*, *Pecten*, *Heterostegina*, *Bryozoa* και κατά θέσεις Κοράλλια.

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

Απολιθώματα: *Globorotalia conomiozea* KENNEΠ, *Globigerina multiloba* ROMEO

#### ΤΟΡΤΟΝΙΟ

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 Κοράλλια, Φύκη και Υδρόζωα.

Απολιθώματα: *Planorbis*, *Neritina*, *Melanopsis*, υπίο, *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.

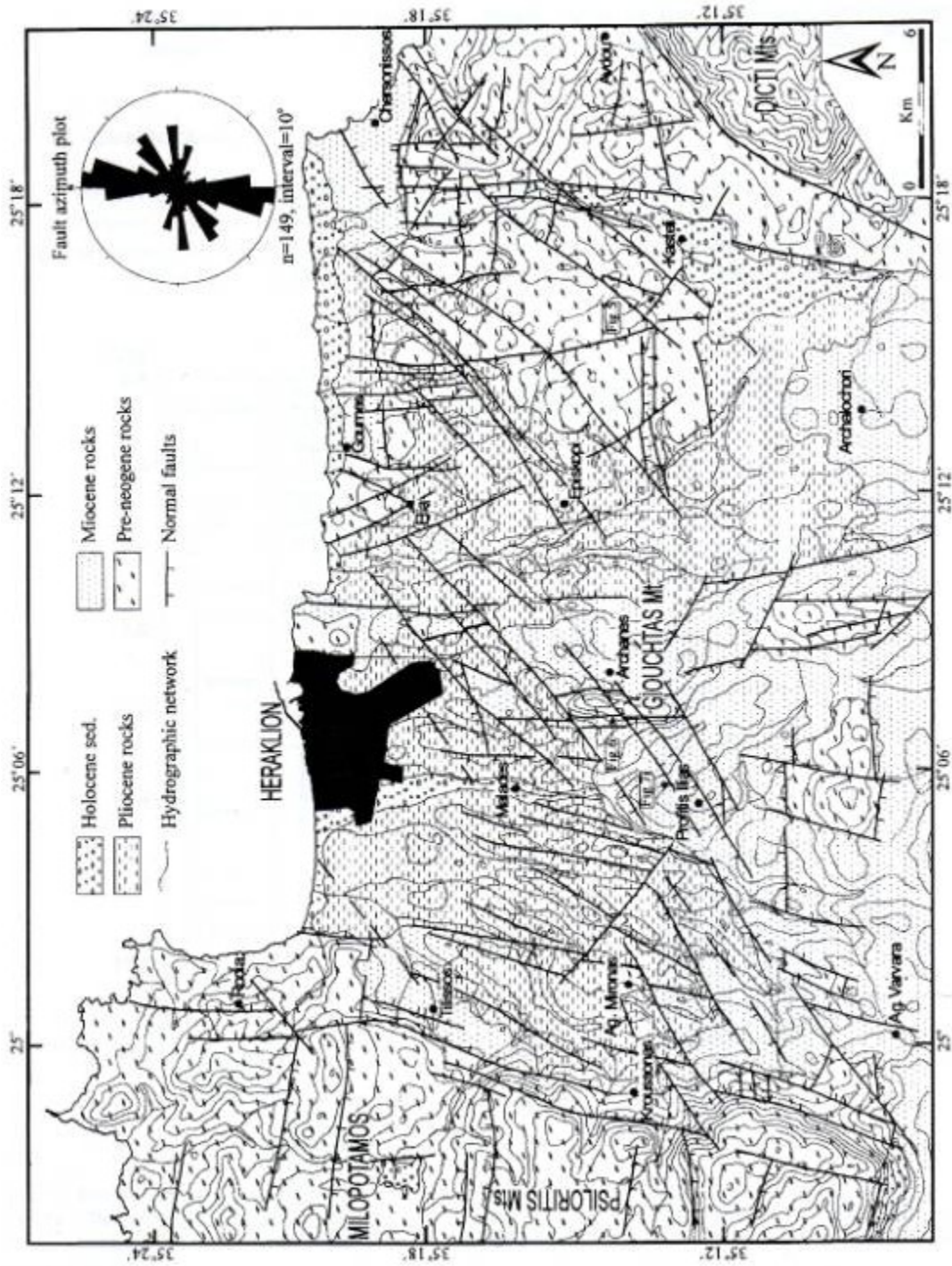
Απολιθώματα: *Turritella*, *Murex*, *Conus*, *Natica*, *Cardium*, *Pecten*, *Neogloboquadrina continua* (BLOW)

#### 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*

Η ιζηματογενής λεκάνη του Ηρακλείου αποτελεί μια τάφρο η οποία δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς μεταξύ των ορεινών συγκροτημάτων της Δίκτης και του Ψηλορείτη. Μέσα σε αυτήν τη λεκάνη έχουν εξελιχθεί διαχρονικά διάφορες υπολεκάνες, οι οποίες οριοθετούνται από κανονικά ρήγματα διαφόρου διευθύνσεως (συγκρ. εικ.1.8).



Σχήμα 1.8 : Τεκτονικό σκαρίφημα της ιζηματογενούς λεκάνης του Ηρακλείου (κατά Fassoulas 2001)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Μεθανογένεση και σαπροπηλοί

### 2.1 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 οξειδωση 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 CO<sub>2</sub> 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 :

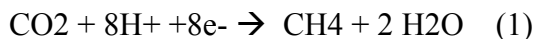
Η χαμηλής θερμοκρασίας βακτηριακή μεθανογένεση, και

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 ιστοπική 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 περιγράψει 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 άφθονη οργανική ύλη (Rice, 1993), δηλαδή την δημιουργία ενός ανοξικού περιβάλλοντος με διαθέσιμο CO<sub>2</sub> και χαμηλές συγκεντρώσεις θείου, σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 9oC έως 110 oC (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.

## 2.2.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 (remíneralization) 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 συμμεταβολισμό 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 υφαλοκριπιδών, συμπέραναν ότι κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων 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.

### 2.3. 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 οξειδωσης και της ζώνης αναγωγής μπορεί να είναι είτε το ίδιο το ιζήμα 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<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, κτλ.) μπορεί να διαφεύγουν απ' το ιζήμα 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 ίζημα 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.

### **2.3.1 Επιλογή των 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 αναεροβίων 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 ιζήμα. Τέτοιες διεργασίες μπορεί να είναι:

- α) η μετατόπιση της ζώνης οξειδωσης 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 φυσαλίδες H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O
- 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 οξειδωσης, «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 θειικών. Ο μηχανισμός για τον σχηματισμό 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 αυτήν)

## 2.4 Ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικό - Σαπροπηλοί

Ο εντοπισμός στρωμάτων πλούσιων σε οργανικό υλικό στο χώρο της Αν Μεσογείου προσέδρασε από νωρίς το ενδιαφέρον των ερευνητών σε ό,τι αφορά τη μελέτη των παλαιοωκεανογραφικών και παλαιοκλιματολογικών συνθηκών σχηματισμού τους. Η συστηματική έρευνα των σαπροπηλών ξεκινά στα πλαίσια του προγράμματος Swedish Deep Sea Expedition 1947-1948. Τα σκουρόχρωμα αυτά πλούσια σε οργανικό υλικό, ιζήματα περιγράφονται πρώτη φορά από τον Kullenberg το 1952, ενώ χαρακτηρίζονται ως «σαπροπηλιτικά στρώματα» (Sapropelic Layers) (από τον Olausson (1961)). Το 1978, οι Kidd et al, δίνουν για πρώτη φορά τον ορισμό του σαπροπηλού ως «ένα διακριτό στρώμα, με πάχος μεγαλύτερο του 1 cm, αποτιθέμενο σε ανοιχτά θαλάσσια πελαγικά ιζήματα και με ποσοστό οργανικού άνθρακα μεγαλύτερου του 2% κατά βάρος». Ένα σαπροπηλιτικό στρώμα (sapropelic layer) έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά του σαπροπηλού, αλλά περιέχει λιγότερο άνθρακα (0,5-2,0%).

Οι σαπροπηλοί αρχικά εντοπίστηκαν σε όλο το χώρο της Ανατ. Μεσογείου και γι' αυτό οι ερευνητές απέδιδαν το σχηματισμό τους αποκλειστικά σε περιόδους στασιμότητας της Αν. Μεσογείου (Thunell 1977). Αργότερα, ο εντοπισμός τους και στη Δ Μεσόγειο τα χαρακτήρισε σε γεγονότα ευρείας λεκάνης (wide basin) (Emeis, 1991).

Τα τελευταία 400 Kyr έχουν αποθεθεί 12 στρώματα σαπροπηλών (S1-S12) στη Αν. Μεσόγειο (Πίν. 1) και η χρονοστρωματογραφική τους παρουσίαση συνδέεται με την κατανομή του δ18O. Η ηλικία των σαπροπηλών επίσης μπορεί να αποδοθεί και σύμφωνα με την «αστρονομική χρονολόγηση, η οποία προκύπτει από τις τροχιακές μεταβολές της Γης (Hilgen, 1991). Ο Hilgen (1991) διαπίστωσε ότι ο σχηματισμός των σαπροπηλών συνδέεται χρονικά με περιόδους, κατά τις οποίες ο precession index έχει τις χαμηλότερες τιμές (περίπου κάθε 21 000 χρόνια). Ο σχηματισμός των σαπροπηλών καθυστερεί σε σχέση με τις ελάχιστες τιμές του precession index κατά 2-3 kyr. Οι ακραίες τιμές του precession index (μέγιστες και ελάχιστες) ατιοδίδονται σε ι-κύκλους (i-cycle), που η αρίθμηση τους ξεκινά από σήμερα (1ος κύκλος) και κάθε σαπροπηλός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο "i-cycle".

Τα σαπροπηλιτικά ιζήματα συνδέονται με την ανάπτυξη ανοξικών συνθηκών στον πυθμένα της λεκάνης απόθεσης τους. Οι μεταβολές των συνθηκών από οξικές σε ανοξικές και αντίστροφα, είναι δυνατόν να καταγραφούν ως ιζηματολογικές μεταβολές, οπότε σχηματίζεται μία σαπροπηλική ακολουθία. Οι Anastasakis & Stanley (1984), μετά τη μελέτη σημαντικού πλήθους πυρήνων, οι οποίοι περιλάμβαναν σαπροπηλούς από τον ευρύτερο χώρο της Αν. Μεσογείου, εντόπισαν τις εξής κύριες λιθοφάσεις, οι οποίες

φαίνεται να αποτελούν τη σαπροπηλική ακολουθία (από τη βάση προς την οροφή της ακολουθίας) :

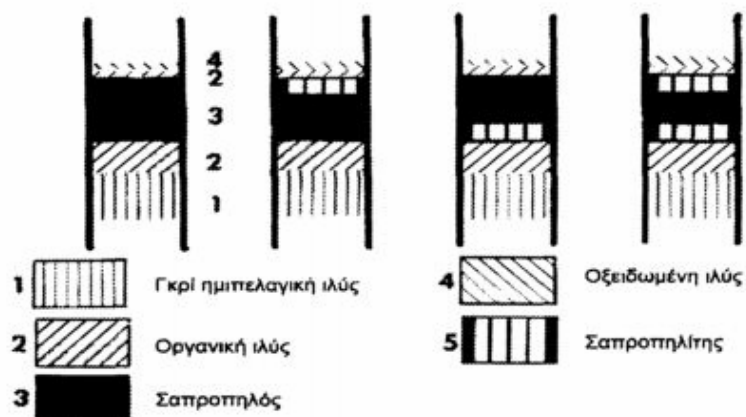
κίτρινη ιλύς με γκρι/πράσινη απόχρωση : Το ποσοστό του οργανικού άνθρακα (Corg) κυμαίνεται από 0,12 έως 0,23%. Αν και οι μεταβολές του άνθρακα είναι υψηλές, ο λόγος του CaCO<sub>3</sub> ως προς τον οργανικό άνθρακα είναι υψηλός (26-37). Στη λιθοφάση αυτή, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των τρηματοφόρων και μικρή παρουσία δομών βιοαναμόχλευσης. Συχνά εμφανίζονται ανοιχτόχρωμες κηλίδες που πιθανά προκαλούνται από τη διαφυγή αερίων φυσαλίδων και την ακόλουθη οξειδωση των κοιλωμάτων τους.

Σαπροπηλικό στρώμα : Το χρώμα του κυμαίνεται από λαδί/τεφρό έως τεφρά/λαδί. Το ποσοστό του Corg κυμαίνεται από 0,5 έως 2%. Το CaCO<sub>3</sub> είναι χαμηλό ενώ ο λόγος CaCO<sub>3</sub> /Corg = 2-9. Οι δομές βιοαναμόχλευσης και τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι σπάνια ενώ εμφανίζονται και εδώ ανοιχτόχρωμες κηλίδες.

Στρώμα οξειδωσης : Το χρώμα τους κυμαίνεται από κίτρινο/πορτοκαλί έως καφέ. Το ποσοστό του Corg κυμαίνεται από 0,22 έως 0,45%, το CaCO<sub>3</sub> είναι μικρότερο σε σχέση με τα υπέρ/υποκείμενα ιζήματα. Συχνά περιλαμβάνει εναλλαγές σκουρόχρωμων και ανοιχτόχρωμων λαμινών. Στις σκουρόχρωμες λαμίνες συχνά εμφανίζονται σκοτεινόχρωμα σωματίδια, ακανόνιστου σχήματος, εν μέρει κρυσταλλικά, που μάλλον πρόκειται για ενώσεις μετάλλων. Η ζώνη οξειδωσης δεν εμφανίζει δομές βιοαναμόχλευσης.

Μια τυπική σαπροπηλική ακολουθία περιλαμβάνει τις παραπάνω λιθοφάσεις με σειρά, όπως εμφανίζονται στην Εικ. 4. Εάν αντί του σαπροπηλού υπάρχει στρώμα σαπροπηλίτη, τότε η ακολουθία ονομάζεται σαπροπηλική. ενώ αν οι λιθοφάσεις είναι αποτέλεσμα μη ημιπελαγικής ιζηματογένεσης. όπως εάν συνδέονται με βαρυτικές ροές ιζημάτων και τουρβιδιτικά ρεύματα, ονομάζονται επισαπροπηλικές και επισαπροπηλιτικές, με ανάλογο τρόπο.

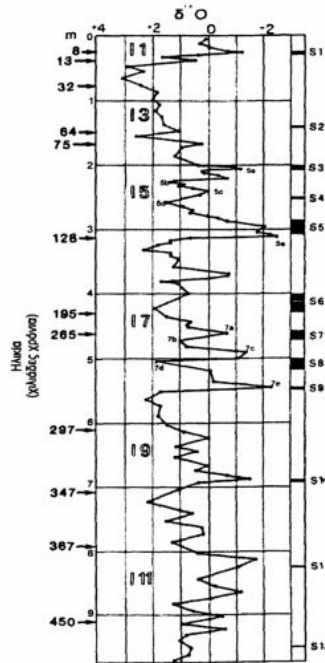
Η εξέλιξη των ωκεανογραφικών συνθηκών σε σχέση με τα ιζήματα της σαπροπηλικής ακολουθίας έχει ως εξής: η γκρι ιλύς δηλώνει την έναρξη της στρωματοποίησης και την ελαφριά μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά του πυθμένα. Καθώς το διαλυμένο οξυγόνο μειώνεται, η ζωή στον πυθμένα γίνεται δυσμενής για τους περισσότερους οργανισμούς και επικρατούν μόνο οι ανθεκτικοί. Παράλληλα το αυξημένο οργανικό υλικό προσελκύει οργανισμούς (σκουληκόμορφους) που αναταράσσουν τα ιζήματα ψάχνοντας για τροφή, όπως διαπιστώνεται από το πλήθος των δομών βιοαναμόχλευσης στο στρώμα της οργανικής ιλύος. Όταν παύσουν να εμφανίζονται δομές βιοαναμόχλευσης, ποσοστό του O<sub>2</sub> είναι τόσο χαμηλό που δεν επιτρέπει πλέον τη ζωή στους σκουληκόμορφους οργανισμούς.



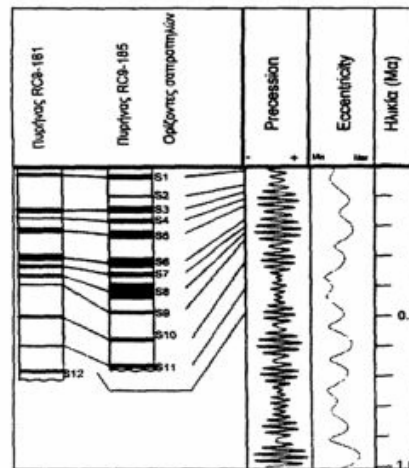
Σχήμα 2.1.: Σχηματική αναπαράσταση της σειράς εμφάνισης των οριζόντων μιας τυπικής σαπροπηλικής ακολουθίας.

Σαπρο-Πηλοί	Ηλικία (ka)	Είδος Πλαγκτονικής πανίδας	Πάχος Απόθεσης (cm)	Ποσοστό οργανικού άνθρακα (Corg)	Ισοτοπικό επίπεδο O <sub>2</sub>	i-cycle	Αναφορές
S1	6.3-8.3 6.4-9.2 6.6-8.2 8-9 7.9-11.8	Θερμή	20	~2%	1	2	1,11,12 2,11,12 3,11,12 4,11,12 5,11,12
S2	23-25 52	-	<5	-	3	6	3,11,12 6,11,12
S3	38-40 81-78 80 84-80	Θερμή	10-22	~2%	5a	8	4,7,11,12 6,11,12 7,11,12 8,11,12
S4	100-98 100	Θερμή	4-15		5c	10	6,7,11,12 7,11,12
S5	125	Θερμή	22-36	~7%	5e	12	6,8,11,12 7,9,11,12
S6		Ψυχρή	~28	>5%	7	16	7,10,11,12
S7	195	Θερμή	~7	>5%	7a	18	7,11,12
S8	217	Ψυχρή	~23		7d	20	7,10,11,12
S9	240	Θερμή	1-2		7e	22	10,11,12
S10	331	Θερμή	1-2		9	30	10,11,12
S11	407	Θερμή	1-2		11	38	10,11,12
S12	461	-	1-2		11	46	10,11,12

Πίνακας 2-1: Τα σαπροπηλικά στρώματα που έχουν αποθεθεί τα τελευταία 400ka. (1: Jorissen et al.,1993, 2: Perissoratis and Piper,1992, 3: Maldorando and Stanley,1978, 4 : Olausson,1961, 5: Rossignol-Strick et al., 1982, 6: Muerdier et al., 1984, 7:Oggioni and Zandini 1987, 8: Parisi, 1987, 9: Cita et al., 1982, 10: Cita et al., 1977, 11: Hilgen (1991), 12: Lourens et al., 1996) (Cramp et al.,1999)



Σχήμα 2.2 : Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι σαπροπηλικοί ορίζοντες της Αν.Μεσογείου σε σχέση με τη διακύμανση του  $\delta^{18}\text{O}$ . Οι αποθέσεις των περισσότερων σαπροπηλών συμπίπτουν με έντονες μειώσεις του  $\delta^{18}\text{O}$



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται οι σαπροπηλικοί ορίζοντες σε σχέση με τη διακύμανση της εκκεντρότητας (eccentricity) και της μεταβολής των ισημεριών (precession index). Όλες οι σαπροπηλικές αποθέσεις συμπίπτουν με ελάχιστα του precession index.

Η απόθεση του σαπροπηλτικού στρώματος αντιπροσωπεύει επιπλέον μείωση του  $\text{O}_2$ . Ακολούθως, η απόθεση του σαπροπηλού ή η συνέχιση της απόθεσης του σαπροπηλίτη, εξαρτάται από το αν στον πυθμένα επικρατούν ανοξικές ή δυσοξικές συνθήκες. Τέλος αν η επαναφορά των οξικών συνθηκών είναι σταδιακή, τότε θα έχουμε ανάπτυξη μιας ζώνης οργανικής ύλης, ενώ αν είναι απότομη, τότε ακριβώς πάνω στο σαπροπηλό/σαπροπηλίτη θα αναπτυχθεί στρώμα οξειδωσης. Η απουσία ή η φτωχή ανάπτυξη των λιθοφάσεων αυτών στην σαπροπηλική ακολουθία δηλώνουν ειδικές ωκεανογραφικές συνθήκες.

### Ορυκτολογία των σαπροπηλών

Ο Nesteroff (1973) εντόπισε σε ιζήματα σαπροπηλών, αυξημένη συμμετοχή γύψου και μειωμένη συμμετοχή καλά κρυσταλλωμένου ιλλίτη, σε σχέση με τα υπερ/υποκείμενα ιζήματα. Οι Cita et al. (1977) αντιθέτως εντοπίζουν στα σαπροπηλικά ιζήματα καλά κρυσταλλοποιημένο ιλλίτη Επιπλέον, διαπιστώνουν υψηλή συμμετοχή πυρίτη και μαρκασίτη. γύψο καθώς και χλωρίου. Οι Sigl et al. (1997) διαπιστώνουν ότι ο ασβεστίτης και σε λιγότερο βαθμό ο δολομίτης, φαίνεται να είναι τα κυρίαρχα ανθρακικά ορυκτά ενώ εντοπίζονται (με διακυμάνσεις των ποσοστών τους) χαλαζίας, άστριοι και πλαγιόκλαστα. Το σκοτεινό χρώμα των σαπροπηλών οφείλεται στην παρουσία μονοσουλφιδίων του Fe ως αποτέλεσμα της παρουσίας H<sub>2</sub>S και των μετάλλων του Fe ένα αναερόβιο περιβάλλον. Οι Buckley and Johnson (1988) σε πυρήνες της Μεσογείου διαπιστώνουν αυξημένα ποσοστά μοντμοριλονίτη, λίγο πριν την απόθεση του S1, γεγονός που το αποδίδουν σε αυξημένες τροφοδοσίες ποταμών που απορρέουν από την Ευρώπη λόγω της τήξης των παγετώνων. Η συμμετοχή του μοντμοριλονίτη εμφανίζεται αυξημένη και κατά την αποθεση του S1, γεγονός που αποδίδεται είτε στη μείωση τροφοδοσίας είτε στις αναγωγικές συνθήκες στον πυθμένα, κατά τη διάρκεια του S1. Επιπλέον, στο σαπροπηλικά ιζήματα εντοπίζονται μειώσεις του ποσοστού του δολομίτη και υψηλή συμμετοχή του πυρίτη, γεγονός που αποδίδεται στις αναγωγικές συνθήκες.

Οι Aksu et al. (1995b), σε ιζήματα του S1 από πυρήνες κατά μήκος του Αιγαίου, εντοπίζουν αυξήσεις του ασβεστίτη σε βάρος του Mg-ασβεστίτη. Επιπλέον, εντοπίζουν αυξημένα ποσοστά πυρίτη. Στα αργιλικά ορυκτά παρατηρούνται αυξήσεις του ιλλίτη και χλωρίτη σε βάρος του σμεικτίτη και καολινίτη αντίστοιχα, γεγονός που αποδίδεται, σε αυξημένες ποτάμιες απορροές, λόγω της τήξης των παγετώνων, καθώς και λόγω τοπικής αύξησης των βροχοπτώσεων.

### Αιτίες σχηματισμού των σαπροπηλών

Οι κύριες αιτίες σχηματισμού των σαπροπηλών θεωρούνται η ανοξικότητα, η αυξημένη παραγωγικότητα, και ο υψηλός ρυθμός ιζηματογένεσης (Arthur et al., 1984). Τα μοντέλα που έχουν προταθεί βασίζονται σε αυτές τις αιτίες ή σε συνδυασμό αυτών. Η ανοξικότητα ως βασική αιτία συνδέεται πάντα με την εγκαθίδρυση ενός επιφανειακού στρώματος χαμηλής αλατότητας, όπως μάλιστα υποδηλώνεται και από τις ιδιαίτερα χαμηλές τιμές του δ18O. Αρχικά οι ερευνητές πίστευαν ότι οι σαπροπηλοί εμφανίζονται μόνο κατά τη διάρκεια μετάβασης από μία παγετώδη σε μια μεσοπαγετώδη περίοδο (deglaciation) και κύρια πηγή προέλευσης του επιφανειακού αυτού στρώματος χαμηλής αλατότητας θεωρήθηκε η Μαύρη Θάλασσα (Olausson, 1961). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή η τήξη των παγετών προκαλούσε σημαντικές αυξήσεις των ποτάμιων απορροών (όπως του Δνεύπερου, Δούναβη, Δνεύστερου) με αποτέλεσμα την αύξηση του υδάτινου όγκου της Μαύρης θάλασσας και την τροφοδοσία, με χαμηλής αλατότητας νερά, στην περιοχή του Αιγαίου και του ευρύτερου χώρου της Αν. Μεσογείου. Αργότερα με τη συστηματική χρήση καταγραφών ισοτόπων του O<sub>2</sub>, καθώς και μικροπαλαιοντολογικών αναλύσεων φάνηκε ότι οι σαπροπηλοί δεν σχηματίζονται μόνο σε θερμές αλλά και σε ψυχρές περιόδους.

Οι Rossignol-Strick et al. (1982), 1985) και Rossignol-Strick (1999) πρότειναν μια διαφορετική πηγή προέλευσης του επιφανειακού στρώματος: τις έντονες απορροές του Νείλου ποταμού. Οι απορροές αυτές συνδέονται με ενισχυμένους θερινούς

μουσώνες στην περιοχή της Ανατολικής Τροπικής Ζώνης της Αφρικής. Σύμφωνα με τους παραπάνω ερευνητές, τα σαπροπηλικά ίζηματα συμπίπτουν με χρονικές περιόδους, κατά τις οποίες ο δείκτης των μουσώνων (Monsoon index) λαμβάνει υψηλές τιμές. Ας σημειωθεί ότι στον υπολογισμό του δείκτη, λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας με το γεωγραφικό πλάτος, σε σχέση με τις τροχιακές κινήσεις της Γης.

Μια επιπλέον πηγή προέλευσης πιστεύεται ότι είναι η αυξημένη βροχοπτώση στο χώρο της Αν. Μεσογείου, όπως συμπεραίνεται από τα παλυνολογικά δεδομένα της Βαλκανικής χερσονήσου (Rohling and Hilgen, 1991). Πιθανή αιτία των βροχοπτώσεων αυτών θεωρείται η αυξημένη δραστηριότητα των χαμηλών βαρομετρικών της Αν. Μεσογείου ή άνοδος του μουσωνικού συστήματος στο χώρο της Αν. Μεσογείου.

Η παρουσία του επιφανειακού στρώματος χαμηλής αλατότητας προκάλεσε έντονη στρωματοποίηση στην υδάτινη στήλη. Άλλωστε μικρές μεταβολές της πυκνότητας των υδάτινων μαζών της Αν. Μεσογείου, όπως μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας στην Αδριατική θάλασσα (της τάξης των  $0,7^{\circ}\text{C}$ ) ή μείωση της αλατότητας (της τάξης του  $0,2\%$ ), μπορεί να προκαλέσουν στασιμότητα (Mangini and Schlosser, 1986).

Πέρα από τα μοντέλα, στα οποία το επιφανειακό στρώμα χαμηλής αλατότητας προκαλεί μόνο μείωση ή παύση του ρυθμού κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών, υπάρχουν και άλλα, στα οποία προτείνεται αλλαγή του τύπου κυκλοφορίας από «αντι-εστουαρ» (anti-estuarine) (σημερινή κατάσταση) σε τύπου «εστουαρ» (Calvet, 1983, Buckley and Johnson 1988, Muerder and Kennet 1984). Με ένα τέτοιο μοντέλο η Αν. Μεσόγειος θα εξελισσόταν σε μια «παγίδα θρεπτικών συστατικών» (nutrient cap) καθώς ενδιάμεσα και βαθιά νερά, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, θα εισέρχονταν στην Αν. Μεσόγειο, αλλά ολιγοτροφικά επιφανειακά θα εξάγονταν (Sarmiento et al., 1988, Calvert et al., 1992). Σε αυτή τη περίπτωση, ο σχηματισμός των σαπροπηλών στην Αν. Μεσόγειο θα ενισχυόταν από αυξημένη παραγωγικότητα.

Η αυξημένη παραγωγικότητα όμως ως αιτία ενίσχυσης των σαπροπηλών, αφορά και μοντέλα, στα οποία η κυκλοφορία της Αν Μεσογείου είναι όπως η σημερινή. Η είσοδος θρεπτικών συστατικών λόγω αυξημένων ποτάμιων απορροών προκαλεί αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας. Επιπλέον αυξημένη παραγωγικότητα επιτυγχάνεται με την άνοδο του πυκνοκλινούς (και των πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά ενδιάμεσων νερών) στην ευφωτική ζώνη και την ανάπτυξη του βαθιού, μέγιστης χλωροφύλλης στρώματος. Επιπλέον η ανοξικότητα μπορεί να προκληθεί λόγω της τοπικής τοπογραφίας της λεκάνης. Σε ένα τέτοιο μοντέλο, η ανοξικότητα σε νερά του πυθμένα προκαλείται από τη διάλυση Μεσσηνίας ηλικίας εβαποριτικών αλατούχων αποθέσεων με αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας και την εγκαθίδρυση έντονα στρωματοποιημένης υδάτινης στήλης (Από Γεραρά 2000 και Ευαγγελοπούλου 2005).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ**

### **3.1. Εισαγωγή**

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, lynx, DATA MINE, GOCAD, Rockwork, 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). Επίσης στα περισσότερα πακέτα παρέχεται και η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος για απόλυτα εξειδικευμένες εφαρμογές με τη χρήση της γλώσσας macro-προγραμματισμού του λογισμικού.

### **3.2 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 η τοπογραφία, γεωμετρικού και θεματικού τύπου στοιχεία από την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση, γεωλογικές τομές, γεωφυσικά στοιχεία, στοιχεία γεωτρήσεων και τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά (θεματικού και γεωμετρικού τύπου) δεδομένα για την περιοχή.

Η μέθοδος της τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης και 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 ή 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, υπεδάφικών 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 είναι το γεωμετρικό μοντέλο, που αποτελεί τη βάση για τις παραπέρα εργασίες της εκτίμησης ιδιοτήτων (μοντέλο ιδιοτήτων) (Παναγόπουλος 2007).

### **3.3 Εισαγωγή στο λογισμικό Rockworks 2006**

#### **3.3.1. Περιγραφή εργαλείων λειτουργίας**

Το σύνολο των εργασιών για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου έγινε με την χρήση του λογισμικού πακέτου Rock Works 2006.

Το λογισμικό Rockworks δημιουργήθηκε το 1985 και εξελίσσεται από την εταιρία Rockware Incorporated με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από την μεταλλευτική και την πετρελαϊκή βιομηχανία καθώς και για περιβαλλοντικές μελέτες, για την υπεδάφια οπτικοποίηση γεωλογικών δεδομένων και τη διαχείριση των βάσεων δεδομένων τους για την δημιουργία πλεγματικών και στερεών μοντέλων καθώς και τον υπολογισμό των όγκων τους. Το πρόγραμμα αποτελεί μια ολοκληρωμένη συλλογή γεωλογικών εφαρμογών. Η παρούσα έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η πιο πρόσφατη έκδοση 2006, που είναι ενημερωμένη με όλα τα σύγχρονα γεωλογικά υπολογιστικά εργαλεία.

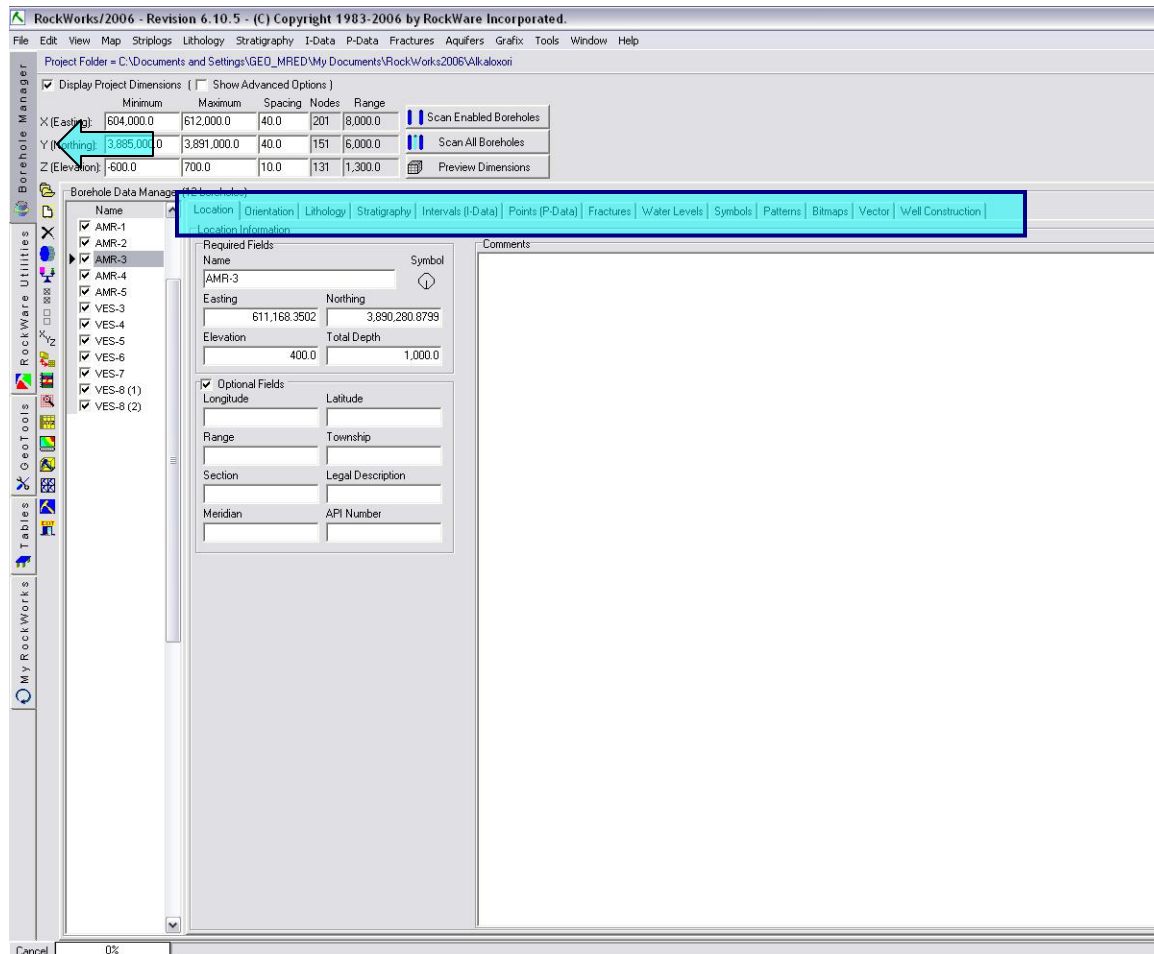
Τα κύρια εργαλεία λειτουργίας του λογισμικού είναι οι υποσελίδες Borehole data manager και Rock Ware Utilities.

##### **3.3.1.1. Η υποσελίδα Borehole Manager**

Η υποσελίδα 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.



