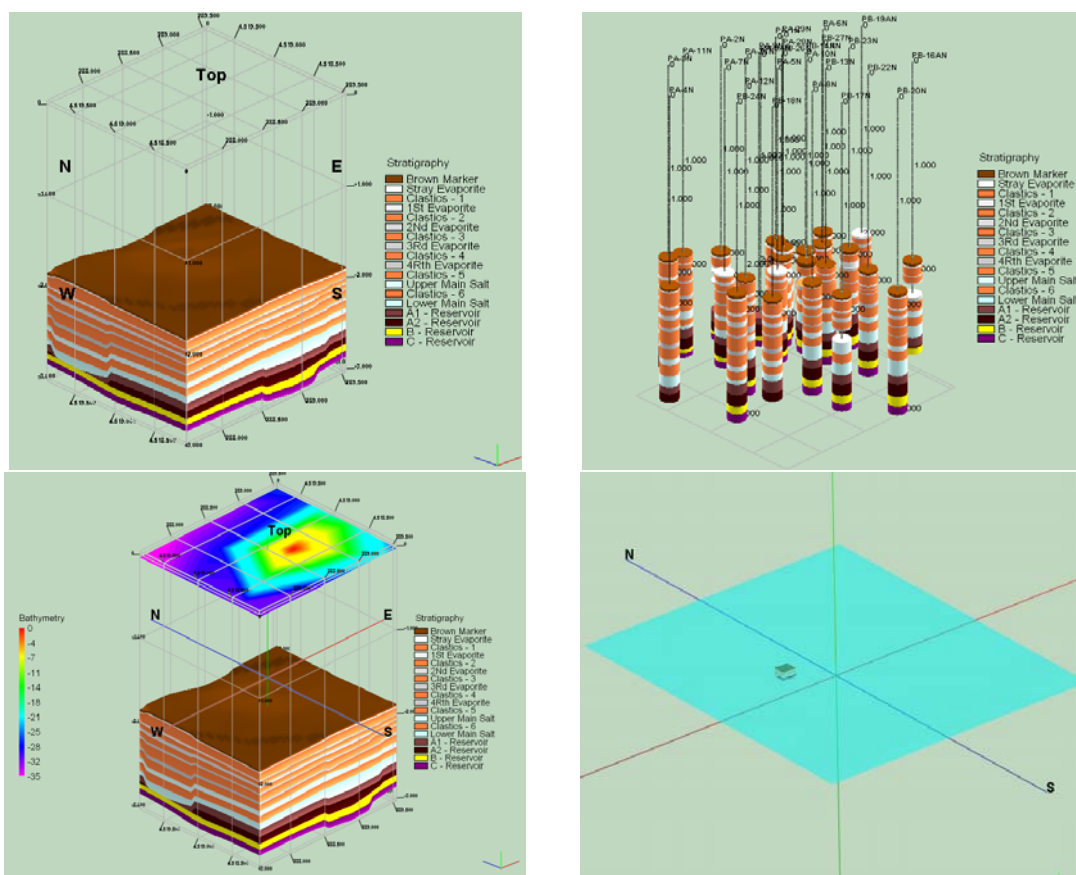




Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
Ερευνητική Μονάδα Γεωλογίας

Διπλωματική Εργασία
Μιχαέλακη Μενέλαου

Τρισδιάστατη λιθοστρωματογραφική προσομοίωση του κοιτάσματος υδρογονανθράκων του Πρίνου



Εξεταστική Επιτροπή :

Μανούτσογλου Εμμανουήλ Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)
Πασαδάκης Νικόλαος Επίκουρος Καθηγητής
Φώσκολος Αντώνιος Ομότιμος Καθηγητής

Οκτώβριος 2010
Χανιά

«**Μικρή αφιέρωση στη μνήμη του Νίκου Καζαντζάκη** του ανθρώπου, που με βοήθησε να αντιληφθώ τον κόσμο, καλύτερα από τον καθένα».

«Επίσης αφιερώνεται **στον πατέρα μου και στη μητέρα μου**, που πλήρωσαν τις σπουδές μου και με βοήθησαν να αναπτυχθώ σωστά ψυχοπνευματικά».

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας / Ευχαριστίες	σελ.5
Περίληψη της διπλωματικής εργασίας.....	σελ.6
Εισαγωγή.....	σελ.7
Κεφ.1 – Στρωματογραφία – Τεκτονική – Βασικές εισαγωγικές έννοιες – Γενικές απόψεις και θεωρήσεις για τη δημιουργία υδρογονανθράκων	σελ.8
1.1 Ιζηματογενείς λεκάνες	σελ.8
1.2 Οι εβαπορίτες	σελ.15
1.3 Δόμοι άλατος	σελ.20
1.4 Τουρβιδίτες.....	σελ.21
1.5 Προϋποθέσεις δημιουργίας συγκεντρώσεων πετρελαίου.....	σελ.26
1.6 Γενικά χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα – ιδιότητες που ενδιαφέρουν σε ένα ταμιευτήρα	σελ.31
1.7 Παγίδες υδρογονανθράκων και στρώματα αποθηκεύσεως.....	σελ.34
1.8 Γένεση και προέλευση του πετρελαίου.....	σελ.46
1.9 Θεωρία ανόργανης ή αβιογενούς προέλευσης	σελ.46
1.10 Θεωρία οργανικής προελεύσεως του πετρελαίου (φυτική).....	σελ.47
1.11 Θεωρία οργανικής προελεύσεως του πετρελαίου ζωική – (θαλάσσια).....	σελ.48
1.12 Πως σχηματίστηκε το πετρέλαιο και τα άλλα ορυκτά καύσιμα.....	σελ.50
1.13 Χημεία της οργανικής ύλης.....	σελ.50
1.14 Η διαδικασία μετασχηματισμού της οργανικής ύλης σε πετρέλαιο στα ιζήματα.....	σελ.52
1.15 Το πετρέλαιο.....	σελ.53
1.16 Φυσικά χαρακτηριστικά των πετρελαίων.....	σελ.54
1.17 Χημικά χαρακτηριστικά των πετρελαίων.....	σελ.55
1.18 Περιβάλλον σχηματισμού του πετρελαίου.....	σελ.56
1.19 Σχέση αλατούχων υδάτων και πετρελαίου.....	σελ.56
1.20 Το φυσικό αέριο.....	σελ.57
Κεφ.2 – Ιστορία δημιουργίας και εκμετάλλευσης του κοιτάσματος- Γεωλογική περιγραφή της λεκάνης Πρίνου-Καβάλας- Επιπρόσθετες πληροφορίες για το πετρέλαιο του Πρίνου.....	σελ.59
2.1 Ιστορία εκμετάλλευσης του κοιτάσματος.....	σελ.59
2.2 Γεωλογία της λεκάνης Πρίνου-Καβάλας.....	σελ.65
2.3 Λιθολογία και στρωματογραφία.....	σελ.68
2.4 Οι εβαπορίτες του Πρίνου αναφορά στο σχηματισμό.....	σελ.70
2.5 Οι ταμιευτήρες του Πρίνου.....	σελ.72
2.6 Σύντομη έκθεση για τα αποθέματα του Πρίνου.....	σελ.73
2.7 Τα κοιτάσματα της λεκάνης του Πρίνου – Σύντομη αναφορά.....	σελ.74
2.8 Γένεση και μετανάστευση των πετρελαίων.....	σελ.77
2.9 Κοιτάσματα και ταμιευτήρες.....	σελ.78
2.10 Συγκριτικές μελέτες που αφορούν τα μητρικά πετρώματα και την ποιότητα των υδρογονανθράκων.....	σελ.79
2.11 Συγκριτική ανάλυση δειγμάτων νερού.....	σελ.85
2.12 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία.....	σελ.86

Κεφ.3 – Εισαγωγή στο Rockworks – Η χρήση της υποσελίδας Utilities και οι δυνατότητες της.....	σελ.88
3.1 Εισαγωγή στο Rockworks.....	σελ.88
3.2 Εισαγωγή στην υποσελίδα Utilities.....	σελ.89
3.3 Δημιουργία νέου φύλλου εργασίας.....	σελ.89
3.4 Δημιουργία διςδιάστατων και τριςδιάστατων βυθομετρικών χαρτών.....	σελ.91
3.5 Παρουσίαση τριςδιάστατου βυθομετρικού χάρτη της περιοχής.....	σελ.103
3.6 Δημιουργία βυθομετρικού χάρτη που αντιστοιχεί ακριβώς επάνω στο κοίτασμα.....	σελ.106
3.7 Δημιουργία στρωματογραφικού μοντέλου με τοπογραφικό ανάγλυφο.....	σελ.108
Κεφ.4 – Εισαγωγικά στοιχεία μεθόδων προσομοίωσης – Καθορισμός των διαστάσεων και των στρωμάτων του μοντέλου – Η επιλογή Project Dimensions και η υποσελίδα Tables.....	σελ.110
4.1 Ιστορική αναδρομή των μεθόδων γεωλογικής προσομοίωσης.....	σελ.110
4.2 Εισαγωγή στη γεωλογική προσομοίωση.....	σελ.112
4.3 Η επιλογή Display Project Dimensions.....	σελ.115
4.4 Η χρήση της υποσελίδας Tables	σελ.116
Κεφ.5 – Η υποσελίδα Borehole Manager και οι δυνατότητες της.....	σελ.120
5.1 Εισαγωγή στην υποσελίδα Borehole Manager.....	σελ.120
5.2 Η καρτέλα Locations.....	σελ.120
5.3 Η καρτέλα Stratigraphy.....	σελ.121
5.4 Το menu Map και το menu Stratigraphy.....	σελ.122
5.5 Δημιουργία Λιθοστρωματογραφικής Τομής – Λιθοστρωματογραφικές Τομές του τελικού μοντέλου.....	σελ.132
5.6 Η δημιουργία ενός πλεγματικού μοντέλου – Η επιλογή Structural Elevations.....	σελ.138
5.7 Η επιλογή Stratigraphic Thickness.....	σελ.140
5.8 Η επιλογή Fence (Modeled).....	σελ.146
5.9 Το menu Striplogs – Διςδιάστατη και τριςδιάστατη απεικόνιση γεωτρήσεων.....	σελ.149
Κεφ.6 – Παρουσίαση του μοντέλου.....	σελ.158
6.1 Σχέση μεγάλου βυθομετρικού χάρτη και μοντέλου κοιτάσματος.....	σελ.158
6.2 Παρουσίαση του μοντέλου που δημιουργήθηκε.....	σελ.159
6.3 Συνδυασμός του βυθομετρικού χάρτη με το μοντέλο του ταμιευτήρα.....	σελ.162
Βιβλιογραφία – References (Ελληνική-Greek)	σελ.168
Βιβλιογραφία – References (Ξενόγλωσση-Foreign).....	σελ.168
Ηλεκτρονική βιβλιογραφία (Web References).....	σελ.170

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Απώτερος σκοπός της διπλωματικής εργασίας, είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου λιθοστρωματογραφικού μοντέλου για το κοίτασμα του Πρίνου, με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Rockworks. Αυτό επιτεύχθηκε συνδυάζοντας στοιχεία για την δημιουργία και εξέλιξη ιζηματογενών λεκανών, στοιχεία που προέκυψαν από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις στην περιοχή καθώς επίσης και στοιχεία για την δημιουργία του βυθομετρικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής. Για την δημιουργία του μοντέλου δεν χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την λεπτομερή τεκτονική ανάλυση της περιοχής.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ**, (αναπληρωτή καθηγητή) που ως **επιβλέποντας στη διπλωματική μου εργασία, συνεισέφερε τα μέγιστα**, ώστε αυτή η εργασία να προχωρήσει και τελικά να έρθει εις πέρας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **κ. Πασαδάκη Νικόλαο** (επίκουρο καθηγητή) για τη **βιβλιογραφία** που μου προσέφερε, όπως επίσης και την κα Κιουμουρτζή Πασχαλιά που από την εταιρεία Kavala Oil, μου έστειλε τα δεδομένα που χρησιμοποίησα για το σχεδιασμό του μοντέλου, των βυθομετρικών χαρτών κλπ.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **κ. Βάχλα Γεώργιο** που ως μεταπτυχιακός φοιτητής με βοήθησε όσον αφορά το πρακτικό μέρος, καθώς και τον **κ. Παναγόπουλο Γεώργιο, Γεωλόγο** ο οποίος βοήθησε ώστε **να πάρει η διπλωματική αυτή εργασία την οριστική μορφή της**, και μου εξήγησε, ως ένα βαθμό, το πρόγραμμα του Rockworks.

Περίληψη

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση (3D geological modeling) 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. Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση ενός γεωλογικού φαινομένου μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό ομοίωμα. Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων από το φυσικό περιβάλλον ακολουθεί τις νομοτέλειες της γεωλογικής χαρτογράφησης.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αφορά το κοιτάσμα υδρογονανθράκων του Πρίνου, που βρίσκεται εντός της ομώνυμης ιζηματογενούς λεκάνης στο Βόρειο Αιγαίο. Στην λεκάνη Πρίνου – Καβάλας, που άρχισε να αναπτύσσεται από το κατώτερο έως το μέσο Μειόκαινο, αναπτύχθηκαν διάφορα πεδία υδρογονανθράκων. Το υπό μελέτη κοιτάσμα, είναι ένα θολοειδές αντίκλινο, επιφάνειας 4,5 τετρ. χιλιομέτρων, ενώ οι υδρογονάνθρακες περιέχονται και αντλούνται από ψαμμίτες, σε μέσο βάθος 2500 μ.

Με δεδομένα 29 γεωτρήσεων και υποστηριζόμενοι από γεωλογικά δεδομένα για την ιζηματογενή λεκάνη της περιοχής, κατασκευάστηκε ένα τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο του κοιτάσματος του Πρίνου. Στην εργασία περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα κατασκευής του μοντέλου και παρατίθενται παραδείγματα γεωμετρικού τύπου συνδυαστικών απεικονίσεων. Τα αποτελέσματα αυτά προκύπτουν ως θεματικοί χάρτες του γεωμετρικού μοντέλου, το οποίο αποτελεί το υπόβαθρο για την δημιουργία κάθε μοντέλου ιδιοτήτων του κοιτάσματος.

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την τρισδιάστατη απεικόνιση του ταμιευτήρα, του κοιτάσματος του Πρίνου. Συνολικά αποτελείται από 6 ενότητες, δηλαδή έξι κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο, δηλαδή στην πρώτη ενότητα, παρουσιάζονται γενικές έννοιες και ορισμοί, απαραίτητοι για την περαιτέρω κατανόηση της διπλωματικής εργασίας, όπως για παράδειγμα τι είναι μητρικό πέτρωμα, τι είναι πέτρωμα ταμιευτήρας, τι είναι οι εβαπορίτες, αλλά και γενικότερη θεωρία, που αφορά τη διαδικασία σχηματισμού των ταμιευτήρων πετρελαίου, όπως τις ιζηματογενείς λεκάνες, τους τουρβιδίτες και τις παγίδες υδρογονανθράκων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, έχουμε μια εξειδίκευση των εννοιών που αναπτύσσονται στο πρώτο, δηλαδή γίνεται αναφορά στο μητρικό πέτρωμα του ταμιευτήρα που μελετάται, στα πετρώματα του ταμιευτήρα, στους εβαπορίτες του Πρίνου, καθώς επίσης στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των πετρελαίων του Πρίνου. Περιέχεται, στην αρχή του κεφαλαίου και ιστορική αναδρομή της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος, ενώ επίσης και μελέτη για τα αποθέματα του ταμιευτήρα. Εκτενείς περιγραφές της γεωλογίας, της λιθολογίας, μελέτη μητρικών πετρωμάτων και γεωχημική μελέτη εμπεριέχονται όλα στο δεύτερο κεφάλαιο, όπου τελειώνει και η θεωρία. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να κατασκευαστεί το μοντέλο.

Στο τρίτο κεφάλαιο αρχίζει η περιγραφή του προγράμματος σχεδίασης (Rockworks), σχεδιάζεται ο βυθομετρικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής, καθώς και ο χάρτης που αντιστοιχεί ακριβώς πάνω από το κοίτασμα, διαμέσου της υποσελίδας Utilities, ενώ περιγράφεται επίσης πλήθος άλλων παραμέτρων και ρυθμίσεων. Σχεδιάζονται και δισδιάστατοι χάρτες ενώ περιγράφονται και ορισμένες ιδιότητες της υποσελίδας Utilities.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία για την εξέλιξη αυτών των προγραμμάτων, γίνεται ορισμός των παραμέτρων και των στρωμάτων του μοντέλου, διαμέσου της υποσελίδας Tables και της επιλογής Project Dimensions.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εισαγωγή των δεδομένων που προέρχονται από τις γεωτρήσεις διαμέσου της υποσελίδας Borehole Manager, η σχεδίαση χάρτη με τις θέσεις των γεωτρήσεων, η τρισδιάστατη απεικόνιση των γεωτρήσεων με τη βοήθεια του menu Striplogs, ενώ επίσης παρουσιάζεται και η ρύθμιση όλων των επιμέρους παραμέτρων για την κατασκευή του μοντέλου. Το μοντέλο παρουσιάζεται χωρίς σχολιασμό και συμπεράσματα (γίνονται στο τέλος), ενώ γίνονται τομές και σχεδιάζονται χάρτες ισοπαχών για διάφορα στρώματα.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο, βάση του αλγορίθμου που επιλέχτηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, σχολιάζεται και αναφέρονται οι παραδοχές που έγιναν. Τελικό προϊόν της διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο συνδυασμός τμήματος του βυθομετρικού χάρτη με το μοντέλο που σχεδιάστηκε. Διατυπώνονται επίσης σκέψεις για τις χρήσεις της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΟΨΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

1.1 Οι ιζηματογενείς λεκάνες

Η γεωλογία πετρελαίων είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος της γεωλογία των ιζηματογενών λεκανών, γιατί μέσα σε αυτές εμφανίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των πετρελαίων. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να έχουμε μια σαφή εικόνα για αυτές. Ουσιαστικά, **οι ιζηματογενείς λεκάνες αποτελούν περιοχές στις οποίες τα ιζήματα, που συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια ενός (γεωολογικού) χρονικού διαστήματος, αποκτούν πολύ μεγαλύτερο πάχος από τα ιζήματα της ίδιας περιόδου, τα οποία συγκεντρώνονται στις γειτονικές περιοχές.**

Οι ενεργές ιζηματογενείς λεκάνες είναι περιοχές συγκεντρώσεων. Μπορεί να είναι μεγάλες ή μικρές, βαθιές (μεγάλου πάχους) ή αβαθείς (μικρού πάχους). Μπορεί να υπάρχουν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, και ακόμη μπορεί να καταλαμβάνουν μόνιμη θέση ή να μετατοπίζονται.

Η ηλικία των λεκανών είναι ίδια με την ηλικία των ιζημάτων που συγκεντρώνονται μέσα σε αυτές. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ιζηματογενών λεκανών με αποτέλεσμα **κάθε μια από αυτές να είναι μοναδική.**

Μια ιζηματογενής λεκάνη είναι διαφορετική από μια φυσιογραφική (γεωμορφολογική) λεκάνη. Μια φυσιογραφική λεκάνη είναι ένα βύθισμα της επιφάνειας του φλοιού που μπορεί να πληρώνεται ή όχι με ιζήματα.

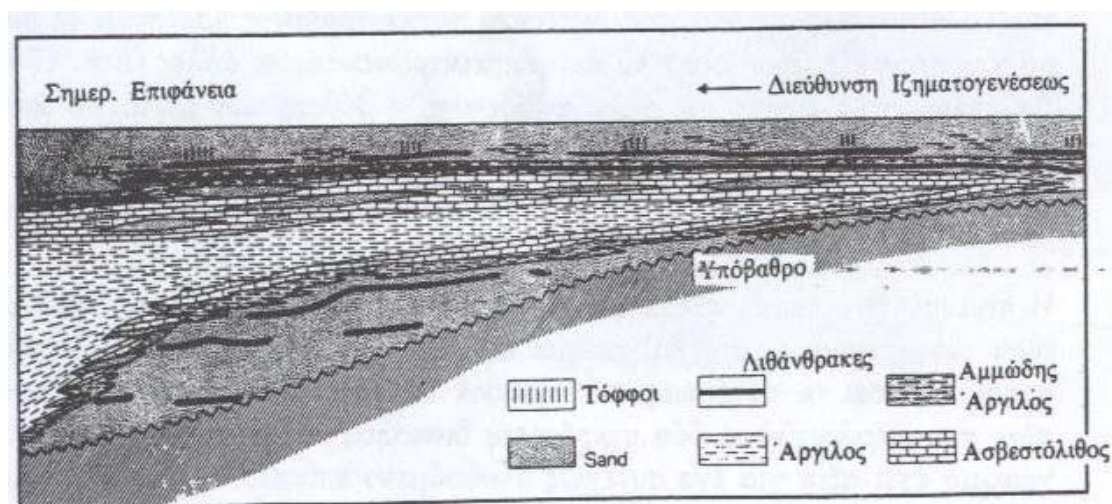
Τμήμα της φυσιογραφικής λεκάνης αποτελεί περιοχή διάβρωσης, η οποία παρέχει τα υλικά για το υπόλοιπο τμήμα της. Οι περιοχές, όπου συγκεντρώνονται τα ιζήματα, δεν είναι απαραίτητο να αποτελούν βυθίσματα. Μπορεί οι περιοχές αυτές να είναι φυσιογραφικώς δυσδιάκριτες από τις γειτονικές περιοχές, όπου δεν υπάρχει συγκέντρωση ιζημάτων.

Η φύση των ιζημάτων των φυσιογραφικών λεκανών καθορίζεται από τη μορφολογία και το κλίμα τους, καθώς και από τη φύση των λεκανών που υφίστανται τη διάβρωση. Η φύση των ιζημάτων, που συγκεντρώνονται, ελέγχεται επίσης, εκτός από τους πιο πάνω παράγοντες, και από τις διεργασίες της μεταφοράς μέσα στη λεκάνη. Επίσης εξαρτάται η φύση τους και από τη θέση της ιζηματογενούς λεκάνης μέσα στον ευρύτερο χώρο της φυσιογραφικής.

Αν και οι όροι «φυσιογραφική» και «ιζηματογενής» λεκάνη είναι διαφορετικοί μεταξύ τους, μια ιζηματογενής λεκάνη είναι απαραίτητα τοποθετημένη μέσα σε μια φυσιογραφική. Η ύπαρξη της φυσιογραφικής λεκάνης είναι εκείνη που καθορίζει την περιοχή και τη διακίνηση των ιζημάτων. Η εξάρτηση των 2 τύπων λεκανών είναι δυναμική, γιατί οι μεταβολές της φυσιολογικής λεκάνης επηρεάζουν τον τύπο και το χαρακτήρα των ιζημάτων που αποτίθενται στην ιζηματογενή λεκάνη.

Αν η ιζηματογενής λεκάνη βρίσκεται σε περιοχή κοντά στην ακτή, τότε αποτίθενται ιζήματα παράκτιας φάσεως. Αν όμως βρίσκεται σε περιοχή του εσωτερικού της

ακτής, δηλαδή προς τη χέρσο, τότε αποτίθενται ιζήματα χερσογενή. Αν τέλος βρίσκεται μακριά από την ακτή, τότε έχουμε απόθεση θαλάσσιων ιζημάτων (Εικ.1.1).



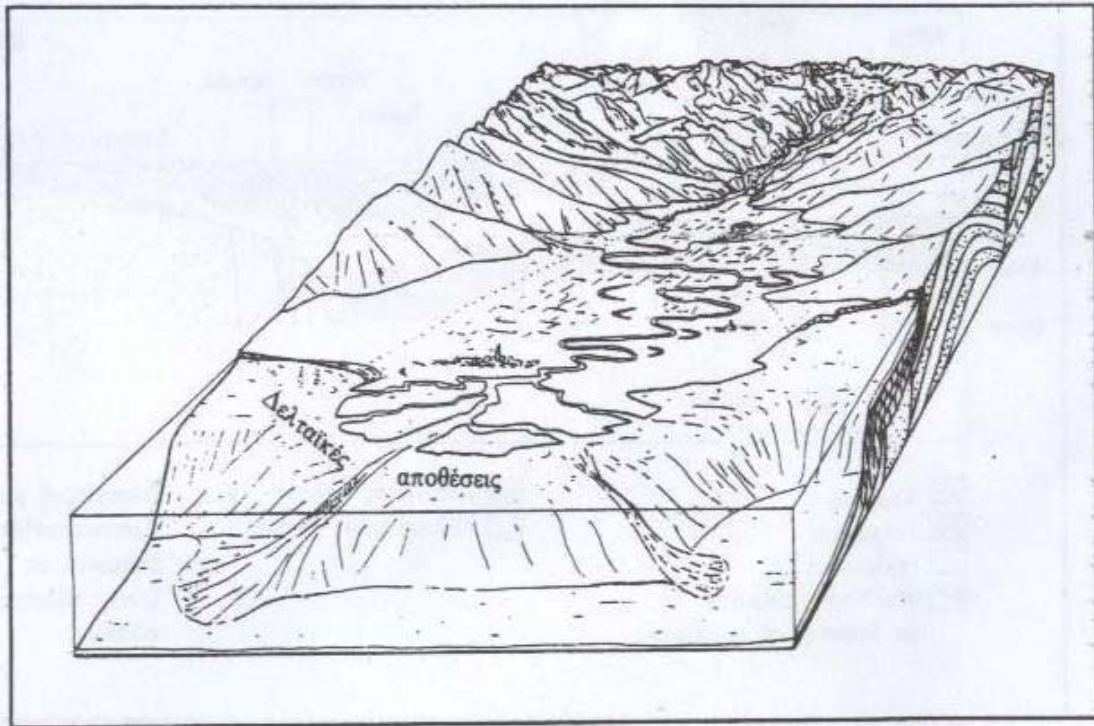
Εικ. 1.1 : Σχηματική τομή που παρουσιάζει ένα παράδειγμα εγκάρσιων και πλευρικών αλλαγών των ιζηματογενών πετρωμάτων σε μια λεκάνη ιζηματογένεσης (Δερμιτζάκης, 1986)

Πρέπει όμως να γίνει μια διάκριση μεταξύ των όρων «απόθεση ιζημάτων» και «συγκέντρωση ιζημάτων».

Οι εκβολές ενός ποταμού μπορεί να αποτελούν μια θέση μεγάλης ταχύτητας απόθεσης ιζημάτων. Αλλά αν η ενέργεια του περιβάλλοντος, όπου αποτίθενται τα ιζήματα, όπως η δράση των κυμάτων και των ρευμάτων, είναι τέτοια, ώστε τα ιζήματα να μεταφέρονται αλλού, τότε η «συγκέντρωση» κοντά στην εκβολή του ποταμού μπορεί να είναι ελάχιστη έως πολύ μικρή.

Η ανακατανομή των ιζημάτων εξαρτάται κυρίως από τις φυσικές τους ιδιότητες – πυκνότητα, μέγεθος και σχήμα των κόκκων – και από την ενέργεια της μεταφοράς. Τα ιζήματα ως εκ τούτου θα κινηθούν κυρίως κατά μήκος του θαλάσσιου πυθμένα, είτε βαρυτικά, είτε υπό την επίδραση των ρευμάτων και των κυμάτων, έως ότου δεν θα είναι δυνατή η περαιτέρω μεταφορά τους. Εκεί θα λάβει χώρα η συγκέντρωσή τους. Αλλά αν υπερυψωθεί η μορφολογία της επιφάνειας του πυθμένα της λεκάνης λόγω της συγκεντρώσεως των ιζημάτων σε ένα επίπεδο υψηλότερης ενέργειας (εκεί δηλαδή όπου τα ρεύματα και τα κύματα είναι ισχυρότερα), τότε θα σταματήσει και η διεργασία της συγκεντρώσεως, εφόσον η ενέργεια μεταφοράς είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να τα μεταφέρει πιο πέρα. Εδώ βασίζεται και η έννοια του **επιπέδου ισορροπίας**, την οποία εισήγαγε ο Barrell (1917).

Επίπεδο ισορροπίας είναι το επίπεδο εκείνο, όπου δεν παρατηρείται ούτε συγκέντρωση ιζημάτων ούτε διάβρωση (Εικ.1.2). Πρόκειται για ένα υποθετικό επίπεδο στο ύψος που επικρατεί η προηγούμενη ισορροπία. Η θέση του επιπέδου ισορροπίας δεν υφίσταται διακυμάνσεις μόνον από τις μεταβολές, λόγω πλημμυρίδας και άμπωτης, αλλά είναι διαφορετική και για τις διάφορες εποχές του έτους και για τα διάφορα κλίματα και για τα διάφορα υλικά.



Εικ. 1.2 : Σχεδιαστικό στερεοδιάγραμμα που παρουσιάζει τη διάβρωση της χέρσου και τη μεταφορά των υλικών της διαβρώσεως από τα νερά, τους πάγους, τους ανέμους και την απόθεσή τους, είτε στις κοιλάδες και τις πεδιάδες, είτε μακρύτερα στις θαλάσσιες λεκάνες (Δερμιτζάκης, 1986)

Η ενέργεια του περιβάλλοντος είναι το ένα σκέλος της εξισώσεως, ενώ οι φυσικές ιδιότητες των ιζημάτων είναι το άλλο. Όλα αυτά έχουν σαν συνέπεια να συγκεντρώνεται, για παράδειγμα, άμμος σε μια περιοχή, ενώ σε άλλη να συγκεντρώνεται άργιλος. Η διεργασία αυτή αρχίζει από τη στιγμή κατά την οποία τα ιζήματα ενσωματώνονται στα ρεύματα ύδατος.

Τα ιζήματα, τα οποία συγκεντρώνονται σε ένα μέρος, αποτελούν το μέρος εκείνο της συνολικής μάζας των ιζημάτων, τα οποία δεν μπορούν να μεταφερθούν περαιτέρω.

Στις ηπειρωτικές κρηπίδες οι διακυμάνσεις του επιπέδου ισορροπίας συνοδεύουν διακυμάνσεις της πυκνότητας των ρευμάτων και του μήκους των κυμάτων. Η ελάττωση της ενέργειας των κυμάτων, όταν αυξάνεται το βάθος, είναι μάλλον ελάττωση του μήκους κύματος παρά ελάττωση της ισχύος τους. Φαίνεται λογικό να υποθέσουμε ότι πολύ λίγες περιοχές των ηπειρωτικών κρηπίδων παραμένουν διαρκώς κάτω από το χαμηλότερο επίπεδο ισορροπίας, εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις που γίνεται το αντίθετο και συμβαίνει μια φορά κάθε 100 ή 1000 χρόνια. Αν το σχήμα της ηπειρωτικής κρηπίδας και το επίπεδο στάθμης της θάλασσας παρέμεναν σταθερά, θα υπήρχε μια τάση να αποτεθούν τα ιζήματα ομαλά και σε λεπτά στρώματα πάνω από την κρηπίδα και να αποσφηνώνονται ομαλά προς τα βαθύτερα τμήματα.

Η αύξηση του βάθους του ύδατος όσο απομακρυνόμαστε από την ξηρά, και επομένως η ελαττούμενη ελάχιστη ή μέγιστη ενέργεια της επιφάνειας αποθέσεως θα προκαλούσε μια γενική επιλογή των κλαστικών υλικών από χονδρόκοκκα προς λεπτόκοκκα, από πυκνότερα προς αραιότερα, από σφαιρικά προς γωνιώδη, από την ακτή προς το ηπειρωτικό χείλος.

Τα γεωλογικά στοιχεία δεν δείχνουν παρά μόνο μια γενική τάση για να συμβεί αυτό. Επίσης δείχνουν μια τάση συγκεντρώσεως ιζημάτων σε ορισμένες περιοχές, ενώ αντίθετα δε συγκεντρώνονται σε άλλες. Επιπλέον υπάρχει και μια άλλη αντίδραση, η βύθιση των περιοχών αποθέσεως σε σχέση με το επίπεδο ισορροπίας.

Συγκέντρωση των ιζημάτων

Τα ιζήματα συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια περιόδων με ανερχόμενο επίπεδο ισορροπίας. Η διεργασία είναι τόσο προσθετική, όσο και αφαιρετική. Και μόνον τα ιζήματα που μένουν κάτω από τις διακυμάνσεις του επιπέδου ισορροπίας συγκεντρώνονται μόνιμα. Οι μικρές διακυμάνσεις δημιουργούν κενά, ενώ οι μεγάλες διακυμάνσεις δημιουργούν επιφάνειες ασυμφωνίας. Τα ιζήματα μιας στρωματογραφικής ακολουθίας μπορούν να αντιπροσωπεύουν μόνον ένα μικρό μέρος από το συνολικό χρόνο, που χρειάστηκε για την απόθεση τους.

Η ταπείνωση της επιφάνειας αποθέσεως (δηλαδή η επιφάνεια πάνω από την οποία μεταφέρονται τα ιζήματα) παρέχει τη δυνατότητα συγκεντρώσεως ιζημάτων, γιατί υπάρχει μια τάση ένα μέρος των ιζημάτων να βρεθεί κάτω από τη στάθμη διακυμάνσεων του επιπέδου ισορροπίας. Όσο ταχύτερη είναι η βύθιση, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό ιζημάτων, που συγκεντρώνονται μόνιμα. Στην πραγματικότητα η συγκέντρωση ιζημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως η διαφορά μεταξύ προσφερόμενων ιζημάτων και της ικανότητας του περιβάλλοντος ιζηματογένεσης να τα παρασύρει.

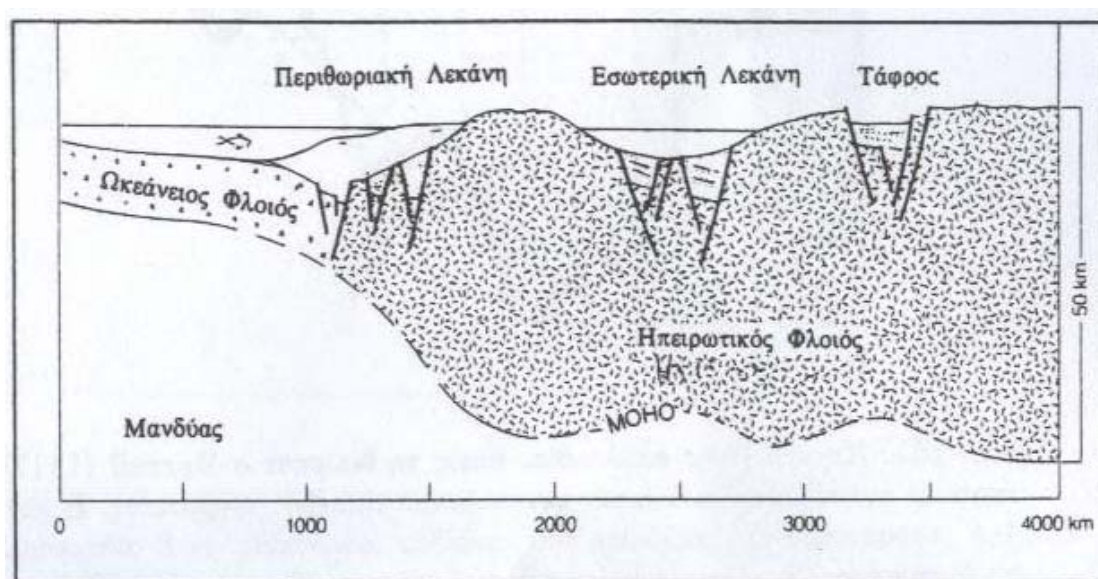
Οι ιζηματογενείς λεκάνες είναι περιοχές, που για ένα χρονικό διάστημα δέχονταν ποσότητες ιζημάτων που είχαν τη δυνατότητα να συγκρατήσουν μέρος ή και ολόκληρη την ποσότητα των ιζημάτων αυτών. Είναι σφάλμα να θεωρούμε τη συγκέντρωση των ιζημάτων ότι προέρχεται γενικώς από την απευθείας καθίζηση των εν αιωρήσει ιζημάτων.

Τα ιζήματα ανακατανέμονται στο θαλάσσιο πυθμένα και αυτό ισχύει ακόμη και για τις αργίλους και τα άλλα λεπτόκοκκα ιζήματα. Η άποψη, ότι οι διακυμάνσεις του επιπέδου ισορροπίας οδηγούν σε μια ασυνεχή συγκέντρωση ιζημάτων, συμφωνεί με την εδώ και καιρό υποστηριζόμενη άποψη, ότι ο μέγιστος ρυθμός καθαρής ιζηματογένεσης των μεγάλων γεωλογικών διαστημάτων (αιώνων, περιόδων) είναι πολύ πιο αργός, από ότι αναμένεται από τα ιζήματα καθ'εαυτά. Το μέγιστο του ρυθμού καθαρής συγκέντρωσης λαμβάνεται με διαίρεση της χρονικής περιόδου σε χρόνια με το γνωστό μέγιστο πάχος ιζημάτων συγκεντρώσεων για κάθε γεωλογικό αιώνα.

Η παροχή των ιζημάτων συχνά βρίσκεται εμφανώς σε ισορροπία με τη βύθιση, γιατί βρίσκουμε σημαντικά πάχη ιζημάτων σε συγκεκριμένο περιβάλλον. Η ισορροπία αυτή είναι μάλλον φαινομενική παρά πραγματική. Συνήθως λέγεται ότι ο ρυθμός της βυθίσεως είναι ίσος με το ρυθμό της συγκέντρωσης, πράγμα το οποίο δίνει την

εντύπωση μιας ισορροπίας. Ορθότερο και χρησιμότερο θα ήταν, αν λέγαμε, ότι ο ρυθμός της συγκέντρωσης είναι ίσος προς το ρυθμό της βύθισης. Η συγκέντρωση ενός σημαντικού πάχους πετρωμάτων της αυτής φάσεως δεν δείχνει απαραίτητα και σταθερότητα του φυσιογραφικού περιβάλλοντος στην περιοχή της ιζηματογενούς λεκάνης, γιατί τα υπερτιθέμενα ιζήματα απομακρύνονται.

Πρωταρχική αιτία των συγκεντρώσεων των ιζημάτων είναι η βύθιση, διότι διαφορετικά οι συγκεντρώσεις θα ήταν ευάλωτες στη μεταφορά και θα διασκορπίζονταν. Πρωταρχικής σημασίας για τη λιθολογία των ιζημάτων που συγκεντρώνονται είναι η περιοχή αποκομιδής τους και η ενέργεια του περιβάλλοντος της φυσιογραφικής λεκάνης (Εικ.1.3).



Εικ. 1.3 : Σχηματική τομή που παρουσιάζει την ανάπτυξη των ιζηματογενών λεκανών μεταξύ ηπειρωτικών περιοχών, υπερκείμενων στο ενδιάμεσο τμήμα μεταξύ ωκεάνιου και ηπειρωτικού φλοιού. Τα ιζήματα που πληρούν τις λεκάνες αυτές καθίστανται σταδιακά μεταμορφωμένα όσο αυξάνει το βάθος (Δερμιτζάκης, 1986)

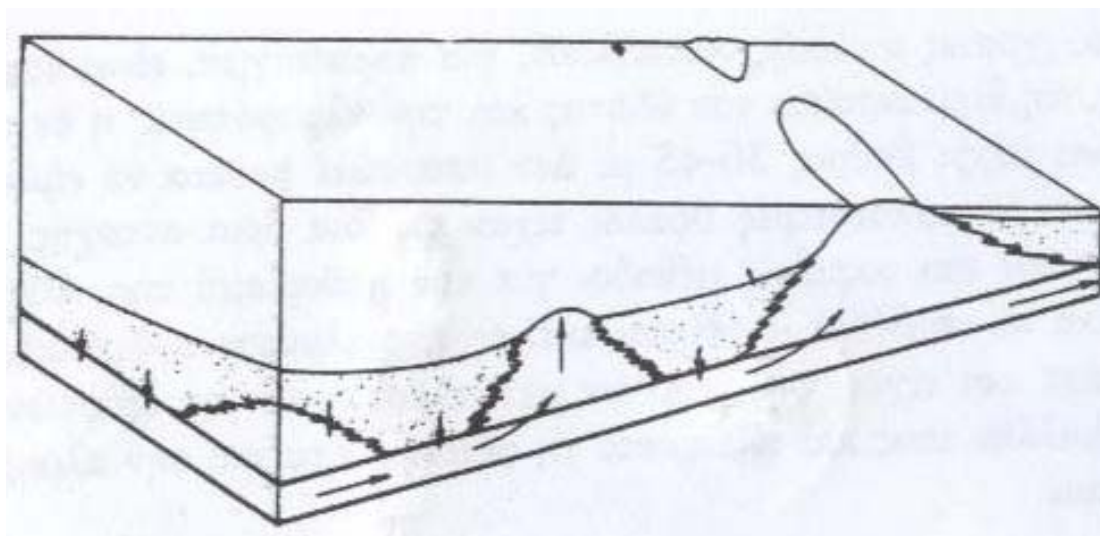
Η εξήγηση της πλευρικής συνέχειας μιας συγκεκριμένης λιθολογίας ή ενότητας πετρωμάτων απαιτεί υποθέσεις τόσο για το χώρο, όσο και για το χρόνο της συγκεντρώσεως. Μια λιθολογική ενότητα μπορεί να είναι ασυνεχής γιατί : α) τα ιζήματα δεν κατανέμονται σε μεγάλη επιφάνεια, β) κατανέμονται σε μεγάλη επιφάνεια, αλλά δε συγκεντρώνονται σε ολόκληρη την επιφάνεια, γ) κατανέμονται και συγκεντρώνονται σε μεγάλη επιφάνεια, αλλά η συγκέντρωση ήταν κατά τόπους παροδική, δηλαδή κατά τόπους παρασύρθηκαν και απομακρύνθηκαν λόγω μεταβολής της ενέργειας του περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, είναι φανερό, ότι τα όρια μιας λιθολογικής ενότητας δεν είναι απαραίτητα και περιθώρια του περιβάλλοντος αποθέσεώς της (Δερμιτζάκης, 1986).