Πρόκειται για τη πρώτη υποσελίδα εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό πακέτο Rockworks 2006. Σε αυτήν εισάγονται δεδομένα από γεωτρήσεις ή σημειακές μετρήσεις (π.χ δειγματοληψία σε κánaβο), δηλαδή σειρά δεδομένων με κατακόρυφη ακολουθία. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να είναι γεωφυσικές διαγραφίες, γεωχημικές αναλύσεις, παρατηρούμενη λιθολογία και στρωματογραφία, τεκτονικές επαφές (ρήγματα) και υδροφόροι ορίζοντες. Κάθε είδος από τις προηγούμενες μετρήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένα πεδία (καρτέλες) της υποσελίδας (σχήμα 3.1).



**Σχήμα 3.1 Η υποσελίδα Borehole Manager. Με μπλέ περίγραμμα περικλείονται όλα τα πεδία (καρτέλες) δεδομένων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζεται η καρτέλα Location με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, το υψόμετρο και το συνολικό βάθος της γεώτρησης AMR-3.**

Πεδίο Location: Γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε γεώτρησης με το υψόμετρο και το συνολικό βάθος.

Πεδίο Orientation: Προσανατολισμός – κλίση της γεώτρησης

Πεδίο Lithology: Λιθολογική περιγραφή κάθε γεώτρησης

Πεδίο Stratigraphy: Στρωματογραφική περιγραφή κάθε γεώτρησης.

Πεδίο I-data: Γεωχημικές αναλύσεις που αντιστοιχούν σε κάθε διάστημα (Interval) της γεώτρησης.

Πεδίο P-data: Γεωφυσικές διαγραφίες που αντιστοιχούν σε σημεία (Point) της γεώτρησης

Πεδίο Fractures: Στοιχεία προσανατολισμού ρηγμάτων,

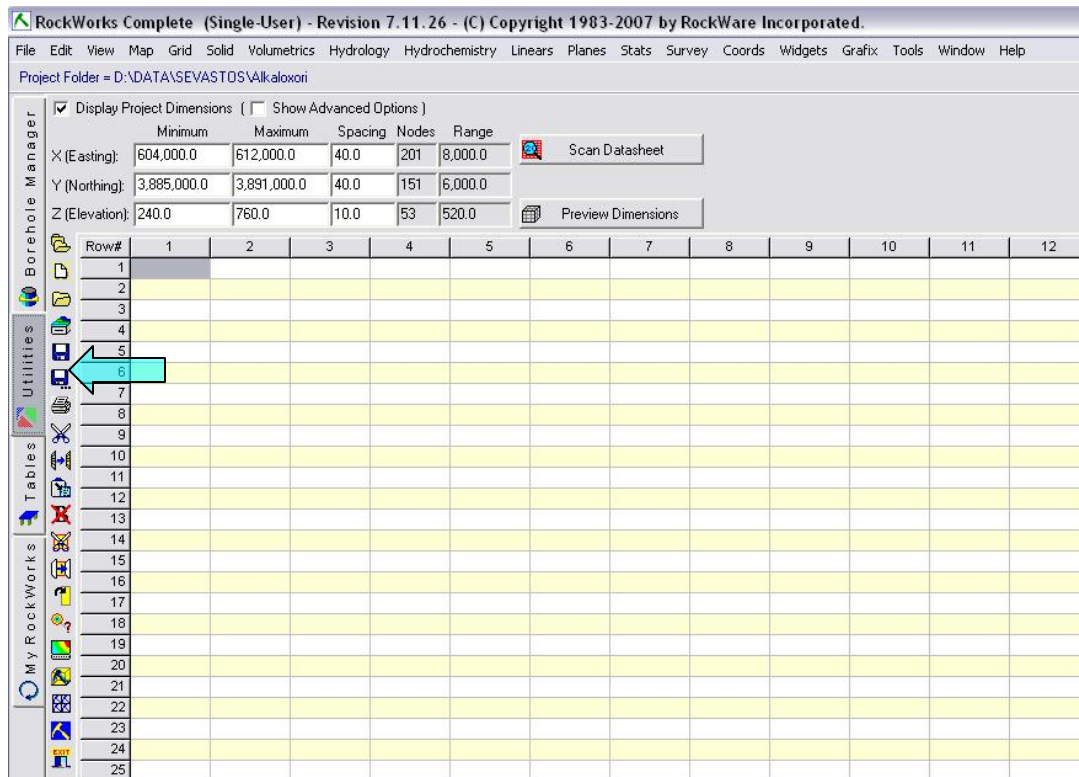
Πεδίο Aquifers: Στοιχεία για τους υδροφόρους της περιοχής μελέτης

Πεδία Symbols, Patterns, Bitmaps: Αναφέρονται στον τρόπο με τον οποίο παριστάνονται οι γεωτρήσεις.

Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση των γεωτρητικών στηλών, την δημιουργία επάλληλων ή μη τομών, σε δύο και τρεις διαστάσεις, καθώς και για τη δημιουργία τρισδιάστατων στερεών μοντέλων (3D solid modeling).

### 3.3.1.2. Η υποσελίδα Rockware Utilities

Η υποσελίδα Rockware Utilities είναι το δεύτερο από τα κύρια εργαλεία εισαγωγής δεδομένων του λογισμικού RockWorks 2006. Έχει παρόμοια μορφή και χρήση με ένα φύλλο εργασίας του Excel και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων διαφόρων τύπων.



Σχήμα 3.2 : Geological Utilities, Κύριο Περιβάλλον Εργασίας

Τα δεδομένα που εισάγονται στην υποσελίδα Rockware Utilities μπορεί να περιλαμβάνουν απλά συντεταγμένες σημείων XYZ για την δημιουργία χαρτών με σημειακά δεδομένα ή ισοϋψείς, τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM), δεδομένα από μετρήσεις κλίσης και παράταξης επιφανειών για την δημιουργία στερεογραφικών διαγραμμάτων, δεδομένα από υδροχημικές αναλύσεις για τη δημιουργία διαγραμμάτων Piper καθώς και πολλά άλλα.

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).

The screenshot shows the RockWare Utilities software interface. At the top, it displays the title bar: "RockWorks Complete (Single-User) - Revision 7.11.26 - (C) Copyright 1983-2007 by RockWare I". Below the title bar is a menu bar with options: File, Edit, View, Map, Grid, Solid, Volumetrics, Hydrology, Hydrochemistry, Linears, Planes, Stats, Survey, Coords. The main window shows the "Project Folder" as "C:\Documents and Settings\GEOLOGYLAB\My Documents\RockWorks2006\Samples".

Under the "Display Project Dimensions" section, there are input fields for X (Easting), Y (Northing), and Z (Elevation), each with a "Minimum", "Maximum", "Spacing", "Nodes", and "Range" column. The values are: X (652,700.0 to 653,510.0), Y (5,535,000.0 to 5,535,890.0), and Z (1,230.0 to 1,530.0). There are buttons for "Scan Datasheet" and "Preview Dimensions".

Below this is a table with columns: Name, Color, X1, Y1, Z1, X2, Y2. The table contains 25 rows of well data:

	Name	Color	X1	Y1	Z1	X2	Y2
1	M1-Shaft	Orange	652978	5535457	1485	652978	5535457
2	M1-NE	Orange	652978	5535457	1385	653514.23	5535906.95
3	M1-SW	Orange	652978	5535457	1385	652748	5535264
4	M2-Shaft	Red	652890	5535285	1485	652890	5535285
5	M2-NE	Red	652890	5535285	1425	653426	5535734
6	M2-SW	Red	652890	5535285	1425	652660.19	5535092
7	M2-NE-01	Yellow	652924.78	5535316.92	1425	652892.64	5535375.22
8	M2-NE-02	Yellow	653001.38	5535380.92	1425	652969.24	5535439.22
9	M2-NE-03	Yellow	653077.39	5535445.92	1425	653045.25	5535504.22
10	M2-NE-04	Yellow	653154.39	5535509.92	1425	653122.25	5535568.22
11	M2-NE-05	Yellow	653230.39	5535573.92	1425	653198.25	5535632.22
12	M2-NE-06	Yellow	653307.39	5535637.92	1425	653275.25	5535696.22
13	Decline	Purple	653016	5535845.1	1480	652868.2	5535308.9
14	Decline	Purple	652868.2	5535308.9	1300	652831.2	5535210.1
15	Decline	Purple	652831.2	5535210.1	1290	652857.7	5535097.2
16	Decline	Purple	652857.7	5535097.2	1280	652958.2	5535009.0
17	Decline	Purple	652958.2	5535009.0	1270	653127.5	5535028.4
18	Decline	Purple	653127.5	5535028.4	1260	653187.5	5535125.5
19	Decline	Purple	653187.5	5535125.5	1250	653166.3	5535282.4
20	Decline	Purple	653162.8	5535282.4	1240	653046.4	5535342.4
21	Decline	Purple	653046.4	5535342.4	1230	652921.2	5535337.1
22	Decline	Purple	652917.6	5535335.4	1230	652868.2	5535307.1
23	Stope	Green	653115.2	5535490.6	1230	653122.2	5535901.5
24	Stope	Green	653171.6	5535487.0	1230	653175.1	5535899.8
25	Stope	Green	653224.5	5535488.8	1230	653231.6	5535901.5

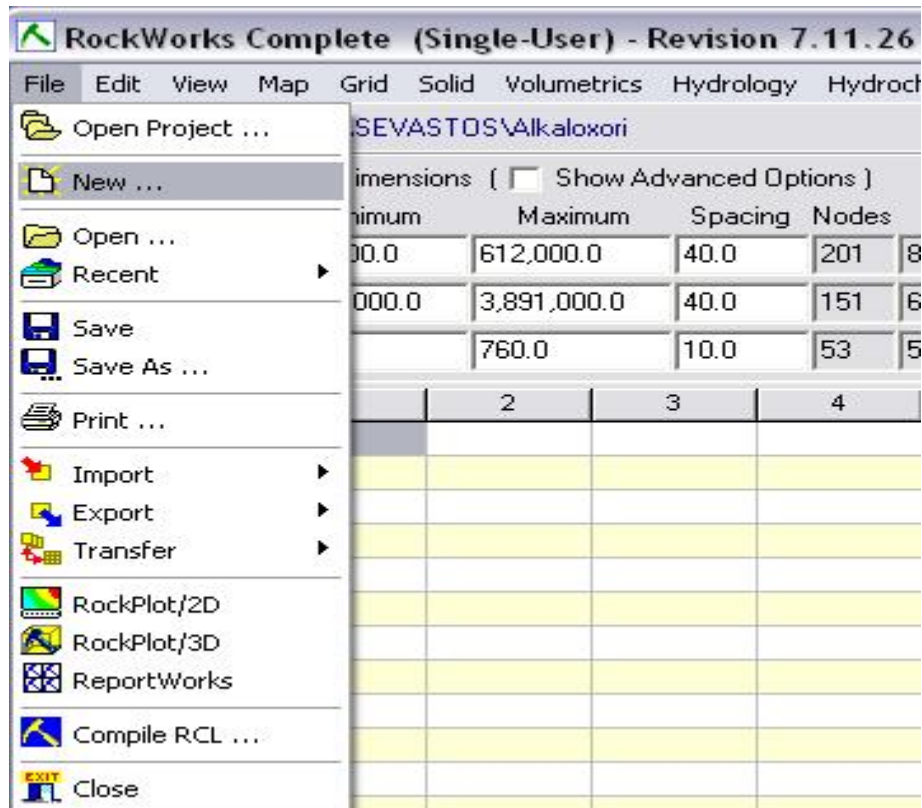
Σχήμα 3.3: Συμπληρωμένο φύλλο εργασίας της υποσελίδας Rockware Utilities

### 3.3.1.3. Δημιουργία νέου φύλλου εργασίας.

Για να δημιουργήσουμε ένα νέο κενό φύλλο εργασίας στο Rockware Utilities ακολουθούμε τα εξής βήματα :

Επιλέγουμε την υποσελίδα Rockware Utilities.

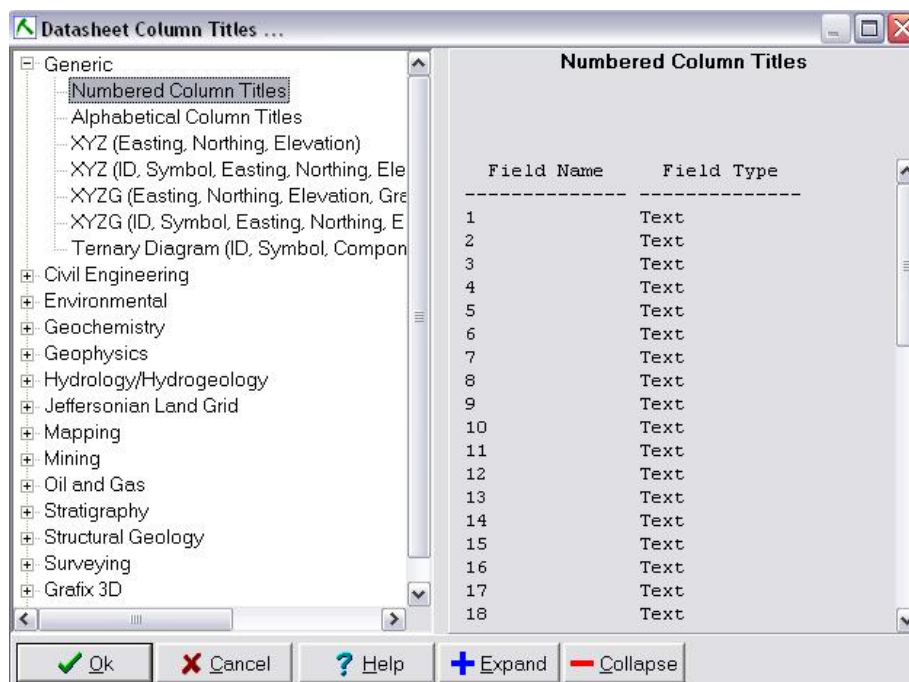
Επιλέγουμε την εντολή File / New.



Σχήμα 3.4: Παράθυρο δημιουργίας νέο φύλλου εργασίας

Εάν έχουν γίνει αλλαγές στο τρέχον φύλλο εργασίας οι οποίες δεν έχουν αποθηκευτεί το πρόγραμμα θα μας ζητήσει είτε να τις αποθηκεύσουμε πατώντας το πλήκτρο Yes είτε να τις απορρίψουμε πατώντας το πλήκτρο No.

Από το επόμενο παράθυρο επιλέγουμε τον τύπο επικεφαλίδων των στηλών.



Σχήμα 3.5 : Παράθυρο επιλογής μορφοποίησης στηλών

Όπως φαίνεται υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διαμορφωμένων στηλών για την εισαγωγή δεδομένων όπως απλές αριθμημένες στήλες έως στήλες με τα ιόντα υδροχημικών αναλύσεων. Έχοντας επιλέξει μια κατηγορία και πατώντας το πλήκτρο Expand εμφανίζονται οι επιμέρους διαφορετικές μορφοποιήσεις των στηλών κάθε κατηγορίας.

#### 3.3.1.4. Αποθήκευση φύλλου εργασίας.

Για να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα από ένα φύλλο εργασίας της υποσελίδας Rockware Utilities ακολουθούμε την εξής διαδικασία :

Επιλέγουμε την εντολή File / Save

Εάν το αρχείο δεδομένων έχει ήδη όνομα τότε η εντολή Save αποθηκεύει το τρέχον σύνολο δεδομένων στο δίσκο με το όνομα που ήδη έχει δοθεί.

Εάν το αρχείο δεδομένων αποθηκεύεται για πρώτη φορά το πρόγραμμα θα ανοίξει ένα παράθυρο διαλόγου και θα μας ζητήσει να δώσουμε ένα όνομα για το αρχείο δεδομένων.

Save Datasheet as: Επιλέγοντας την συγκεκριμένη εντολή ανοίγει ένα τυπικό παράθυρο διαλόγου στο οποίο δίνουμε το όνομα που επιθυμούμε για το αρχείο



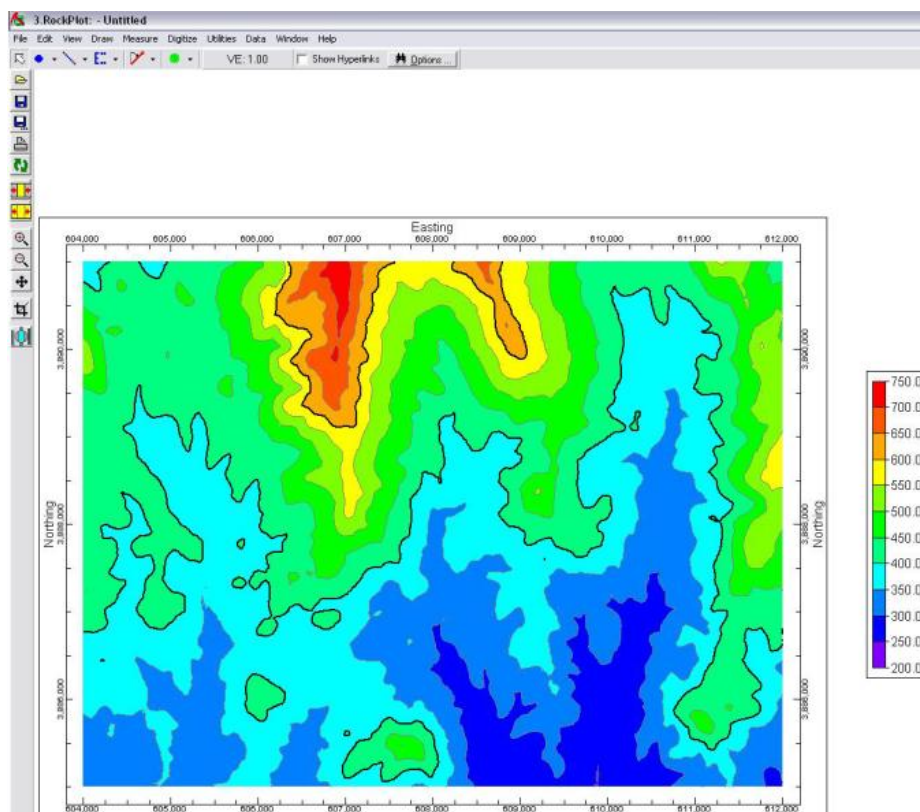
δεδομένων καθώς επίσης επιλέγουμε και σε ποιόν φάκελο θα αποθηκευτεί το τρέχον αρχείο δεδομένων. Τα αρχεία αυτά έχουν πάντα την κατάληξη .atd .

Πατώντας OK ολοκληρώνεται η διαδικασία.

### 3.3.1.5. Οπτικοποίηση Αποτελεσμάτων Επεξεργασίας.

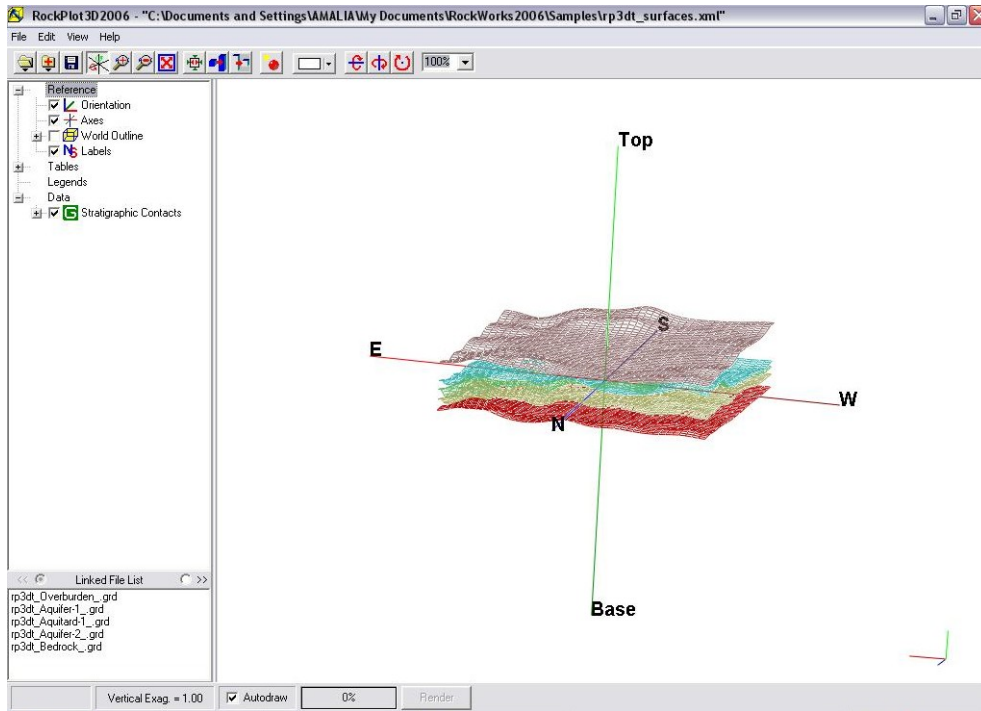
Υπάρχουν τρία διαφορετικά γραφικά περιβάλλοντα οπτικοποίησης στο Rockworks 2006.

Το πρώτο είναι το Rockplot2D , το οποίο χρησιμοποιείται για την αποτύπωση δισδιάστατων γραφικών (χάρτες, κατατομές, διαγράμματα)



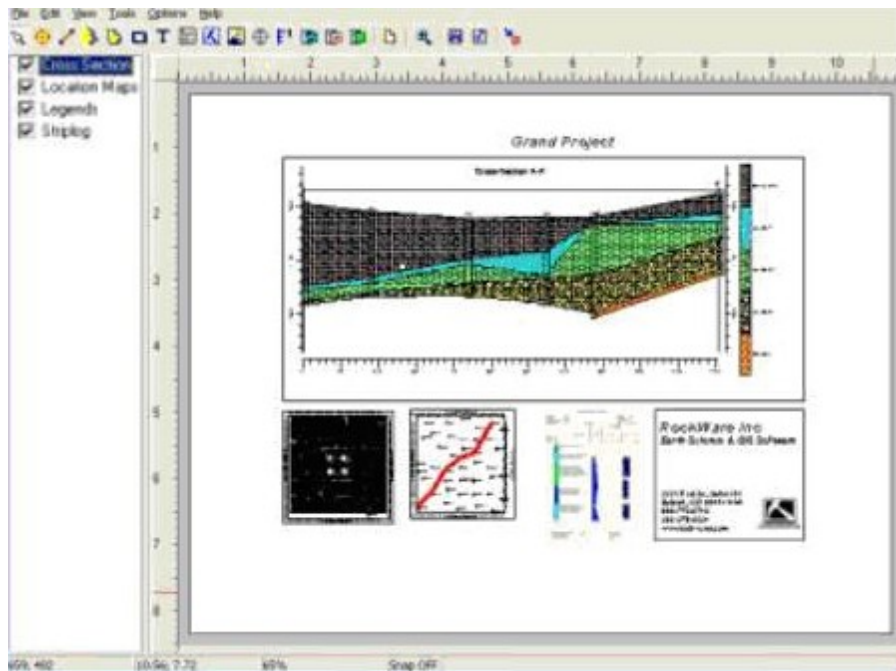
Σχήμα 3.6 : Παράθυρο απεικόνισης RockPlot2D

Το δεύτερο είναι το Rockplot3D που χρησιμοποιείται για την αποτύπωση τρισδιάστατων γραφικών (Τρισδιάστατες επιμετρήσεις γεωτρήσεων, επιφάνειες, στερεά μοντέλα)



**Σχήμα 3.7: Παράθυρο απεικόνισης RockPlot3D**

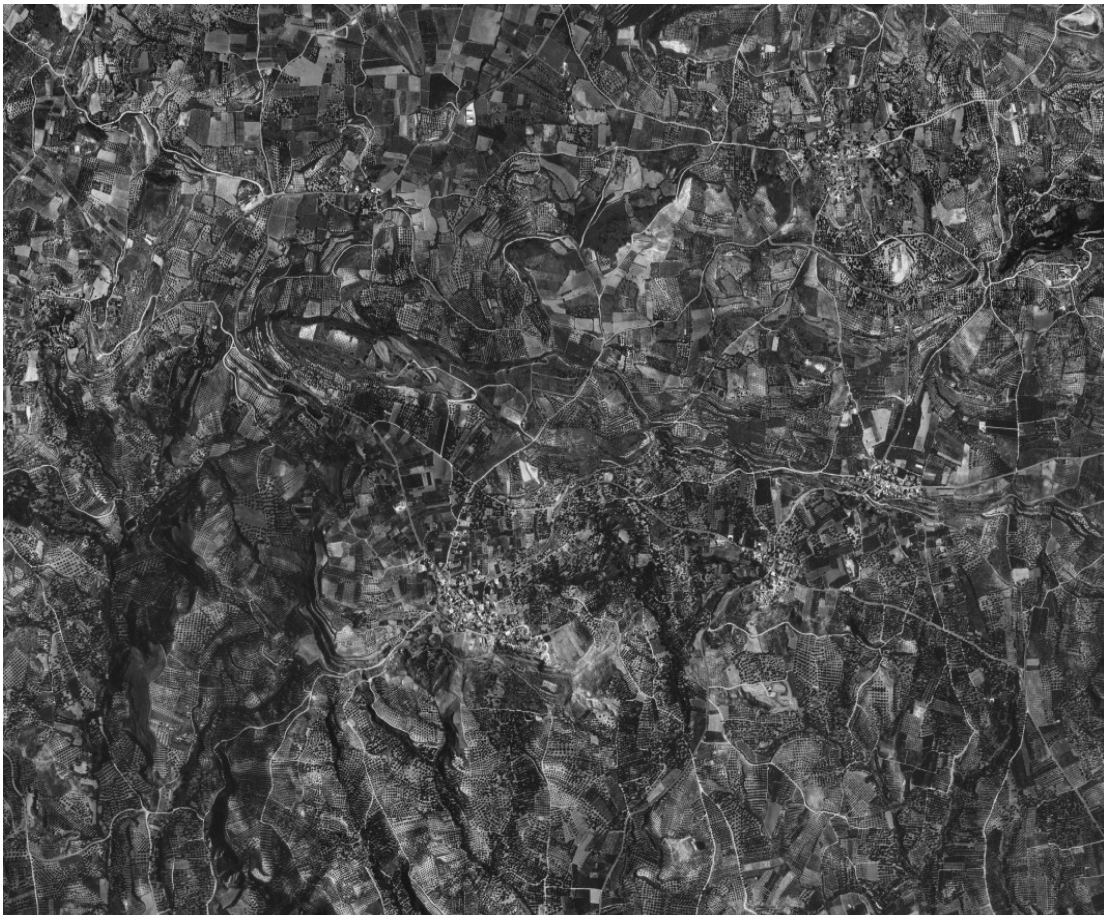
Το τελευταίο ονομάζεται ReportWorks και αποτελεί μια φόρμα εισαγωγής του προγράμματος για την εξαγωγή εικόνων παρουσίασης για την καλύτερη απεικόνιση των γραφικών που δημιουργήθηκαν.



**Σχήμα 3.8 : Παράθυρο απεικόνισης ReportRockworks**

### 3.3.2. Δημιουργία Πλεγματικού Μοντέλου και επισύναψη εικόνων χάρτη

Η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου μιας περιοχής στο Rockworks προϋποθέτει την ύπαρξη ορθοφωτογραφικών χαρτών, που έχουν δημιουργηθεί από λήψη ορθοφωτογραφιών. Οι ορθοφωτογραφίες είναι αεροφωτογραφίες που έχουν ληφθεί από αεροσκάφος που ίπταται σταθερά και παράλληλα με την εδαφική επιφάνεια. Έτσι είναι απαλλαγμένες από τις παραμορφώσεις που δημιουργεί η οπτική γωνία λήψης και η μορφολογία, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα άντλησης αξιόπιστης οριζοντιογραφικής πληροφορίας και την άμεση πραγματοποίηση μετρήσεων αφού όλα τα τμήματά της έχουν την ίδια κλίμακα.

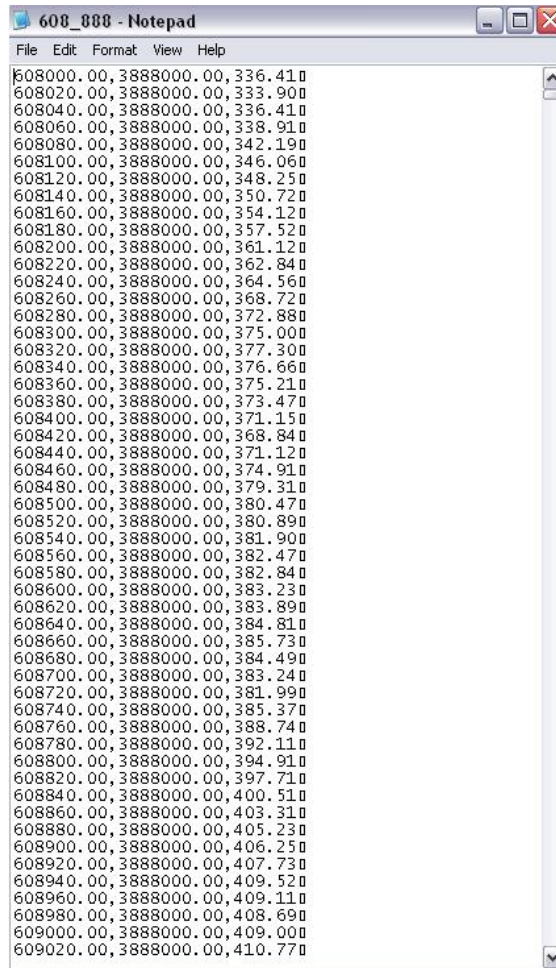


Σχήμα 3.9: Ορθοφωτογραφία από τομέα της περιοχής μελέτης

Οι εικόνες αυτές συνοδευόμενες από τον κατάλογο συντεταγμένων κάθε εικόνας, αποτελούν ένα χάρτη ο οποίος σε ψηφιακή μορφή (ως αρχείο TIFF) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνδυασμένη πληροφορία μαζί με άλλες μορφές χάρτη π.χ.



τοπογραφικούς, γεωλογικούς κ.τ.λ. Στην περίπτωση που μελετάται το αρχείο με τις συντεταγμένες HATT αναπαρίσταται σ' αυτήν την εικόνα.



```
File Edit Format View Help
608000.00,3888000.00,336.410
608020.00,3888000.00,333.900
608040.00,3888000.00,336.410
608060.00,3888000.00,338.910
608080.00,3888000.00,342.190
608100.00,3888000.00,346.060
608120.00,3888000.00,348.250
608140.00,3888000.00,350.720
608160.00,3888000.00,354.120
608180.00,3888000.00,357.520
608200.00,3888000.00,361.120
608220.00,3888000.00,362.840
608240.00,3888000.00,364.560
608260.00,3888000.00,368.720
608280.00,3888000.00,372.880
608300.00,3888000.00,375.000
608320.00,3888000.00,377.300
608340.00,3888000.00,376.660
608360.00,3888000.00,375.210
608380.00,3888000.00,373.470
608400.00,3888000.00,371.150
608420.00,3888000.00,368.840
608440.00,3888000.00,371.120
608460.00,3888000.00,374.910
608480.00,3888000.00,379.310
608500.00,3888000.00,380.470
608520.00,3888000.00,380.890
608540.00,3888000.00,381.900
608560.00,3888000.00,382.470
608580.00,3888000.00,382.840
608600.00,3888000.00,383.230
608620.00,3888000.00,383.890
608640.00,3888000.00,384.810
608660.00,3888000.00,385.730
608680.00,3888000.00,384.490
608700.00,3888000.00,383.240
608720.00,3888000.00,381.990
608740.00,3888000.00,385.370
608760.00,3888000.00,388.740
608780.00,3888000.00,392.110
608800.00,3888000.00,394.910
608820.00,3888000.00,397.710
608840.00,3888000.00,400.510
608860.00,3888000.00,403.310
608880.00,3888000.00,405.230
608900.00,3888000.00,406.250
608920.00,3888000.00,407.730
608940.00,3888000.00,409.520
608960.00,3888000.00,409.110
608980.00,3888000.00,408.690
609000.00,3888000.00,409.000
609020.00,3888000.00,410.770
```

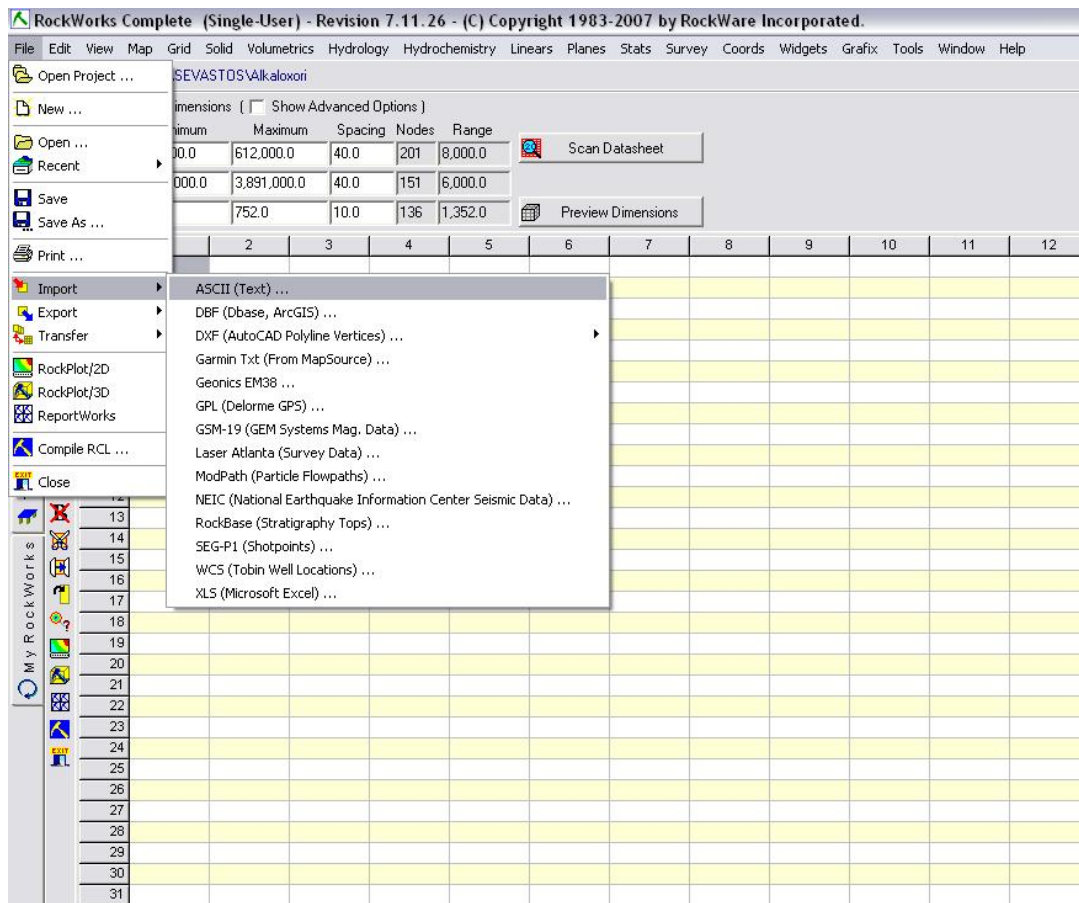
Σχήμα 3.10 : Δείγμα αρχείου με τον κατάλογο συντεταγμένων της υπο μελέτη περιοχής

Για το συγκεκριμένο αρχείο το πρόγραμμα του Rockworks δεν μπορεί να εισάγει ένα ASCII file όπως το παραπάνω στη μορφή που βρίσκεται και απαιτείται η μετατροπή του σ' ένα ASCII file συμβατό με το Data Sheet του Geological Utilities που θα πραγματοποιήσει την επεξεργασία. Η μετατροπή πραγματοποιείται έτσι ώστε κάθε σειρά του αρχείου text να περιέχει συντεταγμένες ενός μόνο σημείου για να είναι αναγνώσιμο από το Rockworks.

```
SinoloSintetagenwn4fillwnMaps - Notepad
File Edit Format View Help
608800.00,3886800.00,328.86
608820.00,3886800.00,331.71
608840.00,3886800.00,333.13
608860.00,3886800.00,334.39
608880.00,3886800.00,337.40
608900.00,3886800.00,342.00
608920.00,3886800.00,345.17
608940.00,3886800.00,347.96
608960.00,3886800.00,351.55
608980.00,3886800.00,353.38
609000.00,3886800.00,354.53
609020.00,3886800.00,355.23
609040.00,3886800.00,355.02
609060.00,3886800.00,356.70
609080.00,3886800.00,358.14
609100.00,3886800.00,361.52
609120.00,3886800.00,365.31
609140.00,3886800.00,368.07
609160.00,3886800.00,370.52
609180.00,3886800.00,372.38
609200.00,3886800.00,373.57
609220.00,3886800.00,375.29
609240.00,3886800.00,375.24
609260.00,3886800.00,374.08
609280.00,3886800.00,373.20
609300.00,3886800.00,370.20
609320.00,3886800.00,362.10
609340.00,3886800.00,358.84
609360.00,3886800.00,358.53
609380.00,3886800.00,355.55
609400.00,3886800.00,354.07
609420.00,3886800.00,353.01
609440.00,3886800.00,349.85
609460.00,3886800.00,346.96
609480.00,3886800.00,336.42
609500.00,3886800.00,338.14
609520.00,3886800.00,330.42
609540.00,3886800.00,325.04
609560.00,3886800.00,318.64
609580.00,3886800.00,314.05
609600.00,3886800.00,310.58
609620.00,3886800.00,307.07
609640.00,3886800.00,302.64
609660.00,3886800.00,299.14
609680.00,3886800.00,294.97
609700.00,3886800.00,289.50
609720.00,3886800.00,288.93
609740.00,3886800.00,295.22
609760.00,3886800.00,300.36
609780.00,3886800.00,304.08
609800.00,3886800.00,307.61
```

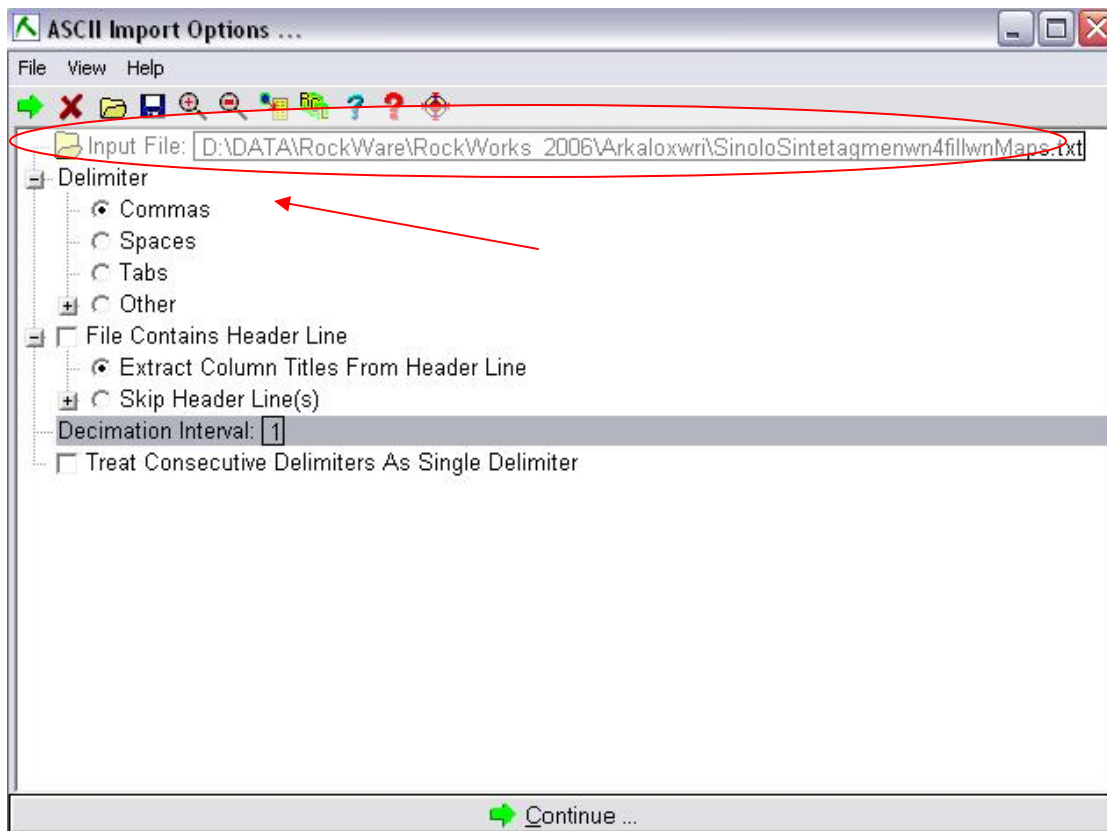
Σχήμα 3.11: Διαμορφωμένο αναγνώσιμο ASCII File από το Rockworks 2006

Στη συνέχεια απ' το υπομενού του Geological Utilities επιλέγουμε να εισάγουμε το αρχείο που έχουμε διαμορφώσει ακολουθώντας το path file→import→ASCII text.



**Σχήμα 3.12: Απεικόνιση διαδρομής του προγράμματος για την εισαγωγή του ASCII File στην υποσελίδα Geological Utilities**

Το Rockworks ζητά να οριστεί η τοποθεσία που βρίσκεται το αρχείο και τη μορφή (Delimiters) με την οποία διαχωρίζονται οι συντεταγμένες όπως π.χ. κόμματα ή κενά. Επίσης διευκρινίζει αν το αρχείο εμπεριέχει επικεφαλίδα.



Σχήμα 3.13: Παράθυρο επιλογών εισαγωγής του ASCII File

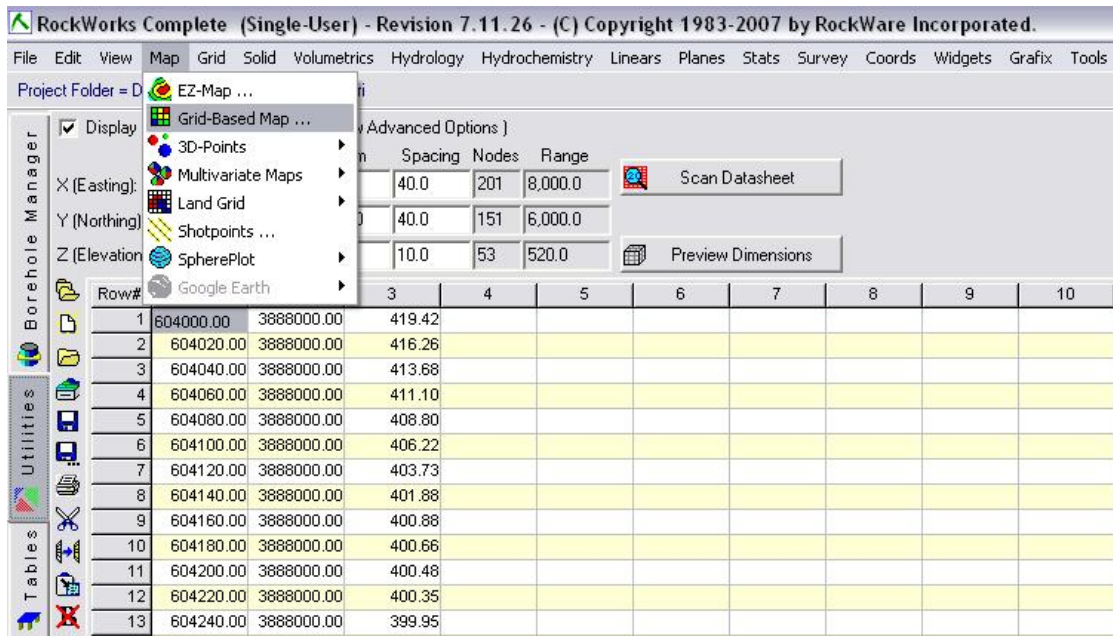
Πατώντας Continue θα εισαχθούν οι συντεταγμένες του ASCII file στο Data Sheet του Geological Utilities.

Geological Utilities Datasheet						
Row#	1	2	3	4	5	6
1	608000.00	3885000.00	363.74			
2	608020.00	3885000.00	364.79			
3	608040.00	3885000.00	362.54			
4	608060.00	3885000.00	360.46			
5	608080.00	3885000.00	358.61			
6	608100.00	3885000.00	355.07			
7	608120.00	3885000.00	352.33			
8	608140.00	3885000.00	349.62			
9	608160.00	3885000.00	348.92			
10	608180.00	3885000.00	347.02			
11	608200.00	3885000.00	345.66			
12	608220.00	3885000.00	342.72			
13	608240.00	3885000.00	338.65			
14	608260.00	3885000.00	331.77			
15	608280.00	3885000.00	326.63			
16	608300.00	3885000.00	322.14			
17	608320.00	3885000.00	318.57			
18	608340.00	3885000.00	317.26			
19	608360.00	3885000.00	318.14			
20	608380.00	3885000.00	318.44			
21	608400.00	3885000.00	317.34			
22	608420.00	3885000.00	313.96			
23	608440.00	3885000.00	306.04			
24	608460.00	3885000.00	302.94			
25	608480.00	3885000.00	297.95			
26	608500.00	3885000.00	292.23			
27	608520.00	3885000.00	287.55			
28	608540.00	3885000.00	286.45			
29	608560.00	3885000.00	285.64			
30	608580.00	3885000.00	283.25			
31	608600.00	3885000.00	282.10			
32	608620.00	3885000.00	281.03			
33	608640.00	3885000.00	279.36			
34	608660.00	3885000.00	277.00			
35	608680.00	3885000.00	274.83			
36	608700.00	3885000.00	272.16			
37	608720.00	3885000.00	270.63			
38	608740.00	3885000.00	268.04			
39	608760.00	3885000.00	263.73			
40	608780.00	3885000.00	260.04			
41	608800.00	3885000.00	256.87			
42	608820.00	3885000.00	257.90			
43	608840.00	3885000.00	260.79			
44	608860.00	3885000.00	262.66			
45	608880.00	3885000.00	264.32			
46	608900.00	3885000.00	265.66			
47	608920.00	3885000.00	266.74			

Σχήμα 3.14 : Εισηγμένα στοιχεία του ASCII File στο φύλλο επεξεργασίας του Geological Utilities

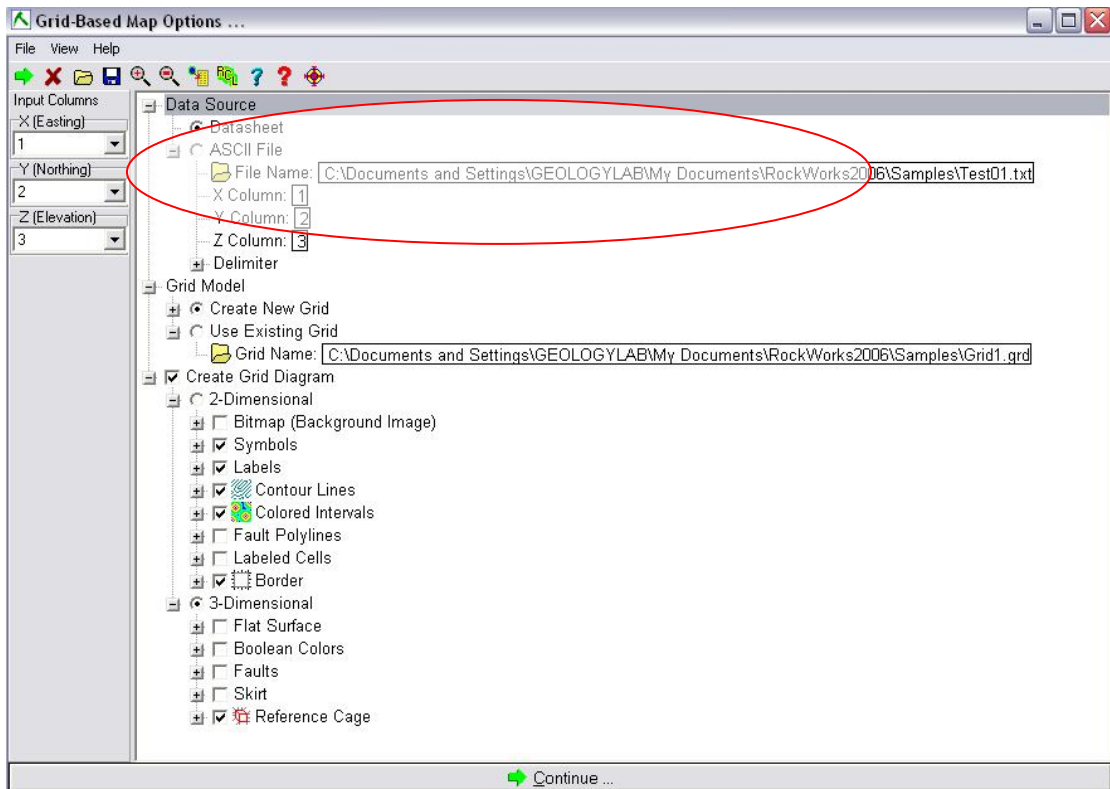
Το πρόγραμμα τώρα είναι έτοιμο να χρησιμοποιήσει τα στοιχεία αυτά για όποια παράμετρο σχεδίασης του ζητηθούν.

Για τη δημιουργία ενός χάρτη πλέγματος θα ακολουθηθεί ή εξής πορεία. Απ' τη μπάρα εργαλείων θα επιλεγθεί map→grid based map.



Σχήμα 3.15: Απεικόνιση διαδρομής του προγράμματος για την δημιουργία χάρτη πλέγματος

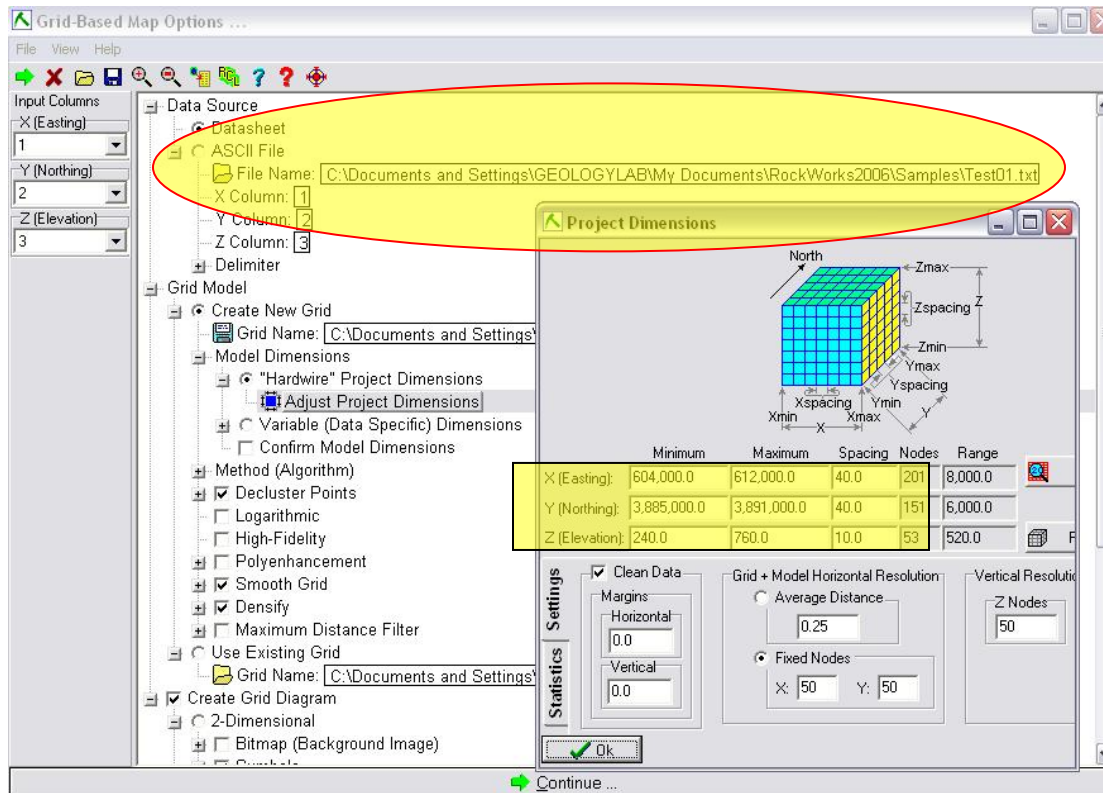
Κατόπιν το Rockworks θα προβάλει το μενού επιλογών για αυτόν τον χάρτη, το οποίο περιλαμβάνει αρκετές παραμέτρους.



Σχήμα 3.16: Παράθυρο ρυθμίσεων των παραμέτρων του χάρτη πλέγματος



Κατ' αρχάς ζητείται αν θα «διαβάσει» απ' το Data Sheet του Geological Utilities ή κατ' ευθείαν από ένα ASCII file, καθώς και η τοποθεσία του. Προσδιορίζει και εμφανίζει τη θέση των συντεταγμένων X,Y,Z με αύξοντα αριθμό στηλών (1,2,3) ώστε να ελεγχθεί η αντιστοιχία στήλης – συντεταγμένων ή ακόμα και να μπορεί ν' αλλάξει απ' το χρήστη. Η επιλογή Grid Model ρυθμίζει τη δημιουργία ή μη νέου μοντέλου πλέγματος και οι διαστάσεις του μοντέλου καθορίζονται απ' την ενότητα Map Dimensions.

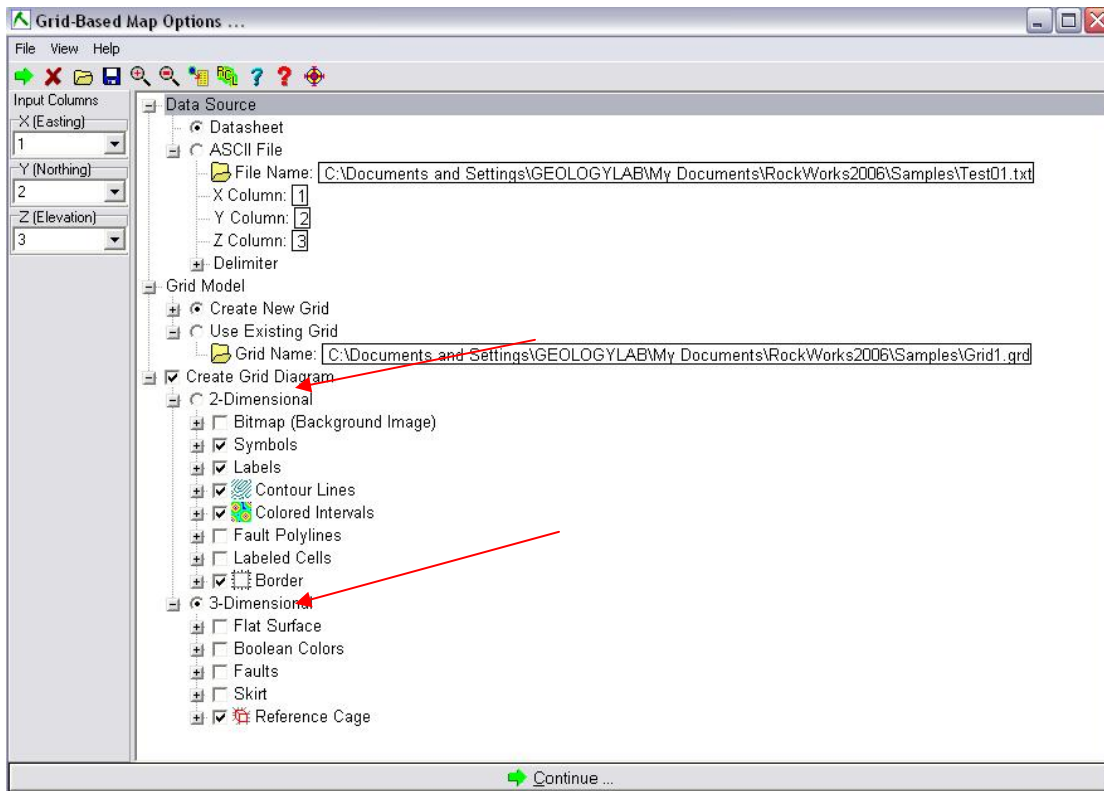


Σχήμα 3.17: Παράθυρο παραμετροποίησης των συνοριακών συντεταγμένων

Συνήθως το πρόγραμμα επιλέγει τις συνοριακές συντεταγμένες που έχει βρει απ' το ASCII file και τις τοποθετεί αυτόματα στον κατάλογο Project Dimensions απ' την επιλογή Hardware Dimensions. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα αλλαγών μέσω του Adjust Project Dimensions.

Το παράθυρο είναι ενεργό και με κάθε αλλαγή στα ισοδιαστήματα εμφάνισης κόμβων, προβάλλεται και ο συνολικός αριθμός κόμβων του μοντέλου.

Επίσης συμπεριλαμβάνονται οι επιλογές για τη δημιουργία διςδιάστατου ή τριςδιάστατου χάρτη.

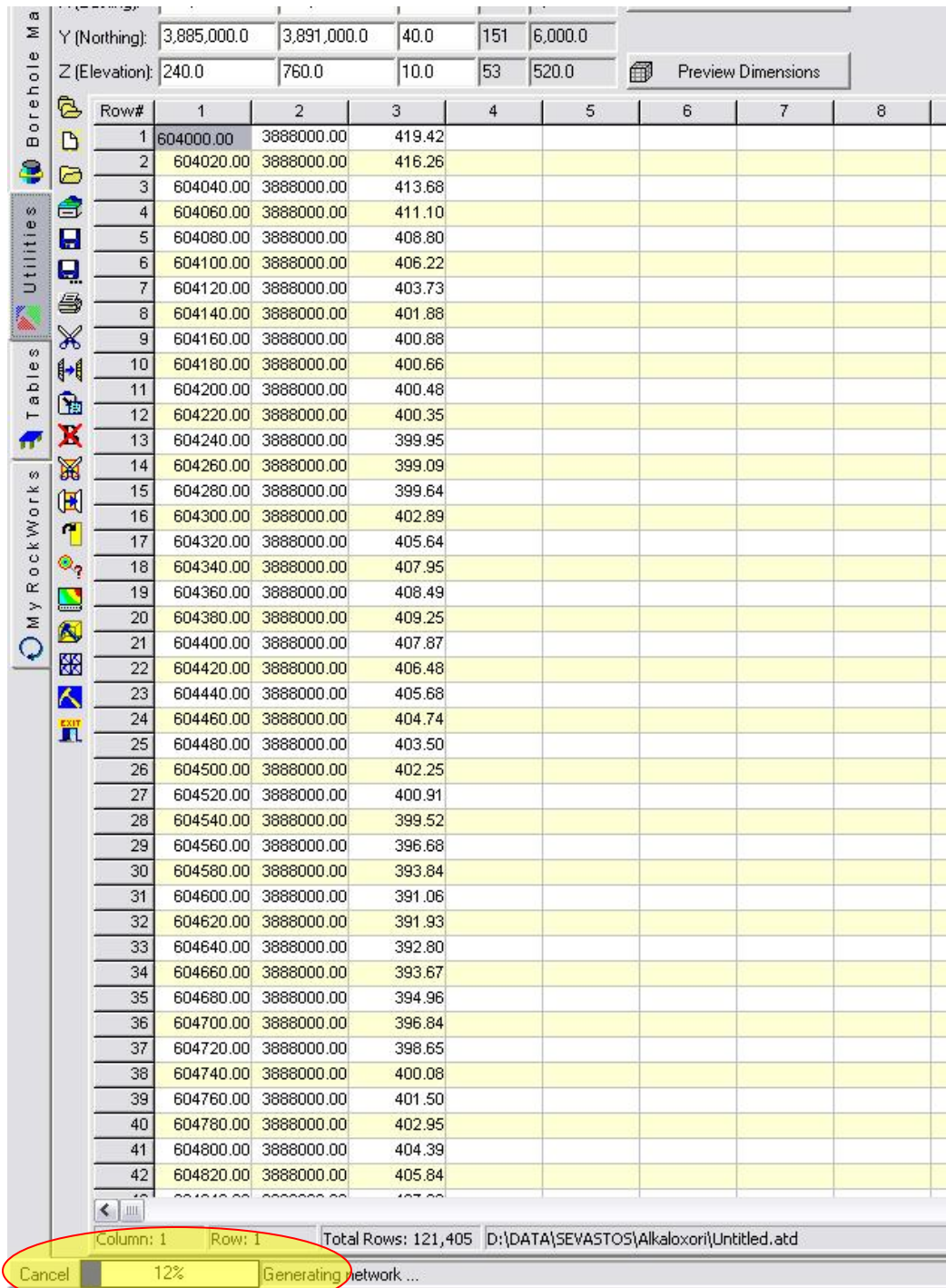


Σχήμα 3.18 : Προβολή επιλογών για δυοδιάστατη ή τρισδιάστατη απεικόνιση

Επειδή χρειάζεται απεικόνιση αναγλύφου επιλέγεται το τρισδιάστατο για να αναπαρασταθεί η επιφάνεια που μελετάται.

Στη συνέχεια αρχίζει η επεξεργασία των δεδομένων και προβάλλεται η πρόοδος της δημιουργίας του μοντέλου.



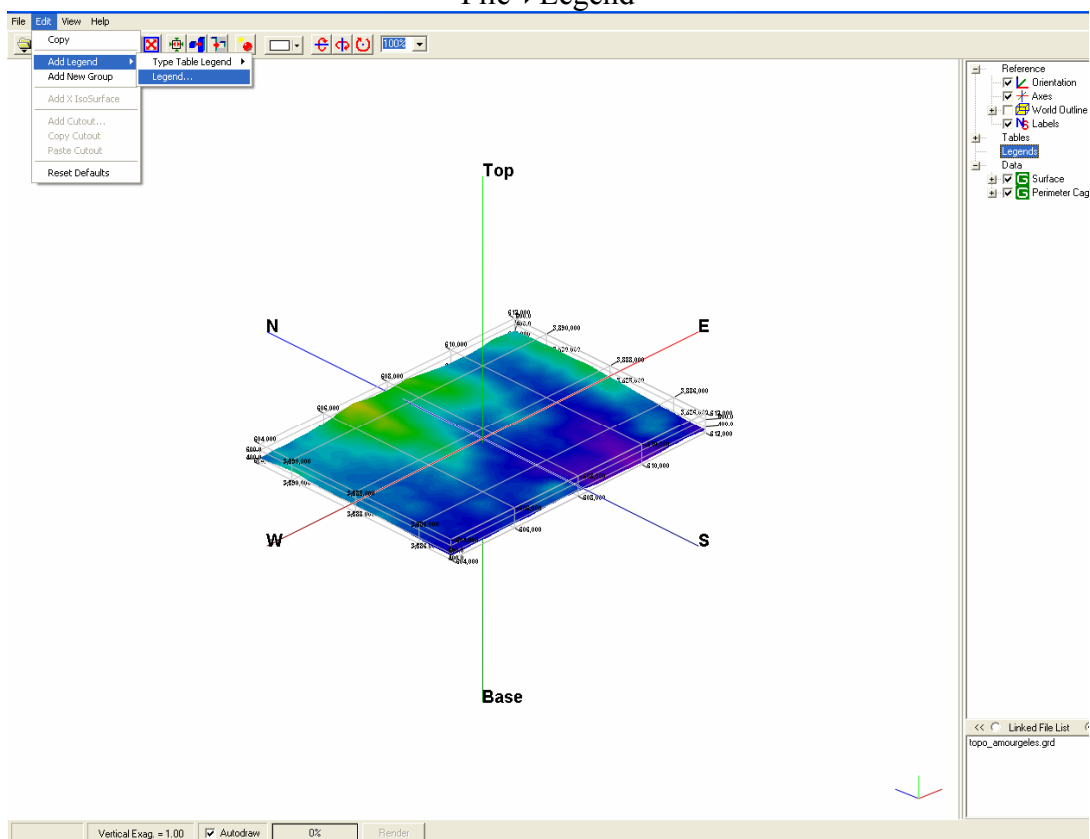


Σχήμα 3.19: Πρόοδος κατασκευής του πλεγματού μοντέλου

Το μοντέλο πλέγματος που δημιουργείται προβάλλεται στο παράθυρο του RockPlot 3D

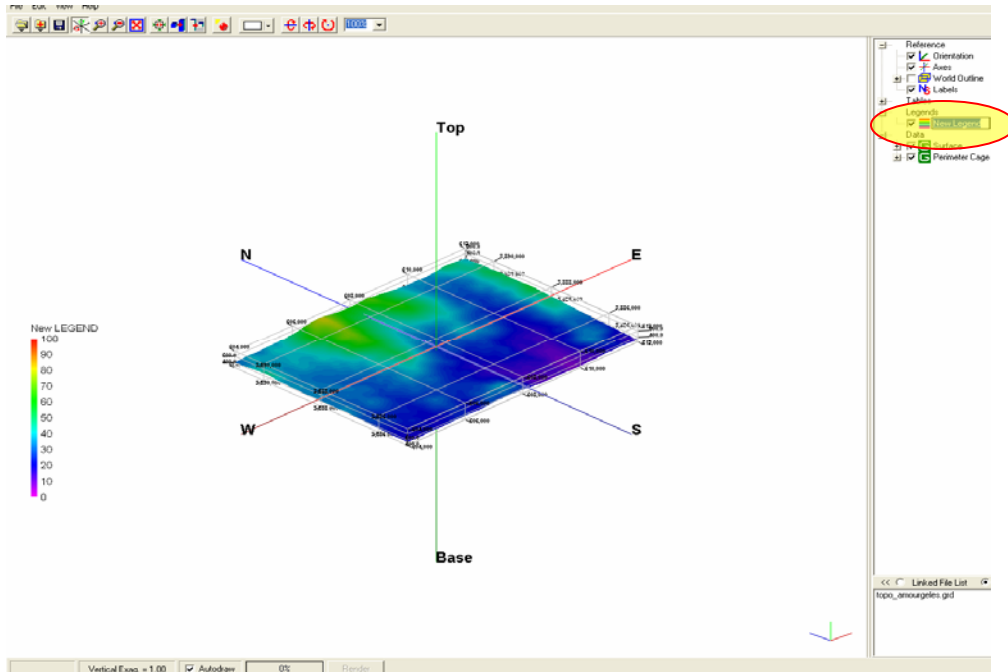
Τα διαφορετικά χρώματα (συνήθως τα πιο έντονα) απεικονίζουν περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Για την εμφάνιση στήλης αναφοράς του υψόμετρου επιλέγεται η διαδρομή

## File→Legend



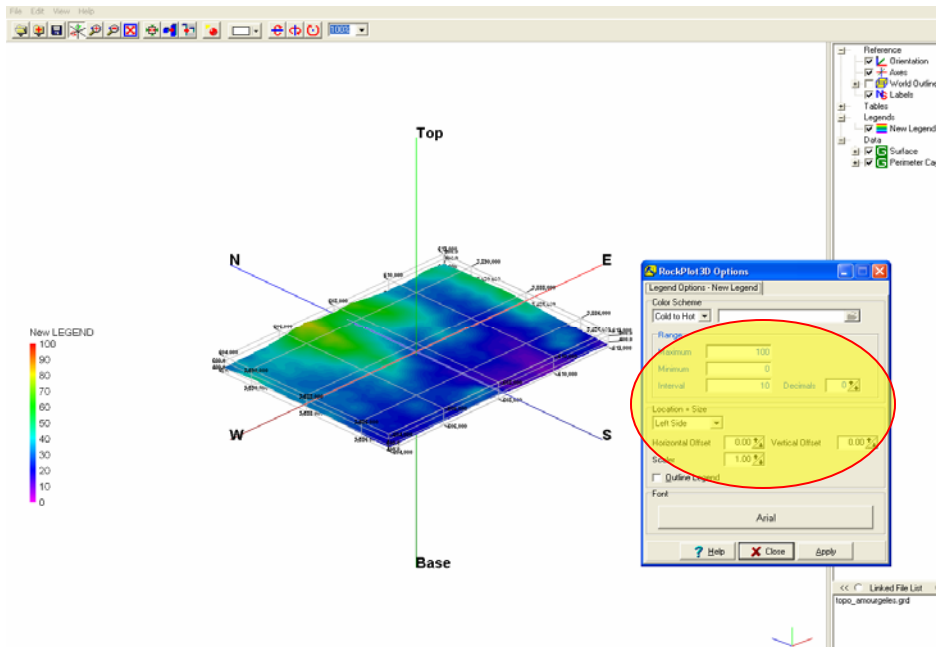
Σχήμα 3.20: Ολοκληρωμένο πλεγμιακό μοντέλο

Εμφανίζεται η στήλη στο παράθυρο του μοντελου, η οποία όμως χρειάζεται να ρυθμιστεί σε ο,τι αφορά την εμφάνιση μέγιστου-ελάχιστου υψομέτρου καθώς και των ισοδιατημάτων τους. Αυτό γίνεται απ'τη ρύθμιση Legend, δεξιά στο παράθυρο.



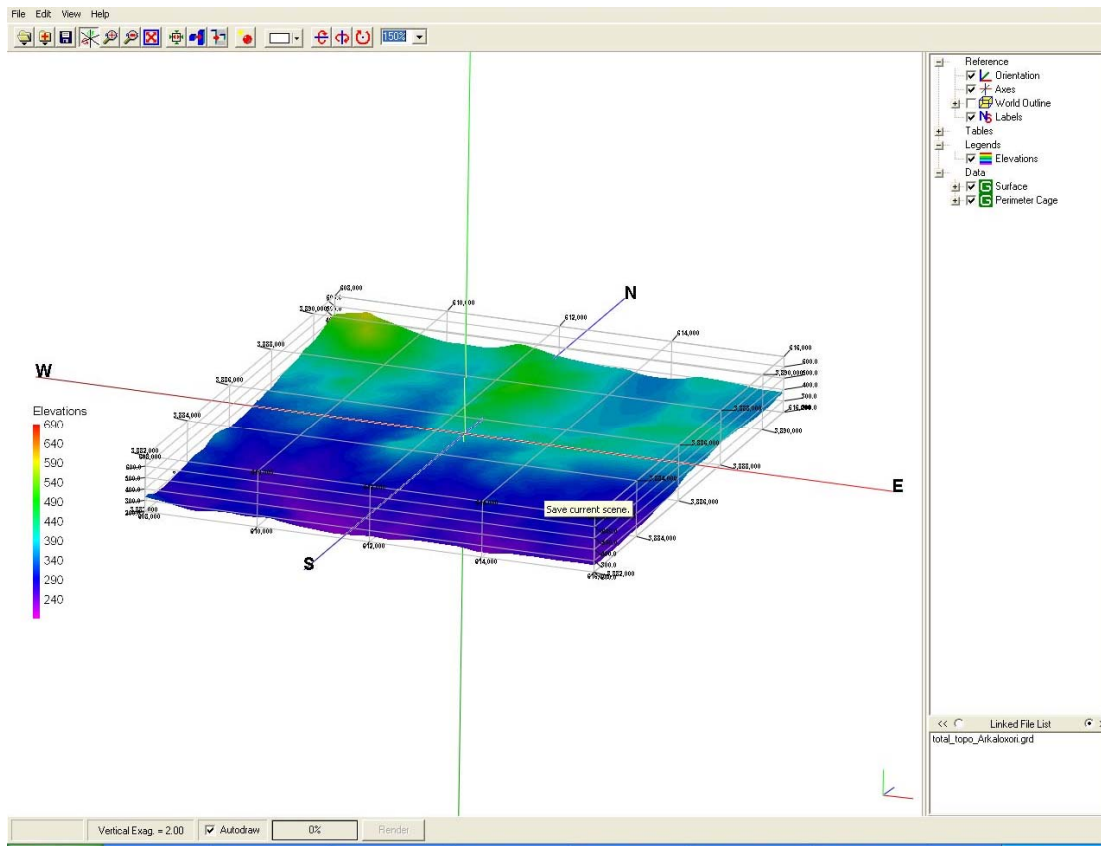
Σχήμα 3.21: Ρύθμιση υψομετρικού υπομνήματος

Εμφανίζεται παράθυρο ρυθμίσεων και εισάγεται μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο καθώς και τα επιθυμητά διαστήματα ισοδιαστημάτων της στήλης, που ονομάζεται πλέον Elevation, απο τον χρήστη.