Λιθολογικές ομάδες των ιζηματογενών λεκανών

Αν διακρίνουμε χονδρικά τα πετρώματα σε αργίλους / σχιστές αργίλους, άμμους / ψαμμίτες και ανθρακικά / εβαπορίτες, οι ιζηματογενείς λεκάνες συγκεντρώνουν μια από αυτές τις λιθολογικές ομάδες.

Οι ομάδες αυτές των πετρωμάτων αντικατοπτρίζουν την τάση των παρόμοιων λιθολογικών ιζημάτων να μεταφερθούν και να συγκεντρωθούν μέσα στις φυσιογραφικές λεκάνες.



Εικ. 1.4 : Στερεοδιάγραμμα που παρουσιάζει τις οδούς μεταναστεύσεως των ρευστών σε μια επικλυσιογενή ακολουθία με υφάλους (Δερμιτζάκης, 1986)

Με βάση τις επικλύσεις και τις αποσύρσεις, στις ιζηματογενείς λεκάνες εμφανίζονται σχέσεις μεταξύ επικλυσιογενών σειρών και ανθρακικών πετρωμάτων, μεταξύ σειρών αποσύρσεως και εβαποριτών και μεταξύ σειρών αποσύρσεως και άμμων/ ψαμμιτών. Το φαινόμενο των επικλυσιογενών υφάλων ή των υφάλων αποσύρσεως (Εικ.1.4) είναι πολύπλοκο και δεν είναι απαραίτητα συνδεδεμένο με τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας.

Το πολύπλοκο του φαινομένου οφείλεται στη φύση των βιογενών υφάλων. Ο γενικώς παραδεκτός ορισμός των υφάλων (Lonenstans, 1950) απαιτεί να περιέχουν οργανισμούς, οι οποίοι, όταν ζούσαν σε μεγάλες ομάδες, σχημάτιζαν με τα κελύφη των κατοικιών τους ανθεκτικές δομές στα κύματα. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι παράγοντες που καθορίζουν το σχήμα των υφάλων – αν θα είναι βιοστρωματικοί ή βιοερματικοί, αν θα είναι απομονωμένοι ή θα συνδέονται με άλλες φάσεις και πιθανόν εβαπορίτες – είναι η βιολογική οικοδομική ικανότητα των οργανισμών και η καταστροφική ικανότητα του περιβάλλοντος.

Ένας ύφαλος αποτελεί μια φάση της φυσιογραφικής λεκάνης. Άρα ένας ύφαλος, ο οποίος μετατίθεται ή μάλλον μεταναστεύει προς την πλευρά της ξηράς, είναι επικλυσιογενής, ενώ αντίθετα, αν μετατίθεται προς την πλευρά της θάλασσας, είναι ύφαλος αποσύρσεως. Μια άλλη θεώρηση είναι, ότι αν το πραγματικό πάχος μιας υφάλου υπερβαίνει το υποτιθέμενο βάθος αντοχής ενός ή περισσότερων υφαλογενετικών οργανισμών, τότε αυτή χαρακτηρίζεται σαν επικλυσιογενής, ακόμη και αν οι φάσεις δεν μετατίθενται.

Ταξινόμηση των ιζηματογενών λεκανών

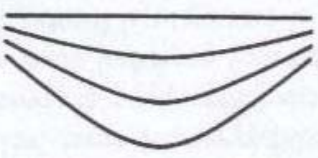
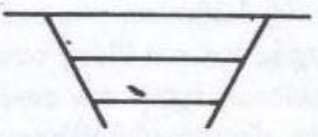
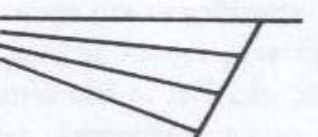
Οι ιζηματογενείς λεκάνες παρουσιάζουν μια τόσο μεγάλη ποικιλία, ώστε κάθε μία από αυτές να είναι θεωρητικώς μοναδική. Οι ηλικίες τους ποικίλλουν, το ίδιο και το μέγεθος των χρονικών διαστημάτων που καλύπτουν, καθώς και ο τύπος και ο

τρόπος κατανομής των ιζημάτων, τα οποία συγκεντρώνονται μέσα σε αυτές. Για να γίνει μια τέλεια ταξινόμηση απαιτούνται 2 διαφορετικές ταξινομήσεις, μία για τις φυσιογραφικές λεκάνες και μία για τη γεωμετρία των λεκανών ιζηματογένεσης.

Η φύση των ιζημάτων των ιζηματογενών λεκανών εξαρτάται *από το περιβάλλον της φυσιογραφικής λεκάνης* και από *τη θέση της ιζηματογενούς λεκάνης*, σε σχέση προς το περιβάλλον αυτό. Έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις, αλλά πολύ λίγες είναι ικανοποιητικές.

Γεωμετρία των ιζηματογενών λεκανών

Τις ιζηματογενείς λεκάνες μπορούμε να τις διακρίνουμε σε **συμμετρικές** και σε **ασύμμετρες** (Εικ.1.5). Αυτές μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε **αδιάρρηκτες** και **διερρηγμένες**. Αλλά πρέπει να σημειώσουμε ότι η φύση των περιθωρίων μιας ιζηματογενούς λεκάνης δεν είναι πάντοτε ευδιάκριτη, γιατί είτε διαταράσσονται από διάφορα γεωλογικά φαινόμενα, είτε είναι αδύνατον να τα παρατηρήσουμε. Οι ασύμμετρες λεκάνες έχουν μελετηθεί αναλυτικά και ονομάστηκαν semi-graben (ημι – τεφρογενετικά βυθίσματα) (Weeks, 1950), στην περίπτωση κατά την οποία η ασυμμετρία τους οφείλεται σε ρήγμα ή σύστημα ρηγμάτων. Όσον αφορά τις συμμετρικές λεκάνες, ο χαρακτηρισμός αφορά τη γεωμετρική συμμετρία της λεκάνης και όχι τη συμμετρική κατανομή των φάσεων μέσα σε αυτή.

	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΕΣ	ΑΣΥΜΜΕΤΡΕΣ
ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΜΗ ΡΗΓΓΙΣΤΕΣ		
ΡΗΓΓΙΣΤΕΣ		

Εικ. 1.5 : Απλή ταξινόμηση των ιζηματογενών λεκανών (Δερμιτζάκης, 1986)

Στην οριζοντιογραφία οι ιζηματογενείς λεκάνες μπορούν να είναι κυκλικές, ελλειπτικές, ή παραλληλόγραμμες (ασύμμετρες λεκάνες που έχουν μια εξαιρετικά ευθεία πλευρά). Το μέγεθος τους κυμαίνεται από λίγα χιλιόμετρα έως αρκετές εκατοντάδες μέτρα. **Τα γεωσύγκλινα μπορούν να θεωρηθούν ως ιδιαίτερες μορφές ιζηματογενών λεκανών, των οποίων το μήκος είναι εξαιρετικά μεγαλύτερο από το πλάτος τους και στις οποίες συγκεντρώνεται μεγάλο πάχος ιζημάτων και εκρηξιγενών πετρωμάτων** (Kay 1951, Kundig 1959).

Οι φυσιογραφικές λεκάνες μπορεί να είναι ανοικτές ή κλειστές, στεγανές ή όχι, ηπειρωτικές ή θαλάσσιες ή συνδυασμός όλων των παραπάνω.

Ο κόλπος του Μεξικού και το βόρειο τμήμα της ακτής της Βεγγάλης αποτελούν παραδείγματα ανοικτών λεκανών. Ο Εύξεινος Πόντος, η Βαλτική και η Μεσόγειος είναι κλειστές λεκάνες, και η περιοχή γύρω από τη λίμνη Eyre στη Ν.Αυστραλία είναι μια κλειστή ηπειρωτική λεκάνη. Το περιβάλλον των φυσιογραφικών λεκανών ποικίλλει ανάλογα με το κλίμα και τη γενική γεωγραφία και γεωλογία της περιοχής. Σημαντική σημασία για τη γεωλογία πετρελαίων έχει η εναλλαγή των περιβαλλόντων στη διάρκεια του χρόνου.

Σε γενικές γραμμές οι ιζηματογενείς λεκάνες συνήθως αρχίζουν με μια επικλυσιογενή φάση, κατά τη διάρκεια της οποίας ο ρυθμός της βυθίσεως υπερβαίνει το ρυθμό συγκεντρώσεως των ιζημάτων, και τελειώνουν με μια φάση αποσύρσεως, κατά τη διάρκεια της οποίας ο ρυθμός συγκεντρώσεως των ιζημάτων είναι μεγαλύτερος του ρυθμού βυθίσεως. Μερικές ιζηματογενείς λεκάνες παρουσιάζουν μόνον έναν απλό κύκλο συγκεντρώσεως των ιζημάτων, ενώ άλλες έχουν να επιδείξουν μια μακρύτερη και πολυπλοκότερη ιστορία.

1.2 Οι εβαπορίτες

Οι εβαπορίτες είναι μη κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα των οποίων τα συστατικά έχουν καταβυθιστεί κατά την εξάτμιση ενός υδατικού διαλύματος. Οι πλέον συνηθισμένοι εβαπορίτες είναι το αλάτι (ορυκτό αλίτης, NaCl), ο γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και ο ανυδρίτης (CaSO_4). Επίσης, ως άλλο ορισμό, θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για **κοιτάσματα που σχηματίστηκαν σε κλειστές θαλάσσιες δεξαμενές με εξάτμιση**, η οποία κάλυψε μακροχρόνια περίοδο ξηρού και ζεστού καιρού και είχε σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό χημικών ιζημάτων με μορφή γύψου, ανυδρίτη, ορυκτού αλατιού ή και καρναλλίτη.

Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η κρυστάλλωση, καθώς και οι συγκεντρώσεις των διαφόρων ιόντων του διαλύματος ρυθμίζουν το είδος των ουσιών που αποτίθενται. Για παράδειγμα, καθαρά διαλύματα που περιέχουν ιόντα ασβεστίου και θειικά ιόντα θα αποθέσουν γύψο κάτω από τους 42°C και ανυδρίτη πάνω από αυτή τη θερμοκρασία. Η παρουσία πολύ μικρών ποσοτήτων χλωριούχου νατρίου (NaCl) ελαττώνει σημαντικά αυτή τη θερμοκρασία. Ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους σχηματισμού ενός εβαπορίτη, είναι με την εξάτμιση μιας ποσότητας αλμυρού νερού που είχε εγκλειστεί σε μια κοιλότητα.

Οι εβαπορίτες αυτού του είδους αρχίζουν να σχηματίζονται όταν το θαλασσινό νερό συμπυκνώνεται έως το 50% του αρχικού του όγκου και τα ορυκτά αποτίθενται με αντίστροφη σειρά διαλυτοτήτων (π.χ το λιγότερο διαλυτό, καθιζάνει πρώτο).

Γένεση Εβαποριτών

Η πρώτη βασική συνθήκη για το σχηματισμό εβαποριτών είναι η απομόνωση της λεκάνης ιζηματογένεσης. Η απομόνωση αυτή μπορεί να είναι είτε πλήρης, όπως συμβαίνει στο εσωτερικό των ηπείρων σε λιμναία συστήματα, είτε μερική, όπως συμβαίνει στην περιθωριακή ζώνη θαλάσσιων συστημάτων. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση υπάρχει πάντα ένας διάυλος επικοινωνίας της εβαποριτικής λεκάνης με την ανοικτή θάλασσα, μέσω του οποίου γίνεται η εισροή θαλασσινού νερού στο

επιφανειακό στρώμα ή και η εκροή πυκνού νερού από την εβαποριτική λεκάνη προς τη θάλασσα στο βαθύτερο στρώμα.

Η **δεύτερη συνθήκη** για το σχηματισμό εβαποριτών είναι το **κλίμα**, το οποίο **σχετίζεται με τον εφοδιασμό της εβαποριτικής λεκάνης με νερό και υλικά**. Κλίμα ξηρό ή ημίξηρο το οποίο χαρακτηρίζεται από μικρό ύψος κατακρημνισμάτων και έντονη εξάτμιση, είναι το καταλληλότερο για το σχηματισμό εβαποριτών.

Ο λόγος που αρχίζει η **απόθεση εβαποριτών** στη λεκάνη ιζηματογένεσης, είναι η **αύξηση της συγκέντρωσης των εν διαλύσει ιόντων**, η οποία γίνεται σταδιακά και αποτελεί μια αργή διαδικασία.

Ακολουθεί, η σειρά της ιζηματογένεσης : **1. Υδροξείδια (Fe,Al), 2. Ασβεστίτης, 3. Δολομίτης, 4. Γύψος – Ανυδρίτης, 5. Ρυθμοί γύψου και ανυδρίτη, 6. Αλίτης, 7. Άλατα μαγνησίου.**

Συνήθως η ιζηματογένεση, φθάνει μέχρι την ρυθμική απόθεση γύψου και ανυδρίτη και σε εναλλαγές με ασβεστίτη, δολομίτη ή αργιλικά ορυκτά. Πολύ συχνά η ιζηματογένεση φθάνει μέχρι την απόθεση αλίτη, ο οποίος αποτίθεται σε στρώσεις και σε εναλλαγές με γύψο, ανυδρίτη και κλαστικά υλικά. Κατά την εξάτμιση του θαλασσινού νερού σχηματίζεται αρχικά γύψος, όταν ο όγκος του νερού φθάνει στο 30% του αρχικού, ανυδρίτης όταν ο όγκος του νερού φθάνει στο 14% του αρχικού, αλίτης (10%) και άλατα καλίου και μαγνησίου (5%). Στην πραγματικότητα πιστεύεται ότι ο ανυδρίτης δεν μπορεί να σχηματιστεί πρωτογενώς. Όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές σχηματίζεται γύψος και δευτερογενώς σχηματίζεται ανυδρίτης κατά τη διαγένεση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι περισσότερα από 80 ορυκτά έχουν αναγνωριστεί σε εβαποριτικά κοιτάσματα θαλάσσιας προέλευσης. Αυτά είναι κυρίως ανθρακικά, σουλφίδια και χλωρικά, με μερικά βορικά, πυριτικά κ.α. Εβαπορίτες που δε σχηματίστηκαν σε θαλάσσιο περιβάλλον γενικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία ορυκτών, από εκείνους που αποτίθενται σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Τέλος, μια θεωρία για την απόθεση των εβαποριτών διατυπώθηκε για να εξηγήσει τα παχιά εβαποριτικά αποθέματα που συναντάμε σε ορισμένες περιοχές. Βασικότερο σημείο αυτής της θεωρίας είναι η ύπαρξη ενός εμποδίου που δεν επιτρέπει την ελεύθερη κυκλοφορία μεταξύ των νερών ανοικτής θάλασσας και μιας λιμνοθάλασσας. **Εντούτοις υπάρχει κυκλοφορία από το θαλάσσιο προς το λιμναίο περιβάλλον ώστε να αναπληρώνεται εν μέρει, το εξατμιζόμενο νερό.** Παρακάτω ακολουθεί εκτενής περιγραφή των μοντέλων σχηματισμού εβαποριτικών κοιτασμάτων.

Οι εβαπορίτες **αποτελούν παλαιογεωγραφικούς δείκτες** με μεγάλη σημασία, όμως εκτός από αυτή την ιδιότητα οι εβαπορίτες έχουν και πιθανή παλαιοκλιματολογική σημασία. Παρατηρούνται σε κάθε γεωλογικό σύστημα, αρχίζοντας από το Κάμβριο, περίπου 570.000.000 χρόνια πριν.

Είναι παντού εξαπλωμένοι, παρατηρούνται σε κάθε ήπειρο, με έναν βαθμιαίο περιορισμό προς τον Ισημερινό. Αυτό το γεγονός συνδυασμένο με την ανάγκη για υψηλούς βαθμούς εξάτμισης έχει οδηγήσει πολλούς μελετητές να πιστεύουν ότι οι

εβαπορίτες είναι καλοί δείκτες παλαιοκλίματος. **Η εμφάνιση τους επισημαίνει την ύπαρξη ενός γενικά ξηρού κλίματος κατά τη διάρκεια σχηματισμού τους.**

Ανάλογα με τις μορφές εβαποριτικών λεκανών έχουν προταθεί 2 μοντέλα εβαποριτικής ιζηματογένεσης (Hsu, 1972) :

Στο πρώτο μοντέλο (Α), η εβαποριτική λεκάνη είναι κλειστή. Καθώς η υδάτινη επιφάνεια συρρικνώνεται προς το κέντρο της λεκάνης, αποτίθεται στον πυθμένα σειρά εβαποριτών. Έτσι τα κατώτερα στρώματα (υδροξείδια, ασβεστίτης, δολομίτης έχουν μεγάλη έκταση, ενώ τα ανώτερα στρώματα (γύψος, ανυδρίτης, αλίτης) περιορίζονται στην κεντρική ζώνη της λεκάνης.

Στο δεύτερο μοντέλο (Β), η επικοινωνία με την ανοικτή θάλασσα επιτρέπει στην εβαποριτίωση να φθάσει μέχρι το σχηματισμό ασβεστίτη-δολομίτη στην περιοχή εσωτερικά του διαύλου επικοινωνίας, ενώ προς την εσωτερική πλευρά της λεκάνης, αποτίθεται η γύψος με τον ανυδρίτη και προς την πλευρά της ξηράς αποτίθεται ο αλίτης. Υπάρχει λοιπόν χαρακτηριστική ζώνωση των προϊόντων της εβαποριτίωσης.

Αυτά τα 2 μοντέλα γένεσης εβαποριτών, σε συνδυασμό με 4 βασικά **περιβάλλοντα δημιουργίας**, που περιγράφονται παρακάτω έχουν δημιουργήσει όλους τους εβαπορίτες του πλανήτη μας. Αυτά τα περιβάλλοντα είναι : **1. Μη θαλάσσια περιβάλλοντα, 2. Ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα, 3. Περιβάλλον βαθιάς λεκάνης, 4. Περιβάλλον υδάτινων στρωμάτων.**

1. Μη θαλάσσια περιβάλλοντα :

Απόθεση εβαποριτών σε μη θαλάσσια περιβάλλοντα παρατηρείται σε κλειστές λίμνες που βρίσκονται σε ξηρές περιοχές. Τέτοιες λίμνες σχηματίζονται σε κλειστές εσωτερικές λεκάνες ή ρηχά σημεία κατάπτωσης στο έδαφος από όπου η απορροή της υδάτινης μάζας δεν φτάνει στη θάλασσα. Αν τα νερά είναι ρηχά ο όρος PLAYA ή **λίμνη τύπου PLAYA** χρησιμοποιείται συχνά.

Για την υδάτινη εισροή σε κλειστές λίμνες συντελεί κυρίως η βροχόπτωση και η επιφανειακή απορροή και τα δύο εκ των οποίων είναι μικρά σε όγκο και συχνότητα σε ξηρές περιοχές. Επίσης μικρό ποσοστό στον όγκο ύδατος σε μια κλειστή λίμνη προσθέτει η ροή του υπόγειου νερού. **Ωστόσο σε αυτές τις κλιματικές συνθήκες οι ρυθμοί εξάτμισης είναι πάντα μεγαλύτεροι από τους ρυθμούς εισροής λόγω επιφανειακής απορροής ή βροχόπτωσης. Η αλμυρότητα αυτών των λιμνών είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή των θαλασσών.**

Επίσης η σύσταση του νερού των λιμνών αυτών εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη σύσταση των πετρωμάτων που βρίσκεται η λίμνη και από τη σύσταση των πετρωμάτων που διασχίζουν τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, σε αντίθεση με το νερό της θάλασσας που έχει σε μεγάλο βαθμό σταθερή σύσταση. Η αλμυρότητα σε κλειστές λίμνες επηρεάζεται πολύ συχνά αλλά για μικρό χρονικό διάστημα από τις βροχοπτώσεις οδηγώντας έτσι σε επαναδιαλυτοποίηση των αποθεμάτων εβαποριτικών ορυκτών και επαναπόθεσή τους. Η ακολουθία απόθεσης των εβαποριτικών ορυκτών σε αυτό το περιβάλλον ξεκινά με απόθεση ανθρακικού

ασβεστίου, ακολούθως γύψου και ανυδρίτη, αλίτη και σε τελικό στάδιο θεικού μαγνησίου και χλωριούχου καλίου. (Σαραντοπούλου & Τούντα, 1991).

2. Ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα :

Απόθεση εβαποριτών σε ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα παρατηρείται ιδιαίτερα κατά μήκος των περιθωρίων ημιαποκλεισμένων υδάτινων σωμάτων όπως η Ερυθρά Θάλασσα και ο Περσικός Κόλπος. Ο περιορισμός του υδάτινου όγκου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την απόθεση εβαποριτών, γιατί ελεύθερη και απεριορίστη ανάμιξη των υδάτων με την ανοικτή θάλασσα θα οδηγούσε σε εξισορρόπηση του υψηλού ρυθμού εξάτμισης των ξηρών περιοχών και θα επανέφερε την αλμυρότητα σε κανονικά επίπεδα. Ένα από τα **τρία στοιχεία που συνθέτουν τα ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα** που συνδέονται με απόθεση εβαποριτών είναι οι **κλειστές λιμνοθάλασσες**. Το **δεύτερο είναι το επίπεδο των φυκών**, μια μεσοπαλιρροιακή ζώνη κοντά στο υψηλότερο σημείο της στάθμης του νερού και το **τρίτο στοιχείο είναι το παραλιακό επίπεδο αλάτων ή SABKHA**, μια υπερπαλιρροιακή ζώνη όπου η επίδραση του νερού της θάλασσας είναι περιστασιακή. Η περιοχή αυτή λειτουργεί ως παγίδα σε ανθρακικά ιζήματα και τείνει να τα διατηρεί ως ξεχωριστά στρώματα σε κατακόρυφες ιζηματογενείς σειρές. (Σαραντοπούλου & Τούντα, 1991).

3. Περιβάλλον βαθιάς λεκάνης

Όπως σε όλα τα μοντέλα απόθεσης εβαποριτών, έτσι και στο μοντέλο της βαθιάς λεκάνης, είναι απαραίτητη προϋπόθεση ο ρυθμός εξάτμισης να υπερβαίνει τον ρυθμό εισροής νερού από βροχόπτωση, επιφανειακή ή υπεδάφικη ροή καθώς και την εισροή νερού από την ανοικτή θάλασσα. **Η κύρια μορφολογική αναγκαιότητα είναι η ύπαρξη ενός φραγμού για να εμποδίζεται η ελεύθερη και απεριορίστη ανάμιξη του νερού της λεκάνης με αυτό της ανοιχτής θάλασσας**. Αυτό το μοντέλο είναι όμοιο με αυτό της Μεσογείου, με τα περισσότερα Νορβηγικά φιόρδ και την Ερυθρά Θάλασσα (Σαραντοπούλου & Τούντα, 1991).

4. Περιβάλλον υδάτινων στρωμάτων

Σε μερικές περιπτώσεις, έχουμε τη συσσώρευση εβαποριτών χωρίς εμφανείς ενδείξεις ξηρού κλίματος. Επειδή η ύπαρξη στρωμάτων πυκνότητας υπάρχει σε κάποια μορφή σε όλες τις λίμνες και θάλασσες, ένα απλό υδάτινο σύστημα δύο στρωμάτων έχει προταθεί ως βασικό μοντέλο στο σχηματισμό του παραπάνω είδους εβαποριτών. **Βασικά το σύστημα αποτελείται από ένα στρώμα αλμυρού νερού, που υπόκειται ενός αραιού σχετικά στρώματος νερού και χωρίζεται από αυτό από μια πυκνογραμμή, ένα όριο κατά μήκος του οποίου η διάχυση των αλάτων είναι αργή**.

Το μοντέλο αυτό δικαιολογείται και από τα προηγούμενα μοντέλα που αναφέρονται σε στρώματα νερού διαφορετικής πυκνότητας και αλατότητας. Τα κυριότερα σημεία της θεωρίας των στρωμάτων είναι δύο. Πρώτον το αλμόλοιπο, κάτω από την πυκνογραμμή, διατηρείται από την εισροή αλμυρού νερού από ολόκληρη την περιοχή διοχέτευσης. Δεύτερον, για να υπάρξει καθίζηση εβαποριτών πρέπει το αλμόλοιπο να υφίσταται περιστασιακά επιφανειακή εξάτμιση (Σαραντοπούλου & Τούντα, 1991).

Διαγένεση Εβαποριτών

Οι εβαπορίτες σύμφωνα με τις αλλαγές που έχουν υποστεί στην πρωτογενή τους δομή και σύσταση, μπορούν να διαχωριστούν ως ακολούθως :

Πρωτογενείς εβαπορίτες. Σχηματίζονται από αλμόλοιπα λόγω εξάτμισης σε κανονικές θερμοκρασίες.

Δευτερογενείς εβαπορίτες. Αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των παλιών εβαποριτικών αποθέσεων και διαχωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:

1. Υποεπιφανειακή απόθεση αλάτων ελάχιστου βάθους. Η αιτία δημιουργίας τους εξακολουθεί να είναι η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (Sabkha κόνδυλοι).
2. Εβαπορίτες που έχουν επηρεαστεί από την διαγένεση. Τα αρχικά εβαποριτικά ορυκτά αντικαθίστανται μερικώς από άλλες ορυκτολογικές φάσεις.
3. Υποεπιφανειακή εβαποριτική απόθεση με την μορφή συγκολλητικής ύλης ή αντικατάστασης μη εβαποριτικών υλικών.

Τριτογενείς εβαπορίτες. Σχηματίζονται κατά την άνοδο των δευτερογενών εβαποριτών που είχαν βρεθεί σε μεγάλα βάθη, οπότε έρχονται σε επαφή με αλμόλοιπα που είναι εμπλουτισμένα με διαλελυμένο υλικό από την διάλυση προϋπαρχόντων εβαποριτικών στρώσεων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στις ζώνες φρεατίας κυκλοφορίας των ρευστών (phreatic circulation zone). Οι εβαπορίτες αυτοί έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές στην δομή τους, καταστρέφοντας σχεδόν εξ' ολοκλήρου τα πρωτογενή χαρακτηριστικά τους.

Οι πρωτογενείς εβαποριτικές αποθέσεις υφίστανται έντονες διεργασίες διαγένεσης. Η μορφή της διαγένεσης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το καθεστώς ροής που επικρατεί στα διάφορα βάθη.

Αυτά τα καθεστώτα είναι τα ακόλουθα:

1. Ροή στην ενεργή φρεατική ζώνη του μετεωρικού νερού ή του αλμόλοιπου μέσα ή κάτω από τις εβαποριτικές αποθέσεις.
2. Ροή λόγω συμπίεσης που καθορίζεται από την αποβολή νερού από τους πόρους των ιζημάτων.
3. Θερμοβαρυντική ροή που προκαλείται από τις διαφορετικές πιέσεις και τροφοδοτείται από την αφυδάτωση των εβαποριτικών και αργιλικών ορυκτών.
4. Ρευστά πόρων στη ζώνη μεταμόρφωσης ($T > 200^{\circ}\text{C}$).

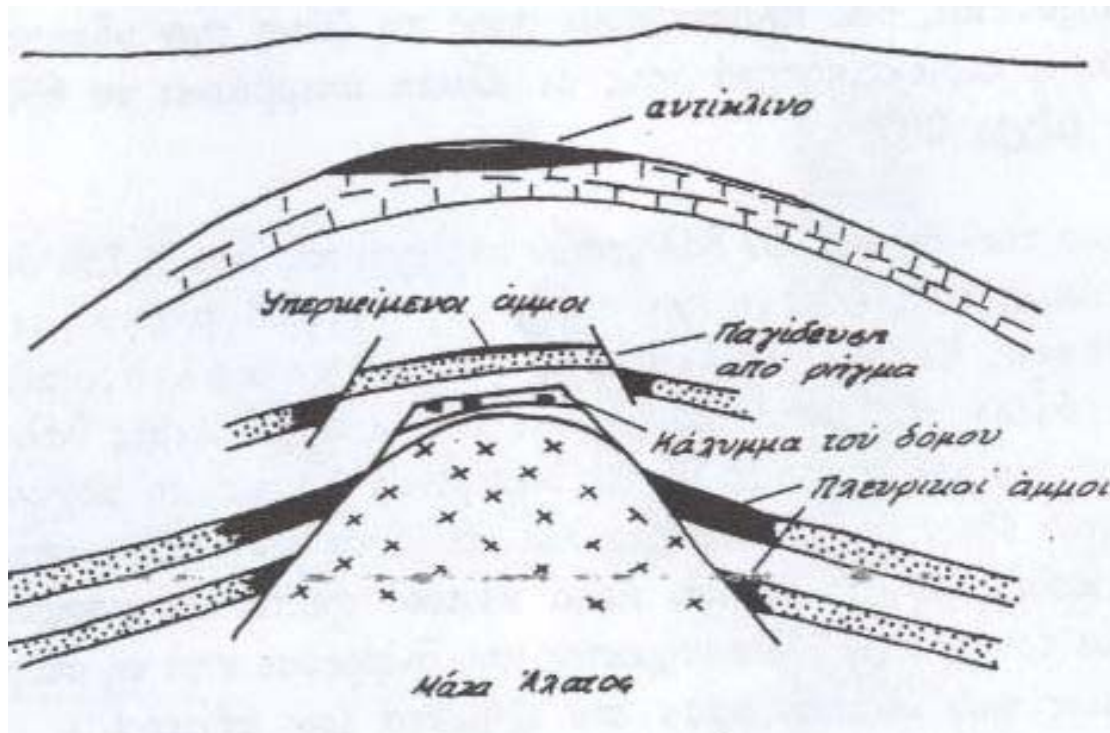
Οι διεργασίες που σχετίζονται με την δημιουργία, καταστροφή ή αντικατάσταση των πρωτογενών ορυκτών είναι οι ακόλουθες :

1. Συγκόλληση.

2. Υποεπιφανειακή διάλυση.
3. Μεταβολή των φάσεων των ορυκτών και αποβολή νερού (Warren J., 1999).

1.3 Δόμοι άλατος

Πολλά κοιτάσματα πετρελαίου βρίσκονται κοντά σε συγκεντρώσεις ορυκτού άλατος (Εικ.1.6). Οι δόμοι άλατος αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία γεωλογικών μορφών και λόγω τούτου κρίνουμε σκόπιμο να ασχοληθούμε με τα πεδία πετρελαίου, στα οποία απαντούν τέτοιου είδους δόμοι.



Εικ. 1.6 : Πιθανοί τρόποι παγιδεύσεως και διατηρήσεως υδρογονανθράκων από την παρουσία δόμου άλατος ή τη δημιουργία διαπειρικών φαινομένων (Δερμιτζάκης, 1986)

Σε πολλά πεδία ανά τον κόσμο ανευρίσκονται στηλοειδείς μάζες άλατος. Υπάρχουν όμως και πολλές περιοχές, όπου αν και απαντώνται κοιτάσματα ορυκτού άλατος, δεν υπάρχουν συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων. **Από τα παραπάνω, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι η σχέση του άλατος με τους πετρελαιοφόρους ορίζοντες ή τα στρώματα είναι τεκτονική, δηλαδή ο σχηματισμός του ενός δε σχετίζεται απαραίτητα με το σχηματισμό του άλλου.**

Οι δόμοι άλατος μπορεί να υποβοηθήσουν στη συγκέντρωση πετρελαίου με τους ακόλουθους τρόπους :

- 1) Οι μάζες άλατος μπορεί να «φράξουν» πλευρικά έναν ορίζοντα, κατά μήκος του οποίου λαμβάνει χώρα μετανάστευση πετρελαίου.
- 2) **Η διείσδυση του άλατος μέσα στα στρώματα (διαπειρισμός)** μπορεί να προκαλέσει την κάμψη των υπερκειμένων ιζημάτων, με αποτέλεσμα το

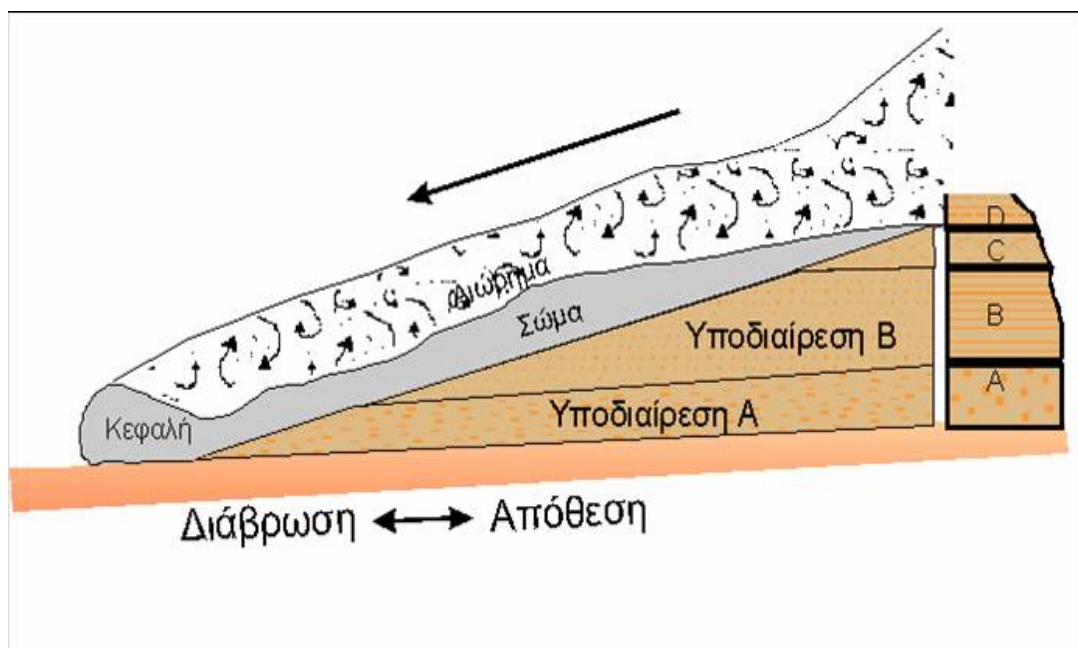
σχηματισμό ενός δευτερογενούς αντικλίνου, στον αυχένα του οποίου θα λάβει χώρα συγκέντρωση πετρελαίου κατά τη μετανάστευση.

- 3) Τα στρώματα που βρίσκονται στις πλευρές της στήλης του άλατος είναι διαταραγμένα και διερρηγμένα, αυτά δε τα ρήγματα μπορούν να χρησιμεύσουν ως δίοδοι για τη μετανάστευση του πετρελαίου από βαθύτερα στρώματα προς αβαθή στρώματα αποθηκείσεως.
- 4) Τα στρώματα αποθηκείσεως μπορεί να αποσφηνωθούν, εξαιτίας της ανοδικής κινήσεως των μαζών του άλατος, και για αυτό το λόγο να αποτελέσουν παγίδες.
- 5) Τα πορώδη και διαπερατά πετρώματα που αποτελούν τις οροφές των δόμων μπορεί να αποθηκεύσουν πετρέλαιο.

Επειδή πολύπλοκοι τύποι παγίδων συνδέονται με τους δόμους άλατος, μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι παγίδες αποτελούν γεωλογικές μορφές, που δύσκολα μπορούν να εξεταστούν λεπτομερώς για την ανεύρεση όλων των πιθανών συγκεντρώσεων πετρελαίου και αερίων.

1.4 Τουρβιδίτες

Οι αποθέσεις μέσω των τουρβιδιτικών ρευμάτων ονομάζονται τουρβιδίτες και είναι ευρέως διεσπαρμένοι σε πολλά περιβάλλοντα βαθιάς θάλασσας δομώντας ακολουθίες με πάχη που φθάνουν την τάξη των χιλιομέτρων. Κάθε τουρβιδιτικό στρώμα κυμαίνεται σε πάχος από μερικά χιλιοστά έως και αρκετά μέτρα, ενώ το κοκκομετρικό μέγεθος ποικίλλει από άργιλο, ιλύ μέχρι χάλικες. Καθένα από τα στρώματα παρουσιάζει μία ευδιάκριτη ακολουθία εσωτερικών ιζηματολογικών δομών. Πλήρεις ακολουθίες σπάνια απαντώνται και η πιο κοινή περίπτωση είναι να απουσιάζει το ανώτερο ή το κατώτερο στρώμα.



Εικ. 1.7 : Τουρβιδιτικό ρεύμα στο οποίο διακρίνονται η κεφαλή, το σώμα και η ουρά του ρεύματος

Η κανονική διαβάθμιση είναι κοινό χαρακτηριστικό των στρωμάτων αν και αντίστροφη διαβάθμιση ή μεικτή διαβάθμιση είναι δυνατόν να εμφανίζονται. Συνήθως το πιο χονδρόκοκκο στρώμα βρίσκεται κάτω και βαθμιαία μεταβαίνει σε λεπτά ιλυώδη στρώματα (Βακαλάς, 2003).

Τέσσερις τύποι τουρβιδιτών μπορούν να διαχωριστούν κατά τον G. Einsele:

1. Χονδρόκοκκοι τουρβιδίτες οι οποίοι συχνά εμφανίζονται σε γειτονικές περιοχές σε σχέση με την πηγή των ιζημάτων. Προέρχονται από υψηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα τα οποία μεταφέρουν χαλίκια και χονδρόκοκκα υλικά.

Στις αποθέσεις αυτές είναι κοινά τα διαβρωτικά σημάδια στο πάνω τμήμα της στρώσης από μεταγενέστερα τουρβιδιτικά ρεύματα τα οποία οδηγούν στο σχηματισμό διαδοχικών στρώσεων τουρβιδιτών. Η υψηλή ταχύτητα των χονδρόκοκκων τουρβιδιτικών ρευμάτων τους δίνει την ικανότητα να διαβρώνουν τις αμμώδεις και χαλκώδεις στρώσεις στη βάση του καναλιού αφήνοντας έτσι ίχνη όπως δομές φλάουτου (Morris et al., 1998). Η μετατροπή μιας μη συνεκτικής δεβριτικής ροής σε ένα υψηλής πυκνότητας τουρβιδιτικό ρεύμα, μπορεί να λάβει χώρα σε μικρό χρονικό διάστημα καθώς η ροή κινείται (Falk & Dorsey, 1998).

2. Μεσόκοκκοι αμμώδεις τουρβιδίτες οι οποίοι είναι το αποτέλεσμα της απόθεσης τουρβιδιτικών ρευμάτων μέσης πυκνότητας. Η τελική στρώση είναι διαβαθμισμένη από την βάση προς την κορυφή αλλά η διαβάθμιση μπορεί να είναι ακαθόριστη εάν η πηγή τροφοδοσίας δεν παρέχει υλικό ποικίλης κοκκομετρίας. Εξαιτίας της προσρόφησης διαβρωμένης υποθαλάσσιας λάσπης στη ροή, το ποσοστό των αυτοχθόνων οργανισμών (πλαγκτόν) συχνά αυξάνεται προς την κορυφή της τουρβιδιτικής στρώσης. Ένας κλασικός μεσόκοκκος τουρβιδίτης παρουσιάζει την ακόλουθη διαδοχή ιζηματολογικών δομών η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Bouma (1962), από τη κορυφή προς τη βάση :

Μη δομημένες και ακαθόριστες στρώσεις λάσπης (Bouma T_e), προερχόμενη αποκλειστικά από αιωρούμενα ιζήματα.

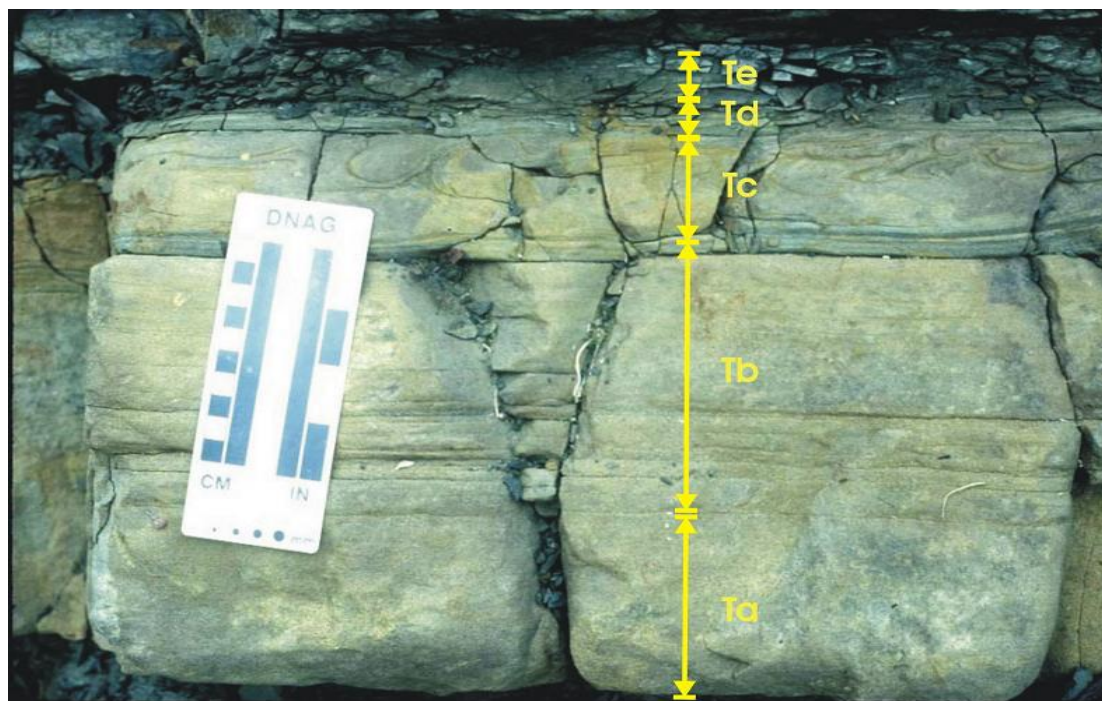
Φυλλοειδής λάσπη (Bouma T_d). Το τμήμα αυτό δείχνει τη μετάβαση από τη διαδικασία απόθεσης μέσω «συρσίματος» στην απόθεση μέσω αιώρησης (κατά Walker, 1965 από Einsele 2000). Παρατηρούνται ελασματώσεις πηλινών και ψαμμιτών, ενώ στη βάση του εμφανίζεται κοκκομετρική διαβάθμιση.