Σχήμα 3.22 : Ρύθμιση παραμετροποίησης υπομνήματος

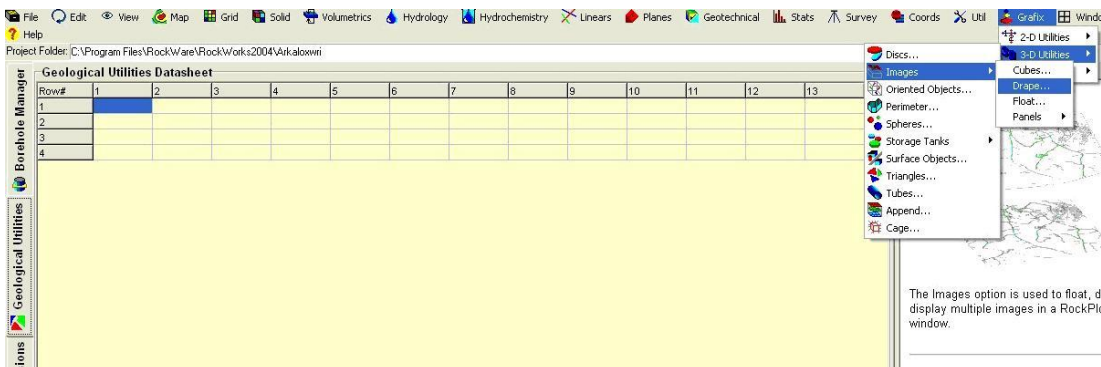
Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, τότε η εικόνα του μοντέλου συνοδεύεται και απ'τήν αντίστοιχη στήλη αναφοράς υψόμετρου, προσαρμοσμένη στις υψομετρικές διαφορές του μοντέλου.



**Σχήμα 3.23 : Πλεγματικό Μοντέλο με ρυθμισμένες τις παραμέτρους υψομέτρου**

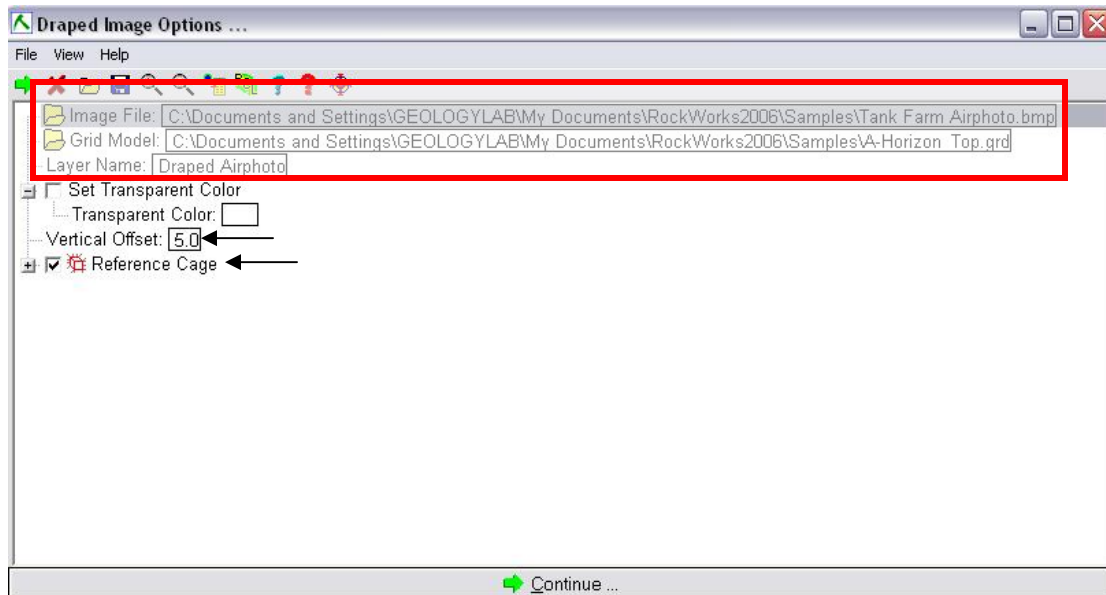
Η εικόνα αποθηκεύεται στο φάκελο του Rockworks με κατάληξη .grd.

Σ' αυτόν τον πλεγματικό χάρτη (μοντέλο) θα επικολληθεί στη συνέχεια ο ορθοφωτοχάρτης με τις συντεταγμένες του οποίου κατασκευάστηκε το πλεγματικό μοντέλο. Απ' το μενού του Geological Utilities επιλέγεται απ' τη μπάρα εργαλείων η επιλογή **Grafix**→**3D Utilities**→**Images**→**Drape**.



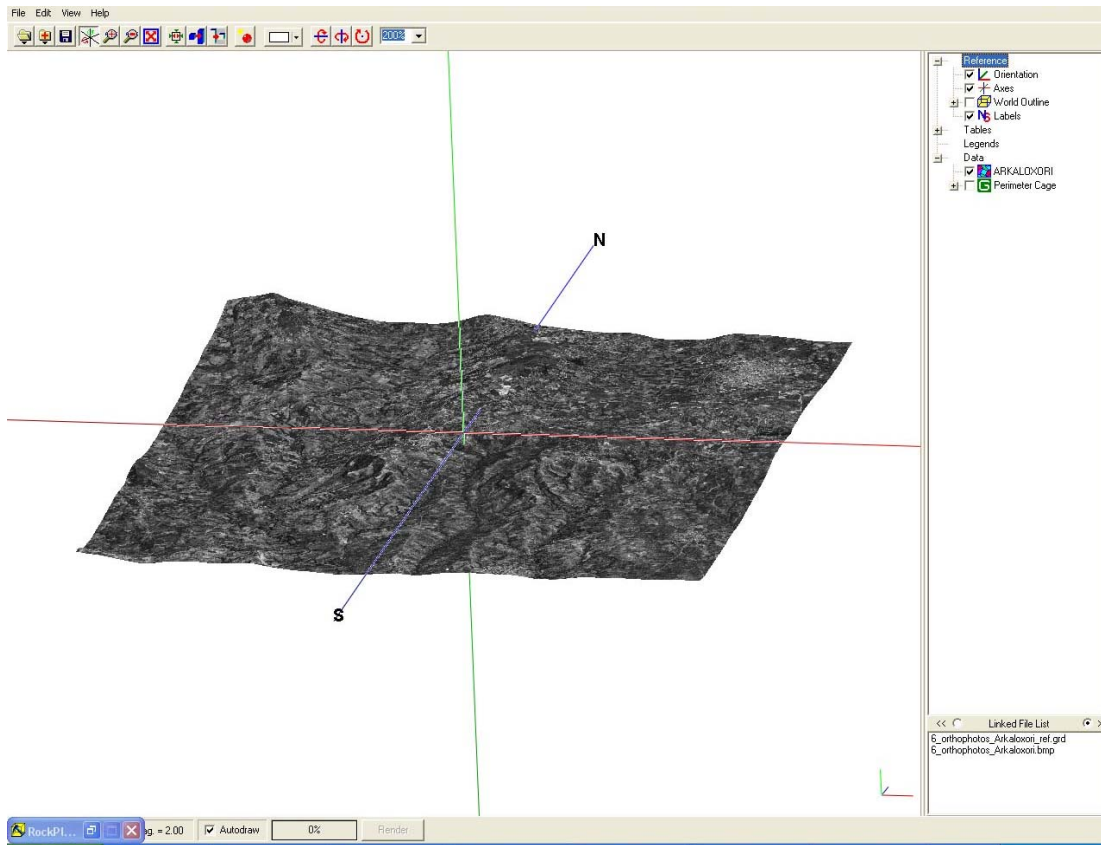
**Σχήμα 3.24 : Geological Utilities: Επιλογή διαδρομής για την επισύναψη ορθοφωτοχάρτη στο κατασκευασμένο πλεγματικό μοντέλο**

Έτσι υποδεικνύεται στο πρόγραμμα να «επικολλήσει» επάνω στο πλεγματοειδές μοντέλο τον ορθοφωτοχάρτη. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο επιλογών δημιουργίας του γραφικού, το οποίο καθορίζει την τοποθεσία απ' όπου θα ληφθούν τα αρχεία του αποθηκευμένου πλεγματοειδούς μοντέλου (.grd) και της εικόνας του χάρτη σε φόρμα όμως .bmp. Ακόμη καθορίζεται η ονομασία του νέου επιπέδου που θα δημιουργηθεί, ο βαθμός διαφάνειας με την οποία θα επικαλυφθεί στο πλεγματοειδές μοντέλο το καινούριο επίπεδο, η επιλογή πλέγματος αναφοράς και η κάθετη διαμόρφωση των υψομετρικών διαφορών.



Σχήμα 3.25 : Παράθυρο επιλογών επισύναψης των δύο χαρτών

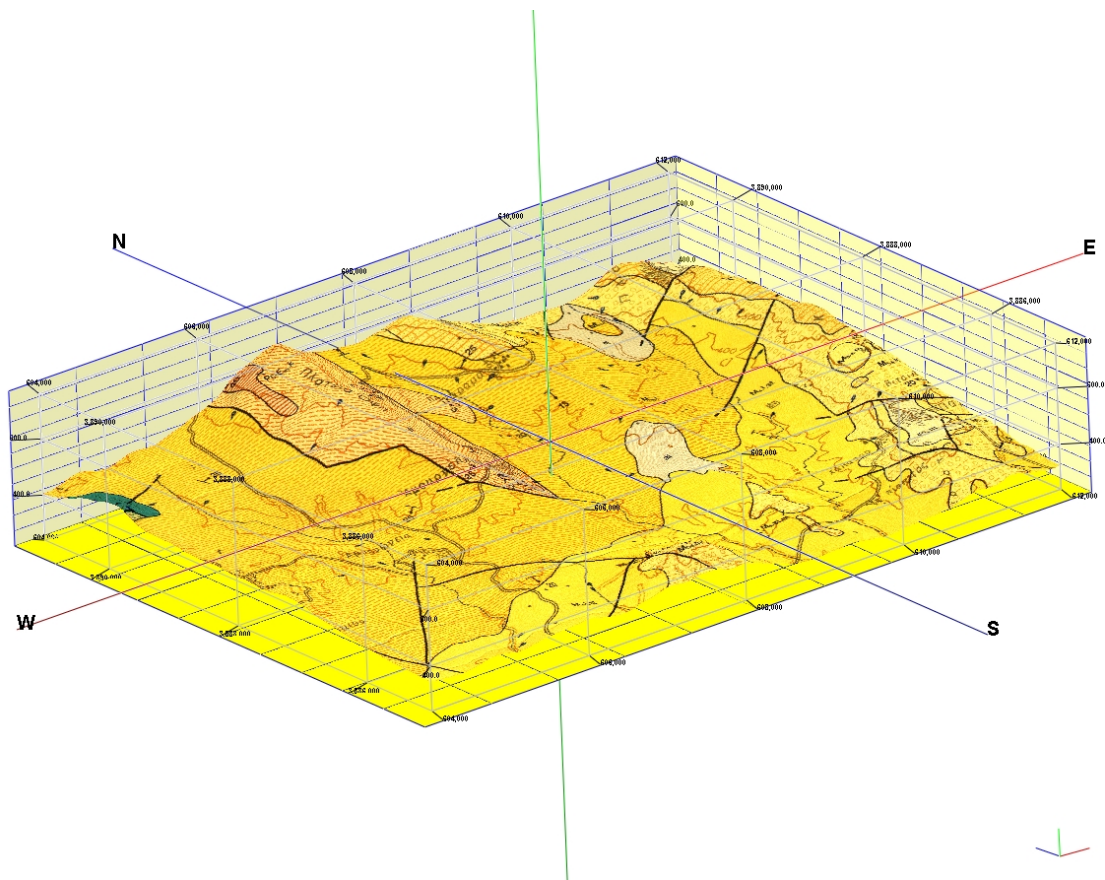
Με τη ρύθμιση αυτών των παραμέτρων και την αποδοχή τους, δημιουργείται και εμφανίζεται στο παράθυρο του RockPlot 3D χάρτης ψηφιακού τοπογραφικού αναγλύφου.



**Σχήμα 3.26 : Rockplot3D, Χάρτης ψηφιακού τοπογραφικού αναγλύφου**

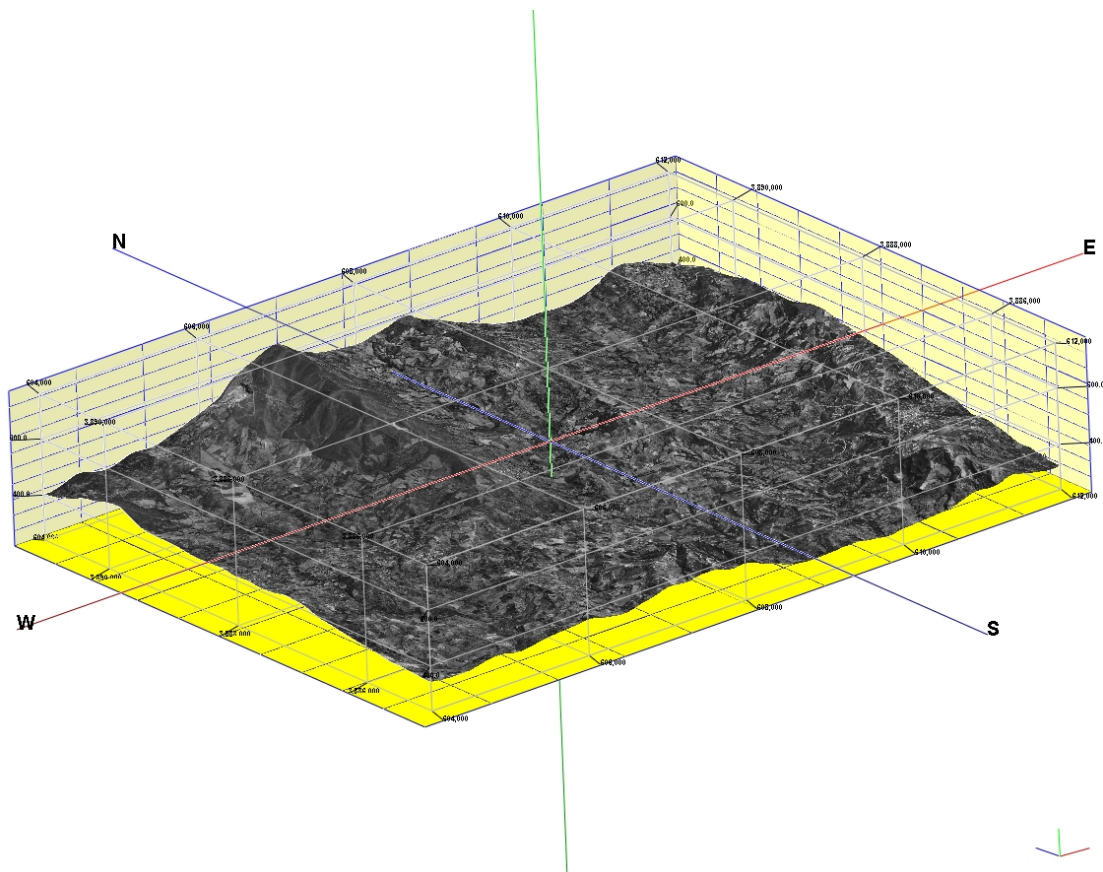
Με την ίδια διαδικασία, εφ' όσον πρόκειται για επικόλληση εικόνας σε πλεγματοειδές μοντέλο, μπορεί να επισυναφθεί αντί για την εικόνα του ορθοφωτοχάρτη, η εικόνα του γεωλογικού χάρτη της αντιπροσωπευτικής περιοχής κι έτσι να υπάρξει μια μορφή τρισδιάστατης απεικόνισης της γεωλογίας της.





**Σχήμα 3.27: Rockplot3D, Επισύναψη γεωλογικού χάρτη στο πλεγματικό μοντέλο**

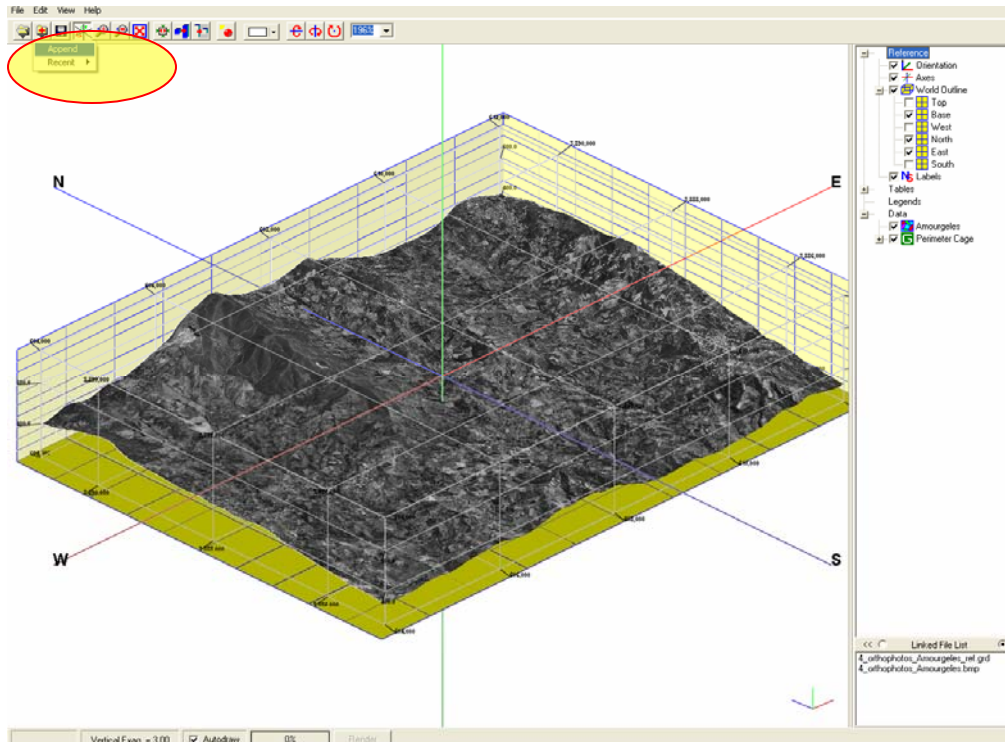
Το Rockworks αποθηκεύει αυτά τ' αποτελέσματα σε μορφή αρχείων .xml και κατά προτίμηση πρέπει για την εύρυθμη λειτουργία του προγράμματος να αποθηκεύεται στους υποφακέλους που έχει δημιουργήσει το πρόγραμμα κατά την εγκατάστασή του. Το Rockworks δίνει τη δυνατότητα συνδυασμένης απεικόνισης δύο αρχείων .xml, εφ' όσον αυτά είναι αποθηκευμένα και μπορεί το πρόγραμμα να τα ανακαλέσει. Στην περίπτωση που μελετάται, έχει προσεχθεί οι διαστάσεις των εικόνων να είναι ακριβώς οι ίδιες και να υπάρχει απόλυτη συμφωνία στις συντεταγμένες, ώστε οι εικόνες να ταιριάζουν απόλυτα η μία στην άλλη και να μην υπάρχουν αποκλίσεις στην τελική απεικόνιση. Ανοίγοντας το παράθυρο του RockPlot 3D απ' την επιλογή File→open επιλέγεται το αποθηκευμένο αρχείο .xml που αφορά τη συνδυασμένη μορφή εικόνας ορθοφωτοχάρτη με το πλεγματικό μοντέλο, και εμφανίζεται στην οθόνη.



**Σχήμα 3.28 : Εμφάνιση αρχείου .xml απευθείας από το Rockplot3D**

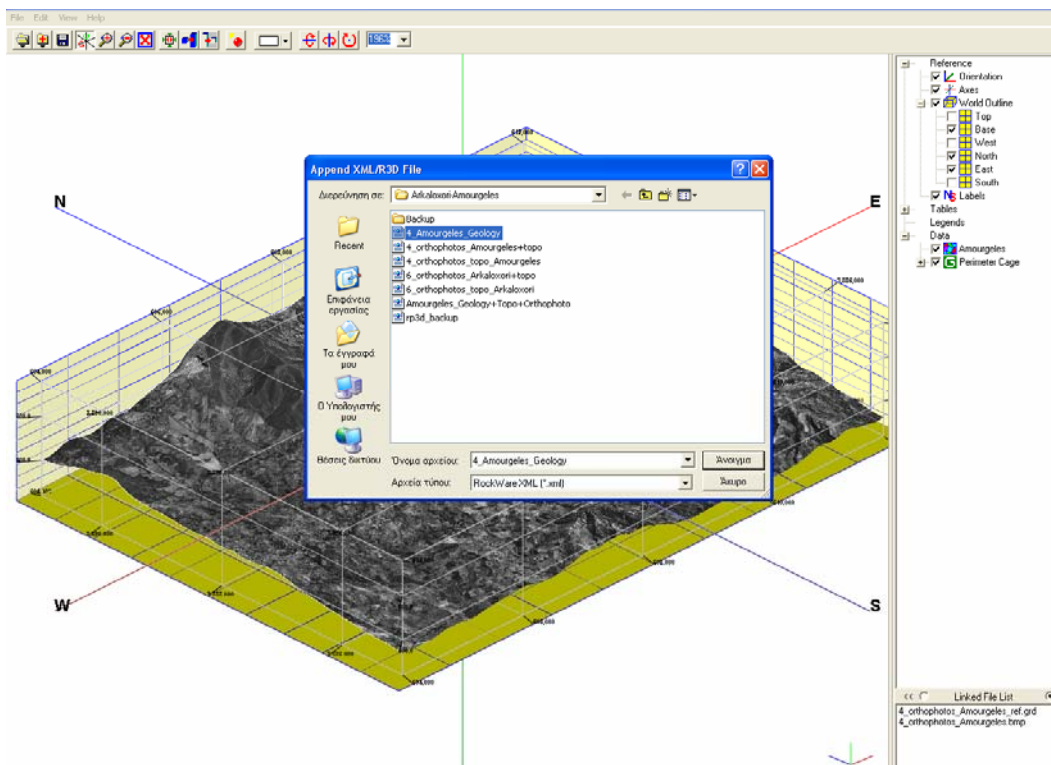
Κατόπιν, επιλέγοντας file→append (προσάρτηση), επιλέγεται το αρχείο .xml που αφορά το πλεγματοκόμο με την εικόνα της γεωλογίας.





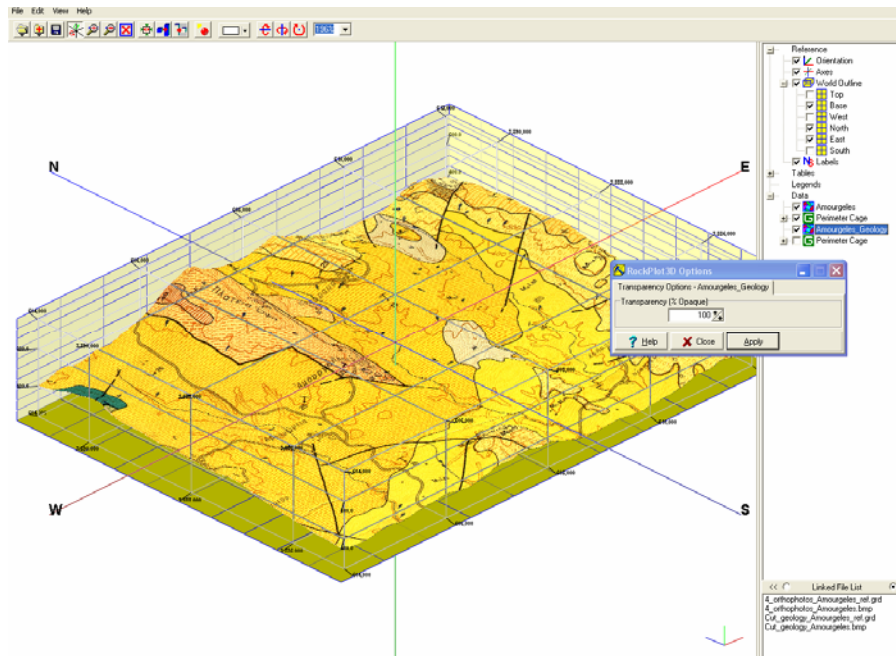
Σχήμα 3.29: Επιλογή διαδρομής για την επισύναψη του δεύτερου αρχείου .xml

Εμφανίζεται το παράθυρο Open για το άνοιγμα του αρχείου .xml που αφορά την εικόνα της γεωλογίας.



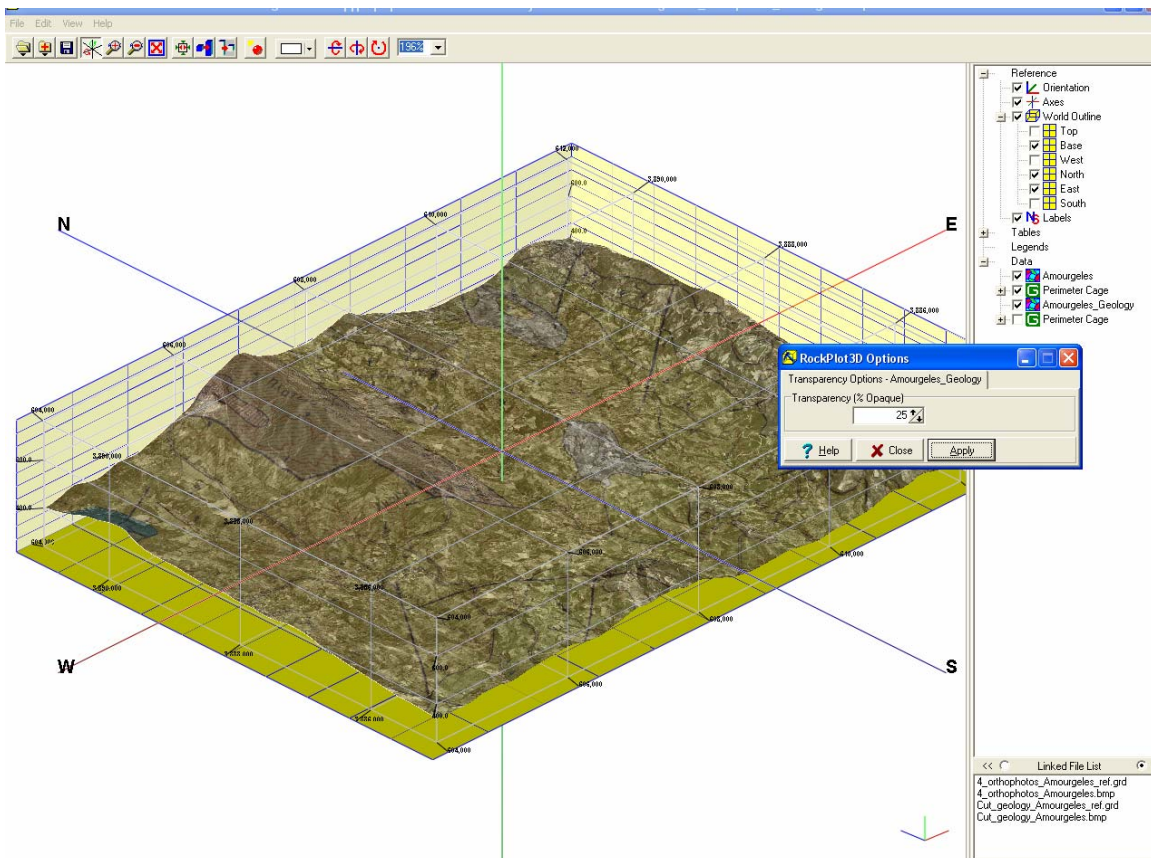
Σχήμα 3.30: Παράθυρο επιλογής επισύναψης επιθυμητού αρχείου .xml

Επιλέγεται και «επικαλύπτει» το ήδη υπάρχον μοντέλο. Παράλληλα ρυθμίζεται ο βαθμός διαφάνειας της επικάλυψης.



**Σχήμα 3.31: Προσαρτημένο μοντέλο των δύο επιφανειών με ανοιχτό το παράθυρο διαλόγου ρύθμισης διαφάνειας της ανώτερης επιφάνειας**

Στην ρύθμιση 100% ο βαθμός διαφάνειας της κατώτερης επιφάνειας είναι μηδενικός. (Υπάρχει αδιαφάνεια).



Σχήμα 3.32 : Το προσαρτημένο μοντέλο με ρύθμιση διαφάνειας της ανώτερης επιφάνειας στο 25%

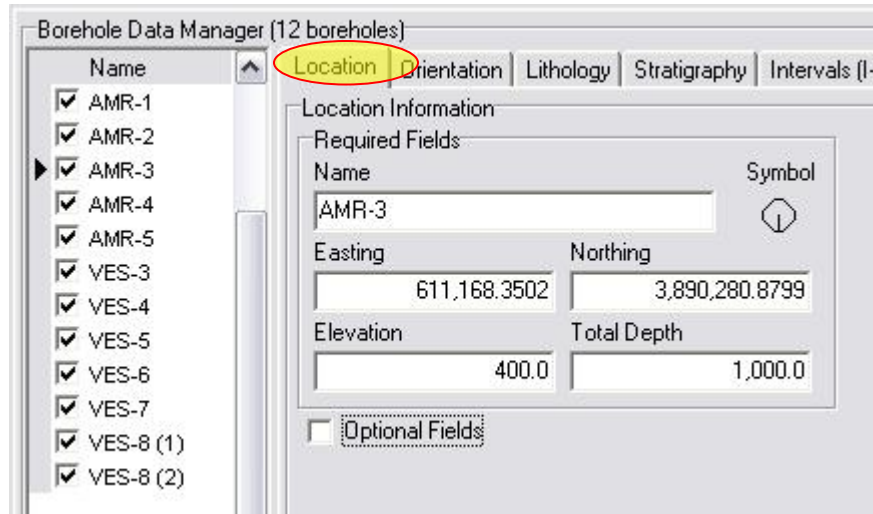
Στο 25% η γεωλογική επιφάνεια είναι αρκετά διάφανη για να διακρίνεται και η επιφάνεια του τοπογραφικού αναγλύφου που βρίσκεται απο κάτω.

### 3.3.3. Χωροθέτηση γεωτρητικών δεδομένων

Η χωροθέτηση των γεωτρητικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη συμπλήρωση των καρτελών των χαρακτηριστικών κάθε γεώτρησης., απ'την υποσελίδα Borehole Manager. Σε μερικές από τις γεωτρήσεις, για τις οποίες δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα, αυτά αναζητήθηκαν στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων στην υποσελίδα καθώς και οι επιλογές που κάναμε για την επεξεργασία των δεδομένων μας

### 3.3.3.1. Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας γεωτρήσεων.

Με τον παραπάνω τίτλο εννοείται η δισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας του πυρήνα της γεώτρησης. Γίνεται φανερό πως για τον σκοπό αυτόν πρέπει απαραίτητα να είναι συμπληρωμένες οι καρτέλες Locations και Lithology της υποκαρτέλας Borehole Manager. Για να ελεγχεί αυτό, επιλέγουμε την γεώτρηση που θα απεικονιστεί και διαπιστώνουμε αν τα στοιχεία στην καρτέλα Locations και Lithology είναι πλήρη.



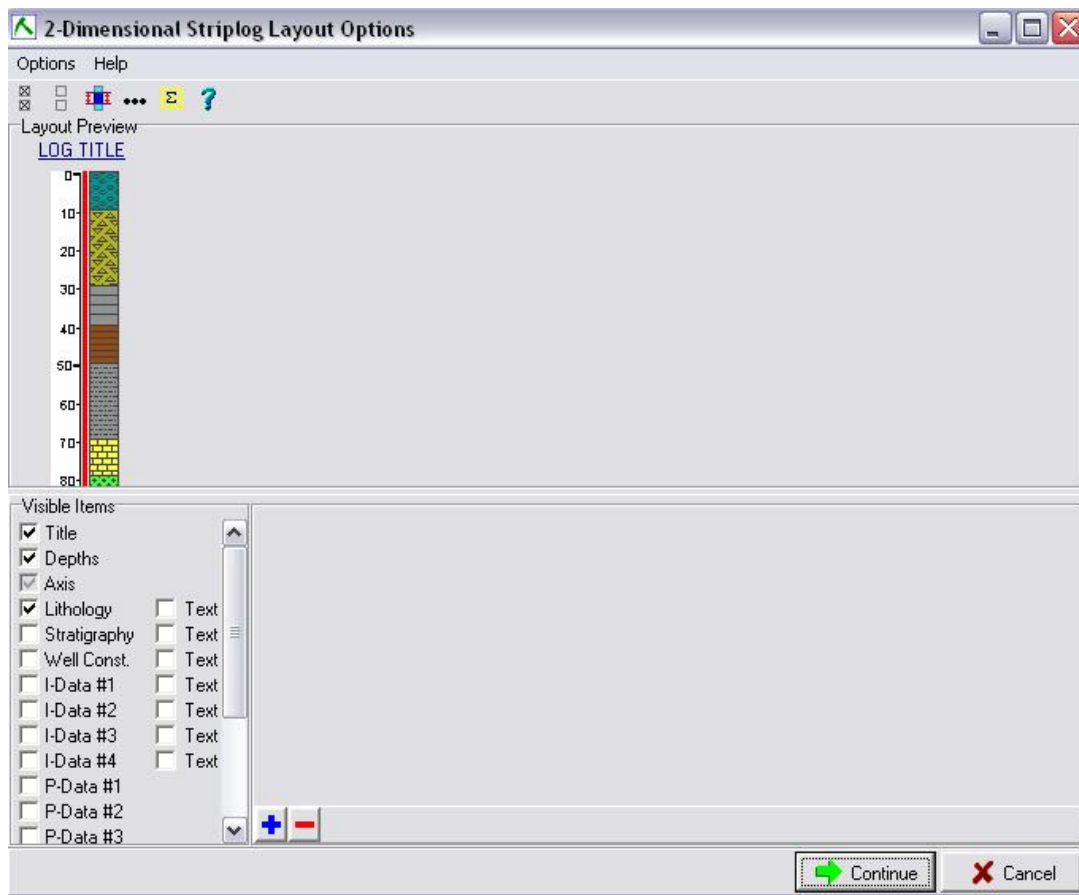
Σχήμα 3.33: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των γεωγραφικών στοιχείων για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά, στην καρτέλα Locations.

Borehole Data Manager (12 boreholes)

Name	Location	Orientation	Lithology	Stratigraphy	Intervals (I-Data)	Points (P-Data)	Fractures
<input checked="" type="checkbox"/> AMR-1							
<input checked="" type="checkbox"/> AMR-2							
<input checked="" type="checkbox"/> AMR-3							
<input checked="" type="checkbox"/> AMR-4							
<input checked="" type="checkbox"/> AMR-5							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-3							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-4							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-5							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-6							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-7							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-8 (1)							
<input checked="" type="checkbox"/> VES-8 (2)							
	Depth to Top	Depth to Base	Keyword	Comment			
	0.0	15.0	sandstone	Sxoinias			
	15.0	75.0	marls				
	75.0	95.0	sandstone				
	95.0	145.0	marls				
	145.0	175.0	sandstone	Vianos			
	175.0	245.0	marls				
	245.0	275.0	sandstone				
	275.0	345.0	marls				
	345.0	375.0	sandstone				
	375.0	445.0	marls				
	445.0	475.0	sandstone				
	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	flusch	Υροαθρο			

Σχήμα 3.34: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των λιθολογικών στοιχείων τους στην καρτέλα Lithology.

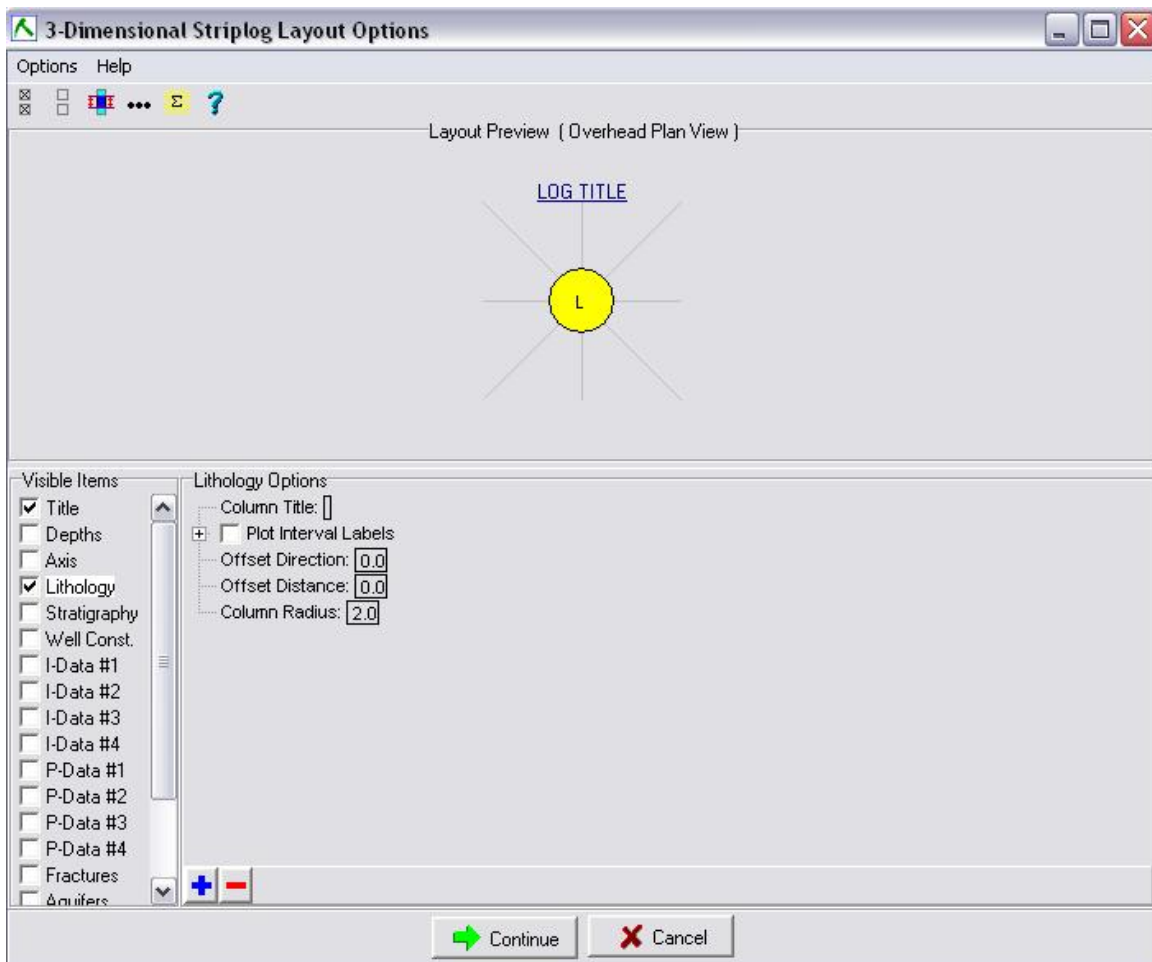
Απ' τη κεντρική μπάρα εργαλείων, επιλέγουμε στο μενού Striplogs → Single Log. Εμφανίζεται το υπομενού ρυθμίσεων και ενεργοποιούμε τις επιλογές Title, Depths, Lithology και Text δεξιά της επιλογής Lithology (σχήμα 3.35). Πατώντας Continue θα προκύψει η παρακάτω απεικόνιση του σχήματος 3.36.



Σχήμα 3.35 : Παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής 2D – Striplog.



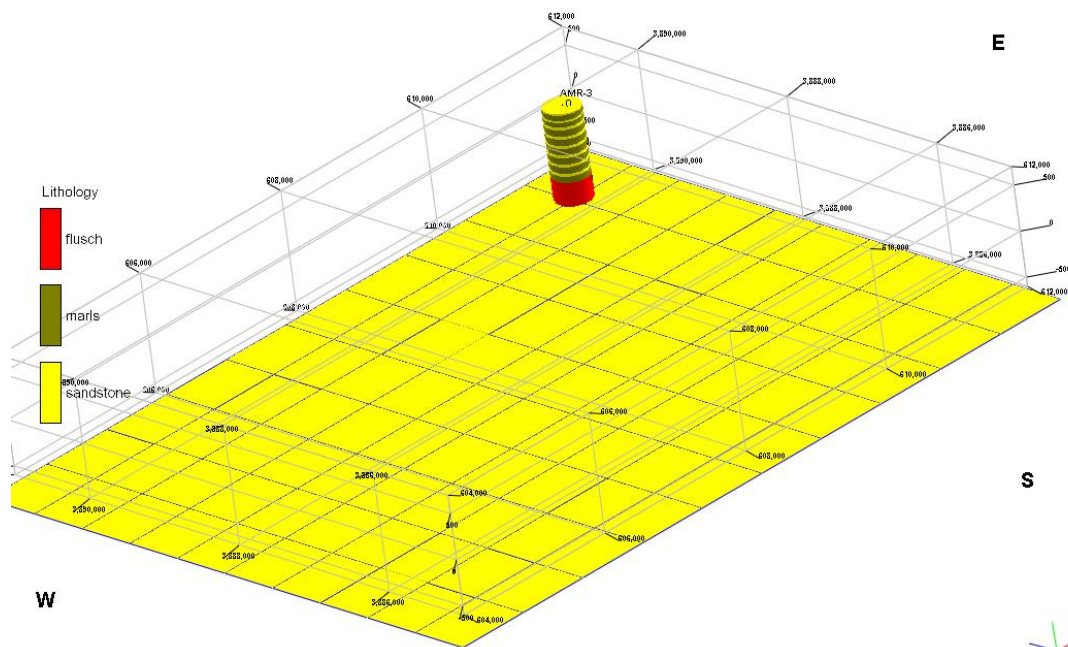




Σχήμα 3.37: Το παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής Single Log 3D.

Πατώντας Continue σχεδιάζεται η γεώτρηση και απεικονίζεται σε παράθυρο του υποπρογράμματος RockPlot3D2006 (σχήμα 3.38).

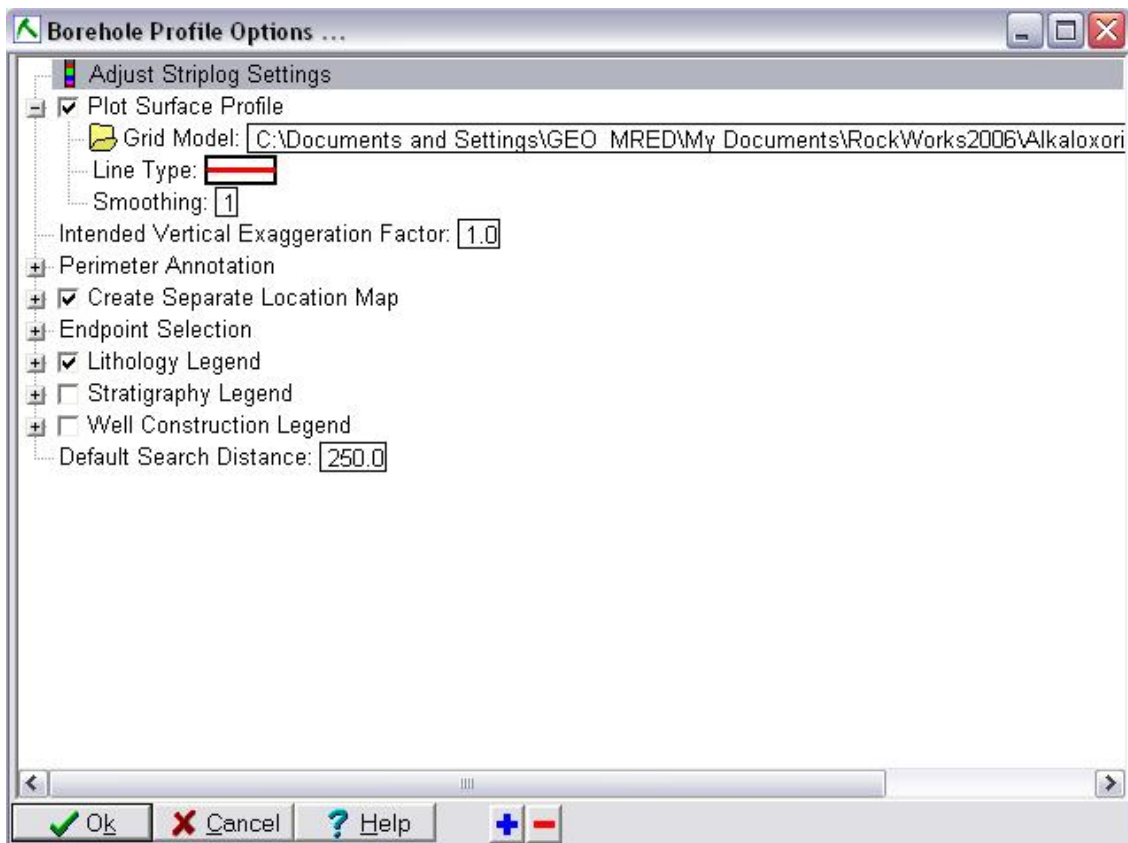




Σχήμα 3.38 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας της γεώτρησης AMR-3 με το υπόμνημά της.

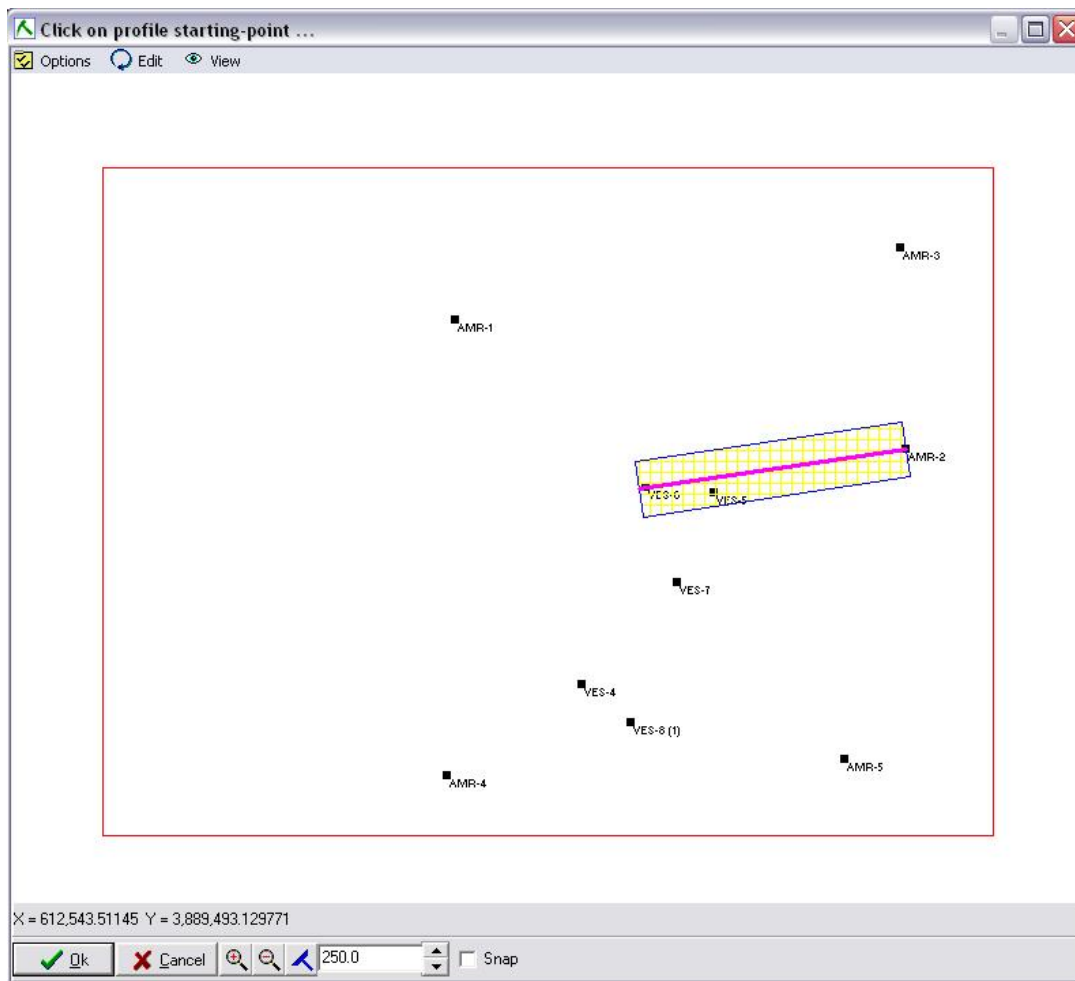
### 3.3.3.1.2. Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας πολλαπλών γεωτρήσεων.

Από τη γραμμή εργαλείων επιλέγεται διαδοχικά Striplogs → Multilog Profile για να απεικονιστεί η λιθολογία πολλαπλών επιλεγμένων γεωτρήσεων κατά μήκος μίας ευθείας γραμμής μελέτης, που ορίζεται από τον χειριστή. Η τελική απεικόνιση θα συμπεριλάβει μόνο τις γεωτρήσεις από τις οποίες περνά η ορισθείσα ευθεία γραμμή μελέτης. Στην περίπτωση που θέλουμε να συμπεριληφθούν και γεωτρήσεις παρακείμενες της ευθείας γραμμής μελέτης, η συγκεκριμένη εντολή δίνει την δυνατότητα ρύθμισης του πλάτους της γραμμής. Ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα συμπεριληφθούν εξαρτάται απ' το πλάτος της γραμμής μελέτης που θα οριστεί. Επιλέγοντας την εντολή Multilog Profile ανοίγει το παράθυρο ρυθμίσεων του σχήματος 3.39.



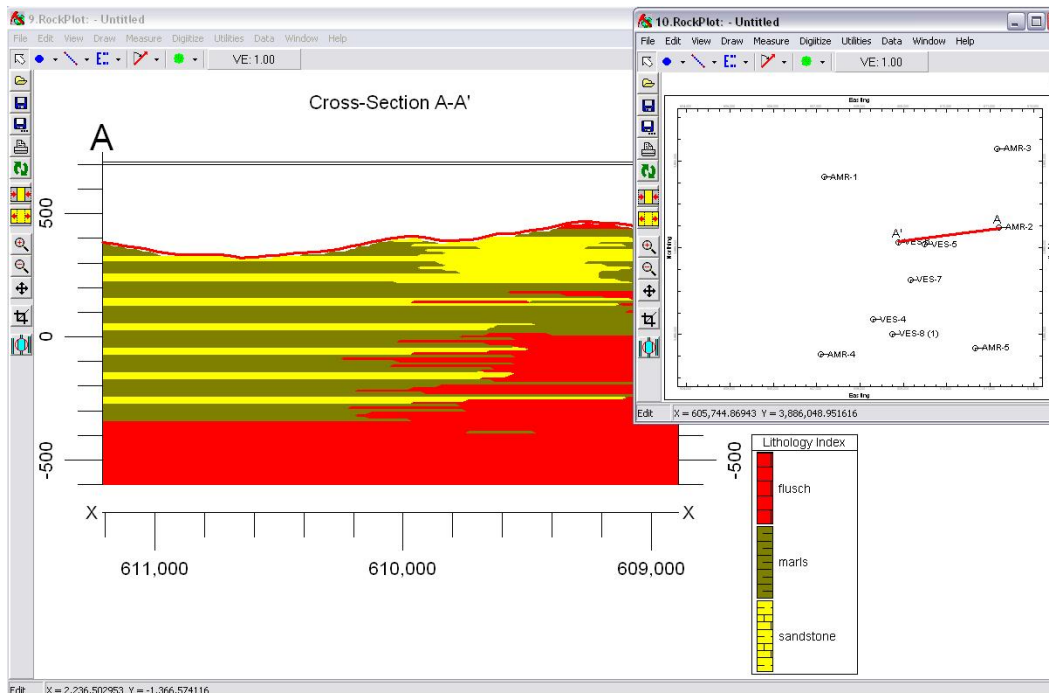
Σχήμα 3.39 : Οι ρυθμίσεις απεικόνισης της εντολής Multilog Profile.

Η επιλογή Adjust Striplog Settings ανοίγει τις ρυθμίσεις του σχήματος 3.37 για την παραμετροποίηση προφίλ μεμονωμένης γεώτρησης, εάν θέλουμε να κάνουμε κάποια αλλαγή στις ρυθμίσεις αυτές. Ακολουθώντας η επιλογή Plot Surface Profile σχεδιάζει στο προφίλ που θα δημιουργηθεί, μια γραμμή που θα αντιπροσωπεύει την τοπογραφία πάνω στη γραμμή του προφίλ. Επιλέγουμε τον χάρτη πλέγματος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια που θέλουμε να προβληθεί (πεδίο Grid Model). Η επόμενη ρύθμιση που κάνουμε είναι η ενεργοποίηση του πεδίου Create Separate Location Map. Με αυτή την επιλογή δημιουργείται ένας χάρτης με την θέση των γεωτρήσεων στον οποίο φαίνεται η γραμμή που επιλέξαμε για την δημιουργία του προφίλ καθώς και το εύρος της. Τέλος ενεργοποιούμε το πεδίο Lithology Legend για την εισαγωγή του υπομνήματος με τους λιθολογικούς τύπους. Επιλέγουμε OK και ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 3.40.



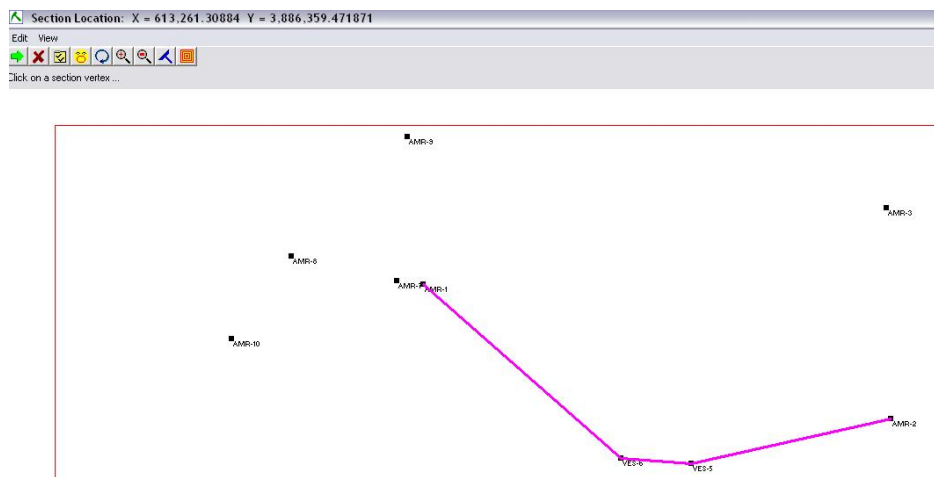
Σχήμα 3.40 : Επιλογή γεωτρήσεων για την δημιουργία λιθολογικού προφίλ.

Επιλέγουμε μια γραμμή μελέτης όπως φαίνεται στην εικόνα η οποία περιλαμβάνει τις γεωτρήσεις VES-5, VES-6, και AMR-2. Πατώντας OK σχεδιάζεται το προφίλ μαζί με το χάρτη που παρουσιάζει την παραπάνω γραμμή που ορίσαμε (σχήμα 3.41).



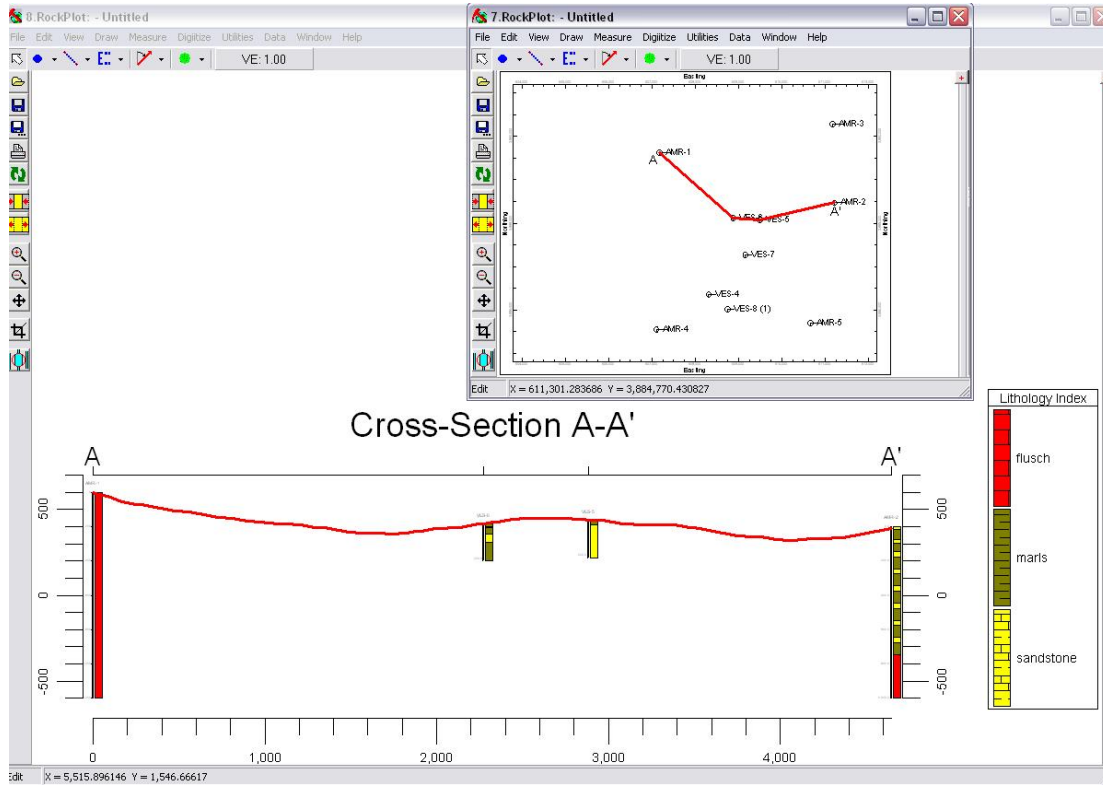
Σχήμα 3.41: Προφίλ λιθολογίας μέσω της εντολής Multilog Profile

Αν παρόλα αυτά, η δυνατότητα επιλογής μιας μόνο ευθείας γραμμής μελέτης δεν είναι ικανοποιητική, τότε το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει γεωτρήσεις που δεν βρίσκονται στην ίδια ευθεία, με επιλογή τεθλασμένης γραμμής μελέτης για την δημιουργία λιθολογικού μοντέλου. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση της εντολής Striplogs → Multi - Log Section. Το παράθυρο ρυθμίσεων που ανοίγει είναι το ίδιο με αυτό της προηγούμενης εντολής και οι ρυθμίσεις οι ίδιες. Στο παράθυρο όπου φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων ο χρήστης επιλέγει τις γεωτρήσεις που επιθυμεί. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 3.42. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα καθορισμού ζώνης γύρω από την τεθλασμένη γραμμή για την απεικόνιση γεωτρήσεων παρακείμενων της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.42: Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού προφίλ με την εντολή Multilog Section

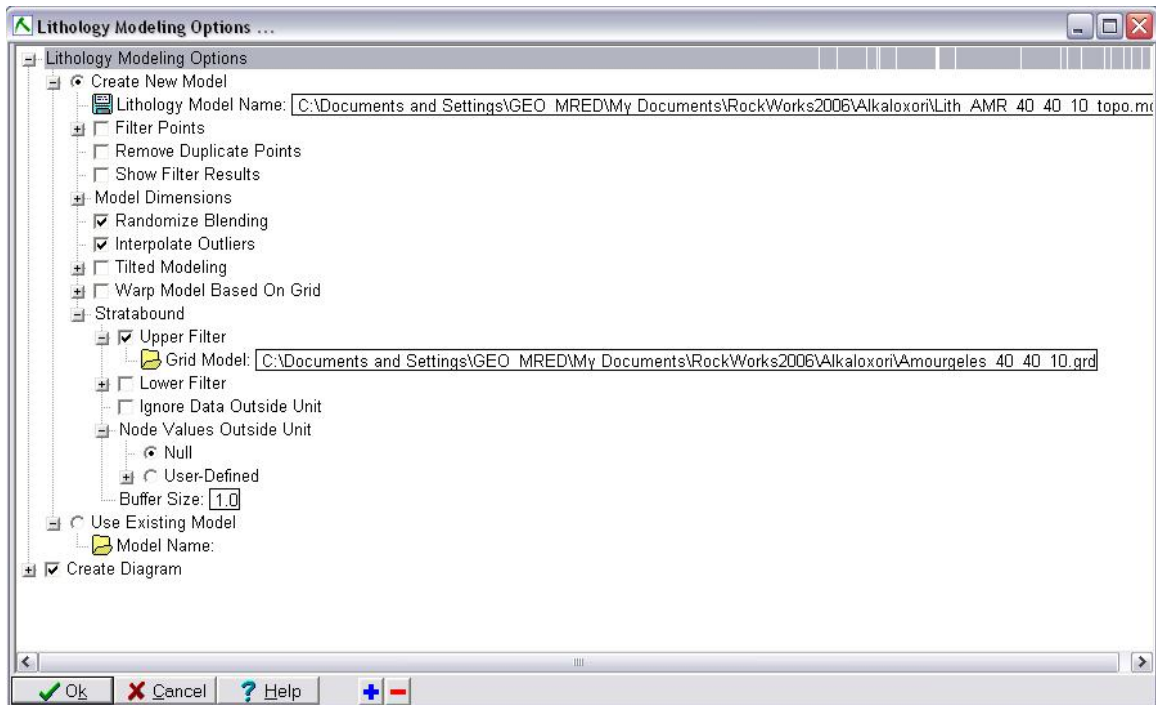
Τα προφίλ που προκύπτει παρατίθεται στην επόμενη εικόνα.



Σχήμα 3.43: Λιθολογικό προφίλ με την εντολή Multi-Log Section.

### 3.3.4. Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου.

Το λογισμικό Rockworks 2006 έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα από τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν οριστεί 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 3.44 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου.



Σχήμα 3.44: Το παράθυρο ρυθμίσεων για την δημιουργία τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων.

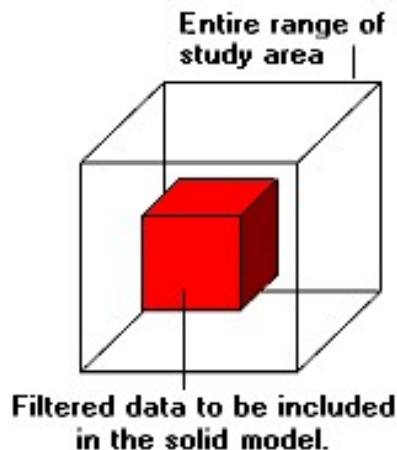
Αναλυτικότερα, η ρύθμιση των παραμέτρων δημιουργίας λιθολογικών μοντέλων περιγράφεται στη συνέχεια:

**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

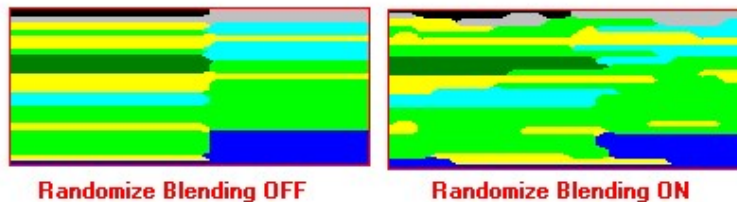
**Filter Points:** Η επιλογή αυτή φιλτράρει, βάσει κάποιου περιορισμού που θέτει ο χρήστης, δεδομένα που βασίζονται στις συντεταγμένες X,Y,Z ούτως ώστε να περιοριστούν οι διαστάσεις του μοντέλου που α δημιουργηθεί.



Σχήμα 3.45: Το αποτέλεσμα της εντολής Filter Points

**Model Dimensions:** Από αυτό το πεδίο ορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου. Καθορίζουν τα όριά 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 3.46: 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.

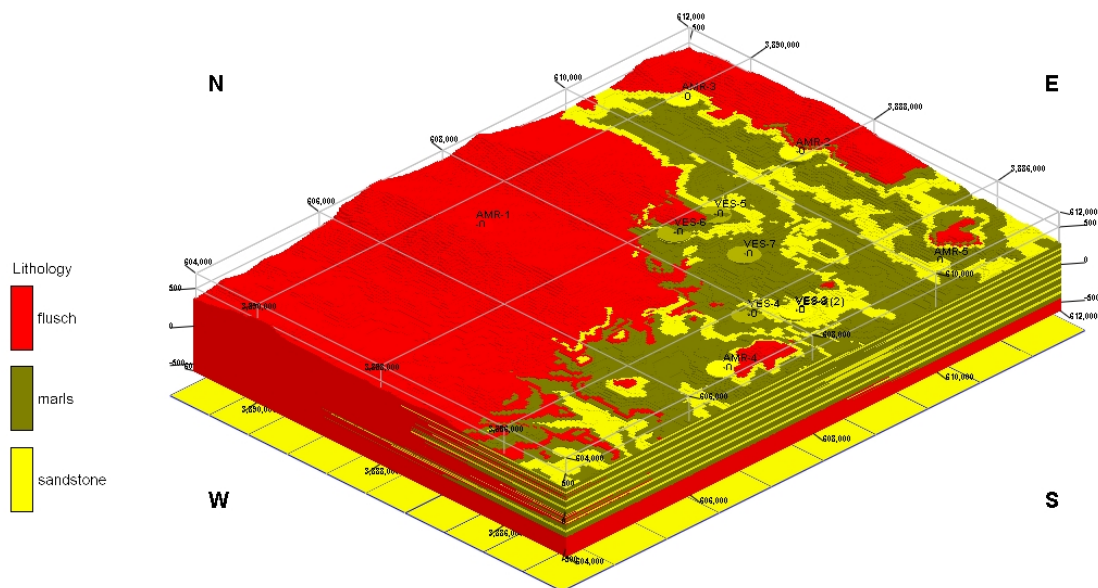
**Stratabound:** Η επιλογή αυτή «περιορίζει» το στερεό μοντέλο από μία ανώτερη ή κατώτερη επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι μόνο οι κόμβοι που βρίσκονται μεταξύ προκαθορισμένων επιφανειών θα συνυπολογιστούν. Η ανώτερη επιφάνεια μπορεί να είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο ή κάποιο άλλο επίπεδο. Αυτό γίνεται επιλέγοντας 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.

Στη επόμενη εικόνα φαίνεται το τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο της περιοχής μελέτης

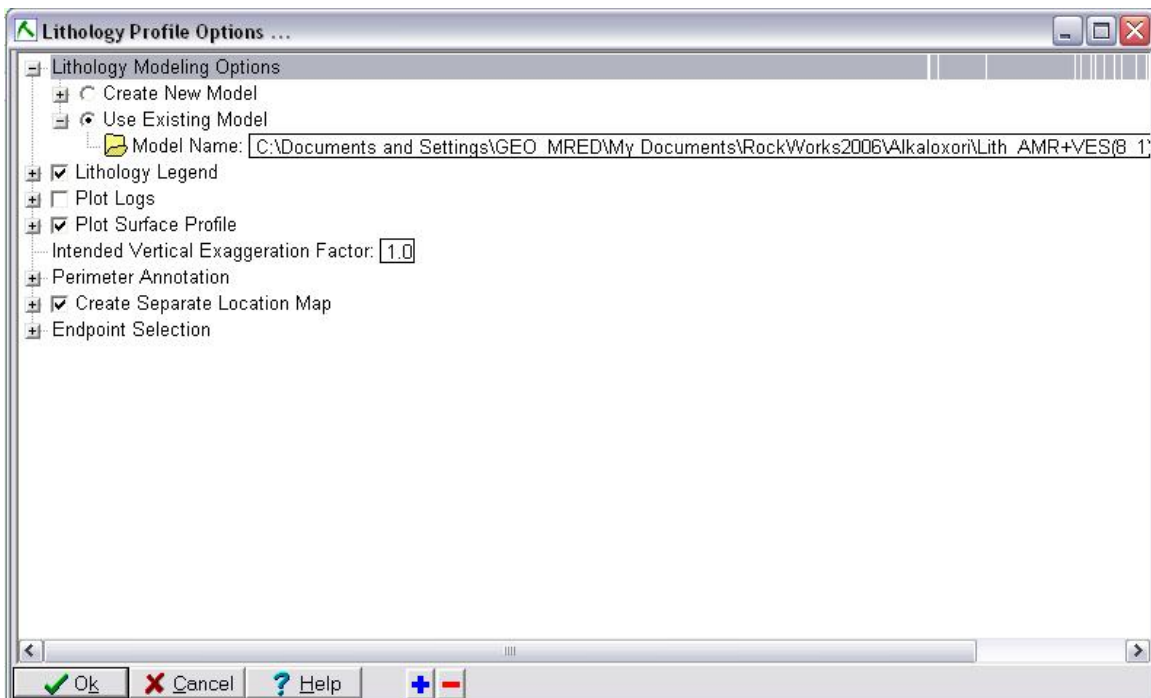


Σχήμα 3.47: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας του κοιτάσματος.