Στρώσεις άμμου που παρουσιάζουν κυματισμό (Bouma T_c) εξαιτίας της πτώσης της άμμου από την αιώρηση και του συρσίματος της ροής στην κατώτερη της περιοχή. Όπου η κατακρήμνιση είναι ραγδαία εμφανίζεται «αναρριχώμενη» (climbing) ρυτίδωση και διασταυρούμενη ελασματώση (ripple-cross lamination). Σε αυτό το τμήμα μπορεί επίσης να περιλαμβάνεται περιελιγμένη ελασματώση (convolute lamination), πιστοποιώντας φαινόμενα βραχύβιας ρευστοποίησης.

Επίπεδα στρωματοποιημένη άμμος (Bouma T_b).

Διαβαθμισμένη στρωμάτωση (Bouma T_a), κυρίως μη δομημένη, συχνά με δομές διαφυγής νερού. Αποτελεί το κατώτερο τμήμα, στερείται ελασματώσης, ενώ μπορεί να εμφανίζει διαβάθμιση. Το ίζημα κατέφθασε στο στρώμα τόσο γρήγορα ώστε να μην είναι εφικτή η επεξεργασία του.

Αυτό έχει ως συνέπεια την απουσία στρωμάτωσης ή ελασμάτωσης. Η ραγδαία απόθεση οδηγεί επίσης σε ασταθή αρχική τοποθέτηση των κόκκων, με συνέπεια να ακολουθούν φαινόμενα ρευστοποίησης, όπως μαρτυρούν στυλοειδείς και δισκοειδείς δομές διαφυγής του νερού. Ένα δεύτερο ενδεχόμενο είναι η εμφάνιση μιας σταθερής ροής διαμέσου της οποίας η άμμος συνεχώς συσσωρευόταν, βοηθούμενη και από την παρουσία κάποιου εμποδίου στον πυθμένα.



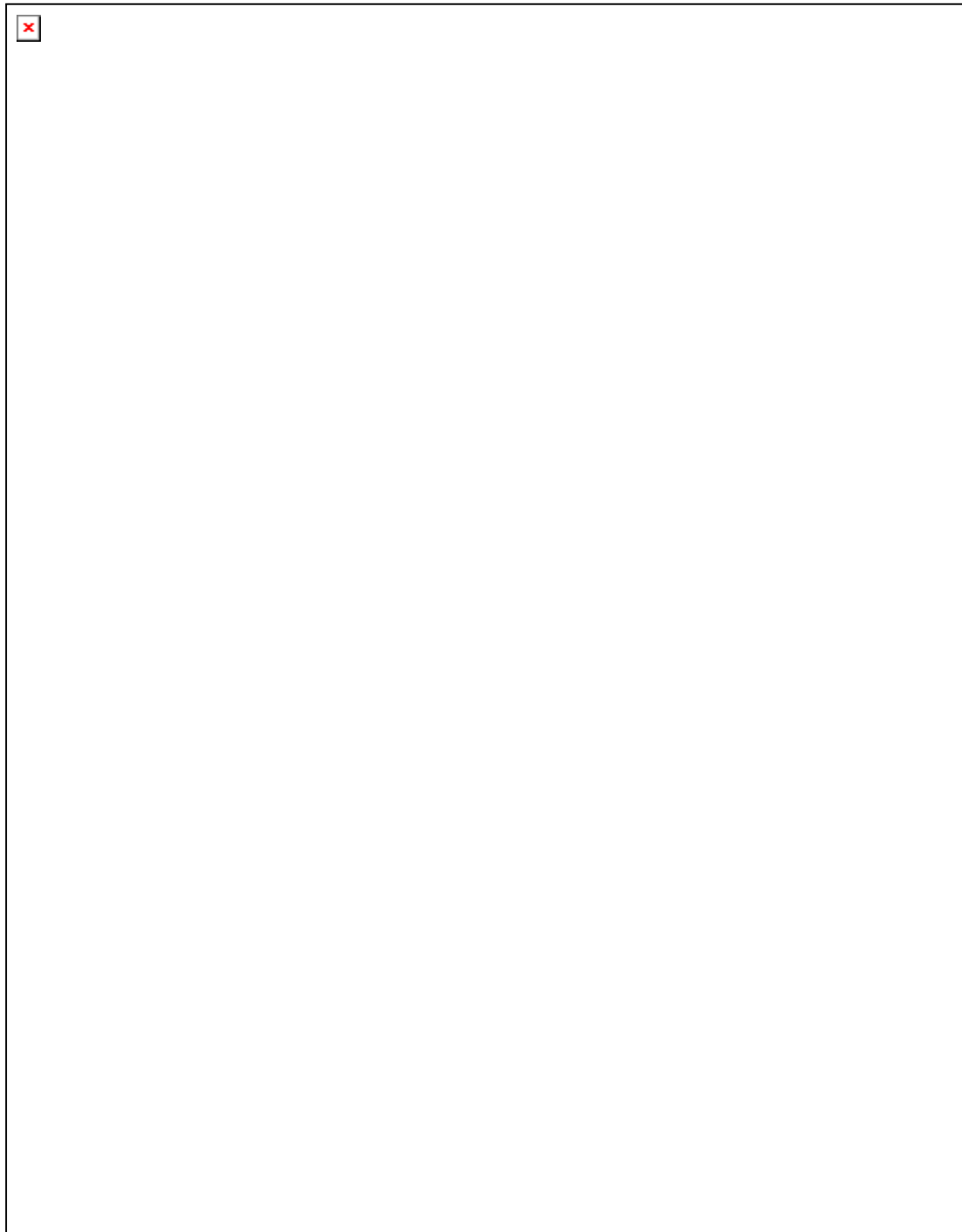
Εικ. 1.8 : Χαρακτηριστική εμφάνιση της πλήρους ακολουθίας Bouma.

3. Ανθρακικοί τουρβιδίτες (οι οποίοι ονομάζονται επίσης ασβεστοτουρβιδίτες ή αλλοδαπικοί ασβεστόλιθοι, calciturbidites ή allodapic limestones; κατά Meischner 1964 από Einsele 2000). Αποτελούνται κυρίως από σκελετικό υλικό που παράγεται σε ανθρακικές στρώσεις. Άφθονο υλικό από κελύφη, αποσαθρωμένα κοράλλια και διάφοροι τύποι ανθρακούχων υλικών που παρέχουν μεσόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά. Έτσι οι ανθρακικοί τουρβιδίτες μπορούν να εναλλάσσονται με ανθρακικά λατυποπαγή πετρώματα και άμμους που προέρχονται από την ίδια πηγή τροφοδοσίας (Einsele, 2000).

4. Λασπώδεις τουρβιδίτες. Είναι ένας κοινός τύπος τουρβιδιτών ο οποίος συχνά παραβλέπεται, αν και εμφανίζεται σε πολλά υποθαλάσσια ριπίδια και σε πολλές λεκάνες, παλιότερες και σύγχρονες.

Οι λασπώδεις τουρβιδίτες μπορούν να θεωρηθούν είτε σαν το τελικό τμήμα μιας βαρυτικής ροής μάζας που έχει χάσει το χονδρόκοκκο υλικό της (Chough 1984; Stanley 1985), ή προέρχονται αποκλειστικά από πηγές αμμωδών ιζημάτων. Επιπρόσθετα με τις βαρυτικές κινήσεις, μεγάλα ποτάμια ρεύματα ή λασπώδη ιζήματα που παρασύρονται από κάποια θύελλα σε ρηχές θάλασσες μπορούν να συνεισφέρουν στο σχηματισμό λασπωδών τουρβιδιτών. Επειδή αυτές οι στρώσεις είναι αποθέσεις από χαμηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα, είναι συνήθως λεπτές.

Τα πιο χαρακτηριστικά γνωρίσματα των λασπωδών τουρβιδιτών είναι οι ακανόνιστες επαφές με το υπόστρωμα, εσωτερική κανονική διαβάθμιση ανταποκρινόμενη στις κατηγορίες Bouma T_d και T_e . Κάποιοι λασπώδεις τουρβιδίτες μπορεί να παρουσιάζουν ένα λεπτό στρώμα άμμου στη βάση τους. Σε περιβάλλοντα με περίσσεια οξυγόνου, η κορυφή των λασπωδών τουρβιδιτών είναι βιοαναμοχλευμένη.



Εικ. 1.9 : Περιβάλλοντα απόθεσης στα οποία εμφανίζονται μεγάλης κλίμακας βαρυτικές ροές ιζημάτων και τουρβιδίτες. α. Ηπειρωτικές μάζες με ενεργά ρήγματα. β. Περιοχές σε ηφαιστειακά τόξα. γ. Υποθαλάσσια ριπίδια που τροφοδοτούνται από πηγές πλούσιες σε ανθρακικό υλικό (G. Einsele, 2000)

Πολλοί από τους διάφορους τύπους των τουρβιδιτών παρουσιάζουν ενδείξεις ιχνών απολιθωμάτων, που σχετίζονται με αποθέσεις πριν το κύριο γεγονός απόθεσης, πελαγικών και ημιπελαγικών ιζημάτων και αποθέσεων μετά το κύριο γεγονός απόθεσης πάνω στο μόλις αποτιθέμενο στρώμα του τουρβιδίτη.

Τα αυλάκια που ανοίγονται από την διαβρωτική δύναμη των τουρβιδιτικών ρευμάτων γεμίζονται αμέσως με ιζήματα που αποκόπτονται από το εξασθενούμενο τουρβιδιτικό ρεύμα. Αυτά τα ιχνοαπολιθώματα διατηρούνται στη βάση του τουρβιδίτη δίπλα σε δομές που προέρχονται από την διάβρωση του ρεύματος (δομές φλάουτου) ή ανάμεσα στα αποτυπώματα διαφόρων αντικειμένων τα οποία έχουν παρασυρθεί από το ρεύμα. Τα επαναδομημένα ίχνη απολιθωμάτων θάβονται μέσα στους τουρβιδίτες.

Όλοι οι τύποι των τουρβιδιτών μπορεί να περιέχουν βιογενετικούς ανθρακικούς ή πυριτικούς σχηματισμούς οι οποίοι προέρχονται από περιβάλλοντα αβαθών νερών. Αν αποτεθούν κάτω από το βάθος σταθερότητας του ασβεστίτη (calcite compensation depth, CCD) όπου τα ήδη υπάρχοντα ιζήματα είναι φτωχά ή δεν περιέχουν καθόλου ανθρακικά υλικά, το γεγονός της απόθεσης παράγει εναλλασσόμενα στρώματα από τα οποία άλλα περιέχουν ανθρακικό υλικό και άλλα όχι. Έτσι, σε συγκεκριμένους λασπώδεις τουρβιδίτες μπορεί να σχηματιστούν εναλλασσόμενες ακολουθίες. Ομοίως, λασπώδεις τουρβιδίτες που περιέχουν υψηλά ποσοστά οργανικού υλικού από την πηγή της τροφοδοσίας τους μπορούν να εναλλάσσονται με ιζήματα που προέρχονται από μεγάλο βάθος και είναι φτωχά σε οργανικό υλικό (Einsele, 2000).

1.4.2 Τουρβιδιτικές φάσεις

Το 1972 οι Mutti & Ricci Lucchi, οι οποίοι εργάζονταν σε τουρβιδιτικές αποθέσεις της Β.Ιταλίας και της Β.Ισπανίας, εισήγαγαν ένα σύστημα ταξινόμησης των αποθέσεων των κλαστικών ιζημάτων βαθέων υδάτων, το οποίο διαχωρίζει τις αποθέσεις αυτές σε επτά κατηγορίες (Α-Γ). Το σύστημα αυτό, στο οποίο περιλαμβάνονται και οι υποδιαίρεσεις της ακολουθίας Bouma, βασίζεται σε περιγραφικά κριτήρια όπως το κοκκομετρικό μέγεθος των στρωμάτων, το πάχος και η γεωμετρία τους, καθώς και οι εσωτερικές τους δομές.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε φάσης του ταξινομικού σχήματος των Mutti & Ricci Lucchi (1972) συνοψίζονται παρακάτω :

Φάση Α : Πολύ Παχυστρωματώδεις, πολύ χονδρόκοκκες αποθέσεις.

Υποφάση A1 : Οργανωμένα κροκαλοπαγή, κροκαλώδεις ψαμμίτες και ψαμμίτες

Υποφάση A2 : Ανοργάνωτα κροκαλοπαγή, κροκαλώδης ιλύς

Φάση Β : Παχυστρωματώδεις, χονδρόκοκκες αποθέσεις

Υποφάση B1 : Στρώματα με σχετικά καλή πλευρική συνέχεια, 30-200εκ. πάχος

Υποφάση B2 : Φακοειδή, με αποσφήνωση στρώματα, ρυτιδώσεις και θίνες στην οροφή, πάχος 20-50εκ.

Φάση Γ : Πλήρης ακολουθία Bouma με κοκκομετρική διαβάθμιση στρωμάτων

Υποφάση C1 : Χονδρόκοκκοι έως λεπτόκοκκοι άμμοι

Υποφάση C2 : Μεσόκοκκοι έως λεπτόκοκκοι άμμοι.

Η φάση αυτή αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικές αποθέσεις πλησίον της πηγής τροφοδοσίας (proximal).

Φάση D : Στρώματα στα οποία απουσιάζει η βάση της ακολουθίας Bouma

Υποφάση D1 : Tb – e, Tc – e, Tde, αναλογία $\psi : \pi > 1$, 3 – 40 εκ. πάχος

Υποφάση D2 : Tb – e, Tc – e, Tde, αναλογία $\psi : \pi < 1$, 30 – 150 εκ. πάχος

Υποφάση D3 : Te ιλυόλιθος μόνο, 3-200εκ πάχος

Η φάση αυτή αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικές αποθέσεις σε απομακρυσμένες θέσεις από την πηγή τροφοδοσίας (distal).

Φάση E : Λεπτοστρωματώδεις μέσο – χονδρόκοκοι ψαμμίτες με ασυνεχή τμήματα ιλυόλιθου, υψηλή αναλογία $\psi:\pi$, ακανόνιστη γεωμετρία αδιαβάθμιστα, υψηλής γωνίας διασταυρούμενη στρώση, επίπεδες οροφές, 3 – 20 εκ. πάχος. Απόθεση από διαδικασίες «συρσίματος», υπολειμματικές αποθέσεις.

Φάση F : Χαοτικές αποθέσεις προερχόμενες από υποθαλάσσιες κατολισθήσεις.

Φάση G : Pellets από ημιπελαγική και πελαγική απόθεση.

1.5 Προϋποθέσεις δημιουργίας συγκεντρώσεων πετρελαίου

Αν και είναι συνηθισμένη η εμφάνιση μικρών ποσοτήτων υδρογονανθράκων στην υγρή στερεή ή αέρια κατάσταση τους, εντούτοις η ανεύρεση σημαντικών συγκεντρώσεων είναι σχετικά σπάνια. Η εκμετάλλευση σε ένα πεδίο πετρελαίου αρχίζει μόνον, όταν είμαστε βέβαιοι, ότι η συγκέντρωση υδρογονανθράκων που ανακαλύφθηκε μπορεί να παράσχει ποσότητες φυσικών αερίων ή πετρελαίου, ικανές να υπερκαλύψουν το κόστος των γεωτρήσεων, της αντλήσεως, της επεξεργασίας και της διακινήσεώς τους. Θα ήταν ιδανικό, εάν καλύπτονται και οι δαπάνες που γίνονται για την έρευνα, καθώς επίσης και για την εξαγορά των πάσης φύσεως προνομίων και δικαιωμάτων, αλλά αυτό δε συμβαίνει παρά μόνο σε ορισμένες κατηγορίες πεδίων πετρελαίου. Είναι πάντως αναγκαίο, τα έσοδα που προέρχονται από την πώληση των προϊόντων ενός πεδίου να υπερβαίνουν κατά πολύ τις δαπάνες που αφορούν την ανάπτυξη του.

Οι παράγοντες που καθορίζουν κατά πόσο είναι εμπορεύσιμη μια συγκέντρωση υδρογονανθράκων, είναι τεχνικής, οικονομικής και πολιτικής φύσεως. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται : το βάθος και η οικονομική θέση της συγκεντρώσεως, η γειτονία της με άλλες, η ποσότητα και η ποιότητα των προϊόντων τα οποία μπορεί να παράσχει, το κόστος των γεωτρήσεων, της αντλήσεως και της διακινήσεως των υδρογονανθράκων, η εκάστοτε τιμή του πετρελαίου και των συγγενών προς αυτό υλικών, οι όροι των πάσης φύσεως διαπραγματεύσεων και τέλος η πολιτική τοποθέτηση και η πολιτική σταθερότητα της περιοχής στην οποία ανήκει. Αξίζει να παρατηρήσει κάποιος ότι αρκετοί από τους παραπάνω παράγοντες είναι επιδεκτικοί ταχέων μεταβολών.

Όπως συμπεραίνεται από τα παραπάνω, ένα πεδίο πετρελαίου χαρακτηρίζεται «εμπορεύσιμο», όταν η αναμενόμενη απόδοση του δικαιολογεί, με τις εκάστοτε συνθήκες, τις δαπάνες εκμεταλλεύσεώς του.

Η ύπαρξη μιας συγκεντρώσεως υδρογονανθράκων προϋποθέτει την παρουσία ορισμένων τύπων πετρωμάτων, που είναι κατάλληλα διατεταγμένα και που έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες.

Τέτοια είναι : τα «στρώματα αποθηκεύσεως», τα «στρώματα οροφής» και τα «στρώματα δαπέδου». Οι δυο τελευταίοι τύποι πετρωμάτων μπορεί να υπήρξαν και τα «στρώματα γενέσεως» του πετρελαίου, δηλαδή τα στρώματα μέσα στα οποία έλαβα χώρα η δημιουργία των υδρογονανθράκων.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες των στρωμάτων αποθηκεύσεως, είναι το **πορώδες** και η **διαπερατότητα**. Το πορώδες παρέχει το χώρο που απαιτείται για τη συγκέντρωση των υγρών και αέριων συστατικών του πετρελαίου, ενώ η διαπερατότητα είναι απαραίτητη για να επιτρέπεται η κίνηση όλων των ρευστών φάσεων μέσα στη μάζα ενός τέτοιου στρώματος – πράγμα που επιτρέπει και την άντλησή τους. Ο αποθηκευτικός χώρος των στρωμάτων αυτής της κατηγορίας παρέχεται, κατά κύριο λόγο, από τα πολύ μικρά κενά (πόρους) που παρεμβάλλονται μεταξύ των κόκκων τους.

Όμως, δεν πρέπει να αγνοούνται και τα κενά του εσωτερικού των απολιθωμάτων ή τα κενά που οφείλονται στη διάλυση, στις ορυκτολογικές μετατροπές, καθώς και στη θραύση των πετρωμάτων. Ποσοτικά, **το πορώδες εκφράζεται ως ο λόγος του συνολικού όγκου των κενών προς τον όγκο του πετρώματος**. Συνήθως η τιμή του πορώδους δίνεται με τη μορφή ποσοστού. Το πορώδες των στρωμάτων αποθηκεύσεως κυμαίνεται μεταξύ 5% και 30%.

Οι παραπάνω έννοιες του **πορώδους** και της **διαπερατότητας**, **διασαφηνίζονται περαιτέρω σε επόμενη υποενότητα.**

Είναι ευνόητο ότι όλα τα διαπερατά πετρώματα είναι πορώδη, όλα όμως τα πορώδη πετρώματα δεν είναι απαραίτητα και διαπερατά. Δεν υπάρχει συνεπώς ποσοτική σχέση μεταξύ πορώδους και διαπερατότητας. Όλα τα ανοίγματα ενός πετρώματος που επικοινωνούν μεταξύ τους του προσδίδουν τη διαπερατότητα και το ενεργό πορώδες, ενώ το ολικό πορώδες του πετρώματος παρέχεται από το σύνολο των ανοιγμάτων του, είτε επικοινωνούν, είτε όχι.

Τα χονδρόκοκκα ιζηματογενή πετρώματα αποτελούν και τα τυπικότερα στρώματα αποθηκεύσεως, και αυτό γιατί οι ευρείς πόροι τους παρέχουν αρκετό χώρο για τη συγκέντρωση των υγρών και των αερίων συστατικών του πετρελαίου. Οι άμμοι, οι ψαμμίτες, καθώς και τα διάφορα είδη ασβεστολίθων είναι οι συνηθέστερα απαντώμενοι τύποι, ορισμένοι μάλιστα από τους ασβεστόλιθους παρουσιάζουν μεγάλες ανωμαλίες ως προς την κατανομή του πορώδους και της διαπερατότητας τους. Όλες οι διαρρήξεις, παρόλο ότι δε συνεισφέρουν πολύ στο πορώδες των πετρωμάτων, συμβάλλουν πάρα πολύ στη διακίνηση των ρευστών μέσα στη μάζα των πετρωμάτων.

Ασβεστόλιθοι με μικρότατους πόρους και χαμηλό πορώδες μπορούν να αποτελέσουν ικανοποιητικά στρώματα αποθηκεύσεως, όταν φέρουν διακλάσεις ή διαρρήξεις οποιουδήποτε τύπου. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ρευστά που εξέρχονται από τους πόρους είναι εύκολο να κινηθούν κατά μήκος των ρηξιγενών επιφανειών και να συγκεντρωθούν μέσα στα φρέατα των γεωτρήσεων. Οι διαρρήξεις μπορούν να καταστήσουν ικανά για τη συγκέντρωση υδρογονανθράκων ακόμη και τα πλέον ακατάλληλα στρώματα. Για παράδειγμα, οι διερρηγμένοι σχιστόλιθοι, που αποτελούν και το σπανιότερο τύπο στρωμάτων αποθηκεύσεως, οφείλουν την αποθηκευτική τους ικανότητα σε τέτοιου είδους δευτερογενή ανοίγματα.

Τα **στρώματα οροφής (cap rocks)** βρίσκονται πάνω από τα στρώματα αποθηκείσεως και, εξαιτίας της στεγανότητας τους, εμποδίζουν την προς τα πάνω διαφυγή των υδρογονανθράκων. Είναι λεπτόκοκκα στρώματα και εξαιτίας τούτου φέρουν μικρούς πόρους. Η διαπερατότητα τους είναι χαμηλή, αλλά αυτό δεν θα ήταν αρκετό για να αποτραπεί η διαφυγή του πετρελαίου που θα ελάμβανε χώρα έστω και με πολύ αργό ρυθμό.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των στρωμάτων της κατηγορίας αυτής είναι η πολύ υψηλή τριχοειδής πίεση, σε αντίθεση με τη χαμηλή τριχοειδή πίεση των στρωμάτων αποθηκείσεως.

Η ιδιότητα αυτή αποκλείει, κάτω από ορισμένες συνθήκες, την είσοδο των ρευστών που δε διαβρέχουν, όπως το πετρέλαιο και τα φυσικά αέρια, μέσα στους πόρους των πετρωμάτων οροφής που πληρώθηκαν με νερό. Η τριχοειδής πίεση εξαρτάται από τη διάμετρο των πόρων και από την ενδοφασική τάση που αναπτύσσεται μεταξύ του ύδατος και των υγρών ή αέριων συστατικών του πετρελαίου. Συγκεκριμένα, είναι ανάλογη της ενδοφασικής τάσεως και αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου των πόρων.

Όταν το ύψος μιας στήλης πετρελαίου ή αερίων δεν υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή, τότε το πετρέλαιο ή τα αέρια δεν εισέρχονται μέσα στα πετρώματα οροφής. Η κρίσιμη τιμή του ύψους εξαρτάται από τη διαφορά πυκνοτήτων ύδατος και υδρογονανθράκων, την ενδοφασική τάση και από το μέγεθος των πόρων τόσο του στρώματος της οροφής, όσο και του στρώματος αποθηκείσεως.

Είναι ευνοϊκό για ένα στρώμα οροφής να έχει πλαστικότητα, γιατί τότε είναι δύσκολη η δημιουργία διαρρήξεων, όταν αυτό υποστεί πιέσεις. Οι άργιλοι, οι σχιστόλιθοι, στρώματα ορυκτού άλατος, γύψου και ανυδρίτη είναι οι τύποι πετρωμάτων οροφής που απαντώνται συνήθως. Οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι μπορεί πολλές φορές να διαδραματίσουν ρόλο τέτοιων πετρωμάτων οροφής.

Τα «**στρώματα δαπέδου**» βρίσκονται κάτω από τα στρώματα αποθηκείσεως. Η στεγανότητα τους τα καθιστά χρήσιμα μόνο στις περιπτώσεις, στις οποίες οι υδρογονάνθρακες καταλαμβάνουν ολόκληρο το χώρο, από την οροφή έως το δάπεδο των στρωμάτων αποθηκείσεως. Είναι ευνόητο, ότι τα στρώματα δαπέδου, πρέπει να έχουν ιδιότητες παρόμοιες με εκείνες των στρωμάτων οροφής, δηλαδή δεν πρέπει να επιτρέπουν τη διόδo των υδρογονανθράκων.

Όταν ένα στρώμα αποθηκείσεως αποκαλυφθεί λόγω διαβρώσεως, λαμβάνει χώρα εξάτμιση των πτητικών συστατικών του αργού πετρελαίου, που ακολουθείται από ταυτόχρονη απόθεση ασφαλικών υλικών επί του αποκαλυφθέντος τμήματος. Η απόθεση αυτή έχει σαν συνέπεια το σχηματισμό ενός αδιαπέρατου προστατευτικού στρώματος, που δρα τοπικά ως στρώμα οροφής.

Μέσα σε αυτό το στρώμα αποθηκείσεως τα διάφορα ρευστά είναι κατανεμημένα κατακόρυφα με βάση τις πυκνότητές τους. Τα φυσικά αέρια βρίσκονται πάνω από το αλατούχο νερό (όταν δεν υπάρχει αργό πετρέλαιο), ή πάνω από ένα μίγμα αερίων-πετρελαίου που με τη σειρά του βρίσκεται πάνω στο στρώμα του αλατούχου ύδατος. Η κατανομή γίνεται κατά ζώνες, στις οποίες οι πόροι του πετρώματος κατά το μεγαλύτερο μέρος τους είναι γεμάτοι με φυσικά αέρια ή μίγμα αργού πετρελαίου-

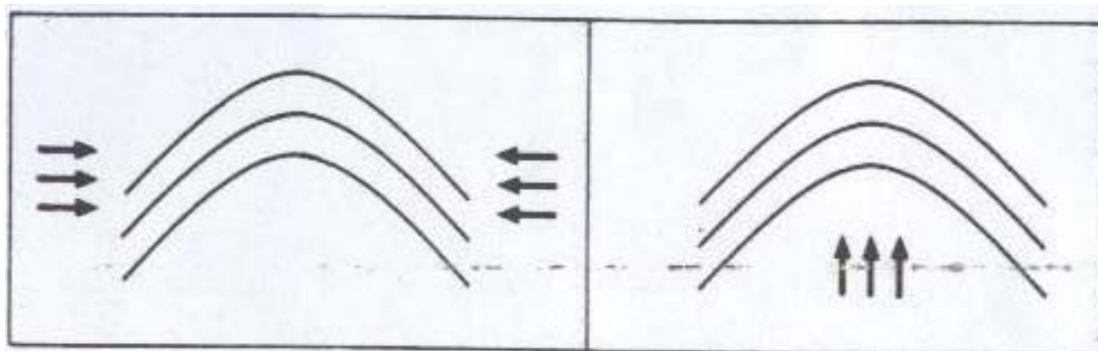
αερίων και κατά 10% περίπου με νερό. Το νερό αυτό ονομάζεται «ρωγμικό ύδωρ» και δεν φτάνει μέχρι τα φρέατα των γεωτρήσεων κατά την άντληση. Τα περισσότερα στρώματα αποθηκεύσεως είναι διαβρεγμένα με νερό, όμως ο υμένας που σχηματίζεται από αυτό είναι πολύ μικρών διαστάσεων και επομένως δεν καταλαμβάνει παρά ένα μικρό μέρος από το χώρο των πόρων. Πάντως το μεγαλύτερο μέρος του «ρωγμικού ύδατος» βρίσκεται με τη μορφή δακτυλίων γύρω από τις επαφές των κόκκων ή γεμίζει πόρους με εξαιρετικά μικρές διαστάσεις.

Η ζώνη των φυσικών αερίων δεν διαχωρίζεται απότομα από τη ζώνη του πετρελαίου, αλλά μεταξύ τους παρεμβάλλεται μια μεταβατική ζώνη. Το ίδιο παρατηρείται και μεταξύ των ζωνών του ύδατος και των φυσικών αερίων ή μεταξύ ύδατος και πετρελαίου. Το πάχος των ζωνών μεταβάσεως εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων, τις ενδοφασικές τάσεις και τις διαφορές πυκνοτήτων μεταξύ των ρευστών καθενός ζεύγους. Οι ζώνες μεταβάσεως είναι οριζόντιες μόνον, όταν δεν παρατηρείται ροή του ύδατος και όταν δεν υπάρχουν, πλευρικά, σημαντικές μεταβολές του μεγέθους των πόρων.

Η διαλυτότητα των φυσικών αερίων μέσα στο αργό πετρέλαιο εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία, καθώς και από τη σύσταση τόσο των αερίων, όσο και του πετρελαίου. Η αύξηση της πιέσεως αυξάνει τη διαλυτότητα, ενώ ή αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει τη μείωση της. Τα αέρια είναι περισσότερο διαλυτά μέσα στο ελαφρό πετρέλαιο, παρά μέσα στο βαρύ. Όμως το μεθάνιο διαλύεται δυσκολότερα από ότι τα υψηλότερα μέρη των παραφινών.

Για να σχηματιστεί μια συγκέντρωση υδρογονανθράκων, πρέπει να υπάρχει μια «παγίδα», δηλαδή η επαφή μεταξύ στρώματος αποθηκεύσεως και στρώματος οροφής πρέπει να έχει ένα ορισμένο σχήμα, κατάλληλο για την παγίδευση των υδρογονανθράκων. Συγκεκριμένα η επαφή αυτή πρέπει να είναι κυρτή προς τα πάνω (Εικ.1.10), με εξαίρεση τις περιπτώσεις, στις οποίες αντί στρώματος οροφής υπάρχει στρώμα από ασφαλτο ή υδροδυναμική παγίδευση.

Το καταλληλότερο γνωστό σχήμα είναι ο δόμος, αλλά υπάρχει και ένας αριθμός άλλων διατάξεων των πετρωμάτων που βασικά ισοδυναμούν με τους δόμους. Οι πτυχώσεις, οι διαρρήξεις, τα διάφορα χαρακτηριστικά της αποθέσεως, καθώς και οι συνδυασμοί όλων αυτών, μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό παγίδων. Η μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα μιας παγίδας καθορίζεται από την κατακόρυφη στεγανότητά της. Δηλαδή την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του υψηλότερου σημείου της και του σημείου διαφυγής του πετρελαίου, που ορίζεται ως το σημείο από το οποίο είναι δυνατόν να διαφύγουν οι υδρογονάνθρακες, είτε για να μεταναστεύσουν προς μία άλλη παγίδα, είτε για να βρουν διέξοδο προς την επιφάνεια. Προκειμένου περί πτυχωσιγενών παγίδων, το σημείο διαφυγής βρίσκεται στο χαμηλότερο τμήμα του αντικλίνου (Εικ.1.11). Όταν όμως πρόκειται περί ρηξιγενών παγίδων, το σημείο διαφυγής βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της ρηξιγενούς επαφής του πετρελαιοφόρου ορίζοντα και ενός άλλου στρώματος, που τυχόν έχει ιδιότητες στρώματος αποθηκεύσεως.



Εικ. 1.10 : Εναλλακτικές υποθέσεις που παρουσιάζουν τη διεύθυνση των παραμορφωτικών τάσεων για τη δημιουργία ενός αντικλίνου

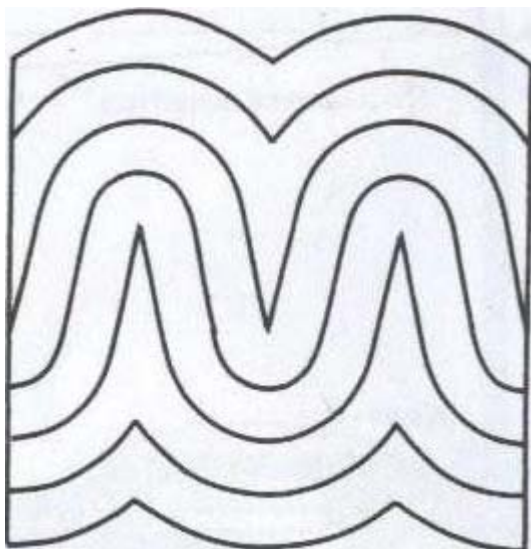
Η ηλικία των συγκεντρώσεων πετρελαίου κυμαίνεται από το Προκάμβριο έως το Πλειο – Πλειστόκαινο. Όμως οι περισσότερες από αυτές ανευρίσκονται μέσα σε Τριτογενή και Μεσοζωικά στρώματα. Σημειωτέον, ότι οι ηλικίες των συγκεντρώσεων μπορεί να είναι κατά πολύ διάφορες των ηλικιών των στρωμάτων αποθηκεύσεώς τους.

Το πάχος τόσο των στρωμάτων αποθηκεύσεως, όσο και των ζωνών του πετρελαίου ή των αερίων, κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως χιλιάδες μέτρα. Ένα πεδίο πετρελαίου μπορεί να συνίσταται από ένα ή και περισσότερα στρώματα αποθηκεύσεως.

Γνωρίζουμε περιπτώσεις κατά τις οποίες στρώματα αποθηκεύσεως εναλλάσσονται κατακόρυφα και κατά πυκνά διαστήματα με στρώματα μη διαπερατά από το πετρέλαιο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, και όταν τα στρώματα αποθηκεύσεως έχουν ένα λογικό πάχος και είναι σαφώς διακεκριμένα μεταξύ τους, είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε φρέατα τροφοδοτούμενα από ένα, δύο ή και σπανιότερα τρία από αυτά.

Η εμφάνιση ομοιογενών στρωμάτων αποθηκεύσεως είναι κάτι το σπάνιο. Συνηθέστερα τα στρώματα αυτά παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια ως προς το πορώδες και τη διαπερατότητα τους.

Η παρεμβολή αργιλικών συστατικών, οι επιφάνειες στρώσεως και η πλήρωση των ρηγμάτων με αδιαπέρατα υλικά μπορούν να διαιρέσουν τα στρώματα σε μικρότερες ενότητες με διάφορες ιδιότητες. Στις ακραίες περιπτώσεις η διαίρεση αυτή των στρωμάτων αποθηκεύσεως μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό «υπο-συγκεντρώσεων», δηλαδή δημιουργία μικρότερων και αυτοτελών συγκεντρώσεων μέσα στο ίδιο πέτρωμα. Πολλά από τα ασβεστολιθικά αποθηκευτικά στρώματα μπορεί να παρουσιάζουν μια πρόσθετη δευτερογενή διαπερατότητα στα ανώτερα τμήματά τους, που οφείλεται στη διάβρωση, ενώ οι ψαμμίτες μπορούν να υποστούν τοπικές διαφοροποιήσεις, λόγω τοπικής διαγενέσεως.



Εικ. 1.11 : Σχεδιαστική παράσταση παράλληλων πτυχώσεων που μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην παγίδευση του πετρελαίου σε αντικλινικές δομές που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος (Δερμιτζάκης, 1986)

Το βάθος που ανακαλύφθηκαν οι πρώτες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων ήταν της τάξεως των μερικών εκατοντάδων ή το πολύ 2 ή 3 χιλιάδων ποδιών. Έκτοτε το μέσο βάθος που φθάνουν οι γεωτρήσεις αυξήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου φθάνοντας τα σημερινά βάθη, δηλαδή αρκετά χιλιόμετρα πολλές φορές και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Το συνηθισμένο βάθος των συγκεντρώσεων υδρογονανθράκων κυμαίνεται από 2.000 – 10.000 πόδια. Έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο, οι συγκεντρώσεις αερίων υδρογονανθράκων να βρίσκονται κατά μέσο όρο σε μεγαλύτερα βάθη από ότι οι συγκεντρώσεις του πετρελαίου.

Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας του βάθους που συγκεντρώνονται οι υδρογονάνθρακες, παρατηρείται και ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και πιέσεων που επικρατούν στις συγκεντρώσεις.

Έχουν παρατηρηθεί πιέσεις της τάξεως των 14.625 psi (σε βάθος 4.876 – 4.882 μέτρων) και θερμοκρασίες μέχρι 271°C (σε βάθος 7.315μ.). Εντούτοις η συνηθισμένη θερμοκρασία των συγκεντρώσεων είναι χαμηλότερη των 107°C. Η παρουσία πορφυρινών μέσα στο αργό πετρέλαιο μαρτυρεί ότι ουδέποτε στο παρελθόν ξεπέρασε η θερμοκρασία τους 198°C. (Δερμιτζάκης, 1986).

1.6 Γενικά χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα – ιδιότητες που ενδιαφέρουν σε ένα ταμιευτήρα

Απαραίτητες προϋποθέσεις για την ύπαρξη μιας εμπορικά εκμεταλλεύσιμης συγκέντρωσης υγρών ή και αερίων υδρογονανθράκων είναι η ύπαρξη 1) ενός ώριμου μητρικού πετρώματος (source rock), 2) ενός πετρώματος που θα φιλοξενήσει το πετρέλαιο, δηλαδή ενός πετρώματος-ταμιευτήρα, 3) ενός διαύλου μετανάστευσης μεταξύ του μητρικού πετρώματος και του ταμιευτήρα και τέλος 4) ενός αδιαπέρατου στεγανού στρώματος (cap rock), υπεράνω του ταμιευτήρα, το οποίο και εμποδίζει το πετρέλαιο να διαφύγει από τον ταμιευτήρα.

Ως μητρικό πέτρωμα ορίζεται το πέτρωμα μέσα στο οποίο η οργανική ύλη ωριμάζει θερμικά και μετασχηματίζεται σε πετρέλαιο. Τα μητρικά πετρώματα που γεννούν το πετρέλαιο συνήθως είναι : α) αργίλιοι σχίστες, β) μάργες, γ) ανθρακικά..

Ως ταμιευτήρας ορίζεται ο πορώδης χώρος του πετρώματος-ταμιευτήρα που καταλαμβάνεται από υδρογονάνθρακες (φυσικό αέριο ή πετρέλαιο) και εναπομένει νερό. Η γραμμή που ορίζει τα σύνορα μεταξύ ενός ταμιευτήρα πετρελαίου και του υδάτινου ορίζοντα, καλείται αρχική επαφή πετρελαίου-νερού.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η **μεγάλη πλειοψηφία των πετρωμάτων-ταμιευτήρων είναι α) ψαμμίτες (sandstones)**, κατά [60%], όπου το πορώδες τους είναι πρωτογενές (διακοκκικό) και **β) ασβεστολιθικά πετρώματα (carbonates)**, κατά [40%], που το πορώδες τους είναι δευτερογενές, συνήθως προήλθε από διάλυση.

Το μητρικό πέτρωμα, ο ταμιευτήρας και το στεγανό πέτρωμα πρέπει να δημιουργούν συνθήκες παγιδεύσεως των υδρογονανθράκων.