### 3.3.4.1. Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ

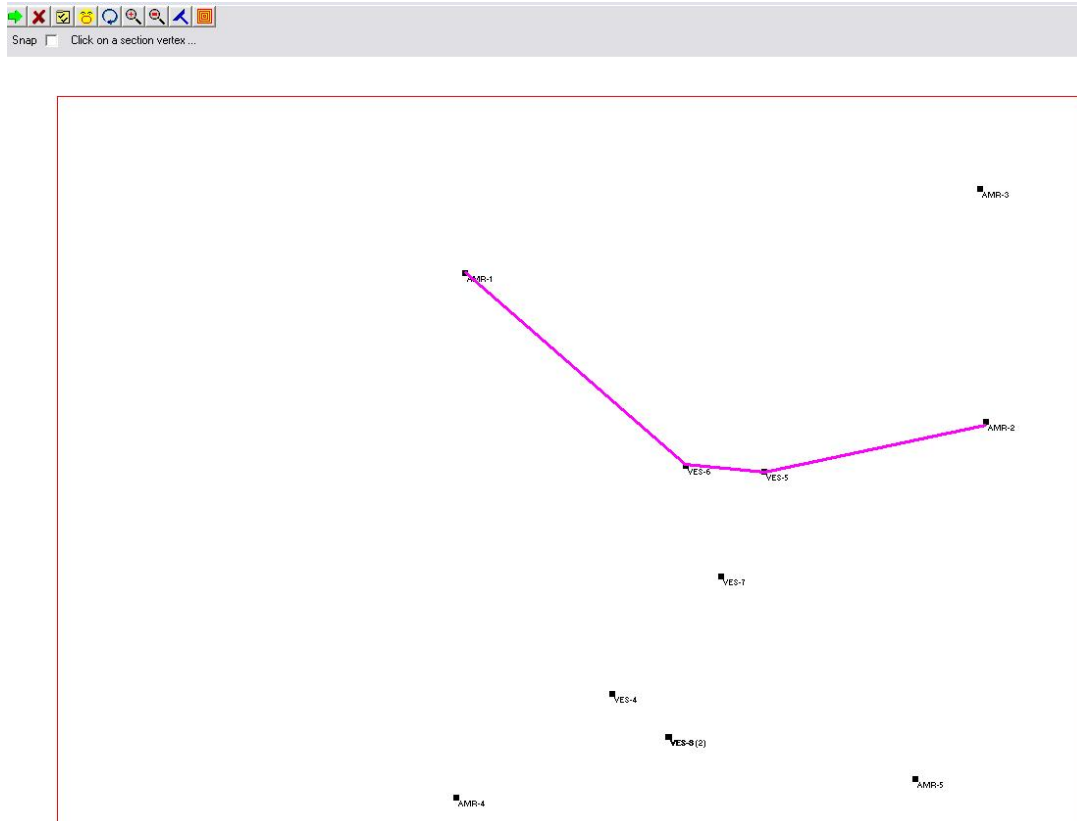
Το συνεχές λιθολογικό προφίλ προκύπτει από τη δημιουργία ενός «στερεού» μοντέλου λιθολογικών ζωνών και την μετέπειτα κατάτμησή του για να προβληθεί κάθετη τομή συνεχόμενων λιθολογικών τύπων. Η διαδικασία κατασκευής ενός συνεχούς λιθολογικού προφίλ μοιάζει με τη κατασκευή λιθολογικών προφίλ από

γεωτρήσεις. Απ' το μενού εντολών επιλέγονται διαδοχικά τις εντολές Lithology → Profile και στη συνέχεια γίνεται ρύθμιση των παραμέτρων της εντολής όπως φαίνεται στο σχήμα 3.48. Εάν υπάρχει διαθέσιμο λιθολογικό μοντέλο ενεργοποιούμε την επιλογή Use Existing Model και επιλέγουμε το επιθυμητό μοντέλο. Η διαδικασία αυτή εξοικονομεί χρόνο και υπολογιστική ισχύ αφού δεν χρειάζεται να δημιουργηθεί από την αρχή τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο. Από το υπάρχον μοντέλο εξάγονται τα προφίλ που επιθυμούμε. Ακολούθως επιλέγουμε τα πεδία Lithology Legend για να συμπεριληφθεί υπόμνημα με τους λιθολογικούς τύπους και Create Separate Location Map για να δημιουργηθεί ξεχωριστός χάρτης με τη θέση που επιλέξαμε για τη δημιουργία του προφίλ. Η επιλογή Plot surface profile εμφανίζει την τοπογραφία του ανάγλυφου κατά μήκος του προφίλ επιλέγοντας τον κατάλληλο χάρτη πλέγματος. Επιλέγοντας το πεδίο Plot Logs στο προφίλ που θα δημιουργηθεί θα εμφανίζονται και οι γεωτρήσεις που ορίζουν τη γραμμή καθώς επίσης και αυτές που βρίσκονται πλησίον της γραμμής του προφίλ και εντός ενός ορίου απόστασης από τη γραμμή. Τέλος πατάμε OK.



Σχήμα 3.48 : Ρυθμίσεις της εντολής Profile

Στη συνέχεια το πρόγραμμα ανοίγει ένα παράθυρο με τις θέσεις των γεωτρήσεων από όπου ο χρήστης επιλέγει μια γραμμή της οποίας το προφίλ θα εξάγει το πρόγραμμα (σχήμα 3.49).

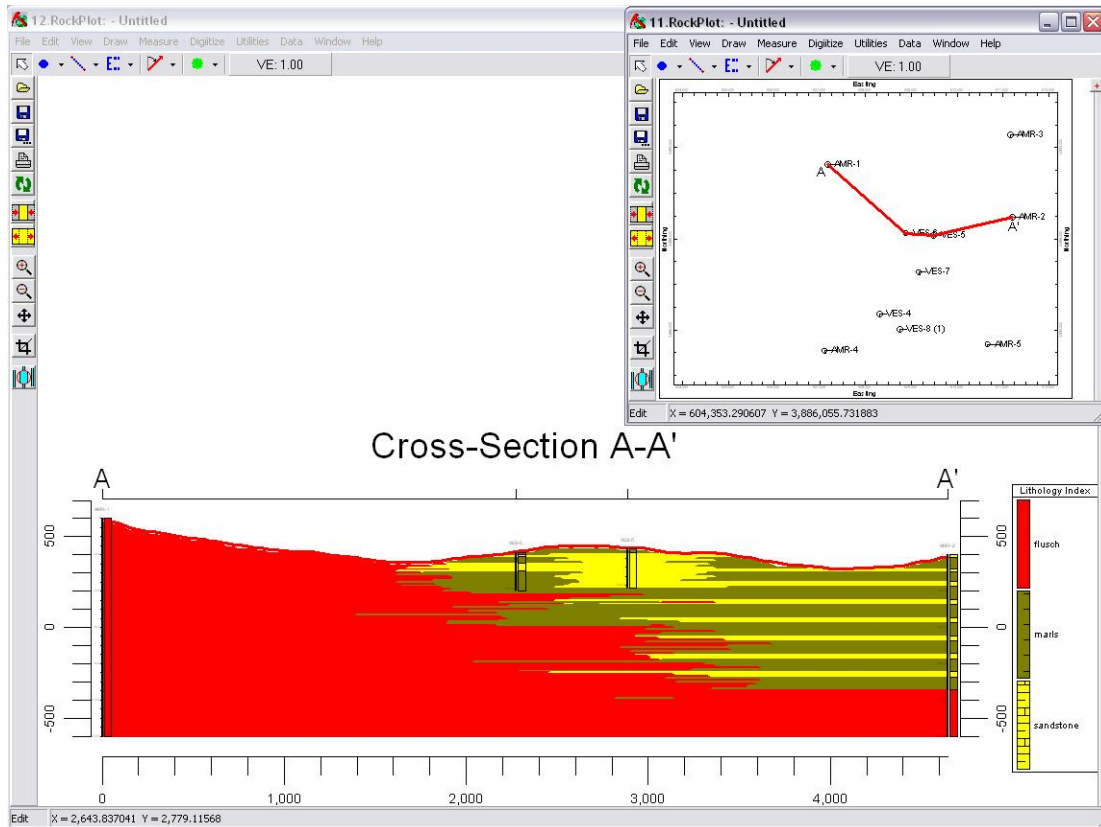


Σχήμα 3.49 : Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού προφίλ.

Το αποτέλεσμα της εντολής Profile φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στο ανάγλυφο, ενώ παράλληλα φαίνονται και τα προφίλ των γεωτρήσεων στην περιοχή δημιουργίας της τομής.

### 3.3.4.2. Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ τύπου «Section»

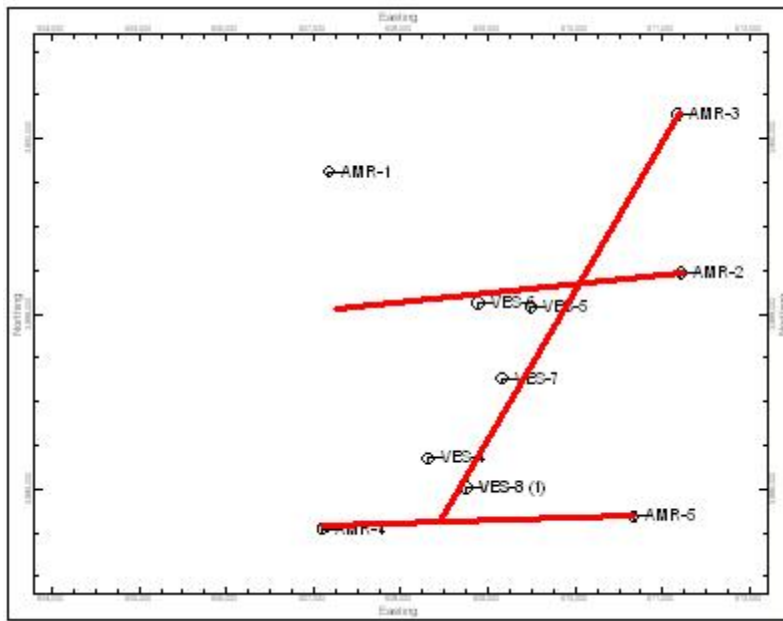
Τα προφίλ τύπου «Section» αποτελούνται από δύο ή περισσότερες γραμμές οι οποίες ενώνονται στα άκρα τους. Μπορεί να σχεδιαστεί κατά μήκος οποιασδήποτε διαδρομής στην περιοχή μελέτης. Από το μενού εντολών επιλέγουμε διαδοχικά Lithology → Section. Οι ρυθμίσεις είναι ακριβώς οι ίδιες με της εντολής Profile και δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 3.49.



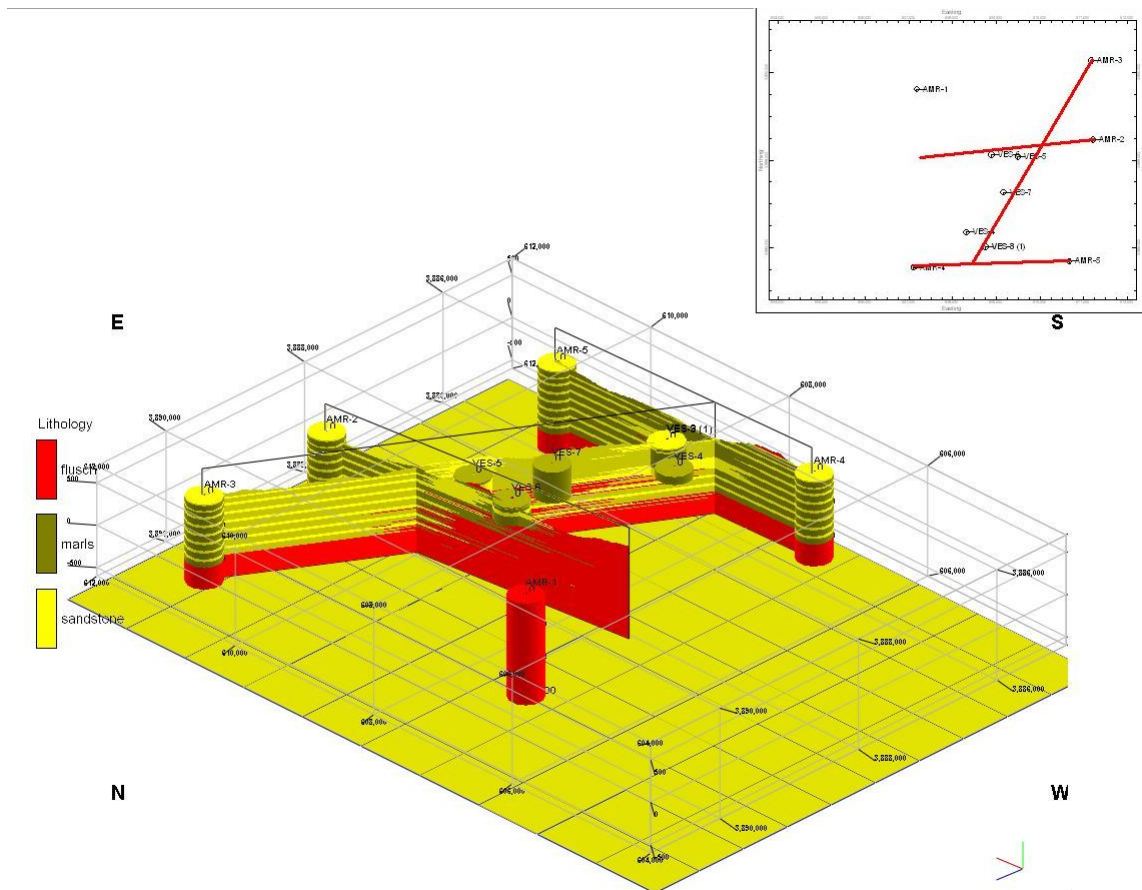
Σχήμα 3.50: Προφίλ τύπου «Section»

### 3.3.4.3. Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ τύπου «Fence»

Τα διαγράμματα τύπου «Fence» διαφέρουν από τα προηγούμενα σε δύο σημεία. Πρώτον, οι γραμμές μπορούν να τέμνονται μεταξύ τους και δεύτερον προβάλλεται σε τρεις διαστάσεις από το παράθυρο του υποπρογράμματος RockPlot 3D. Τα διάγραμμα τύπου «Fence» δημιουργούνται απ' το μενού Lithology → Fence και οι ρυθμίσεις είναι οι ίδιες με προηγούμενως.



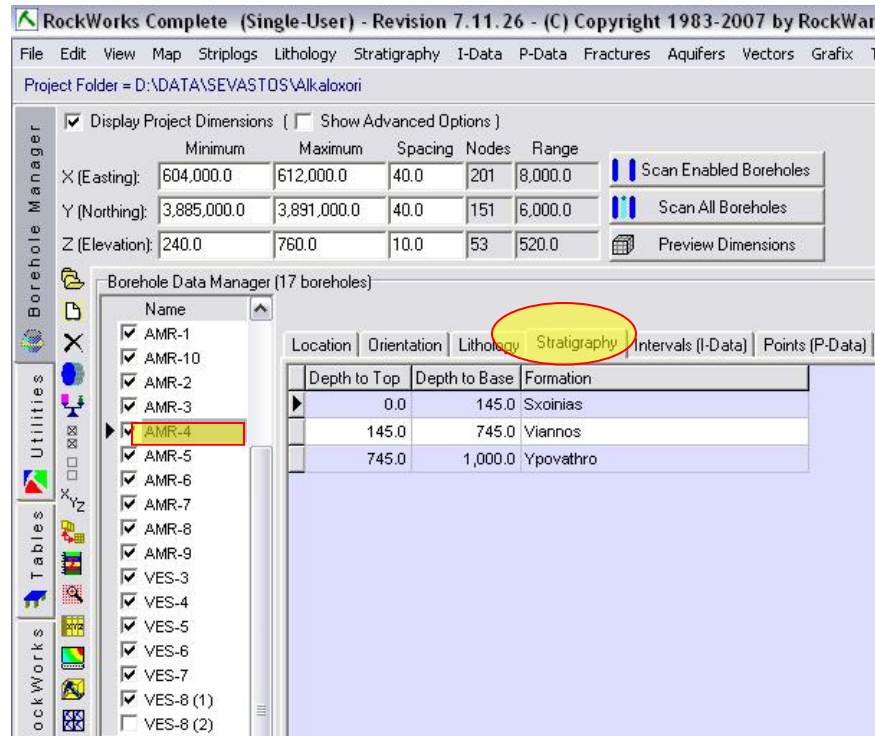
Σχήμα 3.51: Παράθυρο επιλογών γραμμών προφίλ για τη κατασκευή του διαγράμματος τύπου «Fence»



Σχήμα 3.52 : Προφίλ τύπου «Fence» με την θέση των προφίλ που το συνθέτουν.

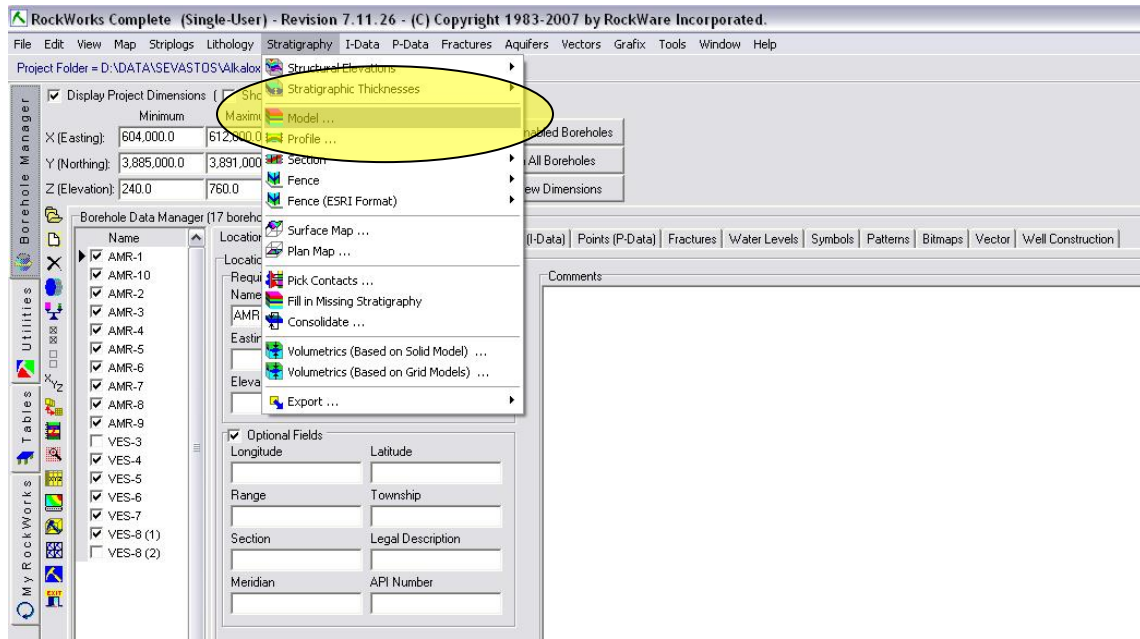
### 3.3.5 Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου.

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 3.53 : Ορισμός των στρωματογραφικών ενοτήτων ανά γεώτρηση που θα απαρτίσουν το τελικό στρωματογραφικό μοντέλο.

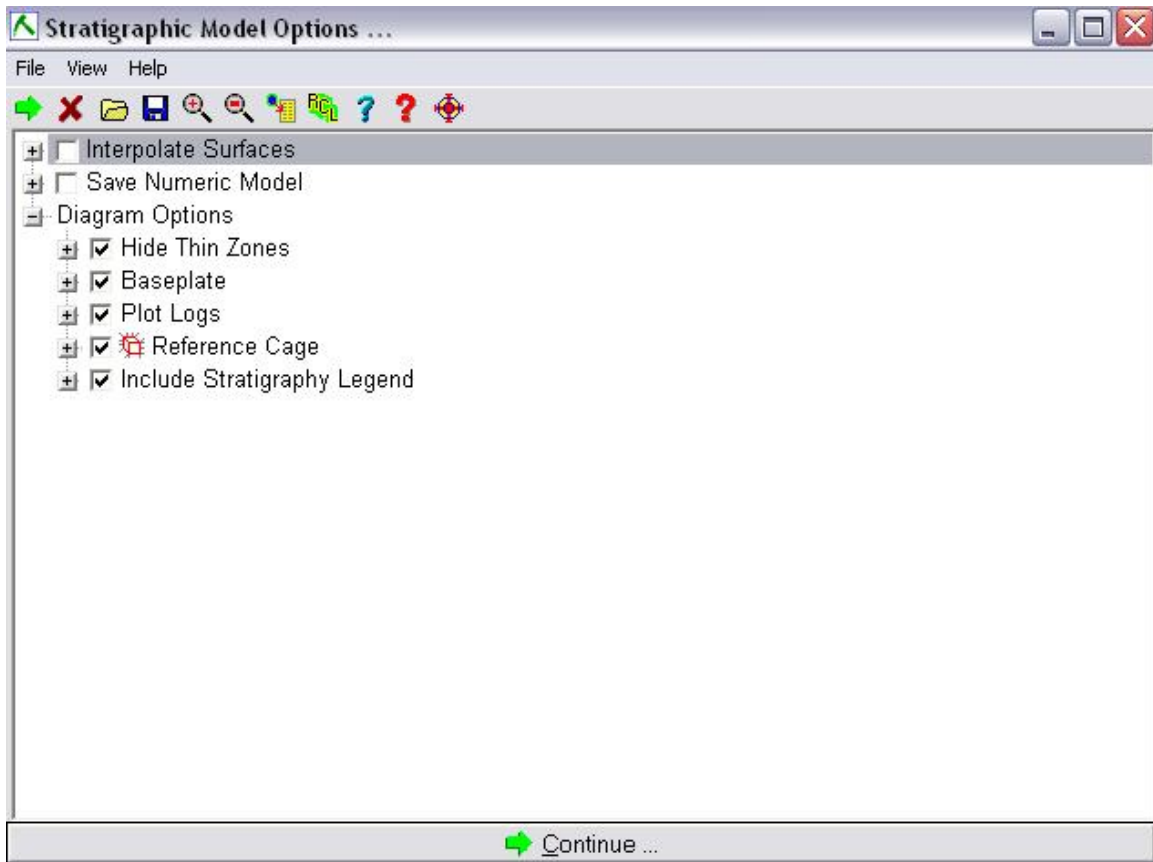
Για την δημιουργία του τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου επιλέγουμε από το μενού εντολών διαδοχικά Stratigraphy → Model. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος



**Σχήμα 3.54: Επιλογή διαδρομής της υποσελίδας Borehole Manager για τη κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου.**

Το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του μοντέλου.



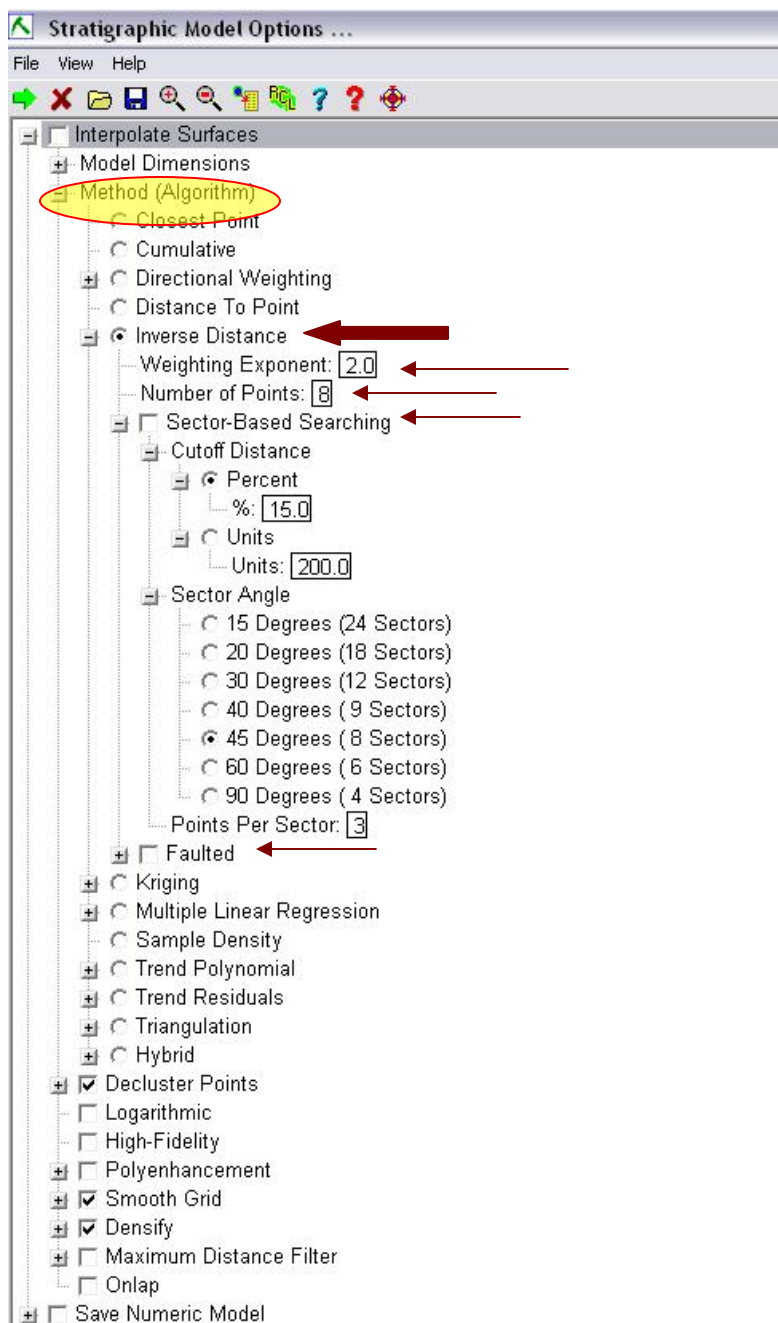


Σχήμα 3.55: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου

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.

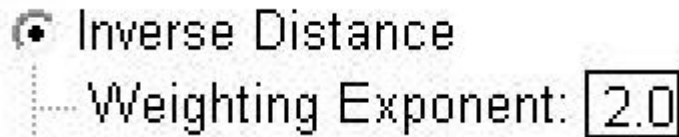
Στη συνέχεια οι ρυθμίσεις που επιλεχθήκαν για την δημιουργία του μοντέλου είναι οι ακόλουθες :

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



Σχήμα 3.56 : Το παράθυρο επιλογών με εκτεταμένες τις ρυθμίσεις του αλγορίθμου χρήσης

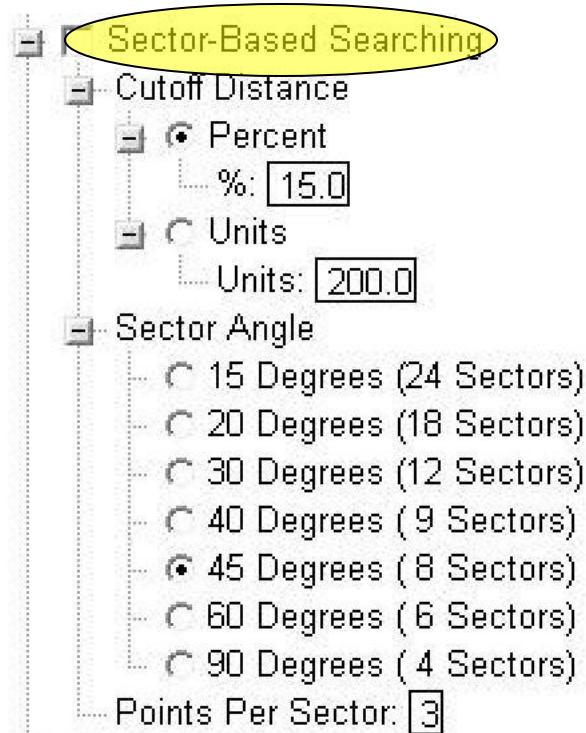
Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας από τους απλούστερους και πιο αξιόπιστους αλγορίθμους για την εκτίμηση μιας τιμής σε σημεία που δεν υπάρχει μέτρηση. Στο σημείο που ζητείται η τιμή αντιστοιχείται ένας «σταθμισμένος» μέσος όρος όλων των τιμών που είναι γνωστές ή ο μέσος όρος τιμών γειτονικών σημείων σε ορισμένη 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.



Σχήμα 3.57: Ο εκθέτης επιρροής «στάθμισης» απροσδιόριστων (χωρίς επαρκή δεδομένα) σημείων

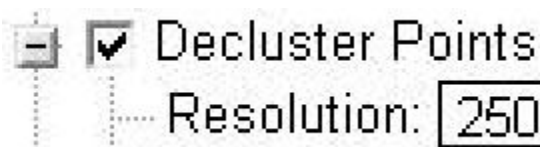
Ο εκθέτης καθορίζει πόσο «τοπική» ή πόσο «γενικευμένη» θα είναι η εκτίμηση. Οι προτεινόμενες τιμές για τον εκθέτη είναι μεταξύ 2 και 3 και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνά το 5.

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 3.58 : Ρύθμιση «κατευθυντικής» έρευνας για την εκτίμηση σημείων με ανεπαρκή δεδομένα

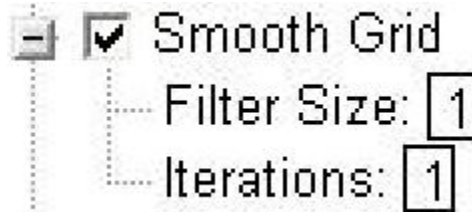
Στα πεδία Sector Angle επιλέγεται το εύρος της γωνίας του τομέα έρευνας ενώ στο πεδίο Points per Sector ορίζεται πόσα σημεία θα επιλεγθούν από τον τομέα για την εκτίμηση.



Σχήμα 3.59: Ρύθμιση για την απαλοιφή διπλών ή πολύ κοντινών σημείων.

Decluster on, res 250

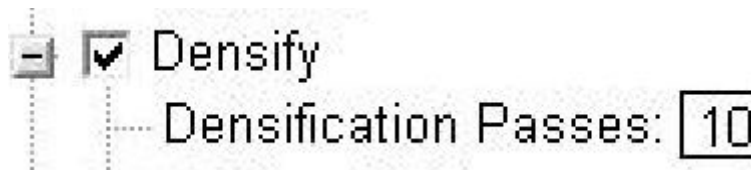
Η εντολή αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν συγκεντρώσεις σημείων ή διπλά σημεία. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζει έναν κανάβο στα δεδομένα σύμφωνα με τη ανάλυση (resolution) που θα επιλέξει ο χρήστης. Σε κάθε κελί του κανάβου το 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.



Σχήμα 3.60 : Εφαρμογή φίλτρου, και ρύθμιση του για τον υπολογισμό μέσων όρων τιμών Z

Smooth grid on, 1,1

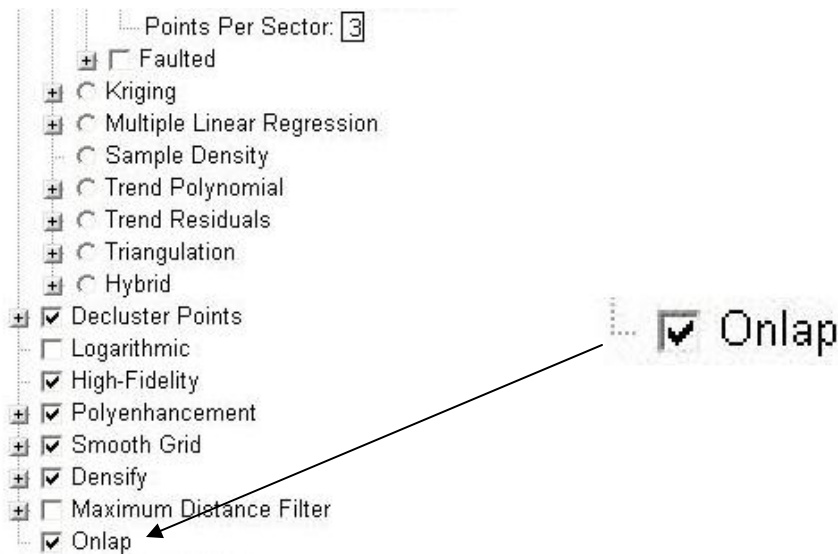
Όταν ενεργοποιείται το εργαλείο αυτό υπολογίζονται οι μέσοι όροι των τιμών Z των δεδομένων μας βασισμένοι σε ένα οριζόμενο από τον χρήστη μέγεθος φίλτρου. Η διαδικασία αυτή απομακρύνει θόρυβο από το μοντέλο και τονίζει τις τοπικές τάσεις. Το μέγεθος του φίλτρου ορίζεται στο πεδίο Filter Size ενώ ο αριθμός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



Σχήμα 3.61 : Εφαρμογή «πύκνωσης» των δεδομένων με την μέθοδο τριγωνισμού.

Densify on, 10 Βασικό γιατί δεν έχουμε πολλά δεδομένα

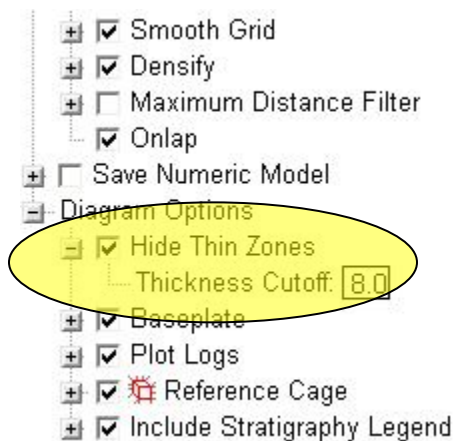
Η υπορουτίνα αυτή εισάγει στα XYZ δεδομένα μας επιπλέον στοιχεία που προκύπτουν από την αυτόματη εφαρμογή ενός δικτύου τριγωνισμού Delaunay. Από το δίκτυο που δημιουργείται τα σημεία που αντιστοιχούν στα κέντρα των νέων τριγώνων προστίθενται στα αρχικά δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται περισσότερα 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 3.62: Επιλογή υπορουτίνας διόρθωσης στρωματογραφικών ενότητων**

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 3.63 : Επιλογή για την αποκοπή μικρού πάχους στρωματογραφικών ενότητων απ' την κατασκευή του μοντέλου**

Diagram options hide thin zones on, 8

Η επιλογή αυτή απομακρύνει τμήματα των στρωματογραφικών ενότητων 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.

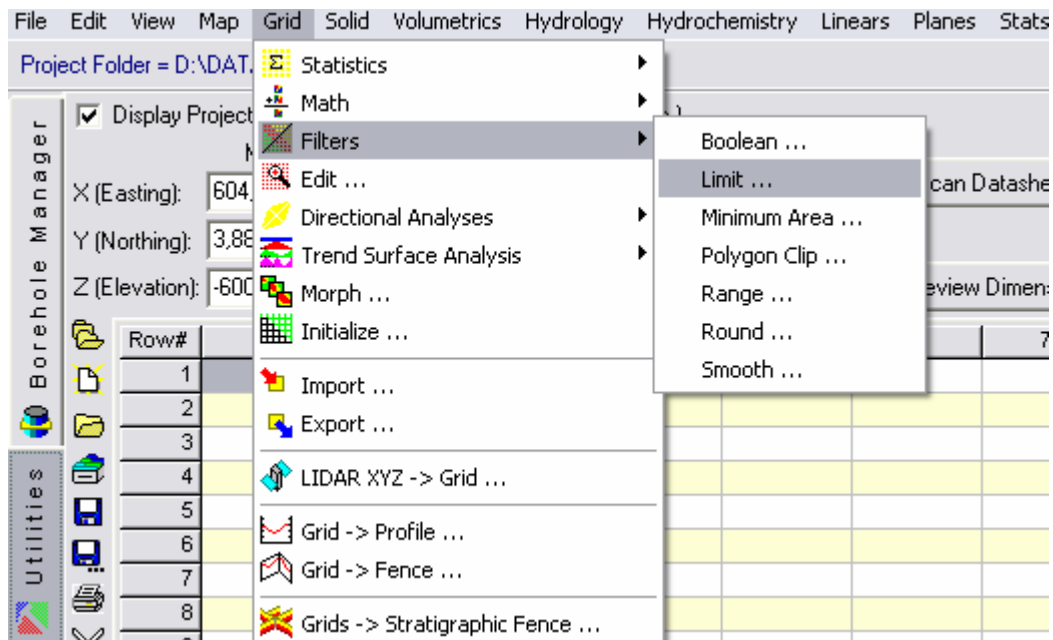
Για την εξαγωγή του τελικού μοντέλου γίνανε αρκετές δοκιμές με διαφορετικούς συνδυασμούς των προαναφερθέντων παραμέτρων ούτως ώστε να βρεθεί ο συνδυασμός

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 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.