Αιτία μετανάστευσης του πετρελαίου από το μητρικό πέτρωμα :

Τα μεγάλα πολυμερή σπάνε και δίνουν μικρότερα πολυμερή, τα οποία καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται σταδιακά η πίεση στο μητρικό πέτρωμα, δημιουργούνται μικρορωγματώσεις, μέχρι που τελικά το μητρικό πέτρωμα διαρρηγνύεται και το πετρέλαιο διαφεύγει.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες των ταμιευτήρων

Οι βασικές ιδιότητες των διαπερατών πετρωμάτων-ταμιευτήρων, ενδιαφέρουν ένα μηχανικό ορυκτών πόρων είναι :

- 1) **Το πορώδες (porosity)**
- 2) **Η διαπερατότητα (permeability)**
- 3) **Ο κορεσμός σε ρευστά (saturation)**

Το πορώδες

Ως **πορώδες**, ενός ταμιευτήρα ορίζεται ο **λόγος του όγκου κενών** ενός ταμιευτήρα **προς τον ολικό όγκο του ταμιευτήρα** (επί 100% εφόσον θέλουμε να το εκφράσουμε σαν ποσοστό). Συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 5-30% όσον αφορά τους ταμιευτήρες, ενώ τις περισσότερες φορές κυμαίνεται από 10-20%. Το πορώδες **ανάλογα με την προέλευση του, χαρακτηρίζεται σαν πρωτογενές ή δευτερογενές.**

- Το **πρωτογενές πορώδες** δημιουργήθηκε **κατά τη διάρκεια της δημιουργίας των στρωμάτων** που αποτελούν τον ταμιευτήρα. Διακρίνεται σε **διακοκκικό** και **διασωματιδιακό**.
- Το **δευτερογενές πορώδες** δημιουργήθηκε στον ταμιευτήρα **μετά τη δημιουργία των στρωμάτων** και πιθανόν προκλήθηκε από διεργασίες α) ανακρυστάλλωσης, β) διάλυσης, γ) αφυδάτωσης και δ) απορρόφησης.

Ανάλογα με το αν συνδέονται ή όχι μεταξύ τους οι πόροι ενός ταμιευτήρα, το πορώδες διακρίνεται σε **αλληλοσυνδεόμενο** και **απομονωμένο**. Το αλληλοσυνδεόμενο είναι συνήθως και ενεργό.

Το **ενεργό πορώδες** είναι ουσιαστικά το πορώδες που **συμβάλλει στην παραγωγή πετρελαίου** και ορίζεται ως ο λόγος των όγκων του αλληλοσυνδεόμενου πορώδους προς τον ολικό του ταμιευτήρα, πολλαπλασιαζόμενο επί 100%, εάν θέλουμε να το εκφράσουμε σαν ποσοστό.

Η Διαπερατότητα

Ως **διαπερατότητα** ορίζεται η **ιδιότητα των διαπερατών πετρωμάτων, να άγουν (conduct), τα εντός αυτών περιεχόμενα ρευστά**. Συνήθως στα πετρώματα-ταμιευτήρες η διαπερατότητα, μεταβάλλεται ανάλογα με την κατεύθυνση. Οι διαπερατότητες που μετρούνται παράλληλα προς τα επίπεδα επικάλυψης των ιζηματογενών πετρωμάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες διαπερατότητες.

Κατανομή διαπερατότητας – Διαχωρισμός σε 3 κατηγορίες

- 1) Κατά τυχαίο τρόπο: Ανομοιόμορφα κομμάτια διαφόρων διαπερατοτήτων
- 2) Κάθετη κατανομή- Σύνολο στρωμάτων με διαφορετικό πάχος και διαπερατότητα
- 3) Μεταβολή της διαπερατότητας, παράλληλα προς το επίπεδο επίστρωσης

Παράγοντες που επηρεάζουν το **πορώδες** και τη **διαπερατότητα** :

- 1) Το **σχήμα** και η **μορφή** των κόκκων (shape)
- 2) Η **σφαιρικότητα** τους
- 3) Ο **τρόπος ταξινόμησης** τους (sorting)
- 4) Ο **προσανατολισμός** τους (direction)

Ο προσανατολισμός των κόκκων έχει μικρή επίδραση στο πορώδες και μεγάλη στη διαπερατότητα. Το πορώδες εξαρτάται επίσης από τη **λοξότητα** (των κόκκων).

Βαθμός κορεσμού (σε ρευστά)

Ως **βαθμός κορεσμού** σε ρευστά, ορίζεται ο **λόγος των όγκων του ρευστού που μας ενδιαφέρει, προς το συνολικό όγκο των πόρων** του πετρώματος. Πιο συγκεκριμένα, για τα ρευστά που μας ενδιαφέρουν στη μηχανική ταμιευτήρων :

- 1) $S_{oil} = (V_{oil}/V_{πόρων}) * 100\%$
- 2) $S_w = (V_{water}/V_{πόρων}) * 100\%$
- 3) $S_g = (V_{gas}/V_{πόρων}) * 100\%$

Ενώ για έναν κορεσμένο ταμιευτήρα, θα ισχύει $S_{oil} + S_w + S_g = 100\%$

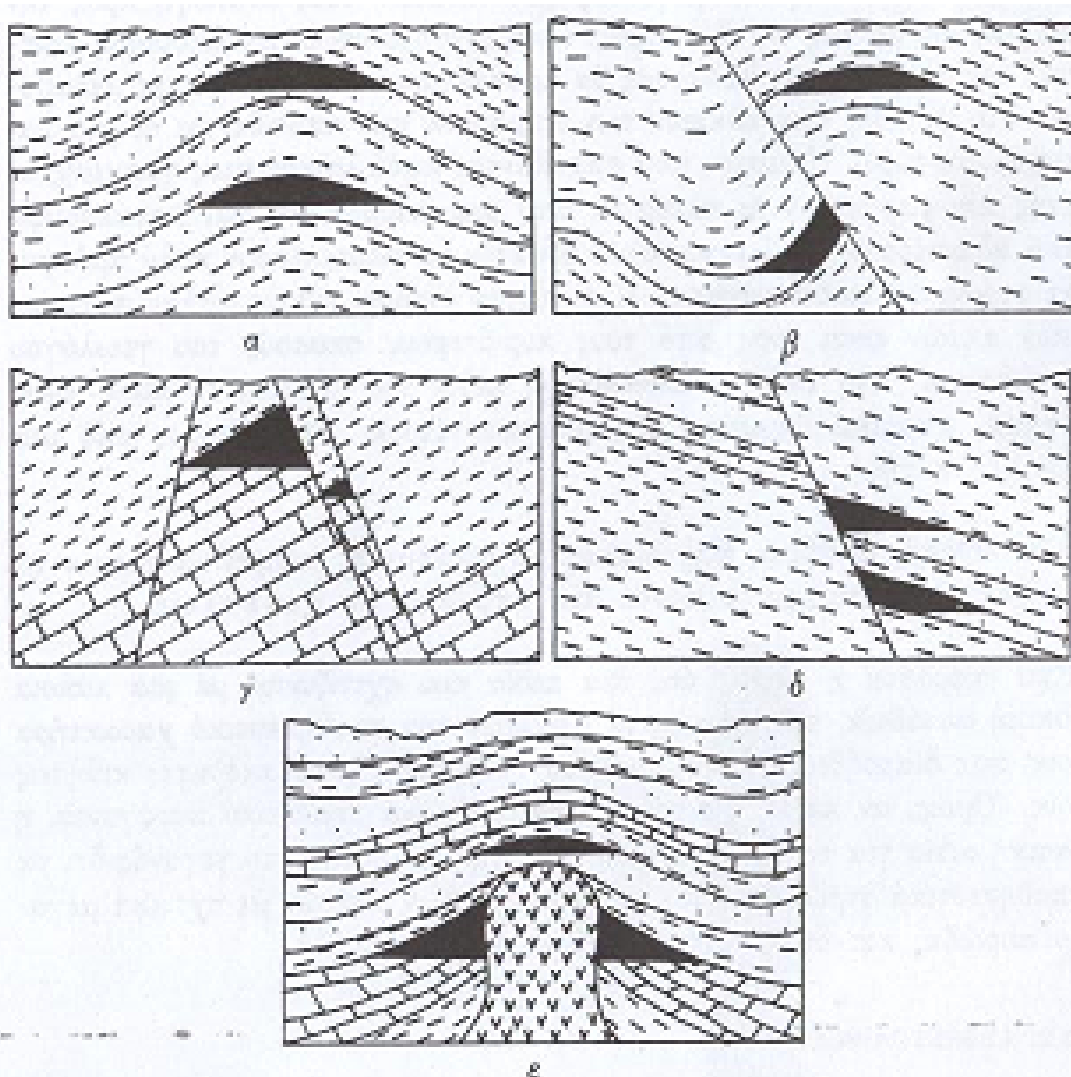
Τρία είναι τα βασικά πράγματα, τα οποία μας ενδιαφέρουν κάθε φορά που μελετάμε ένα ταμειευτήρα : (σε αυτό μπορεί να βοηθήσει και κάποιο μοντέλο, όπως αυτό που δημιουργήσαμε, αφού μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τον όγκο του κοιτάσματος)

- 1) Ποια είναι η ποσότητα των αποθεμάτων που βρίσκονται στο πορώδες μέσο
- 2) Πόσα είναι τα απολήψιμα αποθέματα
- 3) Πόσο γρήγορα και με ποιο τρόπο μπορούν να ανακτηθούν τα απολήψιμα αποθέματα (Βαρότσης, 2005)

1.7 Παγίδες υδρογονανθράκων και στρώματα αποθηκεύσεως

Όταν ένα ρεύμα ρευστού, που συνίσταται κυρίως από αλατούχο νερό και πετρέλαιο, εξέρχεται λόγω πιέσεως από μια μάζα ιζηματογενών αργίλων και εισδύει μέσα σε ένα άλλο πορώδες στρώμα αποθηκεύσεως, στήλη του ρευστού θα εισέλθει μέσα στον πορώδη αυτό ορίζοντα θα τείνει να κινηθεί προς μία θέση, όπου οι πιέσεις είναι ελάχιστες, δηλαδή προς τα πάνω. Για αυτό θα κινηθεί αντίθετα προς την κλίση του πορώδους ορίζοντα, έως ότου φτάσει πλησιέστερα προς την επιφάνεια.

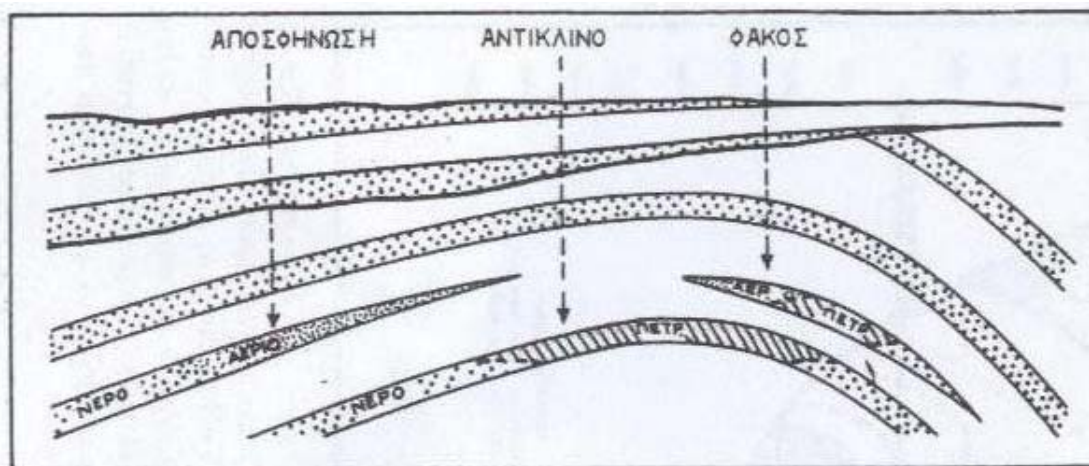
Κατά τη διάρκεια της δυναμικής αυτής μεταναστεύσεως προς τα ανώτερα τμήματα του ορίζοντα, η στήλη του ρευστού μπορεί να συναντήσει μια από τις παρακάτω δομές, (Εικ.1.12) οι οποίες θα αποτρέψουν την περαιτέρω μετανάστευση του πετρελαίου και έτσι θα συντελέσουν στην τοπική συγκέντρωση του.



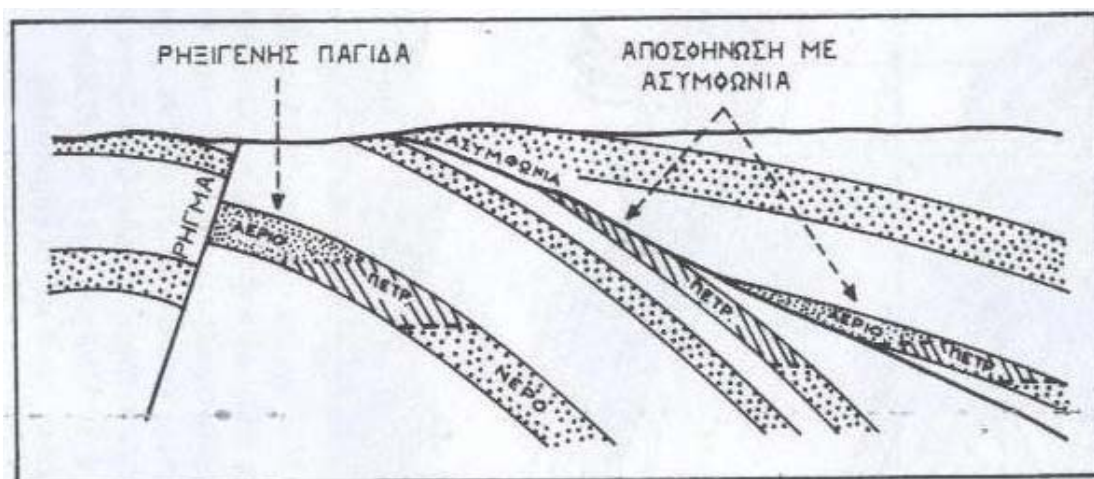
Εικ. 1.12 : Εγκάρσιες σχεδιαστικές τομές που παρουσιάζουν διάφορα παραδείγματα τεκτονικών παγίδων, α) Αντίκλινο, η πιο κοινή μορφή τεκτονικής παγίδας, (β,γ,δ) Ρηξιγενείς παγίδες, (που προκαλούνται από ρήγματα), ε) Διαπειρισμός, λόγω των διαπειρικών διεισδύσεων των δόμων άλατος παγιδεύεται το πετρέλαιο πλευρικά ή συγκεντρώνεται στην κορυφή των δημιουργούμενων αντικλίνων. (Δερμιτζάκης, 1986)

Η συσσώρευση του πετρελαίου σε ένα πορώδη ορίζοντα απαιτεί την ύπαρξη μιας παγίδας ικανής να σταματήσει τη μετανάστευση των υδρογονανθράκων.

Ο όρος παγίδα (trap) καθιερώθηκε από τον Mc Collough (1934) και γενικά σημαίνει κάθε γεωλογική διαμόρφωση, της οποίας η προέλευση είναι είτε τεκτονική (π.χ αντίκλινα, πτυχές, μεταπτώσεις, ρήγματα, θόλοι άλατος) (Εικ.1.13), είτε στρωματογραφική (παγίδες φάσεων – αποσφηνώσεις, ύφαλοι, αμμώδεις ορίζοντες -, παγίδες ασυμφωνιών – πορώδη στρώματα που διακόπτονται από υπερκείμενα αργιλικά ιζήματα), είτε συνδυασμός στρωματογραφικών και τεκτονικών παραγόντων (Εικ.1.14).



Εικ. 1.13 : Εγκάρσια τομή που παρουσιάζει τρεις τύπους παγίδων υδρογονανθράκων, α) Αποσφήνωση, β) Αντίκλινο, γ) Φακό (Δερμιτζάκης, 1986)



Εικ. 1.14 : Εγκάρσια τομή που παρουσιάζει ρηξιγενή παγίδα, αποσφήνωση και παγίδα ασυμφωνίας (Δερμιτζάκης, 1986)

Από τον παραπάνω ορισμό, αλλά και από τους πολλαπλούς γεωλογικούς παράγοντες που επιδρούν κατά τη δημιουργία μιας παγίδας πετρελαίου, προκύπτει ότι είναι δύσκολο να ταξινομηθούν όλες οι παγίδες σε ορισμένους τύπους.

Σε γενικές γραμμές όμως, μπορούμε να διακρίνουμε τις παγίδες πετρελαίου σε :

- 1) Τεκτονικές παγίδες
- 2) Στρωματογραφικές παγίδες
- 3) Σύνθετες παγίδες

Οι τεκτονικές παγίδες επικρατούν και από την άποψη του αριθμού (αντίκλινα, ρήγματα) και από την άποψη του όγκου σε αποθέματα υδρογονανθράκων. Ακολουθούν οι στρωματογραφικές παγίδες, λιγότερες σε αριθμό συχνότητας, αλλά σημαντικές σε περικλειόμενο όγκο αποθεμάτων.

Ακολουθεί περιγραφή των κυριότερων τύπων τεκτονικών παγίδων υδρογονανθράκων.

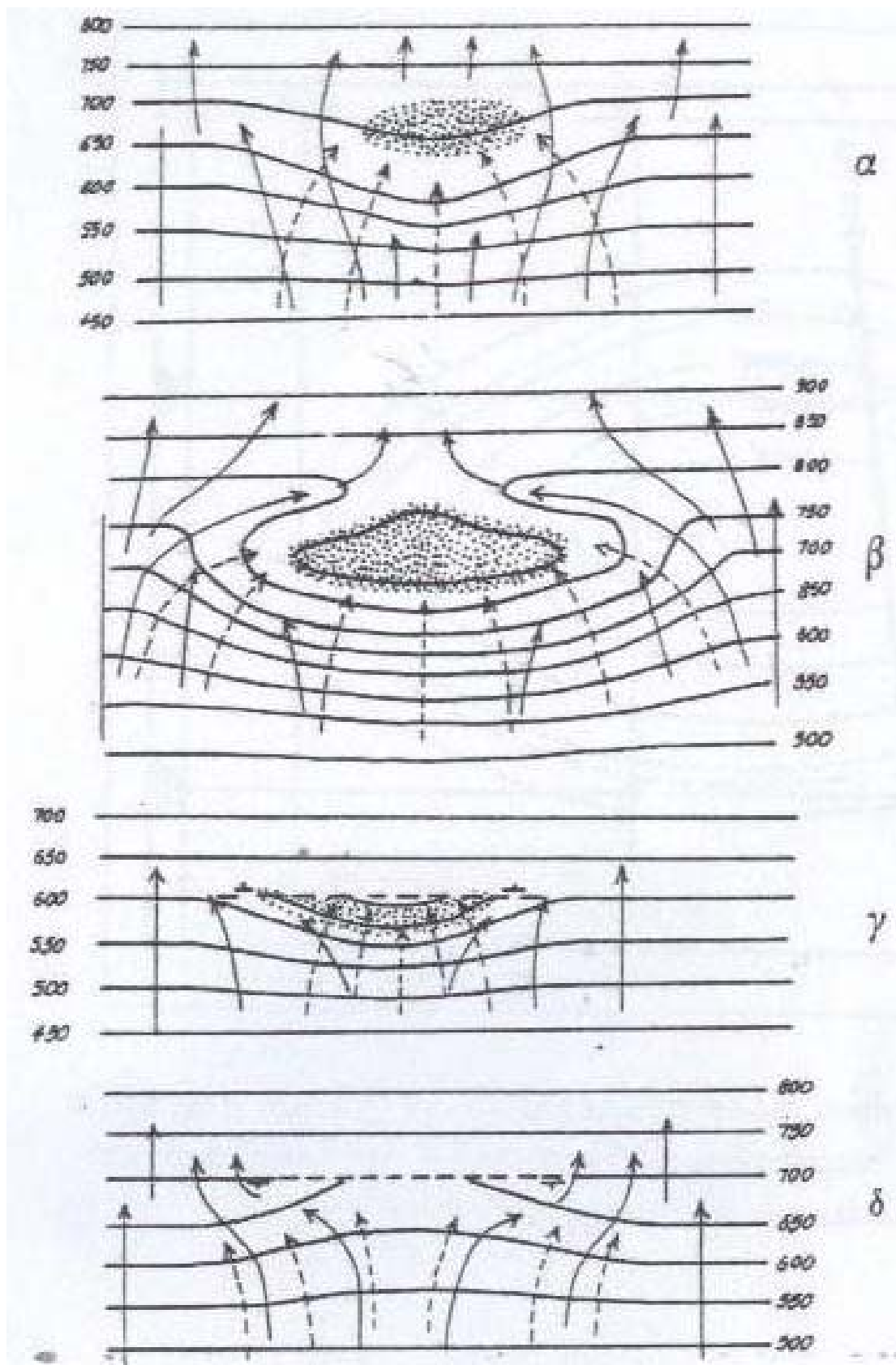
Τεκτονικές παγίδες

Οι τεκτονικές παγίδες είναι γνωστές από πολύ παλαιά και υπό στενή έννοια είναι εκείνες που ανταποκρίνονται προς τον ορισμό της παγίδας (trap). Ως τεκτονικές παγίδες χαρακτηρίζουμε 1) τις αναβαθμίδες που δημιουργούνται σε κεκλιμένα στρώματα, 2) τα αντίκλινα και τις αντικλινικές πτυχές, 3) τα ρήματα ή συστήματα ρηγμάτων που προκαλούν εγκλωβισμό των υδρογονανθράκων δημιουργώντας τις κατάλληλες δομές, 4) το συνδυασμό των παραπάνω τεκτονικών παραγόντων, που δημιουργεί πτυχωσιγενή ρήγματα, επωθήσεις κ.λπ.

Οι τεκτονικές παγίδες οφείλονται στα παρακάτω κυρίως φαινόμενα : ορογενετικά, ηπειρογενετικά, επιορογενετικά, όπου κατά περίπτωση έχουν δράσει εφαπτομενικές δυνάμεις (αντίκλινα), εφελκυστικές (ρήγματα), κατακόρυφες (πτυχές βάθους) ή συνδυασμός των παραπάνω. Τέλος ή αλατούχος τεκτονική που σχετίζεται με το διαπείρισμα των δόμων άλατος, καθώς και η καθίζηση των ιζημάτων λόγω της σύστασης των ιζηματογενών ακολουθιών, παίζουν ρόλο στη δημιουργία τέτοιων παραμορφώσεων, ώστε να καταστούν παγίδες υδρογονανθράκων.

Αναβαθμίδες

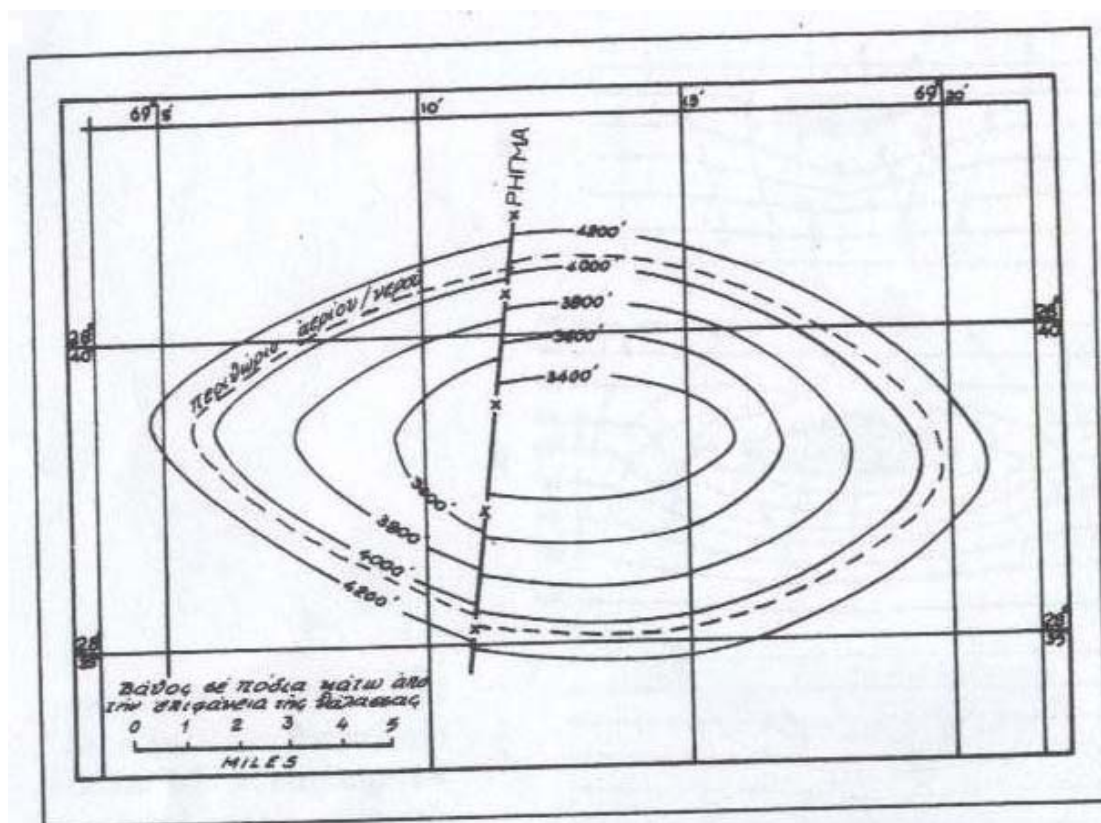
Όταν σε ένα κεκλιμένο στρώμα σχηματίζεται μια αναβαθμίδα, είναι ευνόητο ότι αφ' ενός θα υπάρχει μια περιοχή του στρώματος στην οποία η κλίση θα είναι μικρότερη από ότι στο υπόλοιπο στρώμα και αφ' ετέρου θα ακολουθεί μια περιοχή όπου η κλίση θα είναι μεγαλύτερη από τη μέση τιμή για να διατηρηθεί σταθερή η μέση κλίση του στρώματος (Εικ.1.15). Το πετρέλαιο της κλίσης των ρευστών (πετρέλαιο- αλατούχο νερό – αέρια) θα αρχίσει να ρέει ταχύτερα στη θέση του στρώματος, στην οποία παρατηρείται η μεγαλύτερη κλίση, ενώ η κίνηση του θα ανακοπεί και θα τείνει να συγκεντρωθεί στην περιοχή, όπου αρχίζει να μειώνεται η κλίση. Η αναβαθμίδα επομένως αποτελεί ένα φακό για τη συγκέντρωση του πετρελαίου, το οποίο κατά την παγίδευση του διαχωρίζεται από το νερό.



Εικ. 1.15 : Συγκέντρωση υδρογονανθράκων μέσα σε αναβαθμίδες. Τα διακεκομμένα βέλη δείχνουν ρεύματα ύδατος-πετρελαίου. Τα συνεχή ρεύματα δείχνουν ρεύματα κυρίως ύδατος. Οι εστιγμένες περιοχές είναι περιοχές συγκεντρώσεως υδρογονανθράκων (Δερμιτζάκης, 1986)

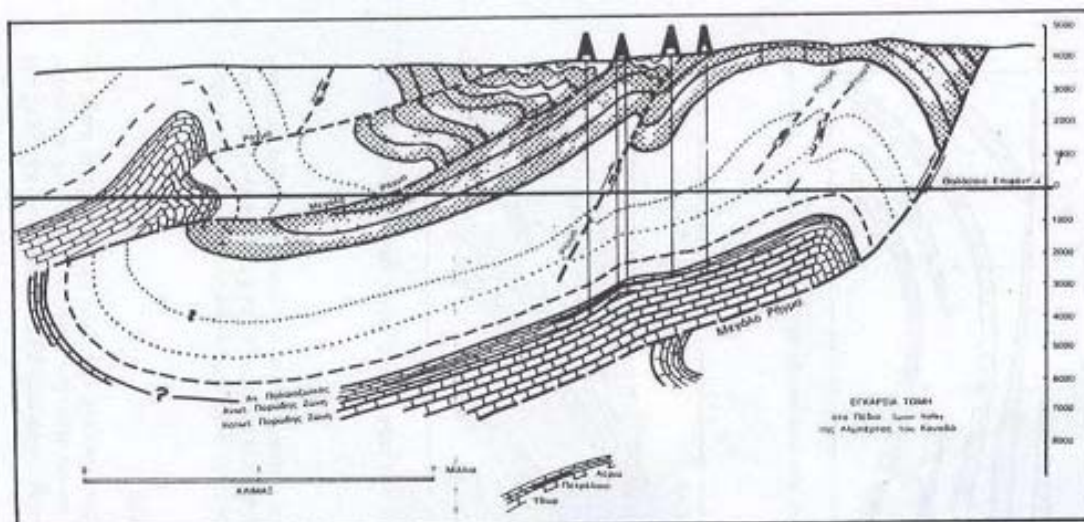
Αντίκλινα

Τα αντίκλινα είναι οι συνηθέστερες γεωλογικές δομές, στις οποίες συναντώνται συγκεντρώσεις πετρελαίου. Γενικά είναι αποτέλεσμα πλευρικών πτυχωγόνων πιέσεων. Αν θεωρήσουμε ότι το αντίκλινο άρχισε να δημιουργείται όσο τα ιζήματα ήταν ασυμπιεστα, γίνεται εμφανές ότι, εφόσον το αντίκλινο βρίσκεται κάθετα προς τη ροή της στήλης των αναμεμιγμένων ρευστών, τότε το πετρέλαιο τείνει να μεταναστεύσει προς τα ανώτερα τμήματα του αντικλίνου. Ένας από τους λόγους για τους οποίους το πετρέλαιο τείνει να συγκεντρωθεί στον αυχένα του αντικλίνου είναι το ότι η θέση αυτή βρίσκεται πλησιέστερα στην επιφάνεια και επομένως σε αυτή υπάρχουν ζώνες με χαμηλότερη πίεση (Εικ. 1.16).



Εικ.1.16 : Παράδειγμα διερρηγμένου αλλά συμμετρικού αντικλίνου στο πεδίο Sui του Πακιστάν. Οι καμπύλες παρατάξεως αντιστοιχούν στην ανώτερη επιφάνεια του Ηωκαινικού ασβεστολιθικού αποθηκευτικού σχηματισμού (Δερμιτζάκης, 1986)

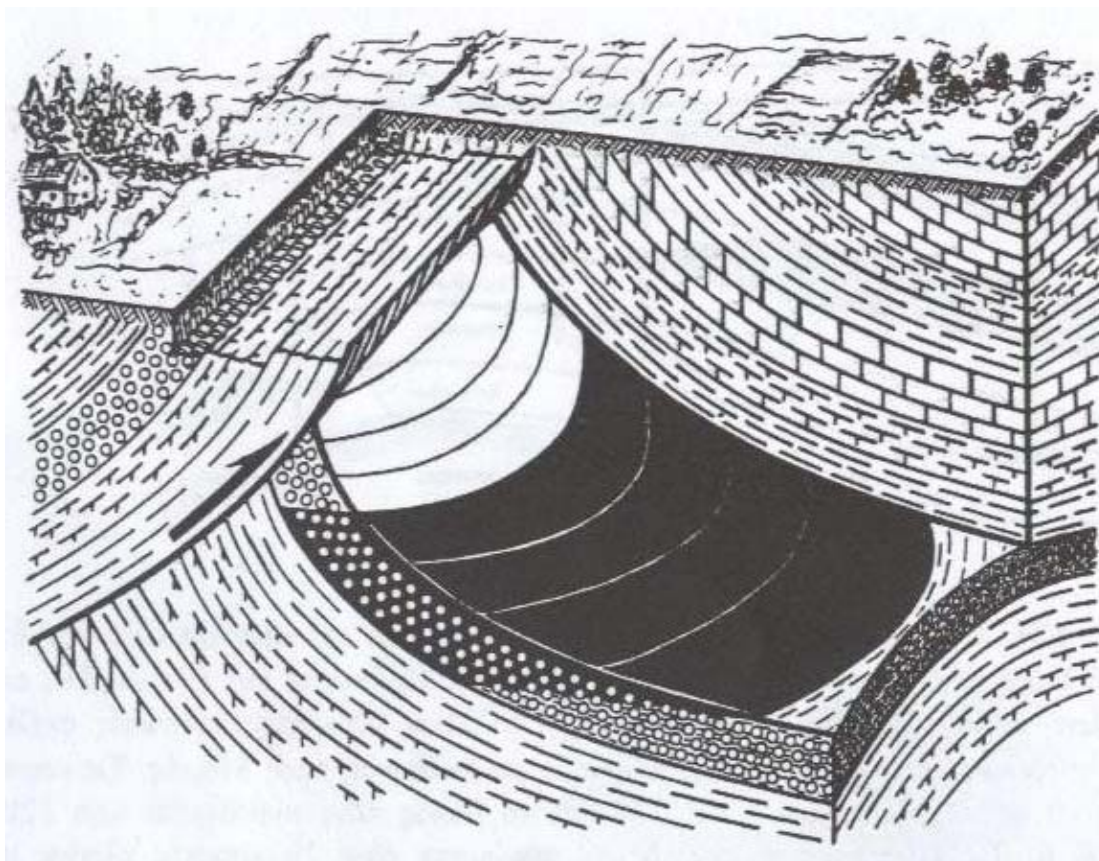
Η σημασία των αντικλίνων στην παγίδευση του πετρελαίου είχε αναγνωριστεί πολλά χρόνια πριν από την εξήγηση του μηχανισμού, με τον οποίο επιτυγχάνεται η παγίδευση αυτή. Γενικά, κατά την έρευνα για την εξεύρεση δυνητικών πετρελαιοφόρων οριζόντων οι ερευνητικές γεωτρήσεις γίνονται κατά προτίμηση στους άξονες των αντικλίνων (αν υπάρχουν αντίκλινα στην υπό εξέταση περιοχή). Είναι δε γεγονός ότι τα αντίκλινα είναι τα πλέον πολυάριθμα από όλες τις πετρελαιοφόρες δομές. Η πλειονότητα των πεδίων πετρελαίου έχει σχέση με αντικλινικές δομές. Ένα μεγάλο ποσοστό από αυτές βρίσκεται στους πρόποδες των μεγαλύτερων οροσειρών (Εικ.1.17).



Εικ. 1.17 : Εγκάρσια τομή του πεδίου Turner Valley, στον Καναδά. Οι πιο σημαντικοί πετρελαιοφόροι ορίζοντες είναι οι πορώδεις ασβεστόλιθοι του Παλαιοζωικού που απαντούν συνήθως σε βάθη 1.000-6.000 μέτρων. Στα αριστερά της τομής (ανατολικά) έχουν δημιουργηθεί ζιγκ-ζαγκ πτυχές με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντικλινικών μορφών στην επιφάνεια (Δερμιτζάκης, 1986)

Εκτός των αντικλινών που δημιουργούνται από πλευρικές πιέσεις, μας είναι γνωστός και ένας τύπος ψευδο-αντικλινών, που η δημιουργία τους οφείλεται στην απόθεση ιζημάτων επί προϋπαρχόντων υβωμάτων (π.χ επί υφάλων). Τα πεδία στα οποία απαντώνται τέτοιου είδους ψευδοαντίκλινα είναι ορθότερο να κατατάσσονται στα πεδία φάσεως (στρωματογραφικές παγίδες).

Και αυτό επειδή στην προκειμένη περίπτωση ο κύριος παράγοντας που προκαλεί συγκέντρωση του πετρελαίου δεν είναι η αντικλινική μορφή της παγίδας, αλλά η λιθολογική φάση των ιζημάτων που τη σχηματίζουν (Εικ.1.18).



Εικ. 1.18 : Αναπαράσταση σε στερεοδιάγραμμα μιας τεκτονικής παγίδας πετρελαίου κάτω από την επιφάνεια μιας επωθήσεως. Τα αργιλικά στρώματα του επωθημένου καλύμματος εμποδίζουν τη μετανάστευση του πετρελαίου (Δερμιτζάκης, 1986)

Τα αντίκλινα είναι ιδανικές δομές για τη συμπλήρωση της δευτερογενούς μεταναστεύσεως των πετρελαίων. Μέσα σε αυτά επιτυγχάνεται σχεδόν πάντοτε ο διαχωρισμός των αερίων, του πετρελαίου και του ύδατος σε διακεκριμένες ζώνες.

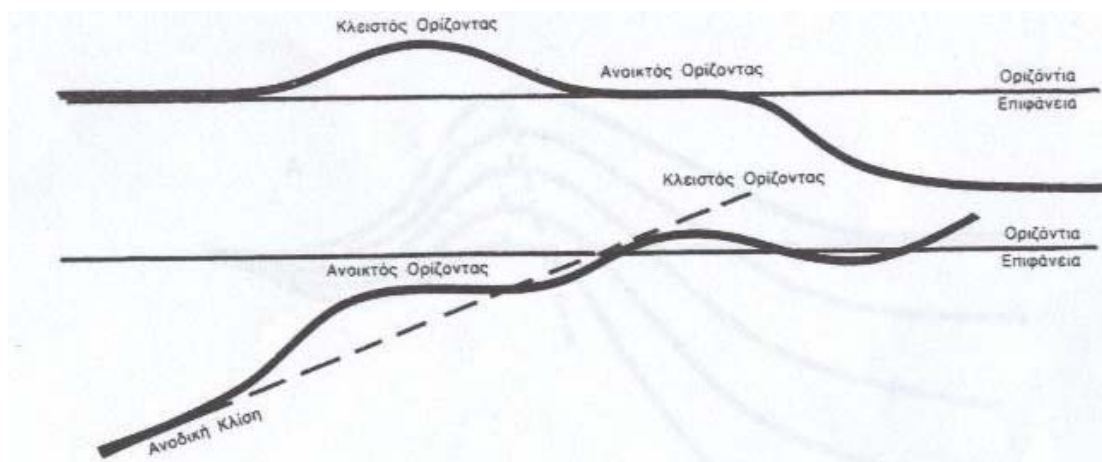
Τα πετρελαιοφόρα αντίκλινα, ανάλογα με την ένταση των πιέσεων που υπέστησαν, παρουσιάζουν μια ποικιλία μορφών που κυμαίνονται από τις απλές συμμετρικές μορφές των δομών έως τις επωθήσεις. Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι **οι απλούστερες μορφές αντικλίνων ευνοούν τη συγκέντρωση του πετρελαίου περισσότερο από τις πολυπλοκότερες.**

Ρήγματα

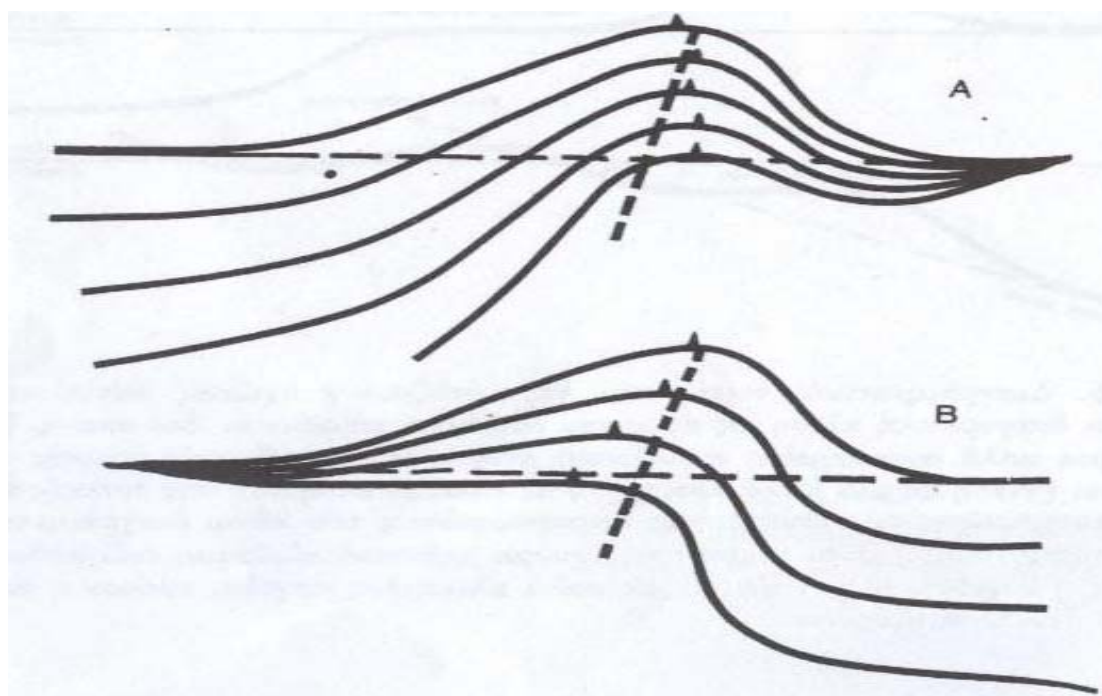
Αν σε κάποια θέση του κεκλιμένου πορώδους ορίζοντα, κατά μήκος του οποίου λαμβάνει χώρα πρωτογενής μετανάστευση πετρελαίου, υπάρχει ένα ρήγμα, είναι πιθανόν το πετρέλαιο των μεταναστευόντων ρευστών να συγκεντρωθεί προ της επιφανείας διαρρήξεως του.

Η παγίδευση του πετρελαίου από τα ρήγματα οφείλεται στο γεγονός ότι τα ρήγματα σχετίζονται πάντοτε με μεταβολές της κλίσεως, πράγμα που προκαλεί τη συγκέντρωση του πετρελαίου από τα μεταναστεύοντα ρεύματα μέσα στον ορίζοντα.

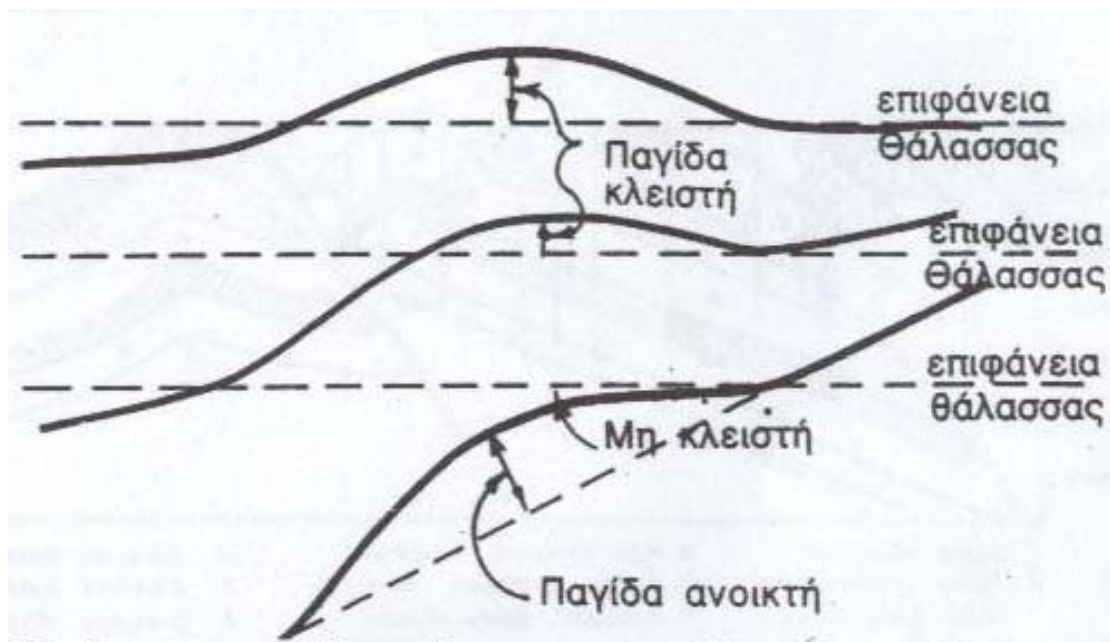
Επιπλέον το ρήγμα αυτό καθ' εαυτό δεν είναι παρά ένα φυσικό εμπόδιο (είτε λόγω του ότι κατά τη μετακίνηση των τεμαχίων ο διαπερατός ορίζοντας έχει έλθει αντιμέτωπος με έναν αδιαπέρατο, είτε λόγω της υπάρξεως ενός αδιαπέρατου στρώματος αργιλικού μυλωνίτη), το οποίο παρεμβαλλόμενο στην πορεία των ρευστών τείνει να ανακόψει την περαιτέρω μετανάστευσή τους (Εικ.1.19, 1.20, 1.21).



Εικ.1.19 : Διαγραμματικές τομές που παρουσιάζουν πτυχώσεις αντικλινικής μορφής με διαφορετική κλίση ως προς την οριζόντια επιφάνεια. Στο επάνω διάγραμμα μια καλά ανεπτυγμένη αντικλινική, λόγω μηδενικής τοπικής κλίσεως, δίνει γένεση σε μια καλά κλεισμένη παγίδα (Δερμιτζάκης, 1986)



Εικ. 1.20 : Σχεδιαστικές τομές παρουσιάζουν το αποτέλεσμα 2 ασύμμετρων συγκλινουσών πτυχών και τη διαφορά στο πάχος των στρωμάτων. Στην τομή Α τα στρώματα απολεπτύνονται προς την πλευρά της πτυχής με την απότομη κλίση και το κορυφαίο της πτυχής κλίνει προς την κατεύθυνση της απολεπτύνσεως των στρωμάτων, άρα εκεί πρέπει να αναμένεται και η παγίδευση του πετρελαίου. Στην τομή Β τα στρώματα συγκλίνουν προς την πλευρά της πτυχής με τη μικρότερη κλίση και το κορυφαίο κατευθύνεται προς την πλευρά της απολεπτύνσεως των στρωμάτων (Δερμιτζάκης, 1986)



Εικ. 1.21 : Διαγραμματικές τομές που παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο ίδιου μεγέθους τεκτονικό ανάγλυφο, μπορεί να έχει διαφορετική ποσοστιαία τεκτονική παγίδευση, ανάλογα με το μέγεθος της τοπικής κλίσεως, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, που στην προκειμένη περίπτωση παρίσταται με τη θαλάσσια επιφάνεια (Δερμιτζάκης, 1986)

Εκτός της τεκτονικής παγιδεύσεως του πετρελαίου που οφείλεται στα ρήγματα με αλλαγές της κλίσεως των στρωμάτων, μπορεί να υπάρχουν και άλλοι τεκτονικοί ή στρωματογραφικοί τύποι παγίδων που έχουν άμεση σχέση με τα ρήγματα. Για παράδειγμα, η θραύση των πετρωμάτων που συνοδεύει συνήθως τα ρήγματα είναι δυνατόν να προσδώσει ένα δευτερογενές πορώδες σε ένα, κατά τα άλλα συμπαγές, πέτρωμα και να το καταστήσει τοπικά κατάλληλο για τη συγκέντρωση του πετρελαίου. Επίσης είναι δυνατόν να δημιουργηθούν τοπικά επιμήκεις ή εγκάρσιες πτυχές που θα αποτελέσουν παγίδες για το πετρέλαιο.

Μπορεί επίσης τα ρήγματα να αποτελέσουν τις διόδους για την πρωτογενή μετανάστευση του πετρελαίου από τα στρώματα γενέσεως, τα οποία πιθανόν να υπόκεινται του πετρελαιοφόρου ορίζοντα. Είναι ακόμη δυνατόν να υποβοηθήσουν τη δευτερογενή μετανάστευση του πετρελαίου, με αποτέλεσμα το σχηματισμό νεώτερων συγκεντρώσεων σε υψηλότερα στρώματα σε βάρος παλαιότερων συγκεντρώσεων που βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη.

Η πλειονότητα των ρηξιγενών παγίδων οφείλεται στα κανονικά ρήγματα, ενώ είναι σχετικά ελάχιστες οι περιπτώσεις παγιδεύσεως από ανάστροφα ρήγματα και εφιππεύσεις.

Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι οι τελευταίες 2 κατηγορίες τεκτονικών μορφών απαιτούν έντονη τεκτονική δραστηριότητα, πράγμα που αυξάνει την πιθανότητα διαφυγής των υδρογονανθράκων.

Στις περιπτώσεις που η παγίδευση οφείλεται αποκλειστικά στην ύπαρξη ενός ρήγματος, το πετρέλαιο συγκεντρώνεται συνηθέστερα στο τεμάχιο, που έχει ανέλθει (η κίνηση αναφέρεται πάντοτε σε σχέση με την κίνηση του άλλου τεμαχίου), με την προϋπόθεση ότι το τεμάχιο που κατήλθε βρίσκεται στο μέρος της επιφάνειας διαρρήξεως, προς το οποίο δεν κλίνει ο πετρελαιοφόρος ορίζοντας.

Εάν λοιπόν τα τεμάχια έχουν την πιο πάνω διάταξη, το πετρέλαιο και τα αέρια τείνουν να κινηθούν προς το μέρος του ρήγματος, οπότε και σταματούν προ της επιφανείας διαρρήξεως.

Οι ρηξιγενείς παγίδες είναι κατά βάση «στεγανοποιημένα μονοκλινή στρώματα», τα οποία περιγράφονται πιο κάτω. Η μόνη διαφορά μεταξύ αυτών των 2 τύπων παγίδων είναι το ότι στις πρώτες υπάρχει πάντοτε μεταβολή της κλίσεως, ενώ στα «στεγανοποιημένα μονοκλινή στρώματα» μπορεί η κλίση να μη μεταβάλλεται.

Στεγανοποιημένα μονοκλινή στρώματα

Η συγκράτηση του πετρελαίου, με οποιονδήποτε τρόπο, μέσα στα κεκλιμένα πορώδη στρώματα κατά μήκος των οποίων λαμβάνει χώρα η μετανάστευση, θα έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία μιας «συγκεντρώσεως πετρελαίου».

Ένα μονοκλινές στρώμα μπορεί στην ουσία να θεωρηθεί ως ένα σκέλος ενός αντικλίνου, όπου λαμβάνει χώρα μετανάστευση αερίων, πετρελαίου και αλατούχου ύδατος, τα οποία μάλιστα κατά τη μετανάστευση αυτή, διαχωρίζονται δυναμικά σε σαφώς διακεκριμένες ζώνες. Το άλλο όμως σκέλος του υποθετικού αντικλίνου λείπει και αντί αυτού υπάρχει μια γεωλογική επιφάνεια, που στεγανοποιεί το μονοκλινές στρώμα. Η στεγανοποίηση του μονοκλινούς στρώματος μπορεί να οφείλεται, είτε σε ένα ρήγμα που φέρει τον πορώδη ορίζοντα αντιμέτωπο με ένα αδιαπέρατο στρώμα, είτε σε μία αδιαπέρατη κρούστα βιτουμενίων ή συμπτυκνωμένου πετρελαίου (Δερμιτζάκης, 1986).

Στρώματα αποθηκείσεως

Τα στρώματα μέσα στα οποία συγκεντρώνεται το πετρέλαιο έχουν μεγαλύτερο πορώδες και διαπερατότητα σε σύγκριση με τα γειτονικά προς αυτά πετρώματα. Η αυξημένη αυτή διαπερατότητα και το πορώδες μπορεί να οφείλονται στη μεταβολή του περιβάλλοντος αποθέσεως, δηλαδή μεταβολές του βάθους της θάλασσας, μέσα στην οποία λαμβάνει χώρα η ιζηματογένεση, οπότε έχουμε μια αλληλοδιαδοχή ιζημάτων βαθέων και αβαθών θαλασσών. Επίσης η αύξηση της διαπερατότητας και του πορώδους μπορεί να οφείλονται σε αυστηρά τοπικά φαινόμενα, τα οποία επηρέασαν ένα τμήμα ενός -κατά τα άλλα- συμπαγούς και ομοιόμορφου ορίζοντα. Τέτοια φαινόμενα είναι η διάλυση ή δολομιτίωση των ασβεστολίθων και η αποσάθρωση και η καταστροφή της συνέχειας των εκρηξιγενών πετρωμάτων. Συνήθως, προκειμένου περί πετρελαίων χρησιμοποιούνται οι όροι «στρωματογραφικό πεδίο» ή «πεδίο φάσεων» και «τεκτονικό πεδίο» (χώροι στους οποίους συγκεντρώνονται τα πετρώματα). Τα πεδία της πρώτης κατηγορίας οφείλουν την καταλληλότητά τους για τη συγκέντρωση πετρελαίου περισσότερο στο μεγάλο πορώδες, παρά στις μεταβολές της κλίσεως των στρωμάτων τους, ενώ στα πεδία της δεύτερης κατηγορίας το πετρέλαιο συγκεντρώθηκε κυρίως χάρη στη μεταβολή των κλίσεων λόγω τεκτονικών αιτίων.

Άμμοι και ψαμμίτες

Η παρουσία στη φύση εντελώς ασύνδετου αμμώδους υλικού δεν είναι τόσο συχνή. Συνήθως αυτό το αμμώδες υλικό έχει υποστεί μια ελαφριά διαγένεση και έτσι έχει μετατραπεί σε χαλαρό ψαμμίτη.

Οι ψαμμίτες παρουσιάζουν κατά πολύ μικρότερο πορώδες σε σχέση με τις ασύνδετες άμμους, καθόσον το συνδετικό υλικό καταλαμβάνει μέρος των πόρων και έτσι μειώνει τον όγκο τους.

Οι ηπειρογενετικές κινήσεις προκαλούν διακυμάνσεις στην ιζηματογένεση με αποτέλεσμα τη δημιουργία αποθηκευτικών οριζόντων αβαθών φάσεων εγκλεισμένων μεταξύ στρωμάτων με πιο λεπτόκοκκο υλικό. Εφόσον τα ιζήματα που προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων της χέρσου, που αποτίθενται μέσα στη θάλασσα, παρουσιάζουν μια ελάττωση του μεγέθους των κόκκων τους ανάλογη προς την αύξηση του βάθους της θάλασσας, είναι ευνόητο ότι οι κατακόρυφες κινήσεις του πυθμένα της θάλασσας θα προκαλέσουν και αντίστοιχες μεταβολές στο μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων, που αποτίθενται σε μια κατακόρυφη τομή.

Ιζήματα, που αποτίθενται κατά μήκος μιας γραμμής ακτής και περιορίζονται πλευρικά από μια ασυμφωνία και κατακόρυφα από αδιαπέρατα στρώματα, είναι δυνατόν να αποτελέσουν πολύ πρόσφορα στρώματα αποθηκείσεως. Η ανεύρεση τέτοιου είδους παλαιών γραμμών ακτών είναι ένας από τους κυριότερους σκοπούς του γεωλόγου πετρελαίων. Ένα από τα πλουσιότερα πεδία του κόσμου, το πεδίο East Texas, αποτελεί θαυμάσιο παράδειγμα τέτοιας παγιδεύσεως από μια γραμμή ακτής.

Η τοπική αστάθεια, π.χ διαπειρικά φαινόμενα, μπορεί να φέρουν τα αποθηκευτικά στρώματα κοντά στα στρώματα γενέσεως.

Έχει εκφραστεί η άποψη ότι, στα πεδία που σχετίζονται με κάποια τοπική αστάθεια, τα πετρώματα οφείλουν τον αποθηκευτικό χαρακτήρα τους στις διαρρήξεις που δημιουργούνται κατά τις κατακόρυφες κινήσεις τους. Όμως, αν και οι διαρρήξεις αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα, η βασική αιτία για τη συγκέντρωση του πετρελαίου είναι το γεγονός ότι τα αποθηκευτικά στρώματα είναι φάσεως αβαθών υδάτων με σχετικά μεγάλο πορώδες και διαπερατότητα.

Ασβεστόλιθοι

Οι ωολιθικοί ασβεστόλιθοι και μερικοί δολομίτες έχουν μια κοκκώδη υφή, ανάλογη προς εκείνη των άμμων, το δε πορώδες τους εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων, οι οποίοι υπάρχουν μεταξύ των κόκκων τους, όπως συμβαίνει και στους ψαμμίτες. Στους τύπους αυτούς των ασβεστόλιθων το πορώδες βρίσκεται περίπου μεταξύ 30% - 40%.

Συνήθως όμως οι ασβεστόλιθοι είναι περισσότερο συμπαγείς, το δε βασικό πορώδες και η διαπερατότητα τους είναι σχετικά χαμηλό. Η ικανότητα αυτών των πετρωμάτων για συγκέντρωση πετρελαίου οφείλεται κυρίως σε διαρρήξεις ή διακλάσεις που μπορούν να προσδώσουν στα πετρώματα αυτά μια μεγάλη δευτερογενή διαπερατότητα (Δερμιτζάκης, 1986).

1.8 Γένεση και προέλευση του πετρελαίου

Η γένεση και η προέλευση του πετρελαίου αποτέλεσε ένα μακροχρόνιο πρόβλημα επιστημονικών αμφισβητήσεων. Εντούτοις σειρά επιστημονικών ερευνών έχει δώσει απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα όσον αφορά τη γένεση του πετρελαίου.

Το πετρέλαιο δεν είναι καθόλου σπάνιο στη φύση. Ίχνη του απαντώνται σε ολόκληρο σχεδόν τον κόσμο, χωρίς ωστόσο οι συγκεντρώσεις, που είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμες, να είναι τόσες πολλές. Βασικά θέματα στοχασμού που θα έπρεπε να εξεταστούν είναι σχετικά α) με την πρωταρχική ύλη από την οποία σχηματίστηκε το πετρέλαιο, β) το πώς έγινε ο μετασχηματισμός, γ) ποιο ήταν το περιβάλλον μετασχηματισμού, δ) πώς εξηγείται η χημική σύνθεση του πετρελαίου, ε) ποια η προέλευση των αερίων με τα οποία σχετίζεται το πετρέλαιο.

Πολλές και ποικίλες καμία φορά αντίθετες μεταξύ τους θεωρίες έχουν διατυπωθεί. Αυτές μπορούν να χωριστούν – ανάλογα με τα υλικά προέλευσης του πετρελαίου και ανάλογα με τις πολύπλοκες επεξεργασίες τους – στις ακόλουθες :

- 1. Θεωρία ανόργανης ή αβιογενούς προέλευσης (ανόργανα υλικά)**
- 2. Θεωρία οργανικής ή βιογενούς προέλευσης (φυτική)**
- 3. Θεωρία οργανικής ή βιογενούς προέλευσης (ζωική – θαλάσσια)**

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή αλλά και στοιχεία για την εξέλιξη κάθε θεωρίας, καθώς και επεξήγηση σε σχέση με τα υπέρ και τα κατά κάθε θεωρίας. Τελευταία παρουσιάζεται και η επικρατούσα στις μέρες μας, άποψη.

1.9 Θεωρία ανόργανης ή αβιογενούς προέλευσης

Οι θεωρίες για την ανόργανη προέλευση του πετρελαίου υπήρξαν αρχικά υπόθεση των χημικών του 19^{ου} αιώνα. Θεωρούσαν ότι στο εσωτερικό της γης λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις, προϊόντα των οποίων ήταν οι βασικοί υδρογονάνθρακες του πετρελαίου.

Από τους πρώτους ο Berthelot (1866) διετύπωσε τη θεωρία ότι στο εσωτερικό της γης υπάρχουν ελεύθερα αλκαλικά μέταλλα, που αντιδρούν με το CO₂ σε υψηλές θερμοκρασίες και σχηματίζουν υδρογονάνθρακες.

Η θεωρία της αβιογενούς προέλευσης του πετρελαίου υποστηρίχτηκε στο παρελθόν από αρκετούς άλλους χημικούς και επιστήμονες, ωστόσο δεν είναι σήμερα η επικρατούσα για λόγους που παρατίθενται αναλυτικότερα παρακάτω. Κατά καιρούς διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες περί ανόργανης προέλευσης με διαφορετικό βαθμό αληθοφάνειας. Παρουσιάζονται περιληπτικά μερικές παρακάτω. Έγινε υπόθεση περί κοσμικής προέλευσης του πετρελαίου. Επίσης έγινε υπόθεση ότι μεθάνιο δημιουργείται αβιογενώς σε ορισμένα στρώματα του μανδύα.

Κατά καιρούς έγινε και συνδυασμός ορισμένων θεωριών σχετικά με την αβιογένεση του πετρελαίου.

Όπως για παράδειγμα έγινε συνδυασμός της γεωγραφικής κατανομής των ηφαιστειών και των πετρελαϊκών εμφανίσεων, καθόσον στα αέρια των ηφαιστειών υπάρχουν ίχνη υδρογονανθράκων.

Πάντως, όλες οι θεωρίες περί ανόργανης προέλευσης του πετρελαίου θεωρούνται σήμερα ότι δεν ισχύουν, από την πλειονότητα των μηχανικών και επιστημόνων, για τους ακόλουθους λόγους :

A) Το πετρέλαιο βρίσκεται συνήθως σε πετρώματα θαλάσσια ιζηματογενή και σπάνια σε εκρηξιγενή. Στα τελευταία αυτά θα πρέπει να έχει μεταναστεύσει.

B) Δεν παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας του πετρελαίου των πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης ανάλογα με το βάθος.

Γ) Καμιά από τις θεωρίες που διατυπώθηκαν κατά καιρούς δεν εξηγεί τον πολύπλοκο χημισμό των πετρελαίων, αλλά όλες καταλήγουν σε απλούς υδρογονάνθρακες.

Επικρατούσα, λοιπόν, θεωρείται η άποψη περί της οργανικής προελεύσεως του πετρελαίου.

1.10 Θεωρία οργανικής προελεύσεως του πετρελαίου (φυτική)

Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι το πετρέλαιο προέρχεται κυρίως από φυτικούς οργανισμούς. Ακολουθούν επιχειρήματα υπέρ της φυτικής προελεύσεως του πετρελαίου.

Επιχειρήματα υπέρ της φυτικής προελεύσεως του πετρελαίου

1. Σε ορισμένες περιοχές της υφελίου φαίνεται να υπάρχει μια πολύ στενή συγγένεια μεταξύ πετρελαίου και άνθρακα. Ο άνθρακας έχει οριστικά αποδειχτεί ότι αποτελείται από υπολείμματα δελταϊκών δασών που εγκλείστηκαν και από αυτό συνάγεται ως πιθανή η προέλευση του πετρελαίου και του άνθρακα από κοινή πηγή.
2. Τα απέραντα δάση που υπήρξαν σε ορισμένες γεωλογικές περιόδους θα ήταν δυνατόν να θεωρηθούν ως η πηγή της αφθονίας των ποσοτήτων του πετρελαίου.
3. Μεταξύ των συστατικών του πετρελαίου περιέχεται πορφυρίνη που μπορεί να παραχθεί ευχερώς από τη χλωροφύλλη των φυτών.
4. Το φυσικό αέριο περιέχει μεθάνιο, η παρουσία του οποίου μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το μεθάνιο παράγεται από τη φύση με την αποσύνθεση της βλάστησης.
5. Μερικές φυτικές ουσίες, όπως άνθρακας, ξυλάνθρακας, λιγνίτης κ.α, κατά την απόσταξη παράγουν έλαια παρόμοια με το πετρέλαιο.
6. Μικροσκοπικές έρευνες απέδειξαν ότι σε μη κατεργασμένα έλαια υπάρχουν φυτικά υπολείμματα.

Επιχειρήματα κατά της φυτικής προελεύσεως

1. Ο άνθρακας και το πετρέλαιο πράγματι συνδέονται σε πολλές περιοχές. Αλλά η σχέση αυτή απλώς οφείλεται στο γεγονός ότι και τα δύο είναι οργανικές αποθέσεις, και τα δύο απαντούν σε καθιζάνοντα υπόλοιπα. Όμως δεν έχουν στενότερη συγγένεια, καθόσον ο άνθρακας προέρχεται από αποθέσεις δέλτα, ενώ το πετρέλαιο προέρχεται από θαλάσσιες αποθέσεις. Δεν υπάρχει ένδειξη κοινής καταγωγής ή κοινής λειτουργίας σχηματισμού.
2. Αν και τα απέραντα δάση του παρελθόντος αποτελούν μια ευρεία πηγή οργανικής ύλης, έχει αποδειχτεί ότι δεν είναι οι μόνες πηγές κατάλληλου οργανικού υλικού. Διότι, εάν υποθεθεί, ότι η προέλευση του πετρελαίου οφείλεται στο θαλάσσιο περιβάλλον, τότε τα φύκη ίσως ήταν μια κατάλληλη οργανική πηγή, εάν ήταν δυνατόν να εξηγηθεί η εμφάνιση του ιωδίου και του βρωμίου από το πετρέλαιο.
3. Βέβαια η πορφυρίνη παράγεται ευκολότερα από τη φυτική χλωροφύλλη, αλλά μπορεί επίσης και να παραχθεί από αντίστοιχες ουσίες ζωικής προέλευσης.
4. Η φυσική αποσύνθεση των φυτικών υλικών παράγει μεθάνιο, αλλά μόνο μεθάνιο και όχι άλλους υδρογονάνθρακες. Είναι όμως φανερό ότι η διαπίστωση αυτή δεν είναι δυνατόν να χρησιμεύσει ως απόδειξη της φυτικής καταγωγής του πετρελαίου. Εκτός εάν με μια εφικτή μέθοδο γίνει δυνατό να δημιουργηθεί σειρά υδρογονανθράκων από το αρχικό μεθάνιο.
5. Η απόσταξη διαφόρων ειδών ανθράκων παρέχει υγρά, που η σύνθεση τους είναι παρόμοια με το ακατέργαστο πετρέλαιο. Αλλά για μια αντίδραση αυτού του είδους απαιτείται θερμοκρασία 200 °C. Τέτοιου είδους όμως θερμοκρασίες δεν διαφαίνονται κατά την πετρολογική εξέταση των πετρελαϊκών πετρωμάτων.

1.11 Θεωρία οργανικής προελεύσεως του πετρελαίου – ζωική (θαλάσσια)

Αυτή η άποψη θεωρείται και ως η πλέον επικρατούσα. Η έρευνα που έχει γίνει για να δείξει τις σχέσεις άνθρακα-πετρελαίου δεν ενδιαφέρεται τόσο για το εάν το πετρέλαιο είναι ζωικής ή φυτικής προέλευσης όσο για το εάν πρόκειται για θαλάσσιες ή δελταϊκές αποθέσεις.

Αν απορριφθεί η πιθανότητα της φυτικής προελεύσεως του πετρελαίου, βλέπουμε ότι η θαλάσσια (ζωική) προέλευση του, είναι ένα κατάλληλο σημείο εκκίνησης. Παρόλα αυτά πρέπει να έχουμε υπόψη, επίσης, την πιθανότητα της θαλάσσιας φυτικής προέλευσης.

Μεγάλες ποσότητες φυκών είναι γνωστό ότι υπήρξαν στους παλαιούς ωκεανούς και είναι δυνατόν οι ποσότητες αυτές να συμπληρώθηκαν από θαλάσσια ζωικά υλικά. Το τελευταίο εκφράζει την πιθανότητα να περιέχεται μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών, όπως ιχθείς, διάτομα, μαλάκια, τρηματοφόρα κ.α.

Το πετρέλαιο, τελικά, αποδεικνύεται ότι είναι θαλάσσιας προέλευσης. Αυτό συμπεραίνεται και από τα παρακάτω :

Το 95% από τα γνωστά πετρελαιοπαραγωγικά πεδία του κόσμου βρίσκονται σε θαλάσσια ιζήματα. Από αυτό συμπεραίνεται ότι το πετρέλαιο σχηματίστηκε από θαλάσσιους οργανισμούς, εκτός βέβαια εάν δεχτούμε μια ευρεία μετανάστευση από άλλη πηγή που έλαβε χώρα άγνωστο κατά ποιο τρόπο.

Μερικά από τα πλέον αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι τα ακόλουθα :

1. Στο Ontario (Βόρεια Αμερική) οι πετρελαϊκοί πορώδεις δολομίτες περικλείονται από τους αδιαπέρατους συμπαγείς ασβεστόλιθους με πλήθος φυκών και μαλακίων.
2. Στην Καλιφόρνια πολλοί από τους πετρελαϊκούς ορίζοντες συνδέονται με τα στρώματα του Μειοκαίνου, τα οποία είναι θαλάσσια και περιέχουν σε αφθονία τρηματοφόρα και διάτομα.
3. Στη Γερμανία ο σχιστόλιθος του Περμίου και ο σχιστόλιθος με Posidonia του Λιασίου περιέχουν πετρελαϊκούς ορίζοντες, μέσα στους οποίους βρέθηκαν σε αφθονία υπολείμματα ιχθύων.
4. Στο Ιράκ και στο Ιράν το πετρέλαιο έχει βρεθεί στον ασβεστόλιθο Asmari, σε επαφή με τους γύψους και τους ανυδρίτες.
5. Στη Ζάκυνθο οι βιτουμενιούχες μάργες στο Κερί εγκλείουν σε αφθονία πλαγκτονικά τρηματοφόρα.

Όταν παρατηρήσουμε τα απολιθώματα των θαλάσσιων ζώων, βλέπουμε ότι έχουν καταστραφεί τα μαλακά τους μέρη. Η οξείδωση λαμβάνει χώρα στα αβαθή ύδατα και ιδίως στην εκβολή των ποταμών, όπου οι τοπικές συνθήκες επιτρέπουν τη διάχυση του οξυγόνου στη θάλασσα. Οι αποθέσεις σε αυτές τις περιοχές είναι γενικά ερυθροκάστανου χρώματος με τη χαρακτηριστική απόχρωση των οξειδίων του σιδήρου. Στους βυθούς των θαλασσών με μεγαλύτερο βάθος, το χρώμα της ιλύος είναι φαιό και κυανό, καθόσον η οξείδωση έχει εμποδιστεί. Από το βάθος των 200μ. και κάτω ολόκληρο σχεδόν το O₂ του βυθού των θαλασσών καταναλώνεται από τους θαλάσσιους οργανισμούς.

Κάτω από τέτοιες συνθήκες το οργανικό υλικό που καταπίπτει στο βυθό δεν οξειδώνεται πλέον, αλλά μπορεί να διατηρηθεί και να υποστεί βακτηριακή και χημική αποσύνθεση. Όσον αφορά την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων θαλάσσιου ζωικού υλικού, είναι γνωστό ότι υπήρξαν τέτοιες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι πιθανό να έχουν προκύψει από μια τοπική διαμόρφωση των ωκεάνιων ρευμάτων που οφείλεται στην εναλλαγή του θαλάσσιου βυθού. Αυτό είναι πολύ πιθανό, αφού μια μεγάλη ποικιλία θαλάσσιων ζώων, ίσως μαζί με τα θαλάσσια φυτά, είναι δυνατόν να αποτέλεσαν την πηγή από την οποία δημιουργήθηκε το πετρέλαιο, η δε διαφορετική χημική σύσταση των πετρελαίων να οφείλεται στην ποικιλία των οργανισμών (ζωικών, φυτικών) από τη μια περιοχή στην άλλη.

Μια δυσκολία για την αποδοχή της θεωρίας της ζωικής προελεύσεως του πετρελαίου είναι η μη παρουσία των φωσφορικών αλάτων σε μεγάλα ποσοστά όπως θα αναμένονταν.

Αυτό εξηγείται, καθόσον τα φωσφορικά άλατα ως συμπαγή παραμένουν στα καθιζήματα των πηγών. Πράγματι, σε όλες σχεδόν τις θαλάσσιες αργίλους υπάρχει μικρή περιεκτικότητα σε πεντοξείδιο του φωσφόρου.

Εάν δεχθούμε λοιπόν ως συμπέρασμα τη θεωρία αυτή, ότι το θαλάσσιο οργανικό υλικό έδωσε τις αρχικές ουσίες, από τις οποίες δημιουργήθηκε το πετρέλαιο, παραμένει να εξηγήσουμε πώς μετατράπηκε το οργανικό υλικό σε πετρέλαιο, πράγμα που αναλύεται παρακάτω μελετώντας το μηχανισμό της διαγένεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν ολοκληρώνεται πάντα στα ελώδη περιβάλλοντα στα λιμνοθαλάσσια, τα δελταϊκά τα λιμναία και σε ορισμένα θαλάσσια βάθη, όπου απαντά ιλύς εμπλουτισμένη με οργανικό υλικό και η έλλειψη οξυγόνου εμποδίζει την ολοκλήρωση του κύκλου του άνθρακα.

Οι πιθανοί τύποι ενέργειας που απαιτούνται για μια τέτοια μετατροπή είναι οι ακόλουθοι :

1. Θερμική
2. Πίεση με ή χωρίς καταλύτες
3. Βακτηριακή
4. Ραδιενέργεια

1.12 Πως σχηματίστηκε το πετρέλαιο και τα άλλα ορυκτά καύσιμα

Όλα τα ορυκτά καύσιμα, όπως το και το πετρέλαιο δημιουργήθηκαν από την οργανική ύλη, ζωικών και φυτικών οργανισμών. Οι βιοδείκτες στο πετρέλαιο, τα απανθρακωμένα δέντρα, τα αποτυπώματα φύλλων σε κοιτάσματα άνθρακα, αποτελούν ενδείξεις της προέλευσής τους. Στη σημερινή τους μορφή, δηλαδή ως ορυκτά καύσιμα, έφτασαν μέσω της αποδόμησης της οργανικής ύλης σε αναερόβιες συνθήκες κάτω από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες με το πέρασμα μεγάλων χρονικών περιόδων (γεωολογικός χρόνος). Τα φυτά χρησιμοποιούν το CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης για να αναπτυχθούν. Τα ζώα καταναλώνουν φυτικούς ιστούς και επιστρέφουν το CO₂ στην ατμόσφαιρα, σαν προϊόν του μεταβολισμού τους, αλλά και από την αποσύνθεσή τους. Ένα μικρό ποσοστό από την ποσότητα του άνθρακα που ανακυκλώνεται διαρκώς στο περιβάλλον «εγκλωβίζεται» μέσα στα πετρώματα και μετασχηματίζεται σε ορυκτά καύσιμα.

Οι οργανικές αποθέσεις, μπορούν να διακριθούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες : α) Τις χουμικές (humus) – οργανική ύλη στα ανώτερα στρώματα των εδαφών, β) τις τυρφώδεις (peat) – φυτικά υπολείμματα σε ελώδεις περιοχές γ) τις σαπροπηλितικές (sapropel) – οργανική ύλη στο βυθό θαλασσών και λιμνών (Πασαδάκης, 2005).

1.13 Χημεία της οργανικής ύλης

Η βιομάζα αποτελείται από 4 συστατικά : 1) πρωτεΐνες, 2) υδατάνθρακες, 3) λιπίδια, 4) λιγνίνη, τα οποία αναλύονται σε 5 στοιχεία α) άνθρακα, β) υδρογόνο, γ) οξυγόνο, δ) άζωτο, ε) θείο.

Πρωτεΐνες → **Μεγάλα πολυμερή, που σχηματίζονται από το συνδυασμό των αμινοξέων.** Τα αμινοξέα που είναι τα πλέον γνωστά είναι περίπου 27, οι δεσμοί που σχηματίζουν μεταξύ τους ονομάζονται πεπτιδικοί, ενώ έχουν και 2 χαρακτηριστικές ομάδες την καρβοξυλομάδα ($-\text{COOH}$) και την αμινομάδα ($-\text{NH}_2$).

Υδατάνθρακες → **Ονομάζονται έτσι τα σάκχαρα και τα πολυμερή τους.** Πρόκειται για απλές ενώσεις που σχηματίζουν τα φυτά με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η λέξη είναι σύνθετη και προέρχεται από τις λέξεις (ύδωρ + άνθρακας). Γενικός τύπος : $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$

Λιπίδια → **Στα λιπίδια, ανήκουν τα λίπη, τα έλαια, οι κηροί, οι εστέρες κ.α** Χαρακτηρίζονται από διαλυτότητα σε οργανικές ενώσεις, ενώ παραμένουν αδιάλυτα στο νερό.

Λιγνίνη → Σημαντικό **συστατικό του στηρικτικού ιστού των φυτών.**

Η προέλευση της οργανικής ύλης

Οι 4 ομάδες οργανισμών που αποτελούν την πηγή της οργανικής ύλης είναι : α) βακτήρια, β) φυτοπλαγκτόν, γ) ζωοπλαγκτόν, δ) ανώτερα χερσογενή φυτά.

Βακτήρια → Είναι οι πλέον πρωτόγονοι οργανισμοί, και γι αυτό είναι εξαιρετικά προσαρμοσμένοι. Αποτελούνται από 50% πρωτεΐνες, 20% μεμβράνες και 10% λιπίδια. Αυτή η οργανική ύλη αποτελεί το 20% της μάζας των βακτηρίων, ενώ το υπόλοιπο 80% είναι νερό.

Φυτοπλαγκτόν → Κύρια πηγή οργανικής ύλης, όσον αφορά το υδρόβιο περιβάλλον. Η σύνθεσή του ποικίλλει ανάλογα με το είδος των φυκιών του εκάστοτε φυτοπλαγκτόν, ενώ εξαρτάται και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, θρεπτικά συστατικά).

Ζωοπλαγκτόν → Παρόμοια χημική σύνθεση με το φυτοπλαγκτόν

Ανώτερα χερσογενή φυτά → Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των ανώτερων φυτών, συντίθεται κυρίως από λιγνίνη και κυτταρίνη που αποτελούν το 50-70%. Επίσης περιέχουν λιπίδια, που μπορεί να προέρχονται από φλοιούς, φύλλα, σπόρους, γύρη, φρούτα κ.α

Μηχανισμός συσσώρευσης της οργανικής ύλης στα ιζήματα

Η συσσώρευση της οργανικής ύλης, γίνεται σε ιζήματα που αποτίθενται σε υδατικό περιβάλλον. Ως ελάχιστο ποσοστό οργανικού άνθρακα, για να μπορούν να θεωρηθούν τα πετρώματα, **μητρικά πετρώματα** γένεσης πετρελαίου είναι : 1) Για τα **ψαθυρά προσχωσιγενή 3.0%**, 2) Για τα **ανθρακικά και εβαποριτικά ιζηματογενή 2.0%**.

Η οργανική ύλη, για να διατηρηθεί στο πέτρωμα, πρέπει να προστατεύεται από τη βιοαποδόμηση. Η διατήρηση της οργανικής ύλης, σχετίζεται με περιβάλλοντα όπου οι περιεκτικότητες σε οξυγόνο είναι χαμηλές. Η αποσύνθεση του οργανικού υλικού,

και η μετατροπή του σε CO₂, ευθύνονται για την ελάττωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου.

Η παραγωγικότητα του οργανικού υλικού, συνεπώς και η ποσότητα της οργανικής ύλης που παράγεται σε ένα χρονικό διάστημα dt , επηρεάζεται από : 1) τη διαθεσιμότητα της τροφής, 2) την ένταση του φωτός, 3) τη θερμοκρασία, 4) τον εφοδιασμό σε ανθρακικά, 5) την προσβολή από οργανισμούς, 6) τη χημεία του νερού.

Κατόπιν η οργανική ουσία μετατρέπεται σε κηρογόνο. Τα στάδια μετατροπής της οργανικής ουσίας σε κηρογόνο, είναι τα ακόλουθα : α) αποικοδόμηση της κυτταρικής ουσίας, β) σχηματισμός υδατοδιαλυτών συμπλόκων που περιέχουν αμινοξέα και υδατάνθρακες, γ) σχηματικών φουλβικών οξέων – σχηματισμός χουμικών οξέων, δ) σχηματισμός χουμίνης, ε) σχηματισμός κηρογόνου.

1.13.1 Το κηρογόνο

Ο όρος κηρογόνο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάσπαρτη οργανική ουσία στα ιζηματογενή πετρώματα. Κηρογόνο, λέγεται το μέρος εκείνο της οργανικής ύλης που βρίσκεται σε ιζηματογενή πετρώματα και παραμένει αδιάλυτο από συνήθεις οργανικούς διαλύτες. Το διαλυτό μέρος ονομάζεται βιτουμένιο. Η αδυναμία διάλυσης του κηρογόνου αποδίδεται στο μεγάλο μοριακό βάρος, και μέγεθος των μορίων που το αποτελούν. Η σύσταση του κηρογόνου, χαρακτηρίζεται από τη θερμική του ωρίμανση. Η αύξηση της θερμοκρασίας, ανάλογη του βάθους ταφής, προκαλεί αντιδράσεις οι οποίες διασπούν το κηρογόνο (Πασαδάκης, 2005).

1.14 Η διαδικασία μετασχηματισμού της οργανικής ύλης σε πετρέλαιο στα ιζήματα

Διαγένεση

Σε αυτή τη φάση έχουμε το σχηματισμό των πρώτων ιζημάτων. Έχουμε επίσης μικρή άνοδο της πίεσης και της θερμοκρασίας, όπου το σύστημα δε βρίσκεται σε ισορροπία, ακόμη και απουσία μικροοργανισμών, εντούτοις, τείνει προς τα εκεί.

Τα ιζήματα αυτά, περιέχουν μεγάλα ποσά νερού, νεκρό οργανικό υλικό και ορισμένους ζωντανούς μικροοργανισμούς. Στα πρώτα στάδια της διαγένεσης σημαντικό ρόλο παίζουν τα μικρόβια, που είναι αερόβιοι και αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Με αυτό τον τρόπο αρχίζει η μετατροπή του οργανικού υλικού. **Πιθανόν θα παραχθούν μικρές ποσότητες μεθανίου. Στο τέλος της φάσεως της διαγένεσης έχουμε σχηματισμό κηρογόνου.**

Καταγένεση

Το στάδιο της καταγένεσης, πραγματοποιείται καθώς αυξάνεται προοδευτικά το βάθος ταφής των ιζημάτων που περιέχουν την οργανική ύλη που μας ενδιαφέρει. Αυτό γίνεται με την πάροδο των χρόνων, αλλά και τεκτονικών μεταβολών καθώς νέα ιζήματα σχηματίζονται πάνω στα παλαιότερα.

Η θερμοκρασία αυξάνεται από 50°C μέχρι 150°C, και η γεωστατική πίεση επίσης, λόγω της αύξησης της πίεσης των υπερκειμένων από 300bar έως 1000bar, ενίοτε και 1500bar.

Καθώς το πέτρωμα συμπιέζεται αποβάλλεται νερό, ελαττώνεται το πορώδες του και η διαπερατότητα του, αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άλατα, ενώ αρχίζει η θερμική αποικοδόμηση του κηρογόνου παράγοντας πρώτα υγρό πετρέλαιο και εν συνεχεία υγρό αέριο (περιέχει εύκολα υδροποιήσιμους υδρογονάνθρακες) και συμπύκνωμα. Παράγονται υδρογονάνθρακες και μεθάνιο.

Όσον αφορά και τα 3 αυτά στάδια, της γένεσης των υδρογονανθράκων από το κηρογόνο, σταδιακά έχουμε και ορυκτολογικές μεταβολές, κυρίως στα στάδια της καταγένεσης και μεταγένεσης (π.χ ο σμεκτίτης μετατρέπεται σε ιλλίτη).

Μεταγένεση

Η μεταγένεση είναι το τελευταίο στάδιο της εξέλιξης των ιζημάτων, το οποίο συντελείται σε βαθιές τάφρους και ζώνες, όπου υπάρχουν γεωσύγκλινα, κάτω από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Πιθανή είναι η παραγωγή ξηρού αερίου. Πιθανή επίσης είναι η καταστροφή της αρχικής δομής του πετρώματος. Τα αργιλικά υλικά χάνουν το διαστρωματικό τους νερό και αποκτούν έναν υψηλότερο βαθμό κρυσταλλικής δομής (π.χ σμεκτίτης → ιλλίτης) (Πασαδάκης, 2005).