### 3.3.5.1. 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.

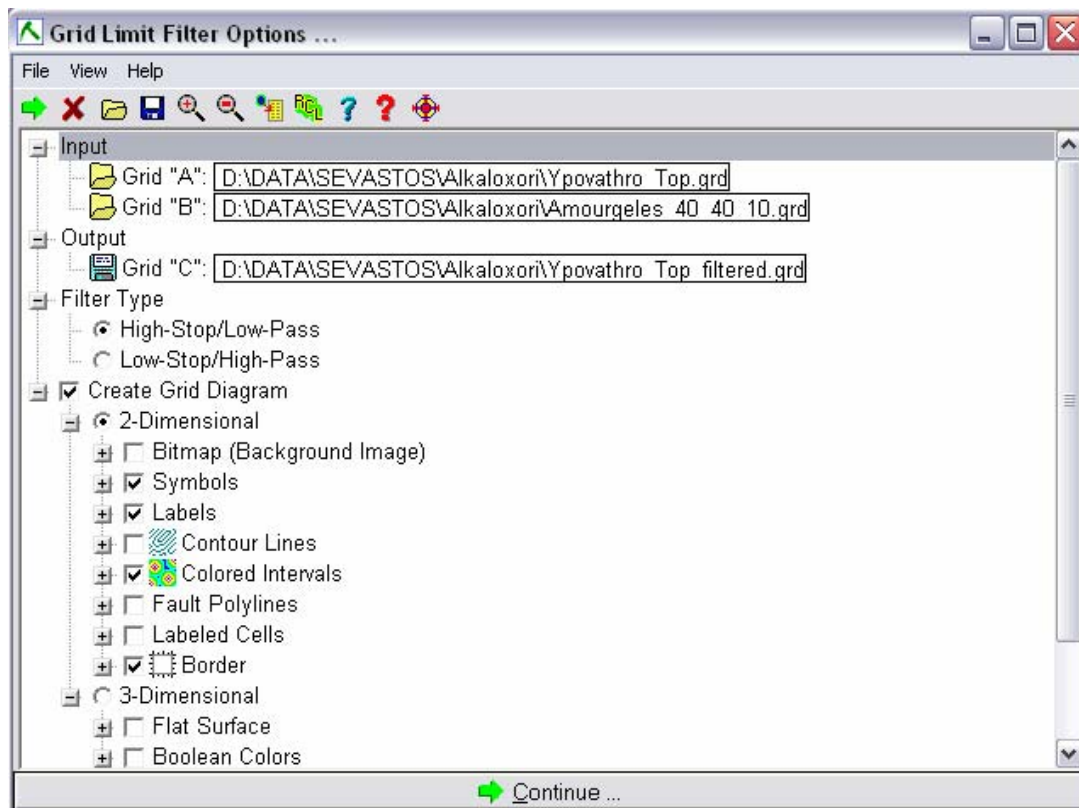
Για να δημιουργηθεί λοιπόν ένα μοντέλο στρωματογραφίας που λαμβάνει υπόψιν το ανάγλυφο χρησιμοποιείται την εντολή Utilities Grid /Filter/Limit.



Σχήμα 3.64: Geographical Utilities: Επιλογή διαδρομής για την κατασκευή στρωματογραφικού μοντέλου που συνυπολογίζει και το ανάγλυφο.



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 στην εικόνα 3.64.



**Σχήμα 3.65 :** Παράθυρο ρυθμίσεων των ήδη κατασκευασμένων επιφανειών (.grd) για την δημιουργία επιφάνειας που θα λαμβάνει υπόψη στρωματογραφικά δεδομένα και τοπογραφικό ανάγλυφο.

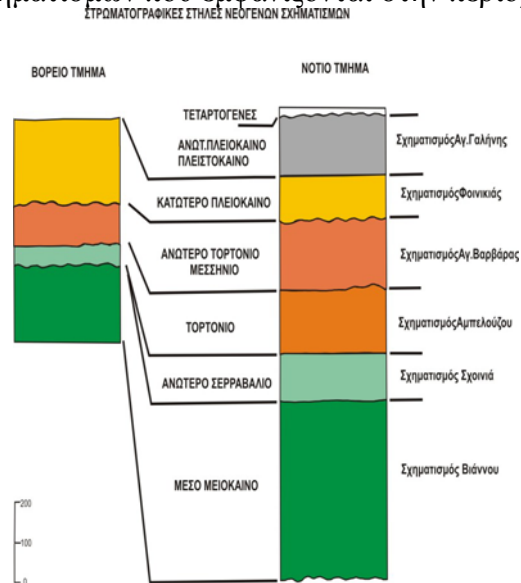
Με αυτή τη διαδικασία περάστηκαν όλες οι επιφάνειες που ορίζουν τις ενότητες Βιάννου και Σχοινιά από το φίλτρο έχοντας ορίσει σαν άνω φράγμα την επιφάνεια που ορίζει το τοπογραφικό ανάγλυφο. Έτσι όπου αυτές οι επιφάνειες εξείχαν στο αρχικό μοντέλο στρωματογραφίας, από το τοπογραφικό ανάγλυφο πλέον έχουν φιλτραρισθεί 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.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ

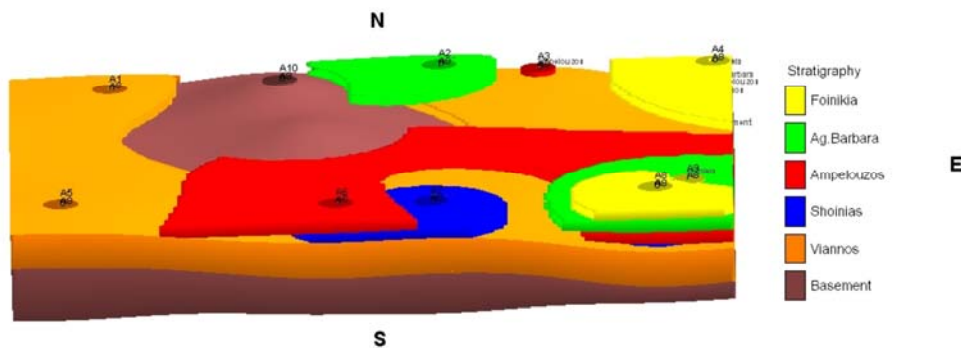
### 4.1 Λιθολογικό Μοντέλο

Χρησιμοποιώντας της στρωματογραφικές στήλες του υπάρχοντος γεωλογικού χάρτη κατασκευάστηκαν συγκριτικές στρωματογραφικές στήλες των ελαχίστων και μέγιστων παχών των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Στρωματογραφική στήλη των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.

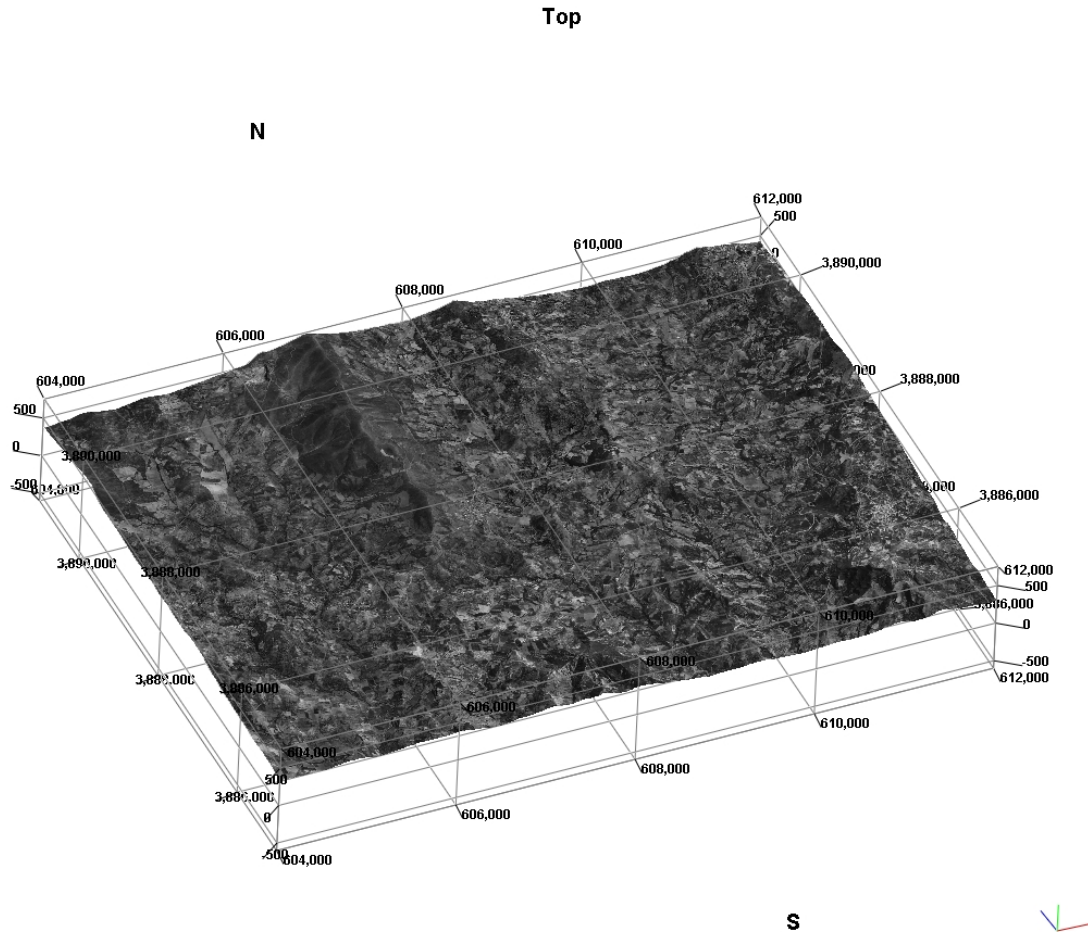
Με βάση τα στοιχεία από τις εργασίες υπαίθρου και την γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 που πραγματοποιείται, τοποθετήθηκαν στην οριοθετημένη περιοχή δέκα εικονικές γεωτρήσεις (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.2: Απεικόνιση των δέκα εικονικών γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.

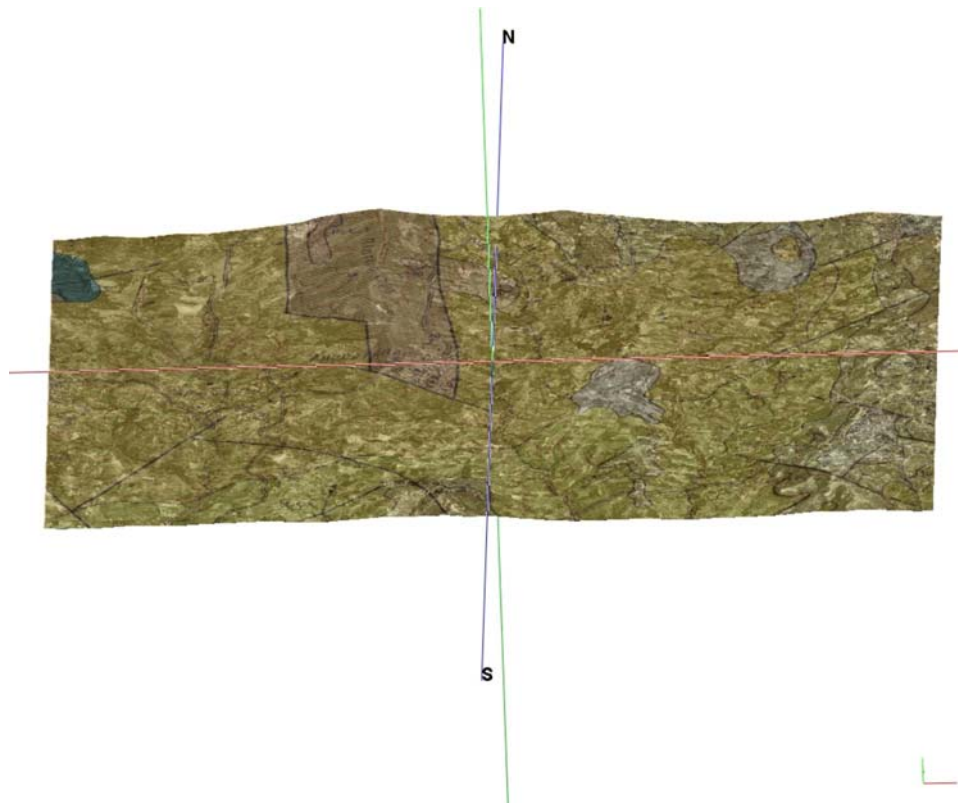
Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το ψηφιακό ομοίωμα της περιοχής μελέτης. Πάνω του τοποθετήθηκαν έξι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής. Από αυτόν τον συνδυασμό προέκυψε ένα ακριβές τρισδιάστατο ομοίωμα της τοπογραφίας με σημαντικά στοιχεία γεωμετρικού τύπου (Σχήμα 4.3). Πάνω σε αυτό τοποθετήθηκαν ψηφιακά στοιχεία του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα 4.4) και προέκυψε ο συνδυασμός των ανωτέρω, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.

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 4.6).

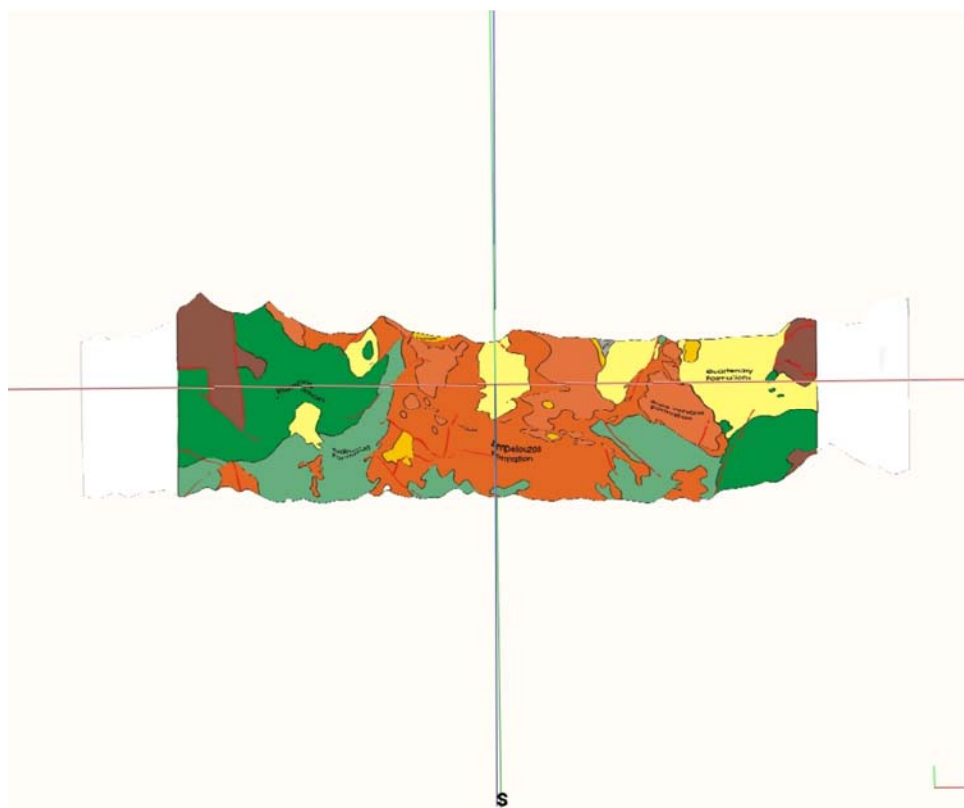


**Σχήμα 4.3:Υπέρθωση των ορθοφωτοχάρτων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM).**



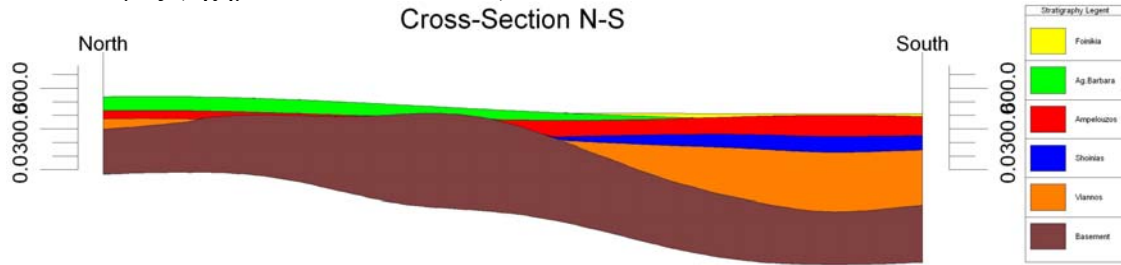


Σχήμα 4.5:Υπέρθωση του γεωλογικού χάρτη στο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

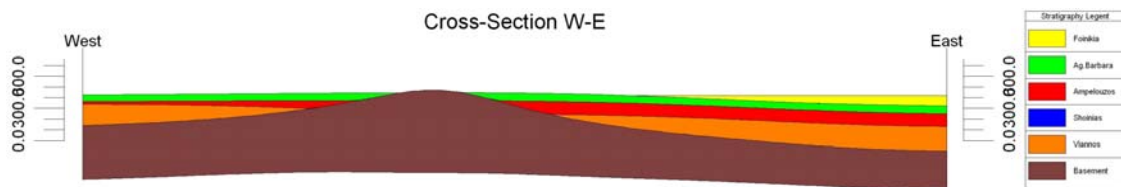


Σχήμα 4.6:Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

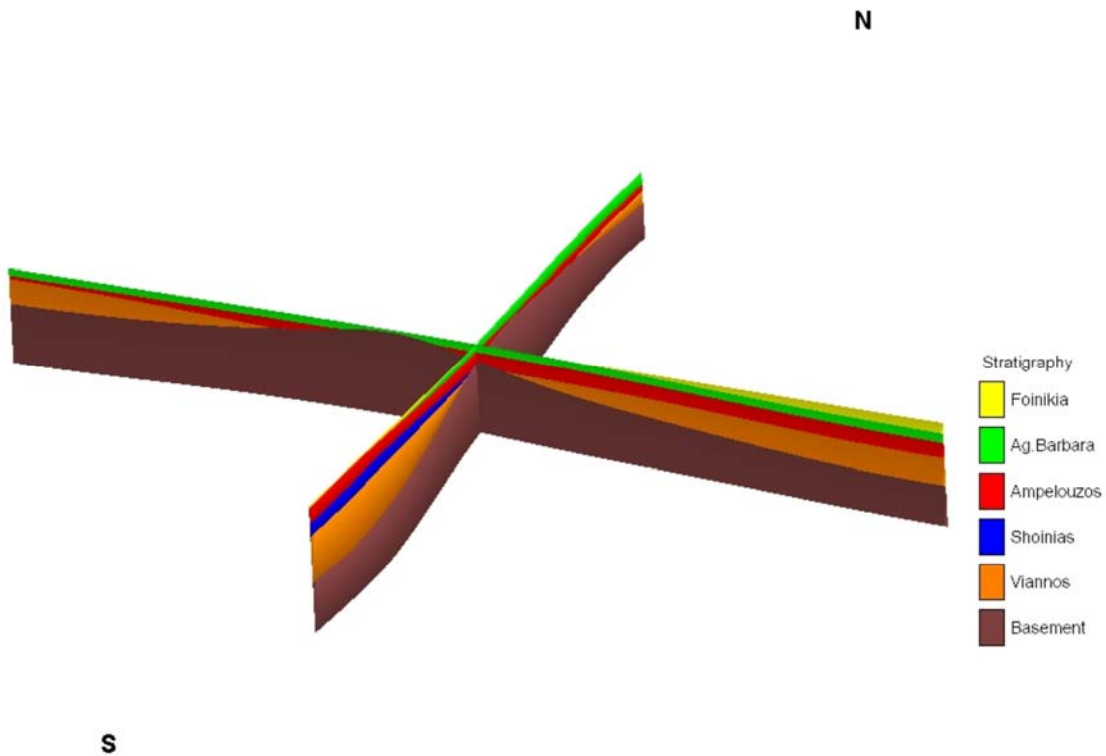
Στην συνέχεια κατασκευάστηκαν σε προκαθορισμένες διευθύνσεις γεωλογικές τομές (Σχήματα 4.7, 4.8 και 4.9).



Σχήμα 4.7: Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Βορρά - Νότου.



Σχήμα 4.8: Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης σε διεύθυνση Δύσης - Ανατολής.



Σχήμα 4.9: Συνδυαστική γεωλογική τομή εντός της περιοχής μελέτης.

## 4.2 Αποτελέσματα γεωφυσικών διασκοπήσεων

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν από το εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής μια σειρά γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων με σκοπό τη μελέτη της κατακόρυφης κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τις βυθοσκοπήσεις ερμηνεύτηκαν ως προς τη λιθολογία και τη στρωματογραφία της περιοχής και χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα γεωτρήσεων για την κατασκευή λιθολογικών και στρωματογραφικών μοντέλων της περιοχής.

Στη συνέχεια θα παρατεθούν τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης και πως ερμηνεύτηκαν και μεταφράστηκαν σε λιθολογία και στρωματογραφία. Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται οι συντεταγμένες, το υψόμετρο και το βάθος έρευνας της κάθε βυθοσκόπησης.

	X	Y	Z	Βάθος
VES 3	608750	3886018	301	215
VES 4	608309	3886350	290	95
VES 5	609490	3888077	432	215
VES 6	608882	3888124	414	215
VES 7	609158	3887266	368	366
VES 8 (1)	608747	3886018	287	330
VES 8 (2)	608747	3886018	287	330

Πίνακας 4-1 Συντεταγμένες και βάθη διασκοπήσεων

Γνωρίζοντας την στρωματογραφία της περιοχής τόσο από παρατηρήσεις πεδίου όσο και από τα δεδομένα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής έγινε εφικτή η αντιστοίχιση των δεδομένων που προέκυψαν από τις βυθοσκοπήσεις με τη στρωματογραφία της περιοχής. Η ενότητα του Σχοινιά αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών πάχους 15-20 μέτρων και μαργών πάχους 50-60 μέτρων, συνολικού πάχους 145 μέτρων. Όπου οι βυθοσκοπήσεις εντόπιζαν τέτοιες εναλλαγές μεγάλου πάχους γινόταν νέα ερμηνεία της λιθολογίας βάσει των χαρακτηριστικών της ενότητας του Σχοινιά και αντιστοιχιζόταν στρωματογραφικά στην ενότητα του Σχοινιά. Αντίστοιχα η ενότητα του Βιάννου έχει μέσο πάχος 600 μέτρα και αποτελείται από εναλλαγές

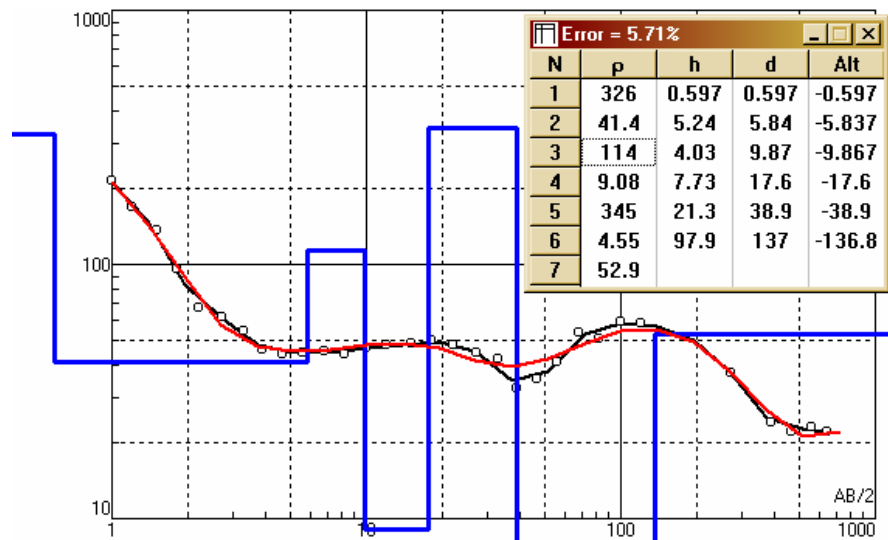
ψαμμιτών, πάχους 30 μέτρων, και μαργών, πάχους 70 μέτρων. Η ενότητα του Βιάννου εντοπίστηκε τόσο επιφανειακά όσο και υποκείμενα της ενότητας του Σχοινιά σε ορισμένες από τις βαθύτερες βυθοσκοπήσεις. Για την βυθοσκόπηση VES – 8 υπάρχουν δύο διαφορετικές ερμηνείες. Η πρώτη αντιστοιχεί σε μετρήσεις που γίνανε κατά την καλοκαιρινή περίοδο με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικά χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας στο υπέδαφος. Η δεύτερη ερμηνεία αντιστοιχεί σε μετρήσεις που γίνανε μετά από βροχοπτώσεις οπότε παρατηρήθηκε αυξημένη υγρασία στο υπέδαφος και διαφορετική κατανομή κατά συνέπεια των μετρούμενων αντιστάσεων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα των βυθοσκοπήσεων με την αρχική ερμηνεία βάσει των μετρούμενων τιμών ηλεκτρικής αντίστασης καθώς και την μετέπειτα ερμηνεία της λιθολογίας και στρωματογραφίας.

### 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 4-2 : Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES – 3.

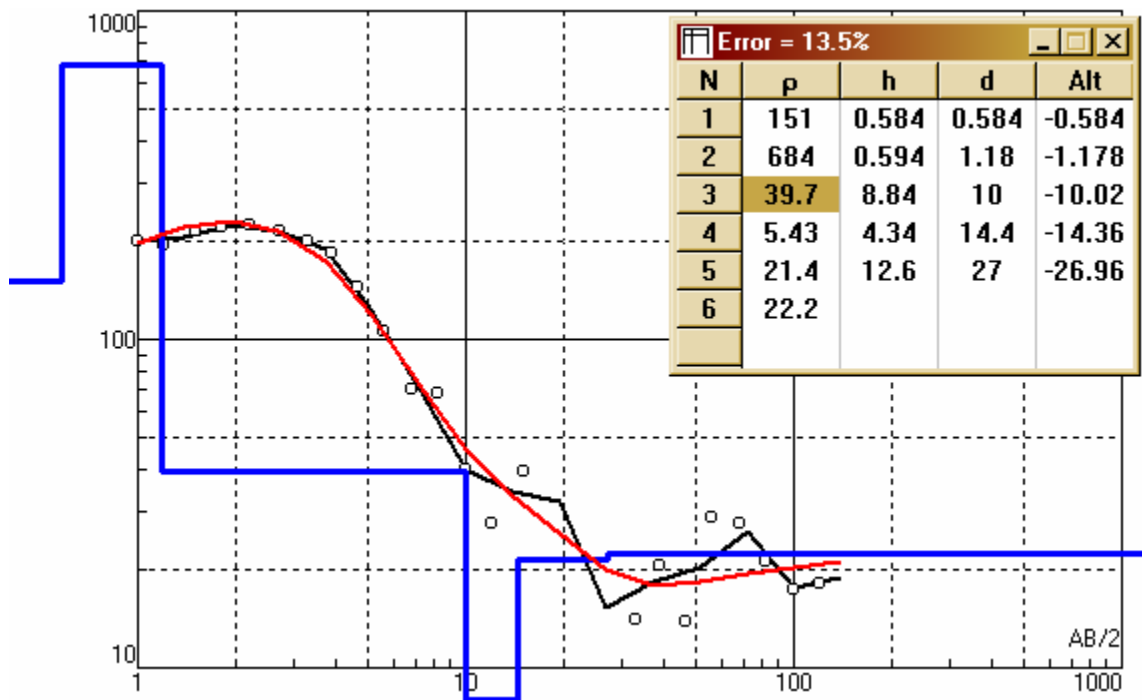




VES 4

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

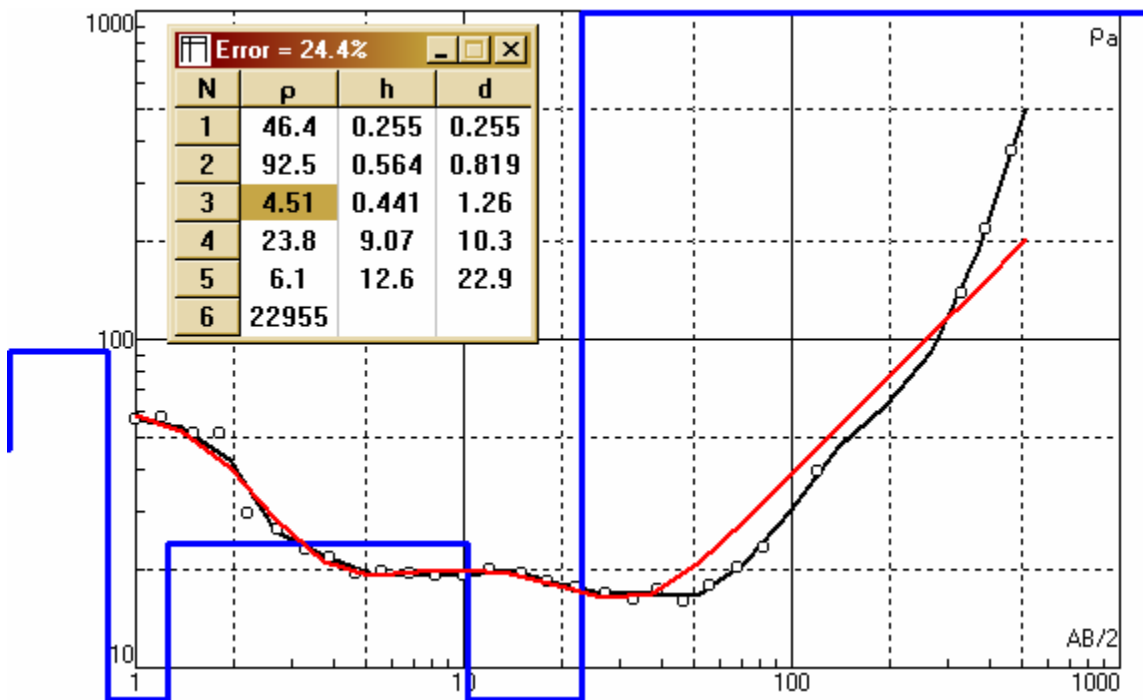
Πίνακας 4-3: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES -4.



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	

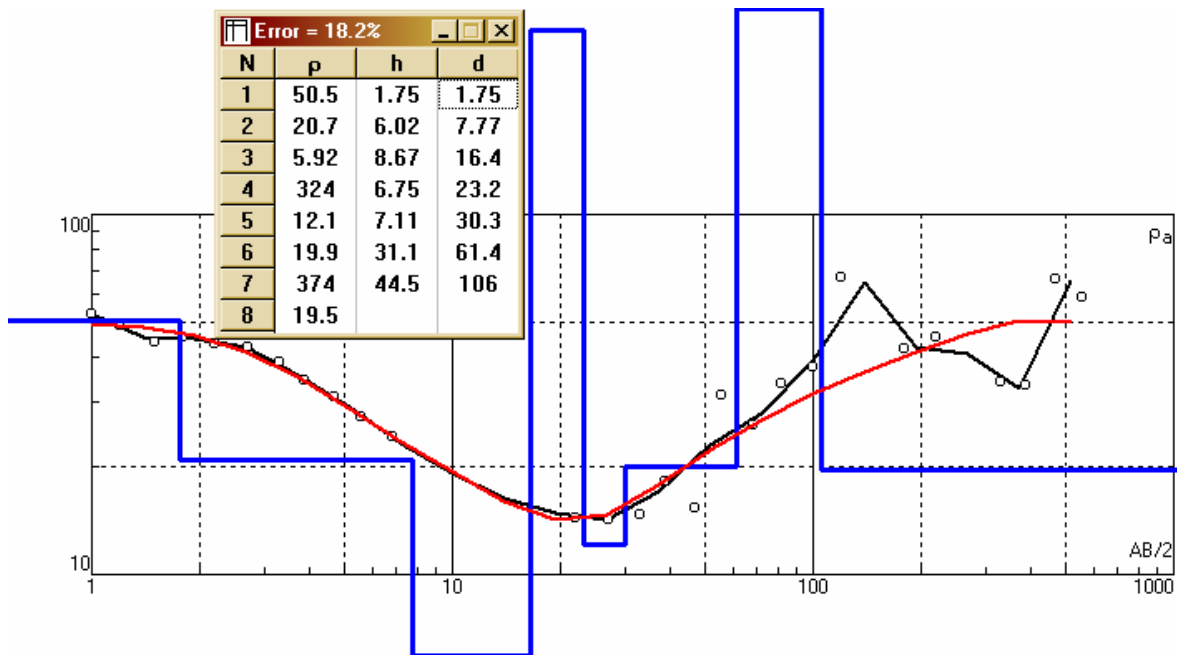
Πίνακας 4-4: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES – 5.



VES 6

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση ( $\Omega m$ )	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	

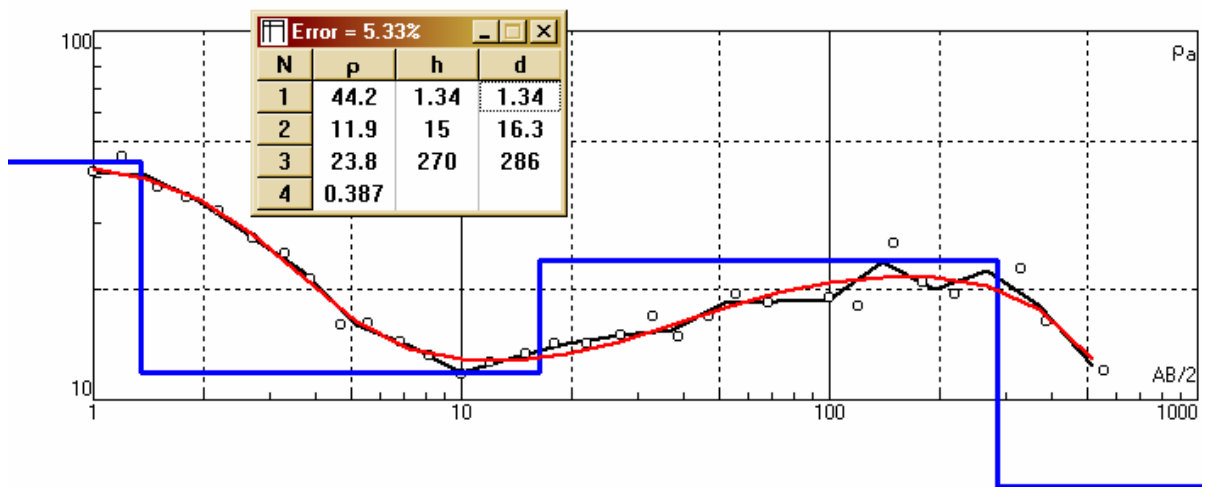
Πίνακας 4-5: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπησης VES - 6.