1.15 Το πετρέλαιο

Το πετρέλαιο είναι ένα υγρό μίγμα υδρογονανθράκων και ετεροενώσεων, με υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η **σύσταση** του παρουσιάζει έντονες διαφοροποιήσεις ανάλογα με την προέλευση και την ηλικία του, από πετρώματα πολύ «βαριά», με μεγάλα ειδικά βάρη υδρογονανθράκων, μέχρι πετρώματα πολύ πλούσια σε ελαφρούς υδρογονάνθρακες. Η **ηλικία** ενός πετρελαίου μπορεί να κυμαίνεται **από 1 έως 600 εκατ. χρόνια**. Οι υδρογονάνθρακες που απαντώνται κυρίως στο πετρέλαιο είναι 1) **αλκάνια** (παραφίνες), έχουν ιδιαίτερα υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο και είναι πρακτικά αδιάλυτα στο νερό, 2) **ναφθενικοί υδρογονάνθρακες**, με έναν ή περισσότερους δακτυλίους, 3) **αρωματικοί υδρογονάνθρακες**, με έναν ή περισσότερους βενζολικούς δακτυλίους. Το εκάστοτε πετρέλαιο **περιέχει επίσης ετεροσυστατικά**, δηλαδή ενώσεις του πετρελαίου, που περιέχουν στο μόριο τους άτομα στοιχείων, επιπλέον του άνθρακα και του υδρογόνου. Τα κύρια ετεροσυστατικά είναι το **θειό (S)**, το **άζωτο (N)**, το **οξυγόνο (O₂)** και οι **οργανομεταλλικές ενώσεις**.

Μετά την άντληση, επεξεργαζόμαστε το πετρέλαιο και απομακρύνουμε τα ετεροσυστατικά που αυτό περιέχει με διεργασίες όπως η αποθείωση. Προβλήματα λόγω ετεροσυστατικών είναι οι αποθέσεις στις γραμμές παραγωγής, 2) η δημιουργία φαινομένων διάβρωσης, 3) προβλήματα στους καταλύτες κλπ.

Ανάλογα με την **γεωλογικό χρόνο που σχηματίστηκε το πετρέλαιο**, παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές στην οργανική ύλη, με την οποία σχηματίστηκε:

- **Κάμβριο-Σιλλούριο** (570 – 400 εκ.χρόνια) ⇒ (Κυρίως φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, βακτήρια).
- **Δεβόνιο-Ιουρασικό** (400 – 140 εκ.χρόνια) ⇒ (κυρίως φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, βακτήρια και λίγα ανώτερα φυτά).
- **Κρητιδικό-Σήμερα** (140 εκ.χρόνια έως σήμερα) ⇒ (Κυρίως ανώτερα φυτά).

Επίσης θέλοντας να κατηγοριοποιήσουμε τα πετρέλαια ηλικιακά, θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε ότι : α) Το **37% των πετρελαίων** είναι **καινοζωικά**, δηλαδή ηλικίας από 10 εκ.χρόνια μέχρι σήμερα, β) το **53%** των πετρελαίων είναι **μεσοζωικά**, δηλαδή ηλικίας από 150 εκ.χρόνια μέχρι 10 εκ.χρόνια πριν, και γ) το **10%** των πετρελαίων είναι **παλαιοζωικά**, δηλαδή ηλικίας από 150 εκ.χρόνια και πριν (Πασαδάκης, 2005).

1.16 Φυσικά χαρακτηριστικά των πετρελαίων

Επειδή το πετρέλαιο ποικίλλει ως προς την αναλογία των διαφόρων χημικών ενώσεων υδρογονανθράκων, και οι φυσικές ιδιότητες του ποικίλλουν σημαντικά. Ειδικότερα το χρώμα, η πυκνότητα και το ιξώδες. Έτσι διακρίνουμε εκτός των αερίων υδρογονανθράκων, λεπτόρρευστα υγρά της μορφής της γκαζολίνης μέχρι της παχύρρευστης μαύρης ασφάλτου.

Το πετρέλαιο σε λεπτά στρώματα μπορεί να είναι άχρωμο, διαφανές, διαφώτιστο διαφόρων βαθμών έως αδιαφανές. Δεν αναμιγνύεται με το ύδωρ και είναι ελαφρότερο από αυτό.

Η πυκνότητα του πετρελαίου μετράται κάτω από συνθήκες θερμοκρασίας 16°C ή 60F και πίεσεως μίας ατμόσφαιρας. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως η κλίμακα A.P.I. (American Petroleum Institute), στην οποία για το καθαρό ύδωρ λαμβάνεται πυκνότητα ίση προς 10 μονάδες. Πετρέλαια χαμηλότερης πυκνότητας έχουν περισσότερες μονάδες, γιατί η πυκνότητα A.P.I. δίνεται από τον τύπο :

$A.P.I. = [(141,5/\rho) - 131,5]$, όπου ρ = ειδικό βάρος του πετρελαίου ως προς το ύδωρ (σε 16°C).

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις αντίστοιχες τιμές πυκνότητας ως προς το ύδωρ και σε μονάδες A.P.I.

Πυκνότητα	Μονάδες A.P.I.
1,000	10
0,934	20
0,876	30
0,825	40
0,700	50
0,739	60

Πίνακας 1.1 : Μονάδες A.P.I. σε σχέση με την πυκνότητα (Δερμιτζάκης, 1986)

Το μεγαλύτερο μέρος του παραγόμενου φυσικού πετρελαίου έχει 25 – 35 μονάδες A.P.I. Η πυκνότητα (ως προς το ύδωρ) μειώνεται γενικά με το βάθος του κοιτάσματος, δηλαδή αυξάνει αντίστοιχα η πυκνότητα A.P.I., υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις του κανόνα αυτού.

Η τιμή του φυσικού πετρελαίου εξαρτάται από την πυκνότητα του. Το ελαφρότερο έχει υψηλότερη τιμή, διότι περιέχει περισσότερο ποσοστό υδρογονανθράκων γκαζολίνης, οι οποίοι είναι περισσότερο πολύτιμοι. Τα άχρωμα ή ανοικτόχρωμα πετρέλαια έχουν τις υψηλότερες τιμές σε μονάδες A.P.I. Αυτά που έχουν μέσες τιμές είναι συχνά πράσινα, ενώ αυτά που έχουν χαμηλές τιμές A.P.I. (δηλ. τα πυκνότερα) είναι σκοτεινόχρωμα έως μαύρα.

Το ιξώδες του πετρελαίου μειώνεται με αντίστοιχη αύξηση των μέσα σε αυτό διαλυμένων αερίων και της θερμοκρασίας.

Όπως είναι ευνόητο, με το βάθος του κοιτάσματος αυξάνει τόσο η θερμοκρασία όσο και η πίεση των αερίων και υγρών υδρογονανθράκων. Το ποσοστό των διαλυμένων αερίων μέσα στο πετρέλαιο αυξάνει με το βάθος, με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του διαλύματος μέχρι του σημείου κορεσμού του σε αέρια.

Στα κοιτάσματα μεγάλου βάθους το πετρέλαιο μπορεί να περιέχει έναν όγκο διαλυμένων αερίων (υπό συνθήκες επιφανείας) 150πλάσιο του όγκου του. Με την άνοδο του πετρελαίου στην επιφάνεια και την πτώση της εξωτερικής πίεσεως τα αέρια εκλύονται από το διάλυμα και μειώνεται ο όγκος του.

Το φυσικό πετρέλαιο μετράται στις Η.Π.Α κυρίως σε βαρέλια των 42 γαλλονιών το καθένα. Το βάρος πετρελαίου των 30 μονάδων A.P.I. ενός βαρελιού είναι περίπου 306 χιλιόγραμμα (Εισαγωγή στη γεωλογία των πετρελαίων, Δερμιτζάκης, 1986).

1.17 Χημικά χαρακτηριστικά των πετρελαίων

Παρόλο που οι ορυκτοί υδρογονάνθρακες συνίστανται από 2 στοιχεία μόνο, περιλαμβάνουν μεγάλη ποικιλία σύνθετων χημικών ενώσεων. Η αναλογία των 2 στοιχείων δεν ποικίλλει πολύ, 80-87% για τον άνθρακα και 8-15% για το υδρογόνο.

Απαντώνται 3 βασικές σειρές:

- ❖ Σειρά αλκανίων (C_nH_{2n+2}) με κορεσμένες άκυκλες ενώσεις.
- ❖ Σειρά νάφθενίων (C_nH_{2n}) με κορεσμένες κυκλικές ενώσεις
- ❖ Σειρά αρωματικών υδρογονανθράκων (C_nH_n) με ακόρεστες κυκλικές ενώσεις (ισχυρή μυρωδιά, βενζόλιο).

Το πετρέλαιο είναι μίγμα ενώσεων των παραπάνω σειρών σε διάφορες αναλογίες. Στη διαφορετική δομή προστίθεται και η παρουσία ενώσεων διαφόρου μεγέθους μορίων, τα οποία χαρακτηρίζονται με απλό τρόπο, με βάση τον αριθμό των ατόμων C στη δομική μονάδα.

Τα κοιτάσματα αποτελούνται από μίγματα μορίων διαφόρων τύπων δομής και μεγεθών. Εξαιρούνται ορισμένα κοιτάσματα γήινου αερίου που περιέχουν κυρίως CH_4 με λίγα μεγαλύτερα μόρια της σειράς της παραφίνης. Επίσης συνυπάρχουν μικρά ποσά αζώτου και ορισμένες φορές ίχνη ευγενών αερίων.

Κοιτάσματα με πολύ πεντάνιο και εξάνιο είναι υπό κανονικές συνθήκες τόσο κοντά στο σημείο ζέσεως, ώστε κατά την άντληση να απαιτούν ιδιαίτερη τεχνική. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί αποτελούν το λεγόμενο συμπύκνωμα προς διάκριση από τους άλλους που έχουν υψηλότερο σημείο ζέσεως.

Επίσης οι ημίρρεστοι ασφαλίτες και η υπό κανονικές συνθήκες στερεή ασφαλτος είναι κατά τη χημική δομή πετρέλαια, τα οποία έχουν στερεοποιηθεί μεταγενέστερα με οξείδωση και κατά το πλείστον δεν είναι δυνατόν να αντληθούν από τις γεωτρήσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα αργό πετρέλαιο μπορεί να αποτελείται από περισσότερες των 200 ενώσεων (Δερμιτζάκης, 1986).

1.18 Περιβάλλον σχηματισμού του πετρελαίου

Οποιαδήποτε διεργασία δημιουργίας του πετρελαίου κι αν θεωρηθεί ως ορθή, είναι φανερό ότι το πετρέλαιο πρέπει να έχει σχηματισθεί σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα μετά την αρχική αποσύνθεση των οργανικών υλικών.

Επίσης αποδεικνύεται ότι το πετρέλαιο σχηματίστηκε σε αναερόβιο περιβάλλον από την παρουσία θειούχων και πυριτικών αλάτων, καθώς και των πορφυρινών. Οι πορφυρίνες είναι παρούσες στα αζωτούχα συστατικά του πετρελαίου.

Το ύδωρ της θάλασσας μπορεί να γίνει αναερόβιο περιβάλλον είτε λόγω του βάθους, είτε λόγω μη κυκλοφορίας. Αλλά ο λιθολογικός χαρακτήρας των ιζημάτων του πετρελαίου δείχνει ότι πρόκειται περί αποθέσεων αβαθών θαλασσών, άρα η έλλειψη του O_2 πρέπει να αποδοθεί στη στασιμότητα των υδάτων.

Πιθανόν, λόγω της υπερβολικής συγκεντρώσεως αλάτων και της βαθμιαίας συμπίκνωσης, να προκλήθηκε σε μεγάλη κλίμακα ο θάνατος των διαφόρων οργανισμών σε μια κλειστή θάλασσα ή κόλπο. Τα εναπομείναντα υπόλοιπα του οργανικού κόσμου θα πρέπει να ακολούθησαν το φυσικό κύκλο της ζωής τους και μετά το θάνατό τους να αποτέθηκαν μέσα στους πυθμένες των προαναφερθείσων θαλασσών. Εκεί τάφηκαν στην ιλύ του θαλάσσιου βυθού. Τα υπάρχοντα βακτηρίδια απορρόφησαν το O_2 και από τα βαρέα οξέα σχηματίστηκε ένα τελικό προϊόν, το στοιχειώδες πετρέλαιο (Δερμιτζάκης, 1986).

1.19 Σχέση αλατούχων υδάτων και πετρελαίου

Σχεδόν πάντα μαζί με το πετρέλαιο βρίσκουμε και αλατούχο νερό που συνήθως εμφανίζεται ακριβώς κάτω από τη ζώνη των υδρογονανθράκων, και που συχνά, κατά την άντληση, σχηματίζουν γαλακτώματα.

Τα γαλακτώματα που λαμβάνονται τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλους διαχωριστήρες, όπου λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός των ρευστών φάσεων. Επίσης υπάρχουν και λίγες περιπτώσεις περιοχών, όπου το νερό είναι χαμηλής αλατότητας. Εντούτοις σε αυτές τις περιπτώσεις το πετρέλαιο έχει μεταναστεύσει από το αρχικό του στρώμα αποθηκεύσεως (τριτογενής μετανάστευση).

Το νερό των σημερινών θαλασσών περιέχει περίπου 3,7% διαλυμένα άλατα, όπως χλωριούχο νάτριο, θεικό μαγνήσιο, θεικό ασβέστιο, θεικό κάλιο και χλωριούχο κάλιο, καθώς και ίχνη βρωμιδίων. Για αυτό υποθέτουμε ότι οι αρχαιότερες θάλασσες είχαν την ίδια περίπου σύσταση με τις σημερινές.

Όμως, το αρχικό αλατούχο θαλασσινό νερό συμπυκνώθηκε, και τα ιόντα καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου καθώς και τα θεικά, κατά κάποιο τρόπο, απομακρύνθηκαν στη διάρκεια του χρονικού διαστήματος που διέρρευσε από τη στιγμή της παγιδεύσεως των υδάτων μέσα στα ιζήματα έως σήμερα.

Η έλλειψη των θεικών αλάτων που παρατηρείται στα συμφυή ύδατα είναι δυνατόν να εξηγηθεί ικανοποιητικά με την άποψη της καταστροφής τους από βακτηρίδια, που είναι παρόντα στο αναγωγικό περιβάλλον, μέσα στο οποίο σχηματίστηκε το πετρέλαιο. Τα βακτηρίδια συγκρατούσαν το οξυγόνο των αλάτων, ενώ τα απελευθερούμενα σουλφίδια καθίζαναν μέσα στα ιζήματα. Είναι πιθανόν να ανθρακικά άλατα των αλατούχων υδάτων να είναι μετεωρικής προελεύσεως, αλλά είναι εξίσου δυνατόν να έχουν σχηματιστεί από την οξείδωση ανθρακούχων υλικών από το οξυγόνο που απελευθερώνεται κατά την καταστροφή των θεικών αλάτων : $2C + 2SO_4 = S + 2CO_2$. Η ακόλουθη υδρογόνωση του ελεύθερου θείου θα μπορούσε να δώσει το υδρόθειο, που συχνά συναντάται στις ατμίδες και στα φυσικά αέρια.

Το σε άλατα περιεχόμενο των υδάτων των πεδίων πετρελαίου αυξάνει με το βάθος, καθόσον στα ανώτερα στρώματα είναι δυνατόν να διαλυθούν από τα κατερχόμενα μετεωρικά ύδατα. Η αύξηση όμως της συγκέντρωσης σε άλατα γίνεται περισσότερο αντιληπτή, αν συγκρίνουμε τα αλατούχα ύδατα με τα ύδατα των σύγχρονων θαλασσών, πράγμα που μας οδηγεί στην υπόθεση, ότι είτε αυξήθηκε το ποσοστό των αλάτων λόγω εξωτερικών παραγόντων, είτε ελαττώθηκε το ποσοστό του ύδατος από της στιγμή της παγίδευσης του μέσα στα ιζήματα.

Η πιθανότερη εξήγηση είναι ότι τα συμφυή ύδατα αντιπροσωπεύουν τα τελευταία στάδια συμπίεσως. Το αλατούχο νερό πριν από την παγίδευση του μέσα στα ιζήματα υπέστη συμπίκνωση, λόγω εξατμίσεως. Στη συνέχεια καλύφθηκε από ιζήματα, τα οποία υπέστησαν διαδοχικές αφυδατώσεις, λόγω συμπίεσως των αργίλων, και τελικά παρέμεινε η αρχική ποσότητα αλάτων, διαλυμένη σε μια ποσότητα ύδατος ίση προς το $\frac{1}{4}$ της αρχικής. (Δερμιτζάκης, 1986).

1.20 Το φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα ελαφρών υδρογονανθράκων. Συναντάται υπό πίεση σε πορώδεις σχηματισμούς, ενώ η παραγωγή του γίνεται εύκολα, μέσω γεωτρήσεων. Κύρια συστατικά του φυσικού αερίου είναι τα ελαφρά αλκάνια : μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, n – βουτάνιο, I – βουτάνιο, n – πεντάνιο, εξάνιο. Επίσης περιέχονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις άζωτο (N_2), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρόθειο (H_2S) και ευγενή αέριο.

Το 70 – 95%, είναι συνήθως το μεθάνιο. Όταν το κύριο συστατικό είναι το μεθάνιο, τότε το αέριο ονομάζεται ξηρό αέριο (dry gas). Ενώ όταν περιέχονται βαριοί υδρογονάνθρακες υδροποτήσιμοι σε s.c τότε ονομάζεται wet gas.

Επίσης υφίσταται άλλον ένα χαρακτηρισμό όσον αφορά την περιεκτικότητα του σε υδρόθειο. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως sour, οπότε και περιέχει πολύ σχετικά υδρόθειο, ή sweet οπότε και περιέχει πολύ λίγο υδρόθειο. Μέση θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου : 1020 Btu/ft³ ή 39,1MJ/m³.

Προέλευση

Σύμφωνα με διάφορες θεωρίες η προέλευση του φυσικού αερίου, μπορεί να μην είναι πάντα βιογενική (biogenic), δηλαδή να προέρχεται από οργανική ύλη αποδομημένη, αλλά μπορεί να είναι αβιογενική (abiogenic), από μεθάνιο που σχηματίστηκε

αβιογενετικά σε βαθύτερα στρώματα της Γης ή **θερμική (thermogenic)**, δηλαδή να προήλθε από θερμική διάσπαση της οργανικής ύλης που εγκλωβίστηκε σε κάποιο σχηματισμό.

Μεταφορά

Η μεταφορά του φυσικού αερίου (φ.α.) γίνεται διαμέσου αγωγών διαμέτρου 36 inc και μήκους 40 ft. Η μέση πίεση δικτύων μεταφοράς είναι 100bar, και ρυθμίζεται με τη βοήθεια ενός δικτύου βαλβίδων και ρυθμιστών. Επίσης μεταφέρεται υγροποιημένο, μετά από συμπύκνωση. Ο όγκος του φυσικού αερίου μειώνεται περίπου 600 φορές, όταν αυτό συμπυκνωθεί και υγροποιηθεί.

Επεξεργασία του φ.α

Πρώτα οδηγείται σε εγκαταστάσεις ψύξης όπου υγροποιούνται οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες (C_5 και πάνω)

- i. Απομάκρυνση του νερού – **Αφυδάτωση** (ψύξη του νερού κάτω από το σημείο δρόσου του με στερεά προσροφητικά μέσα).
- ii. **Απομάκρυνση του αζώτου** – Κλασματική απόσταξη σε χαμηλή θερμοκρασία και ανάμειξη με άλλο αέριο υψηλής θερμογόνου δύναμης.
- iii. **Απομάκρυνση των όξινων αερίων** (Διοχέτευση του αερίου μέσα από ένα αλκαλικό διάλυμα (scrubber process) ή διεργασία ferrox όπου το H_2O αντιδρά με $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_2S_3$.
- iv. Διαχωρισμός σε επιμέρους κλάσματα.
- v. Τέλος, **προστίθεται αιθανοθειόλη** – προσδίδει χαρακτηριστική οσμή για λόγους ασφαλείας.

Όσον αφορά το κοιτάσμα του Πρίνου, πρόκειται για ένα κοιτάσμα πετρελαίου, αναφερόμενοι στη μεγάλη εκμετάλλευση που έλαβε χώρα στην περιοχή από τη δεκαετία του 1970. Μικρότερα κοιτάσματα στην ευρύτερη περιοχή έχουν ανευρεθεί πλούσια σε φυσικό αέριο. Ως αδιαπέρατο στεγανό πέτρωμα (cap rock) συχνά έχουμε μεγάλους σε πάχος εβαποριτικούς σχηματισμούς, όπως φαίνεται και στο μοντέλο του κοιτάσματος που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία (Πασαδάκης, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΙΣΤΟΡΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΡΙΝΟΥ – ΚΑΒΑΛΑΣ – ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ

Πριν από 15 – 20 εκατομμύρια χρόνια στην περιοχή που σήμερα βρίσκεται η ιζηματογενής λεκάνη Πρίνου – Καβάλας, άρχισε να βυθίζεται η περιοχή που αποτελούσε το ηπειρωτικό τμήμα και τη θέση της κατέλαβε η αναδυόμενη θάλασσα. Αποτέλεσμα αυτής της καταβύθισης ήταν η δημιουργία μιας σειράς γεωλογικών λεκανών. Αργότερα αποτέθηκε οργανικό υλικό το οποίο με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου μετασχηματίστηκε σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Ο κύριος τύπος παγίδας που απαντάται στην περιοχή είναι το αντίκλινο, ενώ το ίδιο το κοίτασμα του Πρίνου, είναι ένα ανάστροφο αντίκλινο.

2.1 Η ιστορία εκμετάλλευσης του κοιτάσματος

Η εξερεύνηση της περιοχής άρχισε με εκτεταμένες δραστηριότητες γεωφυσικών διασκοπήσεων (σεισμικών), ανατολικά και δυτικά του νησιού Θάσου στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι εξερευνητικές δραστηριότητες άρχισαν με την *Oceanic Exploration Company of Greece* σε συνεργασία με την *Hellenic Oil Company Inc.*, την *White Shield Oil Corporation* και την *Colorado Greece Oil Corporation*.

Συμβόλαιο είχε ήδη υπογραφεί με το Ελληνικό Κράτος το 1969 όσον αφορά το βορειότερο μέρος της θάλασσας του Αιγαίου, τη θάλασσα της Θράκης, που ξεκινάει από τη χερσόνησο του Άθου στα δυτικά μέχρι τα ελληνοτουρκικά σύνορα στα ανατολικά. Αργότερες εκχωρήσεις μείωσαν την περιοχή παραχώρησης στο σημερινό της μέγεθος 1700Km² (Εικ.2.1).

*Το πρώτο φρέαρ, με ονομασία **East Thassos 1**, διανοίχθηκε 20km ανατολικά της Θάσου σε ένα μεγάλο αντίκλινο το 1971.*

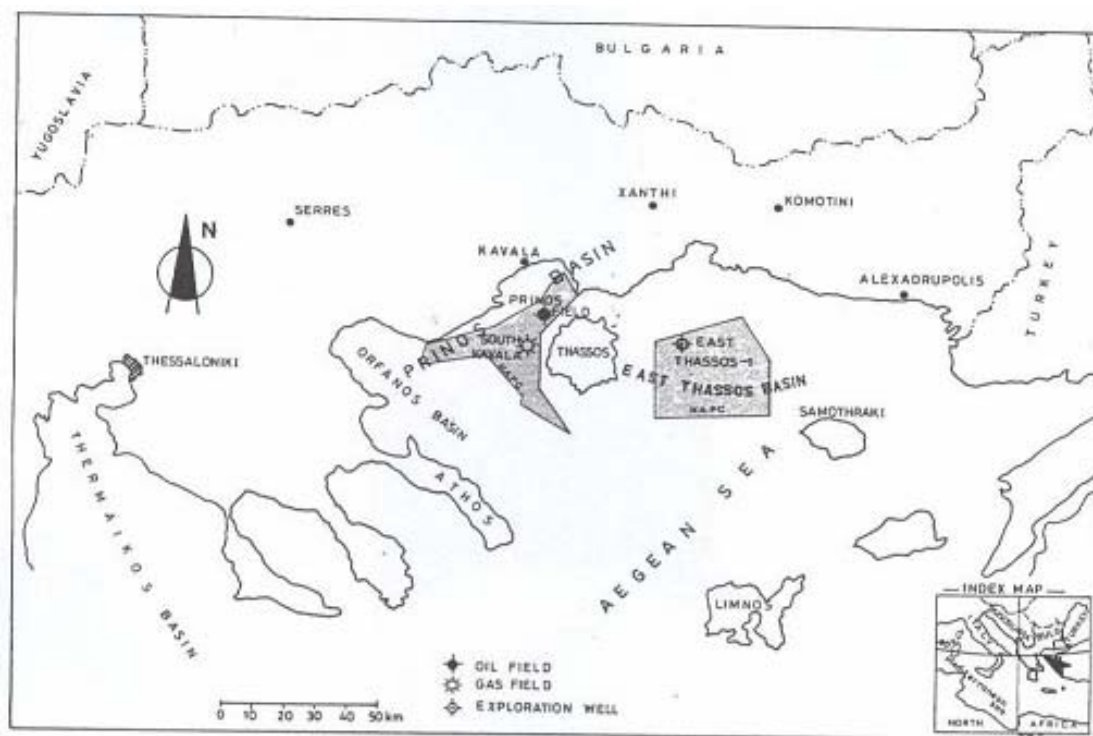
Τα επόμενα 2 φρέατα διανοίχτηκαν δυτικά του νησιού το 1972 – 1973 σε ένα ρωγματομένο αντίκλινο. Αυτό οδήγησε στην ανακάλυψη του κοιτάσματος αερίου της Ν.Καβάλας. Έλεγχοι που επακολούθησαν έδειξαν ότι το πεδίο ήταν πολύ μικρό και όχι εκμεταλλεύσιμο για εκείνη την εποχή.

Η ύπαρξη υδρογονανθράκων στην περιοχή ενθάρρυνε περαιτέρω γεωτρητική δραστηριότητα. Το τέταρτο φρέαρ, Πρίνος 1, διανοίχθηκε κοντά στο ανώτατο σημείο της δομής του Πρίνου, στα τέλη του 1973 και ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο του 1974. Με αυτό το φρέαρ ανακαλύφθηκε το κοίτασμα του Πρίνου. Το φρέαρ Πρίνος 2, που ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 1974, επικύρωσε την ύπαρξη του κοιτάσματος.

Η δομή αποτελείται από 2 αντίκλινα τα οποία διαχωρίζονται από μία μικρή τάφρο. Ο στεγανός αδιαπέρατος σχηματισμός της κορυφής είναι μία μεγάλη σε πάχος ενότητα αλάτων εντός της οποίας παρεμβάλλονται κλαστικά. Μία γενικευμένη στρωματογραφική στήλη παρατίθεται στην Εικ.2.2.

Οι παραγωγικές ζώνες, δεν βρίσκονταν εντός της σειράς των αλάτων, όπως στην περίπτωση του κοιτάσματος της Ν.Καβάλας, αλλά αμέσως κάτω της σε δομές που σχηματίστηκαν στο ανώτερο Μειόκαινο (Εικ.2.3). **Πρόκειται για 3 ταμιευτήρες, που ονομάστηκαν Α, Β και Γ, όπου στο κεντρικό μέρος του πεδίου βρίσκονται σε βάθη 2488.5μ, 2642μ, και 2743μ αντίστοιχα. Οι αρχικές πιέσεις για τις 3 ζώνες ήταν 5735psi (403.6 kg/cm²), 5840psi (411.0 kg/cm²) και 6000psi (422kg/cm²), αντίστοιχα.**

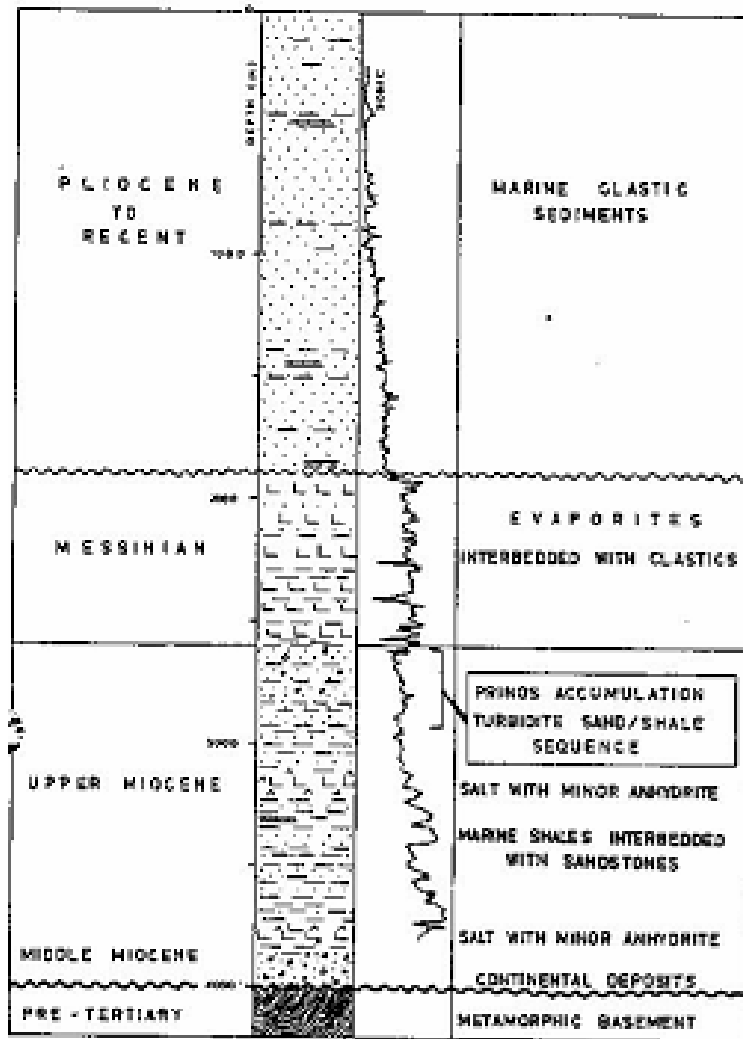
Κατά τη διάρκεια των ετών 1975 – 1977, τέσσερα ακόμη φρέατα διανοίχθηκαν. Στα μεταξύ, το 1976 η **Oceanic αντικαταστάθηκε από την καναδική Denison Mines και η κοινοπραξία νομιμοποιήθηκε με την ονομασία (NAPC) – North Aegean Petroleum Company.** Το δεύτερο φρέαρ (Πρίνος 4), απέδειξε ότι το ΒΑ ύψωμα, που αργότερα ονομάστηκε Βόρειος Πρίνος, είναι πλήρως απομονωμένο από την υπόλοιπη δομή με ένα ρήγμα με νοτιοδυτική κατεύθυνση. Αυτό μείωσε την αναμενόμενη περιοχή του πεδίου του Πρίνου, σχεδόν στο μισό. Επιπροσθέτως, ο ταμιευτήρας του Β.Πρίνου, αποδειχθεί πως είναι περιορισμένης έκτασης με λεπτότερο πέτρωμα-ταμιευτήρα και με διαφορετική ποιότητα υδρογονανθράκων. Ένα άλλο φρέαρ που διανοίχθηκε κοντά στο Πρίνος 4, το Βόρειο Πρίνος 1, που ήταν μη παραγωγικό. Ορισμένες δοκιμές για ταμιευτήρες που έγιναν κάτω από τις κύριες ζώνες του Πρίνου, δεν ήταν επιτυχείς.



Εικ. 2.1 : Χάρτης με τις περιοχές παραχώρησης στη NAPC, και τα πεδία Πρίνου και Ν.Καβάλας (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992)

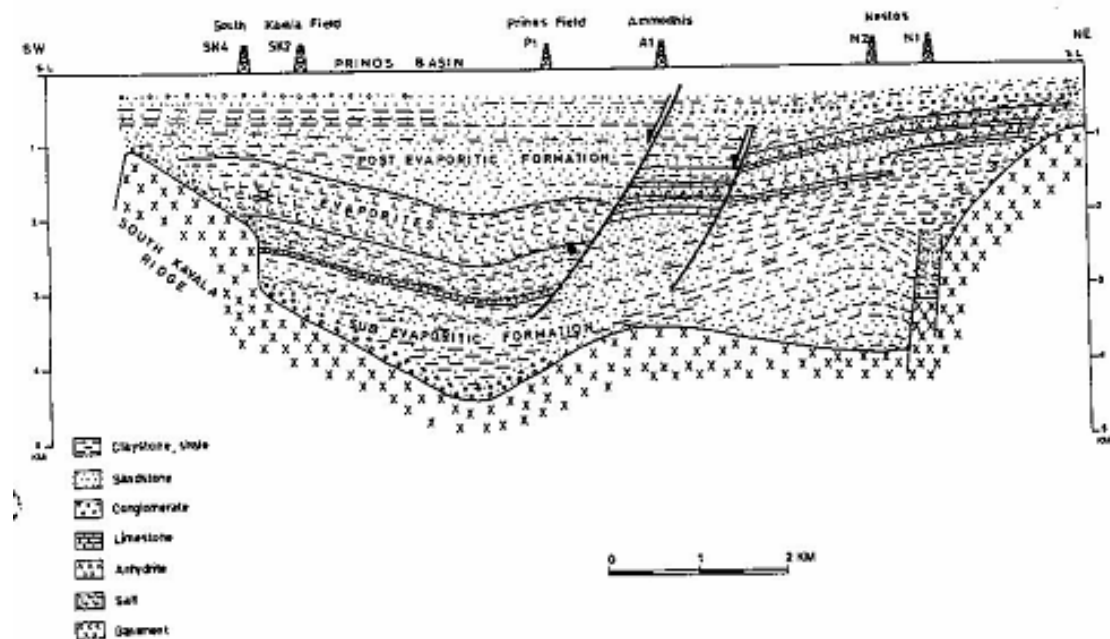
Σπουδαιότερο βέβαια οικονομικά από τα δύο αυτά κοιτάσματα είναι το κοίτασμα του Πρίνου. Το πετρέλαιο είναι εγκλωβισμένο στη δομή ενός θολοειδούς αντικλίνου έκτασης 4,5 τετρ. χλμ, και σε βάθος 2500 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Το πετρέλαιο το οποίο βρίσκεται μέσα σε στρώματα ψαμμιτών, περιέχει μεγάλες ποσότητες αερίου μέσα σε αυτό, πρόκειται δηλαδή για «ελαφρό» όσον

αφορά τα συστατικά του μίγμα υδρογονανθράκων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του είναι τα υψηλά ποσοστά σε υδρόθειο.



Εικ. 2.2 : Γενικευμένη στρωματογραφική στήλη της περιοχής του πεδίου του Πρίνου (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992)

Το δεύτερο κοίτασμα, αυτό της «Νοτίου Καβάλας» είναι ένα κοίτασμα φυσικού αερίου, πλούσιο σε ελαφρούς υδρογονάνθρακες, καθαρό, και το σπουδαιότερο χωρίς υδρόθειο. Βρίσκεται εγκλωβισμένο σε αντίκλινο έκτασης 4 τετρ. χλμ. Οι ψαμμιτικοί ορίζοντες μέσα στους οποίους βρίσκεται το φυσικό αέριο βρίσκονται σε βάθος 1700μ από την επιφάνεια της θάλασσας. Επρόκειτο για πολύ ενδιαφέρουσα οικονομικά περίπτωση.



Εικ. 2.3 : Απλοποιημένη ενότητα της λεκάνης του Πρίνου, παράλληλη προς τον επιμήκη άξονα. Παρατηρείστε τα ρήγματα και τον τρόπο που επιδρούν στις δομές. Τα στρώματα ταμιευτήρες του Πρίνου, βρίσκονται κάτω από την κύρια εβαποριτική σειρά, ενώ στο κοίτασμα της Ν.Καβάλας ο ταμιευτήρας βρίσκεται εντός της εβαποριτικής ενότητας. Τα βάθη δίνονται σε km κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992)

Ιστορία εκμετάλλευσης του κοιτάσματος (παραγωγή και διάθεση)

Τον Ιούλιο του 1981 τα κοιτάσματα «Πρίνου» και «Νοτίου Καβάλας» αρχίζουν να παράγουν. Τα πρώτα χρόνια παράγουν 25000 – 27000 βαρέλια πετρελαίου ημερησίως, βαθμιαία όμως ελαττώνονται για να πέσει η παραγωγή στα 4000 βαρέλια την ημέρα και να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα έως τις μέρες μας (1 βαρέλι = 158.9 λίτρα).

Το 1985 αναθεωρήθηκε η σύμβαση προς όφελος του ελληνικού Δημοσίου, όπου δόθηκε η δυνατότητα συμμετοχής του Δημοσίου στις περιοχές έρευνας της παραχώρησης, όχι όμως και στην παραγωγή των ήδη ανακαλυφθέντων και υπό άντληση κοιτασμάτων του «Πρίνου», και της «Νοτίου Καβάλας».

Η παραγωγή του «Πρίνου» διενεργείται από 3 εξέδρες θεμελιωμένες στο βυθό της θάλασσας. Οι δύο εξ' αυτών χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση πολλαπλών γεωτρήσεων, μέσω των οποίων πετρέλαιο και αέριο ανέρχονται στην επιφάνεια, ενώ η τρίτη χρησιμοποιείται για τις βασικές διαδικασίες διαχωρισμού του πετρελαίου, νερού και φυσικού αερίου. Μία επιπλέον εξέδρα είναι εγκατεστημένη στο κοίτασμα της «Νοτίου Καβάλας» για την εκμετάλλευσή του.

Με δύο υποθαλάσσιους αγωγούς πετρέλαιο και φυσικό αέριο μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις αποθείωσης, λίγα χιλιόμετρα ανατολικά της Καβάλας. Το πετρέλαιο αποθηκεύεται σε 3 δεξαμενές, από τις οποίες φορτώνεται σε δεξαμενόπλοια προς πώληση, ενώ από το αέριο ένα σημαντικό μέρος διατίθονταν μέχρι τις αρχές του

1994 στη βιομηχανία φωσφορικών λιπασμάτων και το υπόλοιπο χρησιμοποιούνταν για τις ανάγκες της μονάδας αποθείωσης και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόσφατα με έναν αγωγό, μέρος του αποθειωμένου αερίου, επαναφέρεται στις εξέδρες για τις ανάγκες της άντλησης.

Παράλληλα με την εκμετάλλευση των 2 προαναφερθέντων κοιτασμάτων οι προσπάθειες για τον εντοπισμό νέων ουσιαστικά ήταν διαρκείς από το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1970 έως σήμερα.

Στις αρχές του 1994 ανακαλύφθηκε το κοιτάσμα του «Βόρειου Πρίνου», το οποίο βρίσκεται 2,5 χλμ βόρεια του Πρίνου. Δύο χρόνια αργότερα το κοιτάσμα εισέρχεται στην παραγωγή με μία κεκλιμένη γεώτρηση μήκους 4.000μ. Η ΔΕΠ ΕΚΥ συμμετείχε με 35% στην ανάπτυξη και εκμετάλλευση αυτού του κοιτάσματος. Ήταν η πρώτη φορά που η δημόσια επιχείρηση πετρελαίου ως μέτοχος της κοινοπραξίας του Βορείου Αιγαίου συμμετέχει στην παραγωγική διαδικασία υδρογονανθράκων.

Η μείωση της παραγωγής από τα κοιτάσματα «Πρίνου» και «Βόρειου Πρίνου» γύρω στα 7000 βαρέλια την ημέρα, καθώς και η αδυναμία της NAPC να εντοπίσει νέα κοιτάσματα, παράλληλα με την πτώση των τιμών του πετρελαίου στη διεθνή αγορά, οδήγησαν στη διακοπή της παραγωγής και στην εγκατάλειψη των κοιτασμάτων από την ανάδοχο εταιρεία στα τέλη του 1998.

Το 1995, με πολιτική παρέμβαση τη διαχείριση ανέλαβε μια νέα κοινοπραξία, η KAVALA OIL, στην οποία κατά 67% συμμετείχε η τοπική εταιρεία «Ευρωτεχνική» και κατά 33% ο συνεταιρισμός των εργαζομένων της NAPC. Η αύξηση των τιμών του πετρελαίου κατέστησε την επιχείρηση κατ' αρχάς κερδοφόρα, μολονότι η παραγωγή περιορίστηκε περίπου στα 5000 βαρέλια την ημέρα.

Ερευνητικές Γεωτρήσεις

Η νέα εταιρεία παράλληλα με την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων του «Πρίνου», ανέλαβε την υποχρέωση να εκτελέσει 2 ερευνητικές γεωτρήσεις στα όρια της παραχώρησής της, που προσδιορίζονται σε μια περιοχή δυτικά των ακτών της Θάσου. Η πρώτη εξ' αυτών στέφθηκε με επιτυχία με την ανακάλυψη ενός μικρού σχετικά κοιτάσματος, που ονομάστηκε «Έψιλον κοιτάσμα», και βρίσκεται πλησίον του «Πρίνου».

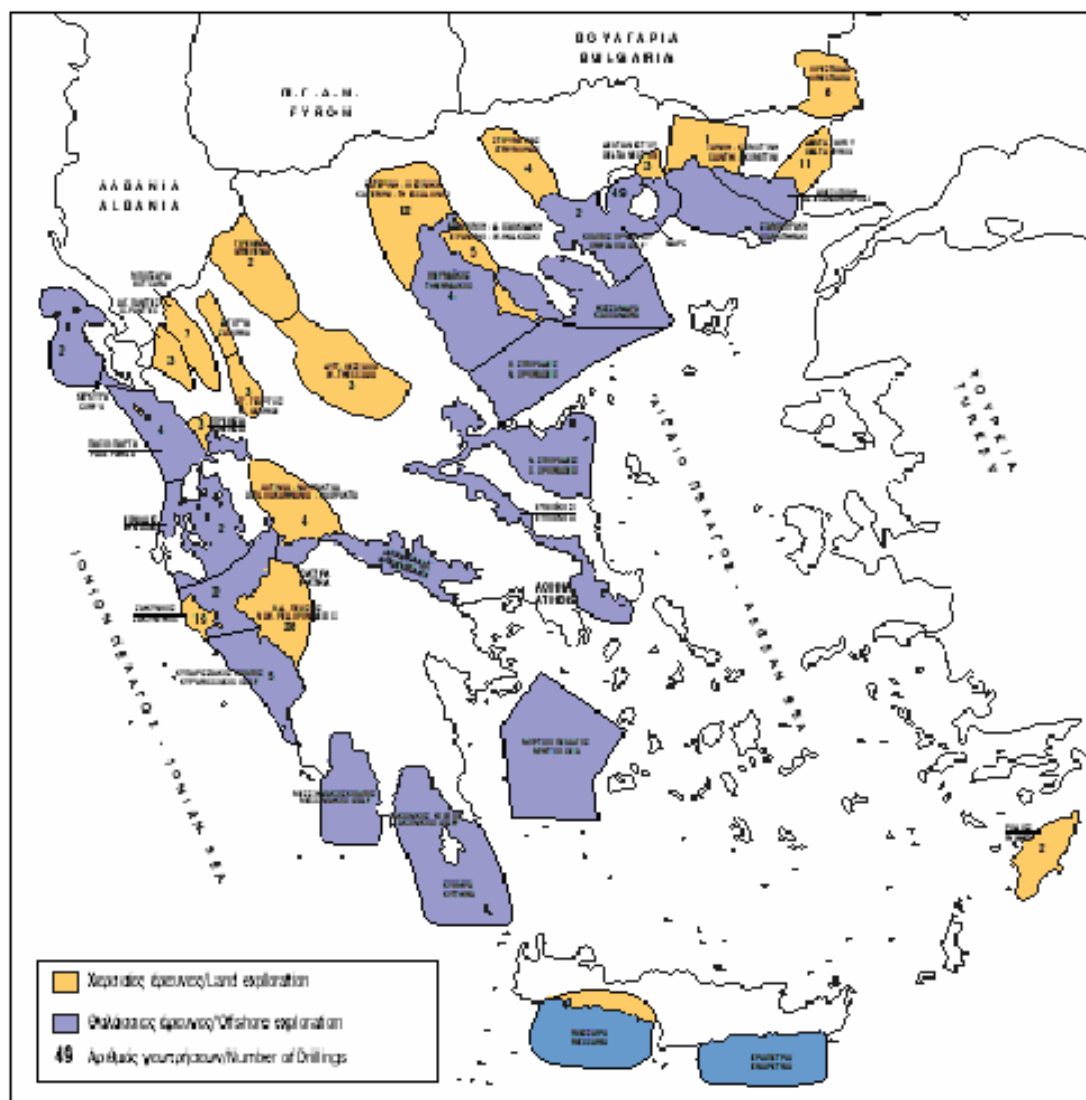
Προσδοκώντας τη διαρκή αύξηση των τιμών του πετρελαίου στο μέλλον θα ερευνηθούν όλες οι εναπομένουσες δυνατότητες για τον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων, έστω και με περιορισμένα αποθέματα στην περιοχή της Θάσου και πάντα μέσα στο εύρος των χωρικών υδάτων, λόγω της ευαίσθητης γεωπολιτικής θέσης του Αιγαίου πελάγους. Σε μία διαφορετική περίπτωση, η καθιέρωση του Β.Αιγαίου ως υπ' αριθμόν ένα πετρελαιοπαραγωγική περιοχή στον ελλαδικό χώρο θα επαναεπιβεβαιωθεί.

Είναι γεγονός ότι η πρωτογενής αυτή βιομηχανία πετρελαίου, έχει προσφέρει πάρα πολλά οφέλη στην εθνική οικονομία και στην ανάπτυξη της πόλης της Καβάλας με την ευρύτερη περιοχή της (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992).

Από το 1998 έως το 2009, οι εξελίξεις για το κοιτάσμα του Πρίνου δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η παραγωγή διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα, και ενώ τα οικονομικά προβλήματα για τη βιωσιμότητα της εκμετάλλευσης αυξάνονται αυτή συνεχίζει να λειτουργεί για 2 κυρίως λόγους. Αφενός μεν αποτελεί το μοναδικό εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα στην Ελλάδα, αφετέρου εάν η εκμετάλλευση σταματήσει τότε δεν θα είναι εύκολο να ξαναρχίσει. Τα κέρδη είναι μικρά. Εντούτοις με την νέα πετρελαϊκή κρίση οι τιμές ανέβηκαν πράγμα που αύξησε την κερδοφορία, ενώ ελήφθησαν αποφάσεις ώστε η επιχείρηση να επεκταθεί.

Το 2009, άρχισε μια καλύτερη εποχή για τα πετρέλαια στο Β.Αιγαίο, με τον εντοπισμό μεγάλων κοιτασμάτων πετρελαίου στο Βόρειο Πρίνο. Η παραγωγή 10.000 βαρελιών ημερησίως ήταν ο στόχος της πρώτης φάσης του επενδυτικού προγράμματος που ως στόχο είχε τον εντοπισμό αρχικά και την εκμετάλλευση στη συνέχεια των νέων κοιτασμάτων πετρελαίου στην περιοχή του Πρίνου. Η παραγωγή τον Ιανουάριο του 2009, με επίσημα στοιχεία δεν ξεπέρναγε τα 1.400 βαρέλια ημερησίως, όμως λόγω των υψηλών τιμών η επιχείρηση καθίστατο οριακά κερδοφόρα. Αξίζει, ίσως να σημειωθεί ότι έχει σημειωθεί αύξηση από τότε που η «Ενεργειακή Αιγαίου», εξαγόρασε το 95%, της “Kavala oil”, καθώς η παραγωγή πριν την εξαγορά δεν ξεπερνούσε τα 900 βαρέλια ημερησίως.

Οι γεωτρήσεις που έγιναν το Μάρτιο του 2009, έδωσαν θετικά αποτελέσματα και πρόσθεσαν στην παραγωγή μερικές εκατοντάδες βαρέλια ημερησίως, ενώ η γεώτρηση PB14 στον Πρίνο αναμένεται προσέφερε επιπλέον 800 – 1000 βαρέλια. Μετά το Βόρειο Πρίνο το βάρος αναμένεται να πέσει στο «κοίτασμα Έψιλον», όπου τα δεδομένα δείχνουν την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου. Το πετρέλαιο του κοιτάσματος Έψιλον, προέρχεται από νέα κοιτάσματα, καθώς εδώ και πολλά χρόνια βγαίνει μόνο ότι υπάρχει στα παλιά πηγάδια του Πρίνου, τα οποία από το 1977 έχουν δώσει περί τα 110 εκατομμύρια βαρέλια.



Εικ. 2.4 : Περιοχές έρευνας υδρογονανθράκων και γεωτρήσεις, έτους 2005 (<http://www.energeia.gr>)

Το 2009 η «Ενεργειακή Αιγαίου», επεκτάθηκε σε νέες περιοχές, καθώς συμφώνησε να αποκτήσει από την πρώην Dennison το 75% των δικαιωμάτων στον Άθω και στην Αμώδη. Έγινε μια ακόμη γεώτρηση παραγωγής στο Βόρειο Πρίνο. Το βάθος της είναι 4.400 μέτρα. Το κοίτασμα έχει υπολογιστεί γύρω στα 2 εκατομμύρια βαρέλια.

Όσον αφορά το κοίτασμα «Έψιλον» έγινε γεώτρηση βάθους 5.500 μέτρων, σε μία περιοχή που οι ενδείξεις δείχνουν απολήψιμο κοίτασμα μεταξύ 4 – 10 εκατ. βαρελιών και παραγωγή της τάξεως των 3.000 βαρελιών ημερησίως. Οι εξελίξεις συνεχίζονται καθημερινά, αλλά η ιστορία (η εκάστοτε ιστορία) πρέπει να γράφεται μετά την παρέλευση ορισμένου χρόνου, ώστε τα γεγονότα να επαληθεύονται, (όπως και σε αυτή την περίπτωση) από τα αποτελέσματα.

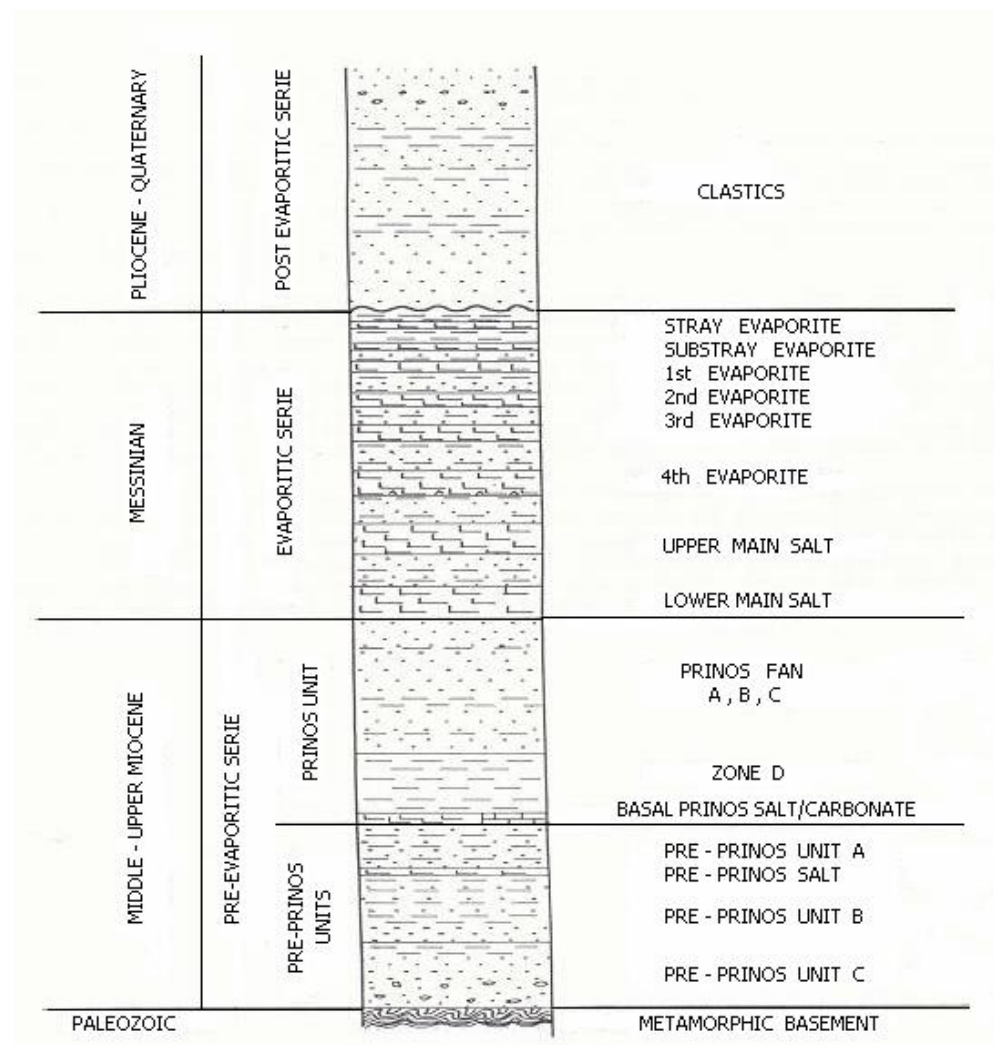
2.2 Γεωλογία της λεκάνης Πρίνου – Καβάλας

Η λεκάνη του Πρίνου, άρχισε να αναπτύσσεται από το κατώτερο έως το μέσο Μειόκαινο κατά μήκος των γραμμών ανάπτυξης ρηγμάτων στο νοτιότερο όριο της κρυσταλλικής μάζας της Ροδόπης.

Οι πρώτες αποθέσεις ήταν ηπειρωτικές με αφθονία ανθρακικών εμφανίσεων. Έχει μήκος 38χλμ, και πλάτος 20 χλμ, ενώ ο κύριος άξονας έχει κατεύθυνση ΒΑ – ΝΔ.

Ο τεκτονισμός της περιοχής ξεκίνησε στο κατώτερο Παλαιογενές. Η λεκάνη Πρίνου – Καβάλας υποδιαιρείται σε δύο μικρότερες λεκάνες, όπου η βορειότερη ονομάζεται υπολεκάνη του Νέστου, ενώ η νοτιότερη υπολεκάνη του Πρίνου, διαχωριζόμενες μεταξύ τους από ένα τοπογραφικά υψηλό επίπεδο (Προέδρου, 1986). Ρήγματα με κατεύθυνση ΒΔ – ΝΑ κατά μήκος του νοτιότερου μετώπου του υβώματος αναπτύχθηκαν ομόρροπα με την ιζηματογένεση, μετακινώντας τα ιζήματα νοτιοδυτικά στα βαθύτερα μέρη της λεκάνης του Πρίνου, πράγμα που οδήγησε σε μεγάλους σχηματισμούς ιζημάτων.

Η εξέλιξη της λεκάνης του Πρίνου, άρχισε κατά το Μειόκαινο. Στο πρώτο βήμα της ιζηματογένεσης, η λεκάνη βρισκόνταν σε επικοινωνία με τη θάλασσα. Η ράχη της Ν.Καβάλας ανυψώθηκε προοδευτικά και απομόνωσε τη λεκάνη, μετατρέποντας τη σε λιμνοθάλασσα κατά το Μεσσήνιο. Ένα παρόμοιο ύβωμα στα ΝΑ της Θάσου, είχε την ίδια επίδραση στη λεκάνη. Η απομόνωση οδήγησε στην απόθεση εβαποριτικών στρωμάτων (Προέδρου 1986, Προέδρου και Σιδηρόπουλος 1992).

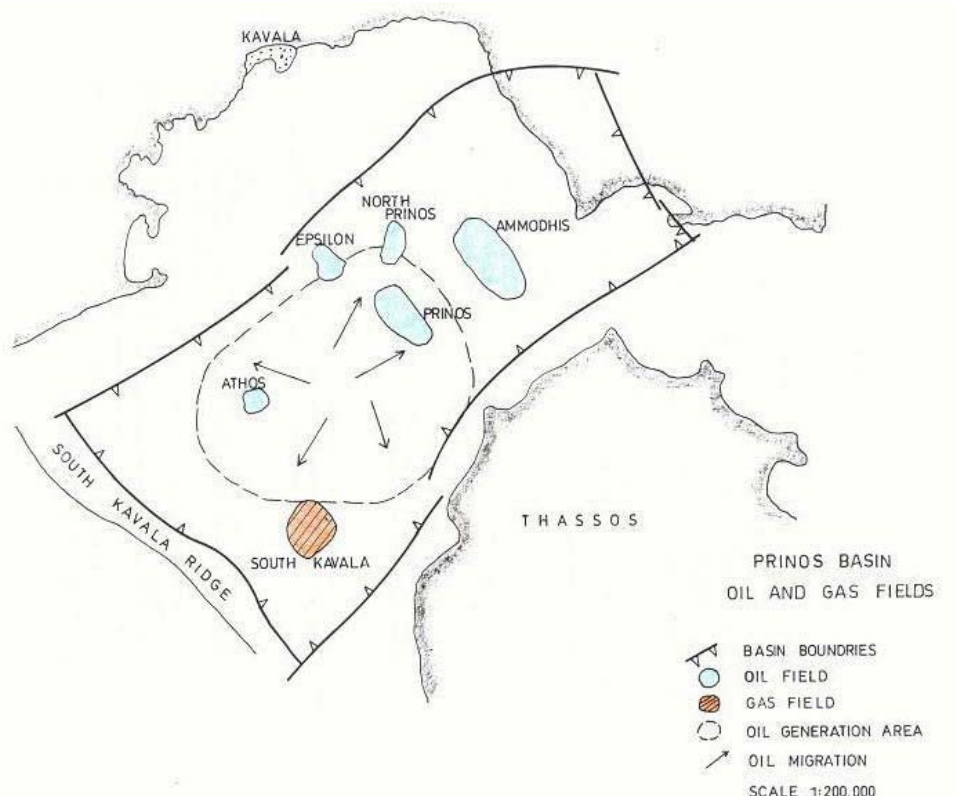


Εικ. 2.5 : Στρωματογραφική στήλη της υπολεκάνης του Πρίνου (Προέδρου, 2005)

Τα πρώτα ιζήματα αποτέθηκαν πάνω από το μεταμορφωμένο υπόστρωμα, (γνεύσιοι και μάρμαρα) που ήταν ηπειρωτικό. Στρώματα αλάτων και ανυδρίτη, εναλλασσόμενα με ψαμμίτες και αργιλικούς σχίστες θαλάσσιας προέλευσης που αποτέθηκαν επάνω τους, καθώς και το σύστημα τουρβιδιτών του Πρίνου ακολούθησαν. Αυτή η ακολουθία ονομάζεται προ – εβαποριτική ακολουθία, με ένα μέσο πάχος 2000 μέτρων. Η ύπαρξη στρωμάτων αλάτων στη βάση της λεκάνης βοήθησε τις επωθήσεις στα νοτιοδυτικά βαθύτερα μέρη της. Επτά εβαποριτικά στρώματα που εναλλάσσονται με κλαστικά και τα οποία αποτέθηκαν κατά το Μεσσήνιο, υπέρκεινται της προ – εβαποριτικής ακολουθίας. Το πάχος των στρωμάτων αλατιού υπερβαίνει τα 350 μέτρα, ενώ η ακολουθία ως σύνολο ονομάζεται εβαποριτική ακολουθία, έχονσα μέσο πάχος 800 μέτρων.

Η μετά – εβαποριτική ακολουθία, αποτελούμενη κυρίως από άμμους και αργίλους, αποτέθηκε από το Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο έως σήμερα. Το μέσο πάχος αυτής της ακολουθίας είναι 1800 μέτρα (Προέδρου & Παπακωνσταντίνου, 2004). Η στρωματογραφική στήλη της υπολεκάνης του Πρίνου παρατίθεται στην Εικ.2.5, συμπεριλαμβάνοντας τα βαθύτερα στρώματα του σχηματισμού του Έψιλον που διατρήθηκαν.

Η δομή του πεδίου του Πρίνου είναι ουσιαστικά ένα ανάστροφο αντίκλινο. Το μέσο πάχος της τουρβιδιτικής διάταξης είναι 300 μέτρα, σε κατακόρυφο βάθος 2500 μέτρων. Παρόμοια δομή αντικλίνου έχουν οι δομές του Έψιλον και της Καλλιράχης.



Εικ. 2.6 : Η λεκάνη Πρίνου – Καβάλας (Προέδρου & Παπακωνσταντίνου, 2004)

Το ισοδύναμο τουρβιδιτικό σύστημα του Πρίνου σε σχέση με αυτό του Έψιλον βρίσκεται λίγες εκατοντάδες μέτρα βαθύτερα, ενώ αυτό της Καλλιράχης βρίσκεται μερικές εκατοντάδες μέτρα πιο ρηχά.

Και στις 2 περιπτώσεις το πάχος του σχηματισμού είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με αυτό του Πρίνου. Η μετα – εβαποριτική και η εβαποριτική ακολουθία, αναγνωρίστηκαν καθώς επίσης και μέρος της προ – εβαποριτικής ακολουθίας. Συσσώρευση υδρογονανθράκων βρίσκεται στο σύστημα των τουρβιδιτών, ενώ το αδιαπέρατο κάλυμμα της κορυφής είναι ένα αργιλικό στρώμα πάχους 10 – 14 μέτρων, που υπόκειται των εβαποριτικών στρωμάτων όπως στον Πρίνο (Προέδρου & Παπακωνσταντίνου, 2005).

2.3 Λιθολογία και στρωματογραφία

Η λεκάνη Πρίνου – Καβάλας περιέχει σειρά ιζημάτων πάχους 5800 μέτρων, που κατανέμονται ηλικιακά από το κατώτερο Μειόκαινο έως το Πλειστόκαινο. Αυτά τα ιζήματα μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες.

Κλαστικά ιζήματα που αποτέθηκαν μετά τους εβαπορίτες

Από το Πλειόκαινο έως το Πλειστόκαινο προστέθηκε μια κλαστική ακολουθία αποτελούμενη από άμμους και αργίλους, φθάνοντας ένα μέγιστο πάχος, περίπου 2700 μέτρων (Pollak, 1979). Η ακολουθία της απόθεσης, αποτελείται από λευκή γαλακτώδη άμμο, μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους κόκκων, όχι πάντα γωνιακή, σε ορισμένες περιπτώσεις περιέχοντας απολιθώματα και ίχνη μίκας (μοσχοβίτης). Αυτή η άμμος υπερτίθεται ενός διαφορετικού στρώματός άμμου, σφαιρικού, που περιέχει ίχνη γλαυκωνίτη και λεπτές ενδιάμεσες στρώσεις αργίλων, χρώματος ανοικτού έως σκούρου τεφρού, ελαφρώς ασβεστιτική με πυριτικά εγκλείσματα. Οι προαναφερθείσες άμμοι έχουν συνολικό πάχος 1370 μέτρων, και βρίσκονται κάτω από μία λευκή γαλακτώδη άμμο, μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους κόκκων, παρουσιάζοντας σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερα τεμάχια, διαχωριζόμενη από ιλυόλιθους (siltstone), με αργιλική δομή. Αυτή η άμμος περιέχει ίχνη ασβεστόλιθου, χρώματος ανοικτού τεφρού, ενίοτε χρώματος ωχρού, λευκού έως κιτρινέρυθρου, σκληρού και ελαφρά δολομιτικού κατά μέρη. Στη βάση της μετα-εβαποριτικής ακολουθίας και στην κορυφή των εβαποριτών υπάρχει ένα στρώμα που χρησιμεύει ως δείκτης και ονομάζεται «Brown Marker». **Πρόκειται για μία μάργα, ανοικτή έως μέτρια τεφρή, λεπτή, μεγάλης υγρασίας, ασβεστιτική έως πολύ ασβεστιτική, ενίοτε στερεή έως πολύ σκληρή με σειρά σκούρων αργιλικών στρώσεων.**

Η εβαποριτική ακολουθία

Οι εβαπορίτες αποτελούν το δεύτερο δυσκολότερο εμπόδιο προς τη μετανάστευση των υδρογονανθράκων που υπάρχει στις ιζηματογενείς λεκάνες. **Οι εβαπορίτες δρουν σαν μία άριστη σφραγίδα που παγιδεύει αποτελεσματικά τους περισσότερους από τους υδρογονάνθρακες που δημιουργούνται στα προ – εβαποριτικά ιζήματα** (Hunt, 1996). Η λεκάνη Πρίνου – Καβάλας πληρώθηκε από μία εβαποριτική και κλαστική ακολουθία πάχους 800 μέτρων κατά τη διάρκεια του Μειόκαινου. Εδώ επτά εβαποριτικοί κύκλοι πιθανόν συνέβησαν την εποχή του Μεσσηνίου συμβάντος. (Pollak 1979, Proedrou 1979).

Η εβαποριτική ακολουθία ξεκινάει με τον “stray evaporite” (εβαπορίτης που δεν είναι και τόσο συνεκτικός), δηλαδή ένα **υπόστρωμα πάχους 10 μέτρων από ανυδρίτη**, λευκό, μαλακό έως μέτριας σκληρότητας, που συνδέεται με ένα στρώμα άμμου κόκκων μεσαίου μεγέθους.

Το «stray evaporite» υπέρκειται ενός αργιλικού στρώματος, χρώματος ανοικτού τεφρού, ενίοτε τεφρού ή σκουρότεφρου, απαλού, άμορφου και εξαιρετικά ασβεστιτικό. Ο υποκείμενος σχηματισμός είναι ο «πρώτος εβαπορίτης» που αποτελείται από διαυγή αλίτη, σκληρό, ενίοτε πολύ σκληρό με κογχοειδή θραυσμό. Κάτωθεν του «πρώτου εβαπορίτη», παρατηρείται μία εναλλαγή αργιλικών στρωμάτων, άμμων και εβαποριτών, με συνολικό πάχος περίπου 240 μέτρα.

Οι άργιλοι είναι τεφροί έως σκούροι τεφροί, σκληροί, έως πολύ σκληροί, ενίοτε όμως και μαλακοί που εξελίσσονται σε πιο ασβεστιτικούς καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα, ενώ παρεμβάλλονται στρώσεις άμμου, διαυγείς – ημιδιαυγείς, ενίοτε λευκές έως γαλακτώδεις, μεσαίου έως πολύ μεγάλου μεγέθους κόκκων.

Εντός αυτής της ακολουθίας ευρίσκεται το δεύτερο, το τρίτο και το τέταρτο εβαποριτικό στρώμα, αποτελούμενα κυρίως από αλίτη και ίχνη ανυδρίτη. Το τέταρτο εβαποριτικό στρώμα αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από αλίτη, διαυγή ενίοτε ημιδιαυγή και λευκό, στερεό έως σκληρό, παρεμβαλλόμενο από αργιλικά στρώματα, χρώματος ανοικτού τεφρού έως τεφρού, ενίοτε καστανότεφρου, και εξαιρετικά ασβεστιτικά, ενίοτε με ιλύ. Ένα αργιλικό στρώμα, τεφρό, με ελάχιστη άμμο, υπόκειται της ακολουθίας. Ο υποκείμενος σχηματισμός είναι ένα παχύ κι εξαιρετικά ανεπτυγμένο στρώμα αλάτων, που ονομάζεται «Ανώτερο κύριο άλας». Αποτελείται αποκλειστικά από αλίτη, γαλακτώδες λευκό, που σχηματίζει μεγάλους έως πολύ μεγάλους κρυστάλλους. Η μορφολογία των κρυστάλλων του αλίτη μελετήθηκε διεξοδικά από ένα μικροσκόπιο υψηλής ακρίβειας χρησιμοποιώντας δείγματα καλυμμένα με άνθρακα.

Ανάμεσα στο «Ανώτερο κύριο άλας» και στο «Κατώτερο κύριο άλας», βρίσκεται μια ακολουθία αποτελούμενη από αργίλους, τεφρούς έως τεφροκάστανους και ημιδιαφανή άμμο, λευκή γαλακτώδη, μεσαίου έως πολύ μεγάλου μεγέθους κόκκων με ίχνη πυρίτη και σπανιότερα ίχνη γλαυκονίτη. Το κατώτερο κύριο άλας που υπόκειται της παραπάνω ακολουθίας, αποτελεί το πλέον μεγάλο και καλύτερα ανεπτυγμένο στρώμα αλάτων στη λεκάνη Πρίνου – Καβάλας. Το πάχος αυτού του στρώματος μπορεί να φτάσει τα 75 μέτρα σε ορισμένα σημεία. Επίσης σε αυτό το στρώμα βρέθηκαν κρύσταλλοι αλίτη και βαρύτη. Στη βάση του «Κατώτερου κύριου άλατος», βρίσκεται ένας διαχωριστικός σχιστόλιθος, με πάχος περίπου 10 μέτρα. **Αυτό το στρώμα, που βρίσκεται δίπλα στις διαπερατές άμμους, αποτελείται από «υπερσυμπιεσμένη άργιλο» (OPC).** Άργιλοι δίπλα σε διαπερατές άμμους μπορεί να περιέχουν ρευστά σε υψηλή πίεση. Ωστόσο οι άμμοι μπορεί να εμφανίζουν μεγαλύτερο πορώδες από τους αργίλους σε συγκρίσιμα βάθη. Αυτοί οι άργιλοι με την ασυνήθιστα υψηλή πίεση στους ταμειυτήρες χαρακτηρίζονται “υπερσυμπιεσμένοι” (Zimmerle, 1995). Η υπερσυμπιεσμένη άργιλος σχηματίζει ένα αργιλικό στρώμα, καστανότεφρο έως σκούρο καστανότεφρο, υγρό, κολλώδες, άμορφο με μικροσκοπικά εγκλείσματα αλίτη, σηματοδοτώντας έτσι την αρχή της προ – εβαποριτικής ακολουθίας.

Κλαστικά, προ – εβαποριτικά

Κάτω από το «κατώτερο κυρίως άλας», μια κλαστική ακολουθία με πάχος περίπου 2100 μέτρων, αποτέθηκε κατά το μέσο Μειόκαινο στην περιοχή. **Εντός αυτής της ακολουθίας βρίσκονται οι πετρελαιοφόροι ψαμμίτες.**

Οι ψαμμίτες της λεκάνης Πρίνου – Καβάλας είναι κατά κανόνα συμπαγείς και πολυστρωματικοί πράγμα που χαρακτηρίζει έναν **τουρβιδίτη**. Τα ψαμμιτικά στρώματα επίσης δεικνύουν έντονα βασικές επαφές στους υποκειμένους σχιστόλιθους και γενικότερα έντονα βασικά χαρακτηριστικά, που αποτελούν άλλο ένα κοινό χαρακτηριστικό των τουρβιδιτών.

Ο ταμιευτήρας περιέχει ποσότητες διαστρωματικού σχιστόλιθου, που μαζί με το πάχος των στρωμάτων, δηλώνουν διαφορές στη θέση εντός του αποθηκευτικού καναλιού. Αυτές οι διαφορές αντανακλώνται στις διαγραφίες των ακτινών γ. Η συνολική ενότητα έχει διαιρεθεί σε υποκειμενικά σε τέσσερα μέρη για χαρτογράφηση ταμιευτήρων. Κάθε ένα από αυτά τα μέρη περιορίζεται από συνεχή στρώματα σχιστόλιθων που μπορούν να συσχετιστούν στον ταμιευτήρα, με κάθε μέρος να παρουσιάζει πλευρικές αλλαγές. **Το μέγεθος των κόκκων των ψαμμιτών του ταμιευτήρα διαφοροποιείται από πολύ μικρό έως πάρα πολύ μεγάλο.**

Η πλήρωση της δομής μπορεί να φθάσει το 20% σε ορισμένες περιπτώσεις και αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από αυθηγενή καολινίτη. Το χρώμα ποικίλλει από γαλακτώδες λευκό-ωχρό, τεφρό έως τεφρό καστανό. Οι σχήμα των κόκκων δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται, άλλοτε περισσότερογωνιώδες, άλλοτε περισσότερο σφαιρικό, με κατανομή μέτρια έως καλή. Η άργιλος είναι χρώματος τεφρού, μαλακή, με μεγάλο ποσοστό υγρασίας, ενίοτε μετατρέπόμενη σε ιλύ, κατά τόπους. Στο κατώτερο μέρος της προ – εβαποριτικής κλαστικής ακολουθίας, βρίσκεται ασβεστολιθικό υπόστρωμα, τεφρό έως σκούρο τεφρό, μεγάλης σκληρότητας. Ο ασβεστόλιθος σχετίζεται με άργιλο σε ποσοστό 10% και ψαμμίτη σε ποσοστό 20%.

Συμπεράσματα

Η ιζηματογενής ακολουθία της λεκάνης Πρίνου – Καβάλας είναι μια διαβαθμισμένη ακολουθία που δημιουργήθηκε από ποτάμιες αποθέσεις σε μεγάλο βάθος, όχι μακριά από την ακτή. Η διατήρηση της οργανικής ύλης ευνοήθηκε από τη γρήγορη ιζηματογένεση και τη δημιουργία τουρβιδίτη. Δημιουργήθηκαν συνθήκες ευνοϊκές για τη διατήρηση της θαλάσσιας οργανικής ύλης, εξαιτίας του γρήγορου σχηματισμού, του εβαποριτικού περιβάλλοντος κατά την περίοδο του Μεσσήνιου Συμβάντος (Georgakopoulos A., 1998).

2.4 Οι εβαπορίτες του Πρίνου – Αναφορά στο σχηματισμό

Όπως προαναφέρθηκε, οι εβαπορίτες της λεκάνης του Πρίνου σχηματίστηκαν στο ανώτερο Μειόκαινο και είναι συνομήλικοι με όλους τους μεγάλους εβαποριτικούς σχηματισμούς που υπάρχουν στην περιφέρεια της λεκάνης της Μεσογείου.

Η λεκάνη άρχισε να σχηματίζεται στο κατώτερο Μειόκαινο. Μορφολογικά μπορεί να διαιρεθεί σε δύο υπολεκάνες. Μετά τις πρώτες ηπειρωτικές αποθέσεις συνέβη κάτι που άλλαξε τη μορφολογία της λεκάνης. Η ιζηματογένεση άλλαξε την εσωτερική μορφολογία της λεκάνης και δημιούργησε μία βαθιά υπολεκάνη Νότια, με μεγάλη επίπεδη κλίση στο Βορρά.

Με μία υποχώρηση, η οποία έλαβε χώρα στην περιοχή στο ανώτερο Μειόκαινο, αυτή η λεκάνη αποκόπηκε από την ανοικτή θάλασσα, πράγμα που είχε ως συνέπεια το σχηματισμό των εβαποριτών, που ευνοήθηκε από το ξηρό κλίμα που επικρατούσε

τότε στην περιοχή. Στην επίπεδη περιοχή με την κλίση, αποτέθηκαν ασβεστόλιθος και ανυδρίτης, ενώ τα βαρύτερα άλατα καθίζαναν στα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης και αργότερα σχημάτισαν τον αλατούχο δόμο.

Έξι στρώματα αλάτων, με μεγάλες κλαστικές δομές στο εσωτερικό τους, που αποτέλεσαν την ύστερη φάση της ιζηματογένεσης συνθέτουν την εβαποριτική ζώνη. Απομονωμένες εμφανίσεις ανυδρίτη είχαν από καιρό εντοπιστεί, στην ευρύτερη περιοχή της Απολλωνίας, νοτιοδυτικά της Καβάλας. Εκτεταμένη γεωτρητική έρευνα τα τελευταία χρόνια στον κόλπο της Καβάλας στο Β.Αιγαίο και στο γειτονικό πεδίο του Νέστου, από ένα πλήθος ξένων εταιριών που συνεργάστηκαν και από τη Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (Δ.Ε.Π) στην Ελλάδα δημιουργήθηκε ένα μοντέλο για τη γεωλογία της περιοχής που έδειχνε την ύπαρξη μεγάλων εβαποριτικών κοιτασμάτων, που δημιουργήθηκαν στη Μεσόγειο κατά το ανώτερο Μειόκαινο.

Ταυτοχρόνως με τα κοιτάσματα αλάτων στο Νότο, στο Βορρά επικράτησε μία εντελώς διαφορετική λιθολογία. Ανυδρίτης και ασβεστόλιθος κυρίως σε λεπτά στρώματα των 10 – 15 ποδών, εναλλάσσονται μεταξύ τους και με ψαμμίτη, μερικές φορές κροκαλοπαγή, λάσπη και μάργες. Ο ανυδρίτης είναι λευκός, μικροκρυσταλλικός, συμπαγής, ενώ ο ασβεστόλιθος είναι καστανόχρωμος έως τεφρός και επίσης εμφανίζει μικροκρυσταλλική δομή. Η συσχέτιση είναι πιθανή μόνο σε μικρές αποστάσεις. Παράλληλες διατάξεις εμφανίζονται πολύ συχνά. Το ολικό πάχος αυτής της ζώνης κυμαίνεται από 1800 πόδια και μειώνεται έως λιγότερο από 1000 πόδια, προς τις άκρες της λεκάνης.

Συνθήκες γένεσης των Εβαποριτών του Πρίνου

Στην ευρύτερη περιοχή μεταξύ Νέστου και Πρίνου, πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για τη γένεση εβαποριτικών κοιτασμάτων. Μετά τις αλλαγές που συνέβησαν στην περιοχή κατά το ανώτερο Μειόκαινο, που είναι ορατές σε πολλά μέρη γύρω στη λεκάνη της Μεσογείου, προέκυψε μετά από έρευνες το ακόλουθο μοντέλο : Η κοντινή (στην Καβάλα) θαλάσσια λεκάνη απομονώθηκε από την ανοικτή θάλασσα και μετατράπηκε σε λιμνοθάλασσα. Το εναπομείναν θαλασσινό νερό άρχισε να εξατμίζεται αρχίζοντας από μία περίοδο ξηρού κλίματος με θερμοκρασίες ανώτερες των 30°C που ευνόησαν τη δημιουργία κοιτασμάτων ανυδρίτη αντί κοιτασμάτων γύψου. Η υπολεκάνη πρέπει να εφοδιάζονταν περιοδικά με θαλασσινό νερό, που εισέδουε ξαφνικά κατά περιόδους από ένα κανάλι στα Βόρειο – Ανατολικά της λεκάνης.

Σύμφωνα με το μοντέλο γένεσης εβαποριτών που προτάθηκε από τον Briggs το 1958 και τροποποιήθηκε από τον Weller το 1960, η πυκνότητα του νερού παρουσίαζε μεταβολές κατά καιρούς και αυτό εξηγεί τον παράλληλο διαχωρισμό των διαφορετικών στρωμάτων, τα οποία προφανώς διαμορφώθηκαν από ύδατα διαφορετικών διαλυτοτήτων. Το βαρύτερο μέρος των αλάτων καθιζάνει προς το βαθύτερο τμήμα της λεκάνης. Τελικά η αντίθετη κίνηση των βαρέων αλάτων στο βαθύτερο τμήμα της λεκάνης, σε σχέση με αυτό που συνέβαινε έξω από τα όρια της, έδωσε ως αποτέλεσμα τα μεγάλες σε πάχος συγκεντρώσεις στο νοτιότερο βαθύ τμήμα της λεκάνης.

Στο βορειότερο τμήμα, το οποίο παρουσιάζει κλίση με τις μικρότερες πυκνότητες και τα πολύ ρηχότερα νερά, ασβεστόλιθος και ανυδρίτης σχηματίστηκαν ταυτόχρονα. Η

απόθεση άρχισε με ασβεστόλιθο και καθώς αυξάνονταν οι ρυθμοί εξάτμισης σχηματίστηκε ανυδρίτης. Ο κύκλος αυτός, επαναλαμβάνεται πολλές φορές (Προέδρου, 1979).

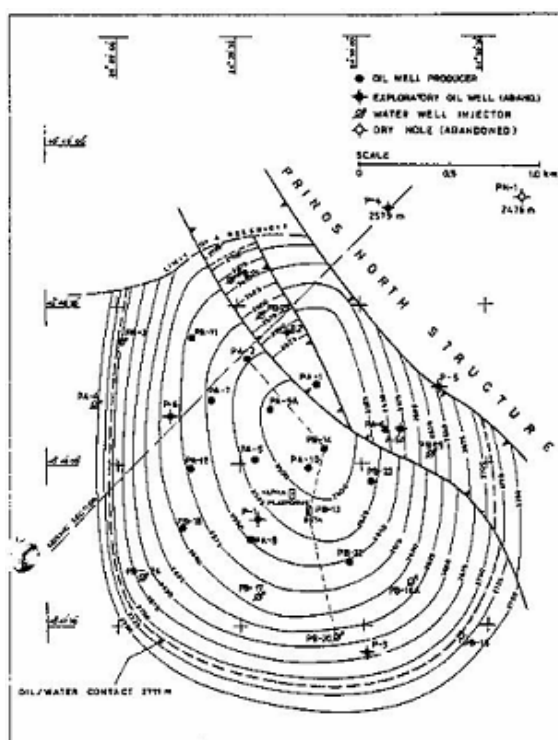
2.5 Οι ταμιευτήρες του Πρίνου

Οι ταμιευτήρες του Πρίνου αποτελούν το αποτέλεσμα τοπικών διεργασιών εξέλιξης εντός του ανώτερου μέρους, της ανώτερης ενότητας των θαλάσσιων σχιστών που σχηματίστηκαν κατά το ανώτερο Μειόκαινο. Τα τρία ψαμμιτικά στρώματα διαχωρίζονται μεταξύ τους με λεπτά στρώματα σχιστολίθων και διαχωρίζονται μεταξύ τους από δύο μοναδικούς ορίζοντες σχιστολίθων που εμφανίζονται σε μεγάλο μέρος του πεδίου. Αυτά σχηματίζουν 3 διαφορετικά στρώματα ταμιευτήρες, καθένα με ξεχωριστή επιφάνεια πετρελαίου – νερού.