## VES 7

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση ( $\Omega m$ )	Λιθολογική ερμηνεία	Στρωματογραφική ερμηνεία
Εδαφικό κάλυμμα	1.3	44		
Μάργα - Άργιλος	15	12	Μάργα	Σχοιινιάς
Μάργα	270	24		
Μάργα - Άργιλος	79.7	0.4	Μάργα	Βιάννος

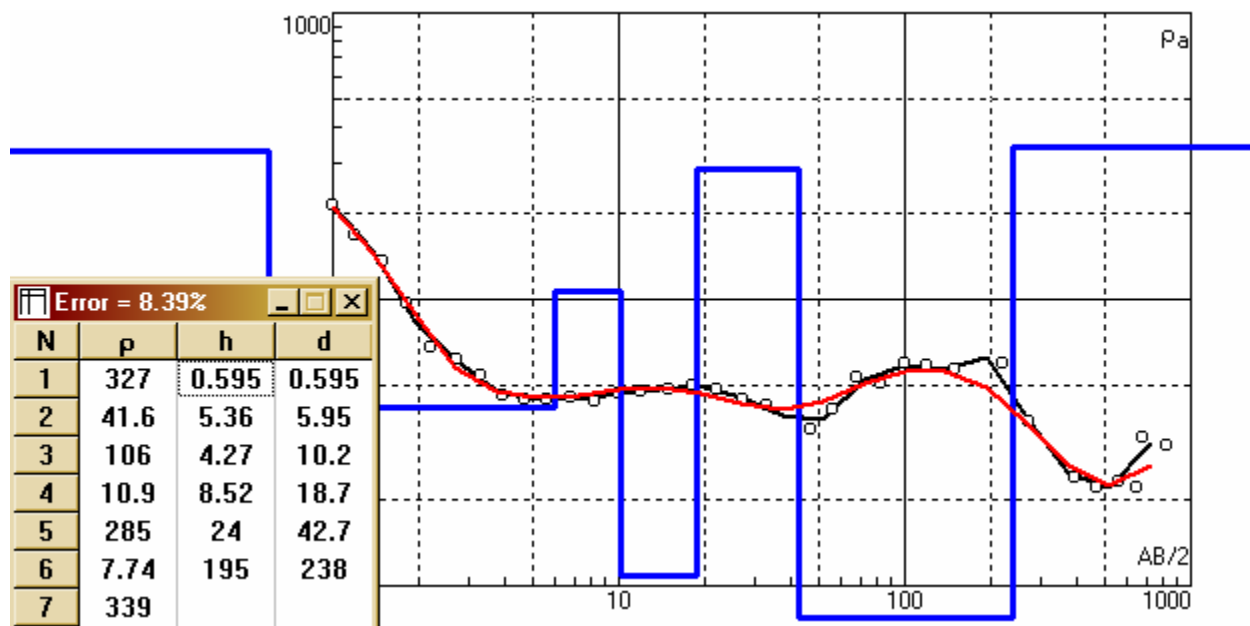
Πίνακας 4-6: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 7.



## VES 8 (1)

Πέτρωμα	Πάχος (m)	Αντίσταση ( $\Omega m$ )	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	
Μάργα - Άργιλος	195	8	Μάργα	
Ψαμμίτης	97.6	340	Ψαμμίτης	Βιάννος

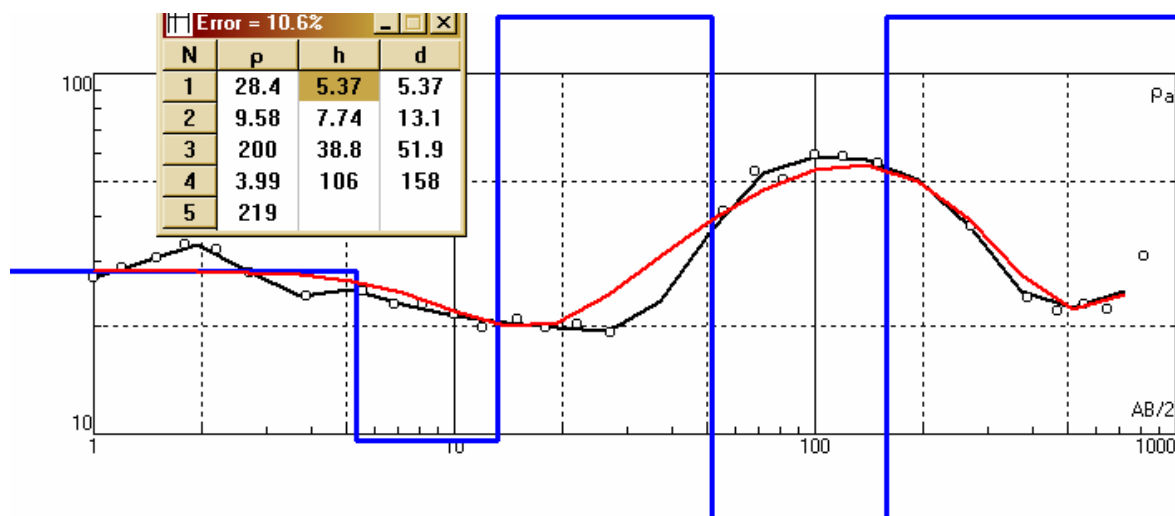
Πίνακας 4-7: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 8.



## VES 8 (2)

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

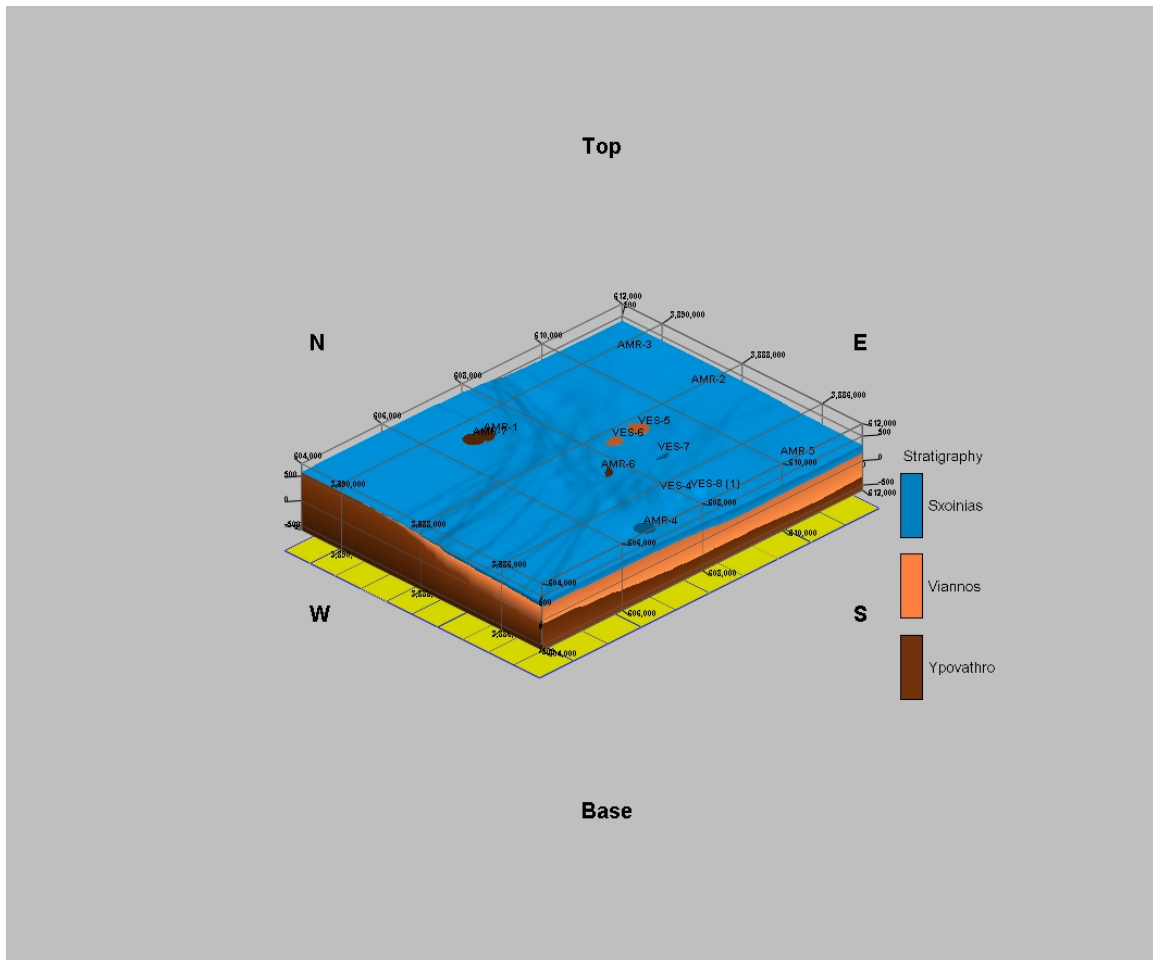
Πίνακας 4-8: Δεδομένα και ερμηνεία διασκόπισης VES – 8.



### 4.3 Στρωματογραφικά μοντέλα της περιοχής

Ο συνδυασμός της υφιστάμενης τοπογραφίας, τα στοιχεία του υπάρχοντος γεωλογικού χάρτη και τα αποτελέσματα εργασιών πεδίου συνδυάστηκαν με τα ανωτέρω δεδομένα που προέκυψαν από την ερμηνεία των γεωφυσικών δισκοπίσεων και εισήχθησαν στο Rockworks 2006 για την κατασκευή του τελικού στρωματογραφικού μοντέλου της περιοχής μελέτης. Το τελικό μοντέλο προέκυψε σταδιακά σε πέντε διακριτά στάδια.

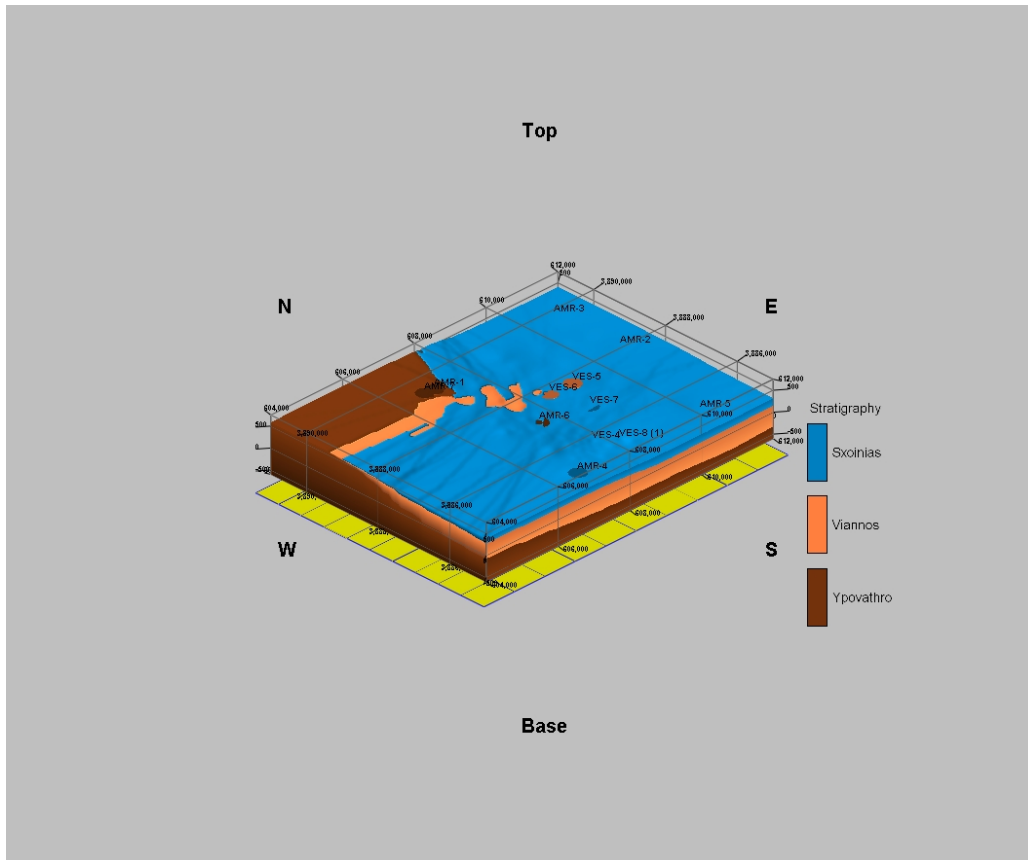
Αρχικά εισήχθησαν τα στοιχεία των βυθοσκοπήσεων υπό μορφή γεωτρήσεων, 6 στον αριθμό, και η στρωματογραφία από τις εργασίες πεδίου υπό μορφή εικονικών γεωτρήσεων. Τοποθετήθηκαν συνολικά σε συγκεκριμένο χωρικό περίγραμμα 5 εικονικές γεωτρήσεις. Με τις υπορουτίνες Onlap off και Hide thin zones 0m του προγράμματος κατασκευάστηκε το πρώτο στρωματογραφικό μοντέλο (σχήμα 4.10).



**Σχήμα 4.10: Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων - onlap off - hide thin zones off χωρίς ανάγλυφο**

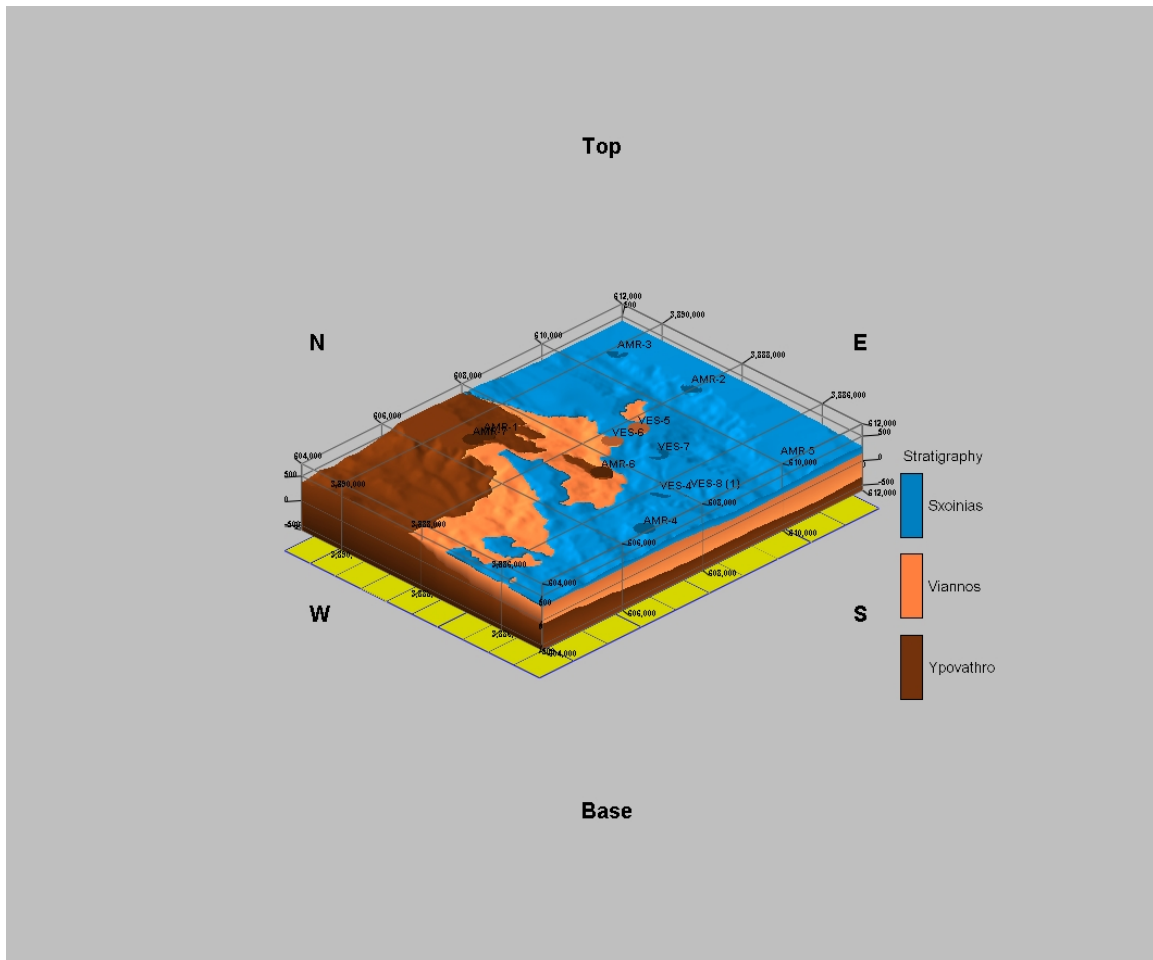
Στη συνέχεια αλλάζοντας τις παραμέτρους για το φιλτράρισμα των σχηματισμών που δεν εμφανίζονται στα βορειοδυτικά της περιοχής ( απομακρύνοντας συγκεκριμένα πάχη σχηματισμών σε θέσεις που δεν εμφανίζονται) κατασκευάστηκε το επόμενο μοντέλο (Σχήμα 4.11)





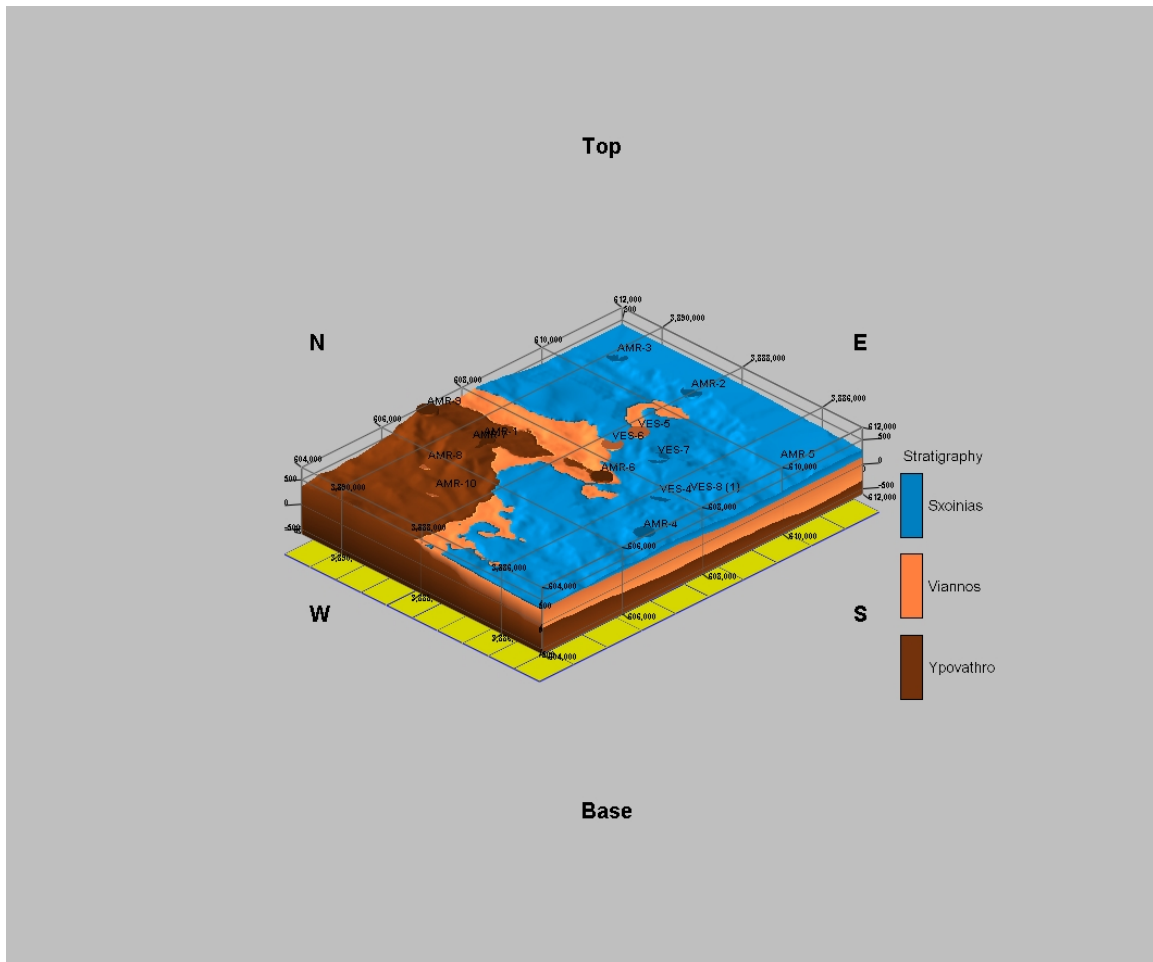
**Σχήμα 4.11: Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων - onlap on - hide thin zones on, 8m χωρίς ανάγλυφο**

Στη συνέχεια εισήχθη στο προηγούμενο μοντέλο το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής και κατασκευάστηκε το μοντέλο του σχήματος 4.12



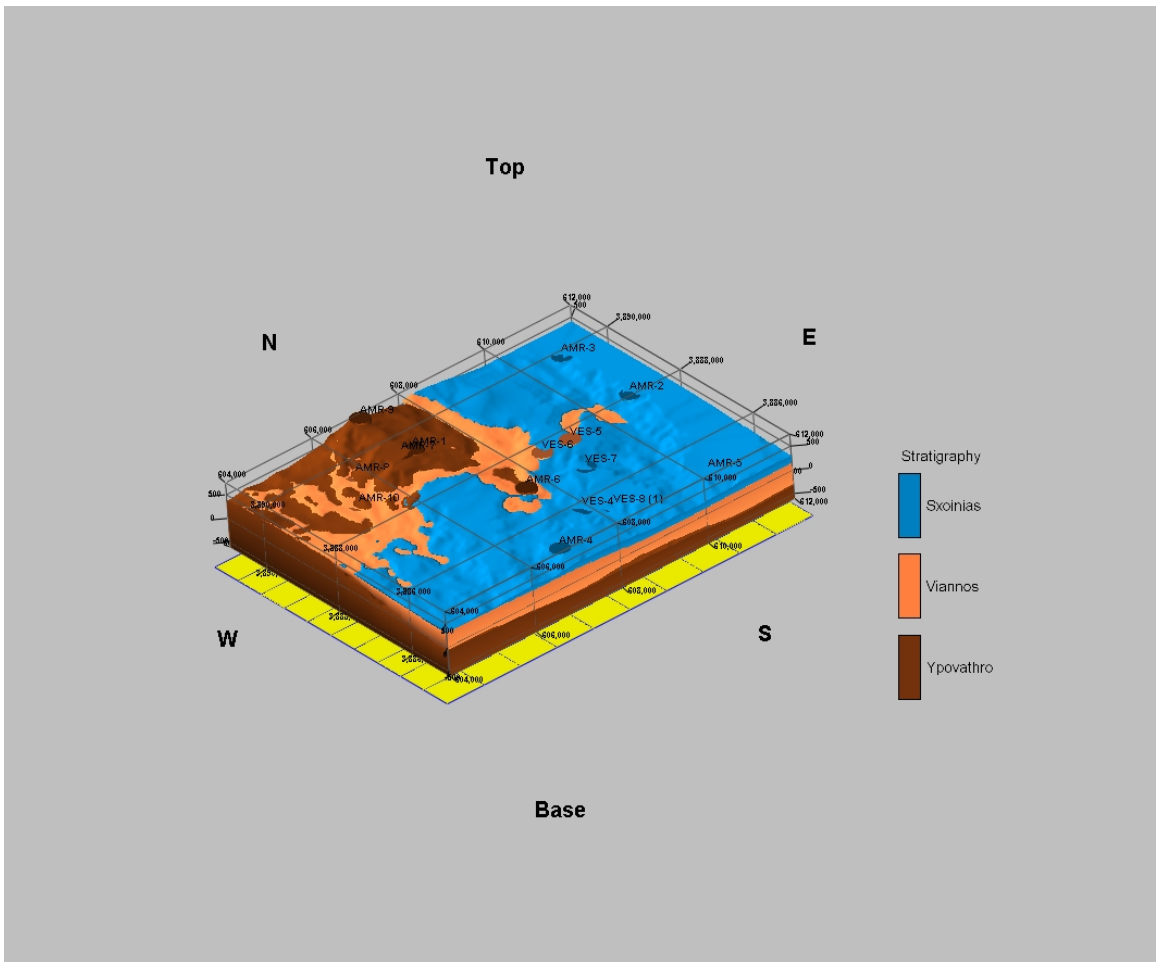
**Σχήμα 4.12 : Μοντέλο με αρχικό σετ γεωτρήσεων –onlap off – hide thin zones on 8μ με ανάγλυφο**

Στο μοντέλο του σχήματος 4.12 εισήχθησαν επιπλέον 4 εικονικές γεωτρήσεις στα βορειοδυτικά με πραγματικά στοιχεία πάχους από μετρήσεις πεδίου και κατασκευάστηκε το επόμενο μοντέλο του σχήματος 4.13.



**Σχήμα 4.13: 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 το τελικό μοντέλο του σχήματος 4.14 που ικανοποιεί τις παρατηρήσεις των εργασιών πεδίου.



Σχήμα 4.14: Μοντέλο με επιπλέον γεωτρήσεις – Onlap off – hide thin zones on on 8μ με ανάγλυφο

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική

Βάχλας Γ. (2007): Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο του κοιτάσματος γύψου και ανυδρίτη στη θέση Αλτσί της επαρχίας Σητείας στην Ανατολική Κρήτη.- Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Βιδάκης Μ. et. al. (1992): Βασικός γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακα 1:50.000, φύλλο ΑΡΧΑΝΑΙ, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Γεραγά Μ. (2000): Παλαιοωκεανογραφικές και παλαιοκλιματολογικές συνθήκες στο ΝΔ-ικό Αιγαίο κατά το Ολόκαινο και ο σχηματισμός των σαπροπηλών.- Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Ευαγγελοπούλου Α. (2005): Παλαιοκλιματική και Παλαιοωκεανογραφική σημασία των σαπροπηλών της Μεσογείου, Οι Μειοκαινικοί σαπροπηλοί του ελλαδικού χώρου.- Διπλωματική Εργασία Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Μανούτσογλου Ε. (2007): Γεωλογικός χαρακτηρισμός της περιοχής μελέτης. – Αδημοσίευτη έκθεση προόδου φυσικού αντικειμένου, 5 – 21, ΠΕΠ Κρήτης, ΠΕΠΕΡ 05, ΓΓΕΤ., Αθήνα.

Μουντράκης Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας, 207 σελ., Θεσσαλονίκη

Παναγόπουλος Γ. (2007): Προτάσεις γεωτρητικού προγράμματος σε ενεργό λατομικό χώρο με χρήση χωρικών γεωλογικών στοιχείων.- Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

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, 1980. Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Διατριβή επί υφηγεσία, Ε.Μ.Π., σελ. 54-54.

## Ξενόγλωσση

Aksu A.E., Yasar D., Mudie P.J. (1995): Origin of Late glacial-Holocene hemipelagic merits in the Aegean Sea, Clay mineralogy and carbonate cementation. - *Marine Geology* 123:33-42.

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.

Anastasakis, G., and Stanley, D. (1984): Sapropels and organic -rich variants in the Mediterranean sequence development and classification. In D.A.V. Stow and Piper D.J.W. (Eds) *Fine grained sediments: Deep water process and facies.* -Geol. Soc. London Spec. Publ. 15:499-510.

Arthur N.A., Dean WE, Stow D.A.V. (1984): -Models for the deposition of Mesozoic-Cenozoic fine-grained organic-carbon-rich sediment in the deep sea. In D.A.V. Slow and Piper J. W. (Eds) *Fine grained sediments: Deep water process and facies.* -Geol. Soc. Londa Spec. Publ. 527-560.

Berner R. A. (1970): Sedimentary pyrite formation. *Am. J. Sci.* 268, 1--23.

Bonneau, M. (1973): Sur les affinités ioniennes des calcaires en plaquettes epimetamorphiques de la Crete, le charriage de la serie de Gavrovo-Tripolitsa et la structure de l'arc Egeen, *C. R. Ac. Sci, Paris*, 277, pp. 2453-2456

Brunn, J. (1956): Contribution a l'étude Geologique du Pinde Septentrional et d'une partie de la Macedoine Occidental, *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 7, pp. 1-358

Buckley H.A, Johnson L.R (1988): Late Pleistocene to recent sediment deposition in the central and western Mediterranean. -*Deep-Sea Research* 35: 749-766.

Calvert S.E. (1983): Geochemistry of Pleistocene sapropels and associated sediments from the eastern Mediterranean. - *Oceanological Acta* 6: 255-267.

Calvert S.E., Nielsen B. Fontugne (1992): Evidence from nitrogen isotope ratios for enhanced productivity during formation of eastern Mediterranean sapropels.-*Nature* 359: 223-225

Cita, M.B., Grignani, D., (1982): Nature and origin of late Neogene Mediterranean sapropels. In: Schlanger, S.O., M.B. (Eds.) *Nature of Origin of Cretaceous Carbon-Rich Facies.* -Academic Press, London, pp. 165-196

Cita B.M., Vergnaud-Grazani C, Robert C, Chamley H., Ciaranfi N., D' Onofrios (1977): Paleoclimatic Record of a long deep sea core from the Eastern Mediterranean. - Quaternary Research, 205-235.

Cramp A., O' Sullivan G. (1999): Neogene Sapropels in the Mediterranean: a review. – Marine Geology, 153: 11-28

Creutzburg N. & Seidel E. (1975): On the Present Knowledge of the Pre-Neogene Geology in Crete (Greece). N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 149, 363-383, Stuttgart

Epting M., Kudrass H.R., Leppig U. & Schaefer A. (1972): Geologie der Talea Ori/Kreta. N. Jb. Geol. Palaeont. Abh., 141, 259-285.

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.

Emeis K.C., Camerlenghi A., Mc Kenzie J.A., Rio D, Sprovieri R. (1991): The occurrence and significance of Pleistocene and Upper Pliocene Sapropels in the Tyrrhenian sea. -Marine Geology 90:155-182.

Fassoulas C. (2001): The structural evolution of central Crete: insight into the tectonic evolution of the south Aegean (Greece). Journal of Geodynamics, Volume 27, Issue 1, 15 November 1998, Pages 23-43.

Fonselius S. H. (1967): Hydrography of the Baltic deep basins 11: Fishery Board of Sweden. Ser. Hydrogr. Rep. 20, 1-31.

Hilgen F.I. (1991): Extension of the astronomically calibrated (polarity) time scale to the Miocene /Pliocene boundary. -Earth and Planetary Science Letters, 107: 349-368.

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.

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, V., Durr, S., Kockel, F., Kopp, K., Kowalczyk, G. (1978): Structure and geodynamic evolution of the Aegean Region, Alps, Appennines, Hellenides, E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 537-564



Jonissen F.J., Asioli A., Borsetti AN., Capotondi L., de Visser J.P., Hilgen F.I., Rohling E.J., van der Borg K., Vergnaud-Grazzini C., Zachariasse W.J. (1993): Late Quaternary central Mediterranean biochronology. -*Marine Micropaleontology* 21:169-189

Perissoratis C. and Piper D.J.W. (1992): Age, Regional variation, and shallowest occurrence of S1 Sapropel in the Northern Aegean Sea. -*Geo-Marine Letters* 12: 49-53.

Kidd R.B., Cita M.B., Ryan W.B.F., (1978): Stratigraphy of eastern Mediterranean sapropel sequences recovered during DSDP LEG 42A and their paleoenvironmental significance.- In Hsu K.J. Fondrader et al.- Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, (US Government Printing Office), Washington, D.C., pp 421-443.

König, H. & Kuss, S.E. (1980): Neue Daten zur Biostratigraphie des permotriadischen Autochthons der Insel Kreta.- *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 1980: 525-540.

Kullenberg B. (1952): On the salinity of water contained in marine sediments. -*Medd. Oceanographiska Inst. Goteborg*, 21.

Kuss, S.E. and Thorbecke, G. (1974): Die präneogene Gesteine der Insel Kreta und ihre Korrelierbarkeit im agaischen Raum. -*Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg in Breisgau* 64, pp. 39–75.

Lourens L.J. (1994): Astronomical forcing of Mediterranean Climate during the Last 5.3 Million Years. Ph.D. Universiteit Utrecht pp 247

Mangini A., and Schlosser (1986): The formation of eastern Mediterranean sapropels. - *Marine Geology* 72: 115-124

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.

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.

Murder D.R. and Kennett J.P. (1984): Late Quaternary planktonic foraminiferal biostratigraphy. Strait of Sicily, Mediterranean Sea. -*Marine Micropaleontology* 8: 339-359.

Nesteroff W.D. (1973): Petrography and mineralogy of sapropels. In Ryan WBG, Hsu K.J et al -Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project Washington (US Government Printing Office) p. 613 -720

Oggioni E., and Zandini L. (1987): Response of benthic foraminifera to stagnant episodes. A quantitative study of core BAN 81-23 Eastern Mediterranean.-*Marine Geology* 75: 241-261

Olausson E., (1961): Studies of deep sea cores. -Reports of Swedish Deep Sea Expedition 1947-1948, 8: 353-391.

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.

Parisi E. (1987): Carbon and Oxygen isotope composition of Globigerinoides ruber in the two deep-sea cores from the Levantine basin (Eastern Mediterranean)- Marine Geology, 75: 201-219.

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.

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

Rockware Incorporated, Rockworks 2006 documentation.

Rohling E.J. and Hilgen F.J. (1991): The eastern Mediterranean climate at times of sapropel formation: a review. -Geologie en Mijnbouw, 70: 253-264.

Rossignol-Strick (1985): Mediterranean Quaternary sapropels an immediate response of the African monsoon to variation of insolation.- Palaeogeography, Paleoclimatology Palaeoecology 49: 237-163.

Rossignol-Strick M., Nesteroff V., Olive P and Vergnaud-Grazzini C (1982): After the deluge; Mediterranean stagnation and sapropel formation. -Nature 295: 105-110.

Rossignol-Strick M., and Pateme M. (1999): Synthetic pollen record of the eastern Mediterranean sapropels of the Last 1 Ma: implications for the timescale and formation of the sapropels. Marine Geology, 153: 221-237.

Sarmiento J.L., Herbert T, Toggweiler J.R. (1988): Mediterranean nutrient balance and episodes of anoxia. -*Global Biogeochemical cycles*, 2 (4): 427-444.

Sigl W., Chamley H, Fabricius F., Giroud d' Argoud G., Muller J.(1978) Sedimentology and environmental conditions of sapropels. . -In Hsu K.J., Mondrader et al. -Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, (US Government Printing Office). Washington, DC, pp. 445-465

Ten Veen J.H. (1998): Post-early Messinian counterclockwise rotations on Crete: implications for Late Miocene to Recent kinematics of the southern Hellenic arc *Tectonophysics* Volume 298, Issues 1-3, 30 November 1998, Pages 177-189

Thunell R.C., Williams D.F., Kennett J.P. (1977): Late Quaternary paleoclimatology, stratigraphy and sapropel history in eastern Mediterranean deep sea sediments. -*Marine Micropalaeontology* 2: 371-388.

Whiticar, M.J., Faber, E., & Schoell, M. (1986): Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO<sub>2</sub> 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 Eckernfoerde Bay. *Marine Geology*, 182, 29–53.

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.