Τα βάθη (κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας), στα υψηλότερα μέρη των ταμιευτήρων είναι τα ακόλουθα :

	Top	Bottom
Reservoir A	2488.5 m	2636 m
Reservoir B	2642 m	2737 m
Reservoir C	2743 m	2785 m

Πιν.ΙΙ : Top – Bottom (μέσο) για τους ταμιευτήρες του Πρίνου (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992)



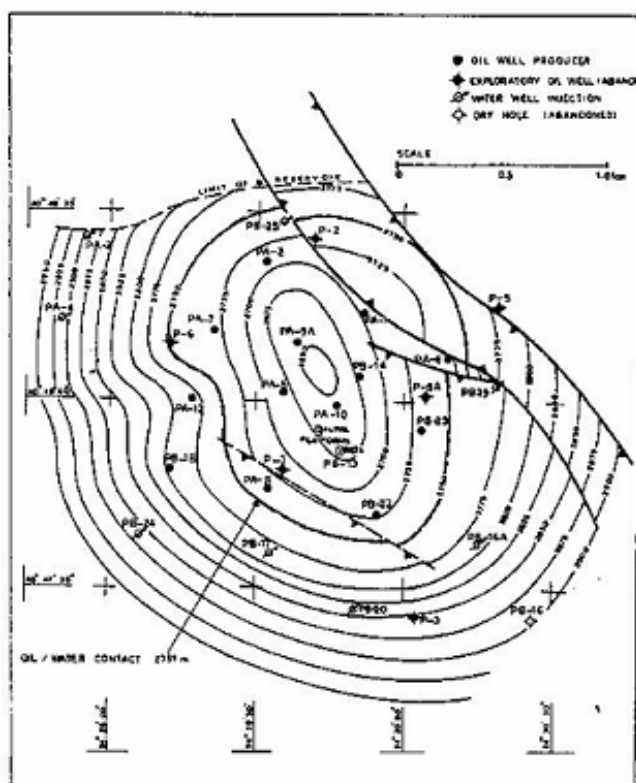
Εικ. 2.7 : Χάρτης δομής του πεδίου του Πρίνου, που σχεδιάστηκε πάνω από την κορυφή του στρώματος-ταμιευτήρα Α. Πρόκειται για μία δομή σαν ύψωμα στη μεριά του ρήγματος ΒΔ κατεύθυνσης. Ένα παράλληλο δευτερεύον ρήγμα με κατεύθυνση ΒΑ μεταβάλλει την κορυφή της δομής. Παρατηρήστε την διεπιφάνεια πετρελαίου-νερού στα 2711μ. Όλα τα βάθη βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας- (MSL) (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992)

Πετρογραφικά, οι ψαμμίτες είναι υπόθεφροι γραουβάκες με όξινα μαγματικά, ηφαιστειακά, και σπανιότερα ανθρακικά θραύσματα πετρώματος.

Το πορώδες είναι πρωτογενές και καθορίστηκε από τις αποθετικές φάσεις. Οι ψαμμίτες των στρωμάτων ταμιευτήρων παρουσιάζουν υψηλότερο πορώδες από τους άλλους οι οποίοι βρίσκονται σε άλλα βάθη.

Το πορώδες στους λεπτούς τουρβιδιτικούς ψαμμίτες είναι πολύ χαμηλό. Το πορώδες μειώνεται από πάνω προς τα κάτω, όπως και η διαπερατότητα. Η κυρίαρχη τουρβιδιτική φάση A4/B2 αποτελείται από μεγάλου μεγέθους κόκκους ψαμμίτη, κακής κατανομής, γωνιώδες έως υπογωνιώδεις στη βάση, σε μεσαίου μεγέθους, λεπτούς και με καλύτερη κατανομή προς την κορυφή.

Αυτή η φάση παρουσιάζει τους καλύτερης ποιότητας ταμιευτήρες με μέγιστες τιμές πορώδους και διαπερατότητας κυμαινόμενες από 15 έως 24% και από λίγα millidarcys έως περισσότερα από 2 darcys, αντίστοιχα.



Εικ. 2.8 : Χάρτης δομής του πεδίου του Πρίνου σχεδιασμένος πάνω από την κορυφή του στρώματος ταμιευτήρα Β (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992)

2.6 Σύντομη έκθεση για τα αποθέματα του Πρίνου

Η διαπερατότητα ξεπερνά στους διαύλους υψηλής διαπερατότητας τα 2000mD ενώ στο υπόλοιπο του κοιτάσματος είναι μικρότερη των 100mD. Το ειδικό βάρος του πετρελαίου του Πρίνου είναι 29 API με μέση περιεκτικότητα 3% σε θείο, ενώ ο λόγος αερίου – πετρελαίου είναι 820 SCF/BBL. Το φυσικό αέριο που παράγεται περιέχει 60% H₂S και 4% CO₂. Η παραγωγή πετρελαίου άρχισε το 1981 και η μέγιστη παραγωγή επετεύχθη το 1984 ανερχόμενη σε 27.250 βαρέλια ημερησίως.

Κατά περιόδους υπήρξαν διάφορες εκτιμήσεις της ογκομετρίας των Επί – Τόπου Αποθεμάτων Πετρελαίου (Ε.Τ.Α.Π) και των τελικώς ανακτήσιμων αποθεμάτων πετρελαίου. Τα αποτελέσματα δίνονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα :

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΡΧΙΚΑ	ΑΠΟΘΕΜ. ΣΕ ΕΚΑΤ. BBL		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΝΑΚΤΗΣΙΜΑ	ΣΥΝΤ. ΑΝΑΚΤ.	
256	90	0.35	Προέδρου & Σιδηρόπουλος (1982)
260	100	0.38	Γεωργακόπουλος 1992
270	114	0.42	Παρούσα εκτίμηση (1/1/2008)
270	120	0.44	Παρούσα εκτίμηση βάσει των Αποθ.
340	120	0.35	Άνευ Διευρυμένης Ανακτήσεως
340	145	0.43	Μετά Διευρυμένης Ανακτήσεως
340	215	0.63	Μέγιστο Διευρυμένης Ανακτήσεως

Πίνακας III : Επί τόπου αρχικά και ανακτήσιμα Αποθέματα (Ι.Α. Τίγκας, Λογοθέτης, Α.Ι Τίγκας, 2007)

2.7 Τα κοιτάσματα της λεκάνης του Πρίνου – Σύντομη αναφορά

2.7.1 Το κοιτάσμα υδρογονανθράκων της Καλλιράχης

Πρόκειται για ένα σχετικά μεγάλο κοιτάσμα πετρελαίου και φυσικού αερίου, που βρίσκεται εντός των ορίων της υπολεκάνης του Πρίνου, λίγο βορειότερα από το κοιτάσμα αερίου της Ν.Καβάλας. Το συγκεκριμένο κοιτάσμα δεν έχει ακόμη εκμεταλλευθεί, όμως κάποιες πληροφορίες που παρατίθενται παρακάτω.

Υπολογισμοί της αγγλικής εταιρείας Regal Petroleum, που σχετίζεται με την εκμετάλλευση, αναφέρουν αποθέματα της τάξεως των 227 εκ. βαρελιών, χωρίς όμως να έχουν γίνει εκτεταμένες μελέτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου στη χώρα μας ανέρχεται σε 100 εκατ. βαρέλια, δηλαδή θεωρητικά θα μπορούσαν να καλυφθούν οι ανάγκες της χώρας μας, για περίπου 2,5 χρόνια. Τα 227 εκατ. βαρέλια αποτελούν εκτιμήσεις τεχνικών και αναλυτών οι οποίοι είναι μεν ανεξάρτητοι, αλλά εκλήθησαν από την αγγλική εταιρεία και προέβησαν σε αυτές τις εκτιμήσεις.

Το κοιτάσμα βρίσκεται σε βάθος 2.550 μέτρων περίπου, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι έχει πολύ μικρή περιεκτικότητα σε υδρόθειο (<7%).

2.7.2 Το πεδίο του Έψιλον στον Πρίνο

Το πεδίο του Έψιλον, βρίσκεται στο κέντρο της λεκάνης του Πρίνου, 11 χλμ., ΒΔ της Θάσου και 4 χλμ., ΒΔ του πεδίου του Πρίνου. Ανακαλύφθηκε στα τέλη του 2000 σε θαλάσσιο βάθος 30 – 40 μέτρων.

Εξερεύνηση

Το πρώτο φρέαρ, το Ε1, διανοίχθηκε το 2001, επαληθεύοντας τα αποτελέσματα των γεωφυσικών ερευνών, αλλά παραμερίστηκε προσωρινά και ξαναχρησιμοποιήθηκε το 2002 ως Ε1 – Α. Τεχνικά προβλήματα οδήγησαν στην επαναδημιουργία του φρέατος το 2002 και το φρέαρ σημειώθηκε ως Ε1 – Αs.

Τα σεισμικά που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος των φρεάτων E1 και E1 – As, μας δείχνουν τη δομή των αντικλίνων του πεδίου του E, με τα ρήγματα να παρουσιάζονται λεπτομερώς από τις ανακλάσεις των σεισμικών κυμάτων.

Δεδομένα Γεωτρήσεων

Η ζώνη που περιέχει το πετρέλαιο βρίσκεται κάτω από την εβαποριτική ακολουθία, που αποτελείται κυρίως από αλάτι με ανυδρίτη, αργίλους και εγκλείσματα ψαμμίτη. Τα πετρώματα – ταμιευτήρες αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτη με εγκλείσματα αργίλων και ίχνη ιλυολίθων. Η εβαποριτική σειρά, που αρχίζει σε βάθος 1895μ., διαιρείται σε ζώνες ανάλογα με τους κύκλους της ιζηματογένεσης, με χαρακτηριστικούς ορίζοντες εβαποριτών. Η εβαποριτική σειρά αρχίζει σε βάθος 1895μ.

- Ο πρώτος εβαπ. ορίζοντας συναντάται σε βάθος 2096μ., και έχει πάχος 34μ.
- Ο δεύτερος εβαπ. ορίζοντας συναντάται σε βάθος 2195μ., περίπου και έχει μέσο πάχος 50μ.
- Ο τρίτος εβαπ. ορίζοντας συναντάται σε βάθος 2320μ., και έχει πάχος από 30 – 34μ.
- Ο τέταρτος εβαπ. ορίζοντας συναντάται σε βάθος 2480μ., περίπου και έχει πάχος 46 – 50μ.
- Ο σχηματισμός που χαρακτηρίζεται ως ανώτερο κύριο άλας συναντάται σε μέσο βάθος 2631.5μ και έχει πάχος 50 – 57μ.
- Ο σχηματισμός που χαρακτηρίζεται ως κατώτερο κύριο άλας συναντάται σε μέσο βάθος 2774.5μ και έχει πάχος 30 – 42.5μ.

Οι άνωθεν ζώνες UMS – LMS γίνονται μεγαλύτερες σε πάχος με κατεύθυνση ΒΔ – ΝΑ.

Το αδιαπέραστο κάλυμμα, που αποτελείται από αργίλους κατά 70% – 90%, και εγκλείσματα ψαμμίτη, βρέθηκε σε μέσο βάθος 2819μ., και έχει πάχος 13.5 – 15μ. Ο ταμιευτήρας αρχίζει σε βάθος 2813μ (E1), 2831μ (E1 – A), και 2833μ (E1 – As), ανάλογα τη γεώτρηση. Μέγιστο πάχος ταμιευτήρα 77.5μ. Το πορώδες του ψαμμίτη κυμαίνεται από 5 – 20%, ενώ η διαπερατότητα λαμβάνει τιμές από 8 – 15md. Το πετρέλαιο είναι αρωματικού – ασφατικού τύπου με 36.5° API στους 18°C και με περιεκτικότητα σε θείο S, 4% μικρότερη από εκείνη του Πρίνου. Οι μέσες αρχικές πιέσεις για τις ζώνες παραγωγής ήταν περίπου 6000psi. Τα συνολικά επί τόπου αποθέματα του E, υπολογίστηκαν αρχικά σε $40 \cdot 10^6$ bbl.

2.7.3 Το κοίτασμα φ.α της Ν.Καβάλας

Συνοπτικά για το κοίτασμα αερίου “Νότιος Καβάλα” (01/01/2007)

Θαλάσσιο βάθος : 58μ

Τύπος εξέδρας : Σταθερή

Δυναμικό επεξεργασίας Φ.Α : 10 MM scfd

Αριθμός Φρεάτων (2000) : 2

Επί τόπου Αποθέματα : 35 BCF

Ανακτηθέντα αποθέματα : 29 BCF

Τελικός συντελεστής ανακτήσεως : 83%

Το κοιτάσμα μη όξινου αερίου, βρίσκεται δυτικά της Θάσου και 11km νοτίως του Πρίνου. Όπως προαναφέρθηκε, ο κοιτάσμα ανακαλύφθηκε με το εξερευνητικό φρέαρ «Νότιος Καβάλα – 1», το Δεκέμβριο του 1972 και η παροχή του ήταν 10.5 MM SCF φυσικού αερίου ενώ η απόδοση του συμπυκνώματος ήταν 35 BBL/MM SCF. Η δεύτερη εξερευνητική γεώτρηση «Νότιος Καβάλα – 2» το 1973 παρήγαγε φυσικό αέριο και συμπύκνωμα από ξεχωριστό διαμέρισμα του κοιτάσματος «Νότιος Καβάλα», που έως πρόσφατα δεν είχε περιχαρακωθεί. Τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων συνοψίζονται παρακάτω :

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	MM SCFD	BBLS/D	BBLS/MM SCF
Νότιος Καβάλα-1	10.5	368	35
Νότιος Καβάλα-3B	17.8	660	37
Νότιος Καβάλα-4	17.8	850	48
Νότιος Καβάλα-5	19	600	32

Πίνακας IV (Ι.Α. Τίγκας, Λογοθέτης, Α.Ι Τίγκας, 2007)

Το κοιτάσμα είναι ρηγματωμένο αντίκλινο αποτελούμενο από 4 ψαμμιτικές ζώνες της Μεσσηνίου περιόδου (Ανώτερο Μειόκαινο) σε βάθος 1700 μέτρα. Το πάχος του κοιτάσματος είναι 20 μέτρα, η διαπερατότητα υψηλή και το πορώδες ικανοποιητικό (20%). Τα επί τόπου αποθέματα φυσικού αερίου του κοιτάσματος «Νότιος Καβάλα» εκτιμώνται σε 35 BCF. Μέρος του φυσικού αερίου της Ν.Καβάλας χρησιμοποιήθηκε για την άντληση πετρελαίου στα κοιτάσματα του Πρίνου. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι από το παραπάνω κοιτάσμα πραγματοποιήθηκαν πωλήσεις φ.α προς την Β.Φ.Λ, ενώ η Ε.Π.Β.Α (Εταιρεία Πετρελαίων Βορείου Αιγαίου), περάτωσε την παραγωγή από τα κοιτάσματα του Πρίνου και της Ν.Καβάλας το Δεκέμβριο του 1998.

2.7.4 Το κοιτάσμα πετρελαίου Βόρειος Πρίνος

Το κοιτάσμα Βόρειος Πρίνος, βρίσκεται 2.5 km, βόρεια του Πρίνου και η αξιοποίηση του έγινε με κεκλιμένες γεωτρήσεις από την εξέδρα Πρίνος – Α. Πρόκειται για αντίκλινο αποτελούμενο από ψαμμίτη, που σχηματίστηκε στο Μειόκαινο και εμφανίζεται ως προέκταση της ζώνης-Δ του Πρίνου. Ανακαλύφθηκε το 1974, το πετρέλαιο του δεν είχε H₂S, όπως αυτό του Πρίνου, ενώ η παροχή του από το φρέαρ Πρίνος – 4, ήταν 1200 βαρέλια ημερησίως. Δεύτερο εξερευνητικό φρέαρ ‘Βόρειος Πρίνος – 1’ το 1982 συνάντησε τη ζώνη-Δ, η οποία ήταν λεπτότερη και χειρότερης ποιότητας σε σχέση με ότι είχαμε δει πρωτότερα από το φρέαρ Πρίνος – 4.

Αργότερα, το 1994 έγινε η εξερευνητική γεώτρηση ‘Βόρειος Πρίνος – 2’, που συνάντησε σε βάθος 2150m, πετρελαιοφόρα στρώματα του ανώτερου Μειόκαινου μεταξύ των εβαποριτών – αλάτων και παροχή πετρελαίου ανέρχονταν σε 3200 βαρέλια ημερησίως καθώς και 350 επιπλέον βαρέλια, από βαθύτερες ζώνες γύρω στα 2350m.

Παραγωγή και αποθέματα του κοιτάσματος Β.Πρίνος

Η παραγωγή πετρελαίου από το κοιτάσμα του Πρίνου άρχισε το 1981, ενώ από το κοιτάσμα του Β.Πρίνου το καλοκαίρι του 1996 με αρχική παροχή 3500 βαρέλια την ημέρα.

Η μέση παροχή πετρελαίου το 1997 ήταν 2850 βαρέλια ημερησίως. Αποθέματα πετρελαίου του Β.Πρίνου περιέχονται στον ψαμμίτη της ζώνης – Δ σε βάθος 2500μ και πάχους περί τα 185μ καθώς και ανάμεσα στα στρώματα του ανώτερου Μειόκαινου μεταξύ των εβαποριτών. Το Δεκέμβριο του 1998 η Ε.Π.Β.Α τερμάτισε την παραγωγή του Πρίνου και Β.Πρίνου. Η παραγωγή ξανάρχισε στο τέλος του 1999 με την Kavala Oil, τη νέα διαχειρίστρια εταιρεία. Η παραγωγή του Β.Πρίνου σταμάτησε για δεύτερη φορά τον Ιούλιο του 2004. Η συνέχιση της παραγωγής χρειάζεται νέες γεωτρήσεις παραγωγής.

Τα in – situ αποθέματα του Β.Πρίνου, εκτιμώνται σε 21.5 εκ.βαρέλια. Η μέχρι σήμερα αθροιστική παραγωγή 3 εκ.βαρελίων αντιπροσωπεύει ένα πολύ χαμηλό συντελεστή ανακτήσεως ίσο με 14%. Τα εκτιμώμενα υπολειπόμενα πιθανά αποθέματα πετρελαίου των 3 εκ.βαρελίων αντιπροσωπεύουν συντελεστή ανάκτησης 9.3% και τα 5 συνολικά εκατομμύρια βαρέλια ισοδυναμούν με τελική πρωτογενή ανάκτηση 23.26%, ποσοστό σχετικά χαμηλό.

Τα πιθανά επιπρόσθετα αποθέματα με Δ.Α.Π και υπο – επιφανειακή αποθήκευση φ.α εκτιμώνται σε 7 εκ.βαρέλια πετρελαίου, οπότε και η συνολική ανάκτηση πετρελαίου ανέρχεται σε 33%. Πιο αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα για το κοίτασμα του Β.Πρίνου :

Βεβαιωμένα και πιθανά αποθέματα του Β.Πρίνου (01/01/2007)

Επί τόπου αποθέματα : 21,5 MM BBLS
Παραχθέντα αποθέματα : 3 MM BBLS
Συντελεστής ανακτήσεως παραχθέντων αποθεμάτων : 13.95%
Υπολειπόμενα Πιθανά ανακτήσιμα αποθέματα : 2 MM BBLS
Συντελεστής ανακτήσεως υπολειπόμενων αποθεμάτων : 9.3%
Αρχικά ανακτήσιμα αποθέματα : 5MM BBLS
Τελικός συντελεστής ανάκτησης : 23.26%
Πιθανά ανακτήσιμα αποθέματα (Δ.Α.Π) : 7 MM BBLS
Τελικός συντελεστής ανακτήσεως (Δ.Α.Π) : 32.56%
Πηγή: Regal Petroleum (www.regal.com)

2.8 Γένεση και μετανάστευση του πετρελαίου

Άργιλοι του μέσου έως ανώτερου Μειόκαινου, θαλάσσιας προέλευσης και επίσης άργιλοι του Μεσσήνιου που αποτέθηκαν υπό αναγωγικές συνθήκες και διεκόπησαν από μεγάλης αλατότητας επεισόδια θεωρούνται πως αποτελούν την πηγή του πετρελαίου στη λεκάνη. Κοιτάσματα άνθρακα ίσως αποτελούν ένα καλό δυναμικό για τη γένεση του αερίου. **Το μητρικό κοίτασμα του πετρελαίου χαρακτηρίζεται από ένα κηρώδες σαπροπηλितικό πετρέλαιο που τείνει σε κηρογόνο με χερσογενή προέλευση της οργανικής ύλης να κυριαρχεί συχνά.** Μετρήσεις ωριμότητας δείχνουν αντανάκλαση βιτρινίτη στο 1.10 για βάθη πάνω από 3500 μέτρα. Στο κεντρικό μέρος της λεκάνης, βάθους περίπου 5.500 μέτρων, δεν έφτασε ποτέ γεώτρηση.

Γενικά **υπάρχει ταχεία αύξηση της θερμικής ωριμότητας προς τη βάση της λεκάνης** υποδεικνύοντας ότι μια πηγή θερμότητας προέρχεται από εκεί.

Σύμφωνα με σχέδια της ωρίμανσης του πετρελαίου το πετρέλαιο έφτασε στο κατώφλι της ωριμότητας κατά τη διάρκεια του ύστερου Μειόκαινου στο βαθύτερο μέρος της λεκάνης.

Η γένεση συνεχίστηκε κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου κι έπειτα (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992). Μόνο στην περιοχή του Νέστου όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι πολύ υψηλή η ζώνη κορυφής γένεσης του πετρελαίου είναι στα 3500 μέτρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι **τα πετρέλαια του Πρίνου, του Βόρειου Πρίνου, του Έψιλον και της Αμμώδης είναι της ίδιας ποιότητας. Ανήκουν σε έναν αρωματικό – ασφατικό τύπο με περιεκτικότητα σε θείο.** Τα αέρια διαλύονται στην υγρή φάση και αποτελούνται από μεθάνιο έως πεντάνιο με υδρόθειο (H_2S) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε διαφορετικά ποσοστά. Ελεύθερο από υδρόθειο (H_2S) είναι το πετρέλαιο του Άθου.

Οι γλυκείς υδρογονάνθρακες (λίγο σχετικά υδρόθειο), πιο πιθανά έχουν δημιουργηθεί από τις αργίλους που αποτέθηκαν στην περιοχή στο κατώτερο Μειόκαινο, όταν η λεκάνη επικοινωνούσε ακόμη με τη θάλασσα. Αυτή η πρώιμη φάση παρήγαγε περισσότερους ώριμους υδρογονάνθρακες χωρίς καθόλου υδρόθειο (H_2S). Ο άνθρακας έχει συνεισφέρει περισσότερο στη γένεση του αερίου.

Σε αντίθεση ο Πρίνος, ο Βόρειος Πρίνος, τα πεδία Έψιλον και Αμμώδης περιέχουν ένα λιγότερης ωριμότητας πετρέλαιο με μεγάλη περιεκτικότητα σε H_2S και CO_2 που κυρίως προέρχεται από τις αργίλους που αποτέθηκαν υπό αναγωγικές συνθήκες. Ο πολύ χαμηλός δείκτης API, που χαρακτηρίζει το πετρέλαιο της Αμμώδης είναι το αποτέλεσμα της διαρροής των υδρογονανθράκων διαμέσου ρηγμάτων στην επιφάνεια.

Όσον αφορά τη μετανάστευση του πετρελαίου ξεκίνησε από τα βαθύτερα μέρη του νότιου μισού μέρους της λεκάνης και εξαπλώθηκε ακτινικά στην περιφέρεια και στα κεντρικά μέρη της λεκάνης όπου έλαβαν χώρα οι μηχανισμοί παγίδευσης (Προέδρου & Παπακωνσταντίνου, 2005).

2.9 Κοιτάσματα και ταμιευτήρες

Τα πλέον τυπικά αντίκλινα για τις ευρείς λεκάνες, είναι τα πεδία του Πρίνου και του Βόρειου Πρίνου ως ανάστροφα αντίκλινα μπροστά από συγγενετικά ρήγματα με κατεύθυνση από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά. Στην ίδια περίπτωση ανήκει και το πεδίο αερίου της Νοτίου Καβάλας το οποίο σχηματίστηκε ως συνδυασμός ενός ανάστροφου αντικλίνου και μίας στρωματογραφικής διαρροής της νότιας δυτικής πλευράς προς το κύριο επίπεδο της λεκάνης (Προέδρου, 2001). Σε αντίθεση οι δομές της «Αμμώδους» καθώς επίσης και οι δομές της «Έψιλον» είναι ανάστροφα αντίκλινα που περιβάλλονται από ρήγματα με κατεύθυνση προς τα κάτω.

Στρωματογραφικές παγίδες ανιχνεύονται κατά μήκος των ορίων της λεκάνης, κυρίως κατά μήκος του δυτικού ρήγματος όπου η πλευρά της λεκάνης βυθίζεται ελαφρά. Μια ιδιαιτερότητα που χαρακτηρίζει τη στρωματογραφική παγίδα της Καλλιράχης είναι ότι βρίσκεται μεταξύ δύο συζυγών ρηγμάτων. Το πρώτο ρήγμα είναι οριακό και συγγενεύει με το σχηματισμό της λεκάνης, ενώ το δεύτερο ως εσωτερικό ρήγμα, προέκυψε μετά την απόθεση. Οι στρωματογραφικοί ορίζοντες βυθίζονται από τη συνένωση ρηγμάτων προς το κέντρο της λεκάνης.

Ψαμμίτες και σε μικρότερο βαθμό ιλυόλιθοι, συνθέτουν τους ταμιευτήρες. Το αποθετικό περιβάλλον είναι δελταϊκό, θαλάσσιο και τουρβιδιτικό. Αλλά στα εσωτερικά στρωματογραφικά διαστήματα όπου έχει παγιδευτεί το πετρέλαιο, κάτω από τους εβαπορίτες ή ανάμεσα τους, το μοντέλο της απόθεσης είναι τουρβιδιτικής φύσεως. Ο τρόπος βύθισης της λεκάνης δημιούργησε ανάγλυφο που οδήγησε στην κίνηση των ιζημάτων από τα πλευρά προς το κέντρο της λεκάνης ή κατά μήκος των αξόνων του από περιοχές τοπογραφικά υψηλές προς περιοχές που βρίσκονταν χαμηλότερα. Η τουρβιδιτική είναι ένας ιδιαίτερα διαδεδομένος τύπος ιζηματογένεσης. **Οι εβαποριτικοί ορίζοντες καλύπτουν όλη τη λεκάνη και εμποδίζουν την προς τα πάνω κίνηση των υδρογονανθράκων**, οι οποίοι βρίσκονται από κάτω. Εξαίρεση αποτελεί το κοίτασμα αερίου της Νοτίου Καβάλας.

Πιστεύεται ότι το αέριο είχε φύγει εξαιτίας της μεγάλης κινητικότητας του κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης ενός ρήγματος που διαπερνά το «Ανώτερο κύριο άλας» όπου και παγιδεύτηκε μεταξύ αυτού και του τέταρτου εβαπορίτη. Ο λεπτός ανυδρίτης και τα στρώματα ασβεστολίθου της εβαποριτικής ζώνης στο βορειότερο μισό τμήμα της λεκάνης που παρέμεινε ανοικτό μετά τη μετακίνηση του ρήγματος, επέτρεψε τη διασπορά των ελαφρών υδρογονανθράκων στην επιφάνεια, όπως στην περίπτωση της «Αμμόδης».

Οι τουρβιδιτικοί ταμιευτήρες ήταν το αντικείμενο λεπτομερών πετρογραφικών και ιζηματολογικών σπουδών πριν την ανάπτυξη των πεδίων. Οι φάσεις A4/B2, C, D και E αναγνωρίστηκαν σύμφωνα με την ταξινόμηση των τουρβιδιτικών φάσεων. Η φάση A4/B2 παρέχει την καλύτερη ποιότητα με διαύλους εντός του ταμιευτήρα με υψηλές διαπερατότητες και πορώδη. Η φάση C επίσης δείχνει ταμιευτήρες με καλή διαπερατότητα, όπως οι παραπάνω. Στον αντίποδα, οι φάσεις E και D αναπαριστούν εσωτερικά κανάλια και απομακρυσμένους ταμιευτήρες αποτελούμενα κυρίως από αργίλους με λεπτές εσωτερικές παρεμβολές ψαμμιτών σχηματίζοντας έτσι ταμιευτήρες χαμηλής έως πολύ χαμηλής ποιότητας. Λατυποπαγή με δομή παρόμοια με του σχιστόλιθου είναι σχετικά συνηθισμένα στο πεδίο Νότιου Καβάλας.

Το πορώδες και η διαπερατότητα γενικά μειώνονται με την αύξηση του βάθους εξαιτίας της συμπίεσης, της περιεκτικότητας σε άργιλο και της δολομιτίωσης. Υπάρχει μία ταχεία μείωση στο πορώδες και τη διαπερατότητα κάτω από την επιφάνεια πετρελαίου-νερού εξαιτίας της δολομιτίωσης που συνέβη μετά τη μετανάστευση του πετρελαίου και επηρεάστηκε από το σχηματισμό νερού (Προέδρου & Σιδηρόπουλος, 1992).

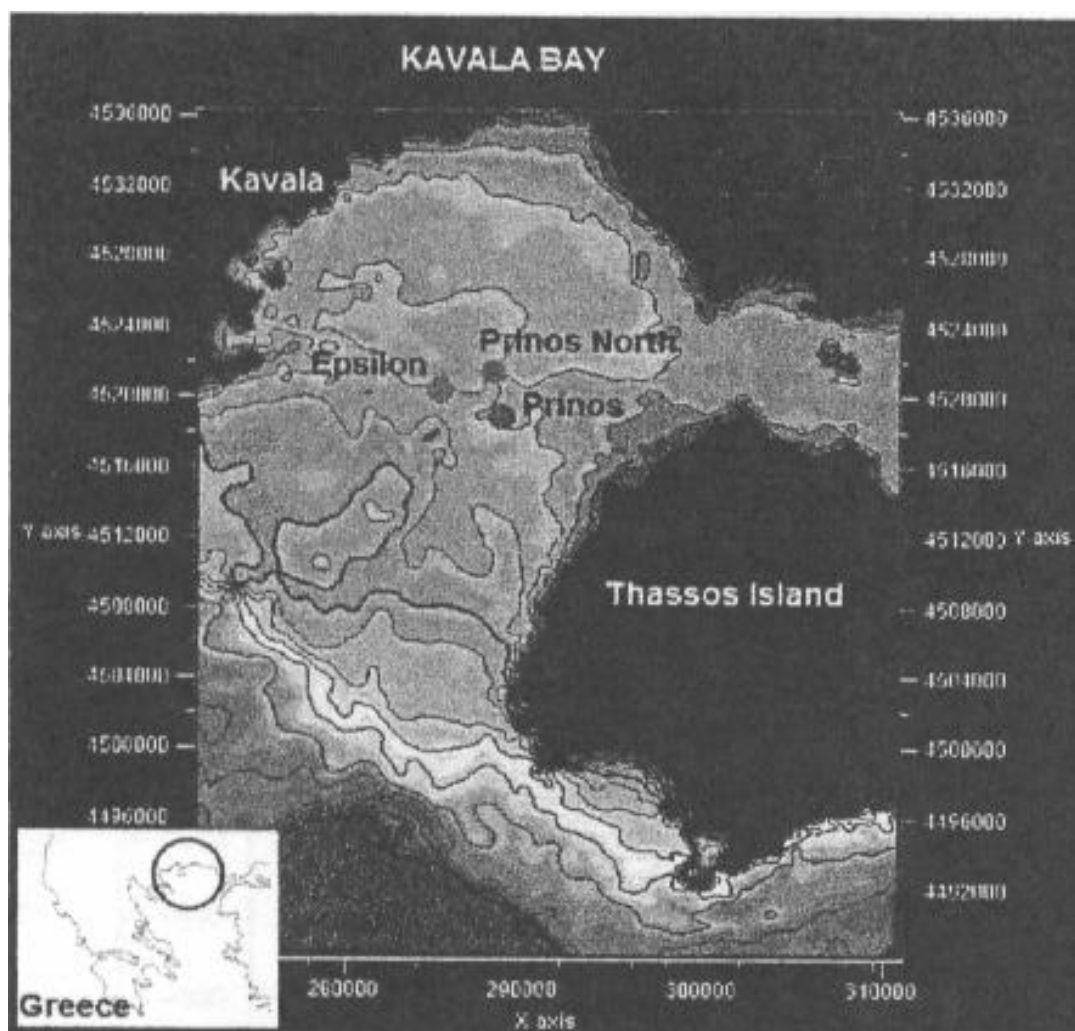
2.10 Συγκριτικές μελέτες που αφορούν τα μητρικά πετρώματα και την ποιότητα των υδρογονανθράκων

2.10.1 Ανάλυση μητρικών πετρωμάτων και αποθηκευτικού περιβάλλοντος

Γεωχημικές μελέτες που έγιναν πρωτύτερα, και αφορούσαν το πεδίο του Πρίνου χαρακτήριζαν το πετρέλαιο του μητρικού πετρώματος ως **κηρώδες σαπροπελτικό πετρέλαιο ρέπων σε κηρογόνο, που σχηματίστηκε από ανώτερα θαλάσσια φυτά σε έντονα αναγωγικό περιβάλλον**. Το πετρέλαιο αυτό έχει υψηλή σε συγκέντρωση σε αρωματικά και πολικά συστατικά, ενώ τα αργιλικά στρώματα εντός του ταμιευτήρα του Πρίνου αναγνωρίστηκαν ως πιθανά μητρικά πετρώματα. (Γεωργακόπουλος, 1998).

Εντούτοις, σημαντικές διαφορές στην ποιότητα των υδρογονανθράκων παρατηρήθηκαν ανάμεσα στους ταμιευτήρες κατά τη διάρκεια των ερευνών που έγιναν κατά τον εντοπισμό και την παραγωγή. Προκειμένου να ταξινομηθούν αυτές οι ασυμφωνίες, έγιναν οι αναλύσεις ώστε να χαρακτηριστεί η οργανική ύλη, να αναγνωριστούν πιθανά μητρικά πετρώματα και να προσδιοριστεί το περιβάλλον απόθεσης στη λεκάνη κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης του κάθε πεδίου.

Τα αποστάγματα από τα πεδία Έψιλον και Πρίνος δεικνύουν υψηλότερο επίπεδο ωριμότητας, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα του Β.Πρίνου, όπως μας δείχνουν και οι λόγοι Pr/C_{17} και Ph/C_{18} . Οι μέσες τιμές του δείκτη Pr/C_{17} για τα πεδία του Έψιλον και του Πρίνου είναι 0.99 και 0.60 αντίστοιχα, όσον αφορά το πεδίο του Β.Πρίνου παρουσιάζεται μια υψηλότερη μέση τιμή της τάξεως του 2.61. Παρομοίως, οι μέσες τιμές του δείκτη Ph/C_{18} των πεδίων του Έψιλον και του Πρίνου είναι 2.42 και 1.89 αντίστοιχα, ενώ το πεδίο του Β.Πρίνου παρουσιάζει μια αξιοσημείωτα υψηλή τιμή της τάξεως του 18.40.



Εικ.2.9 : Θαλάσσιος χάρτης του κόλπου της Καβάλας. Τα πεδία του Πρίνου, του Β.Πρίνου και του Έψιλον σημειώνονται Νότια, Βόρεια και ΒΔ αντίστοιχα (Κιουμουρτζή et al, 2007)

Το περιβάλλον απόθεσης φαίνεται πλούσιο σε άλατα, έντονα αναγωγικό σε όλα τα πεδία, βασιζόμενοι στους λόγους Pr/Ph , και στους παράξενους λόγους των

κυριαρχούντων συστατικών (Didyk et al., 1978). Οι τιμές του λόγου Pr/Ph είναι μικρότερες του 1, στην παρούσα μελέτη, υποδεικνύοντας ανοξικές συνθήκες απόθεσης, ειδικά σε πετρέλαια τα οποία παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Όλα τα αποστάγματα δείχνουν τιμές του λόγου Pr/Ph του ίδιου μεγέθους (μέσες τιμές 0.23, 0.19, 0.26 για το Έψιλον, τον Πρίνο και τον Β.Πρίνο αντίστοιχα), υποδεικνύοντας παρόμοιες συνθήκες στο περιβάλλον απόθεσης εντός της λεκάνης.

Συμπερασματικά, από τη χρωματογραφική ανάλυση αερίου, των κορεσμένων δειγμάτων, μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα πεδία του Έψιλον και του Πρίνου δεικνύουν προαναγγελλθείσες ομοιότητες όσον αφορά τη σύνθεση. Οι διαφορές που παρατηρούνται στο πεδίο του Β.Πρίνου συγκρινόμενες με τα άλλα 2 πεδία, μπορούν να αποδοθούν σε είσοδο διαφορετικού τύπου οργανικού υλικού και πιθανά σε χαμηλότερο βαθμό θερμικής ωριμότητας.

Η ερμηνεία των κύριων βιοδεικτών μπορεί περιληπτικά να αποδοθεί παρακάτω :

Η **ολεανάνη**, ένας χαρακτηριστικός βιοδείκτης για οργανικό υλικό που προέρχεται από ανώτερα φυτά, αναγνωρίστηκε σε όλα τα υπό μελέτη δείγματα.

Ο αντίστοιχος δείκτης ολεανάνης, αν και διαφέρει από δείγμα σε δείγμα, παρουσιάζει ευδιάκριτα υψηλές τιμές στα δείγματα που ελήφθησαν από τη γεώτρηση PN – 2. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί ως μια ένδειξη για μεγαλύτερη συνεισφορά χερσαίου οργανικού υλικού σε αυτό το πεδίο, συγκρινόμενο με τα πεδία του Πρίνου και του Έψιλον.

Ο δείκτης **Gammacerane**, ένας χαρακτηριστικός βιοδείκτης ανοξικών περιβαλλόντων πλουσίων σε άλατα, επίσης αναγνωρίστηκε στα υπό μελέτη δείγματα. Ο υπολογισθείς δείκτης gammacerane, διακρίνει τα δείγματα σε 2 ξεχωριστές ομάδες.

Τα δείγματα, που προέρχονται από τα πεδία του Πρίνου και του Έψιλον παρουσιάζουν υψηλές τιμές, ενώ τα δείγματα από το πεδίο του Β.Πρίνου παρουσιάζουν αξιοπρόσεκτα υψηλές τιμές. Η διαπίστωση μπορεί να ερμηνευτεί ως ένδειξη ενός έντονα αναγωγικού περιβάλλοντος στα προηγούμενα πεδία και ένα διαφορετικό γενεσιουργό περιβάλλον για το δεύτερο.

Η κατανομή των χοπανίων ($C_{31} - C_{35}$) επίσης επαληθεύει αυτό το γεγονός, με τα δείγματα του Β.Πρίνου υψηλές συγκεντρώσεις για το C_{31} και χαμηλές για το C_{35} . Η ύπαρξη μορετάνης και οι υπολογισθείσες τιμές του δείκτη μορετάνης, που θεωρείται χαρακτηριστικός της θερμικής ωριμότητας, επίσης κατηγοριοποιεί τα δείγματα σε 2 ξεχωριστές ομάδες. Τα δείγματα από το πεδίο του Β.Πρίνου, μπορούν να θεωρηθούν ως λιγότερο ώριμα, σύμφωνα με τις υψηλές τιμές του παραπάνω δείκτη, εν συγκρίσει με τα δείγματα των πεδίων Πρίνου και Έψιλον.

Από την ανάλυση των βιοδεικτών, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το οργανικό υλικό των πεδίων Πρίνου και Έψιλον, είναι κυρίως θαλάσσιας προέλευσης, ενώ η είσοδος υλικού χερσογενούς προέλευσης είναι σημαντική για το πεδίο του Β.Πρίνου.

Επιπροσθέτως, το περιβάλλον απόθεσης σε όλες τις περιπτώσεις είναι αναγωγικό, αν και σε διαφορετικό βαθμό. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι αυτά τα ευρήματα από την

ανάλυση βιοδεικτών, συμφωνούν με τα ανάλογα συμπεράσματα που παρουσιάστηκαν νωρίτερα, βασιζόμενα στις αέριες χρωματογραφικές αναλύσεις.

Συμπερασματικά τα δείγματα των τριών πεδίων που αναλύθηκαν, του Πρίνου, του Β.Πρίνου και του Έψιλον παρουσιάζουν παρεμφερή χαρακτηριστικά όσον αφορά το περιβάλλον απόθεσης κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης. Σε όλες τις περιπτώσεις το περιβάλλον απόθεσης ήταν πλούσιο σε άλατα, έντονα αναγωγικό, με ευνοϊκές συνθήκες για τη διατήρηση του οργανικού υλικού, όπως φαίνεται από το δείκτη Pr/Ph καθώς και από τους λόγους OEP (GC ανάλυση). Επίσης η ανάλυση GC-MS καταλήγει στο ίδιο αποτέλεσμα βασιζόμενη στους δείκτες Gammacerane και $C_{31} - C_{35}$ χοπανίων.

Επιπροσθέτως, **το οργανικό υλικό παρουσιάζει ομοιότητες μεταξύ των τριών πεδίων**, μη μεταβληθείσες από τη βιοαποδόμηση. Όλα τα ιζήματα που αναλύθηκαν, είναι πλούσια σε οργανικό υλικό, άλλα μη ώριμο όπως υποδεικνύεται από τις χαμηλές τιμές T_{max}. Επίσης οργανικό υλικό διαφορετικής ποιότητας φαίνεται να βρίσκεται σε όλα τα πεδία, όπως φαίνεται από την ομαλή κατανομή των αλκανίων. Επιπροσθέτως, μία μάλλον μη ομογενής κατανομή του οργανικού υλικού σε όλα τα ιζήματα, ενώ δεν μπορεί να παρατηρηθεί συσχέτιση ανάμεσα στην έκθεση των αποσταγμάτων και στο βάθος λήψης των δειγμάτων.

Εντούτοις, ο τύπος του οργανικού υλικού διαφέρει ανάμεσα στα πεδία του Β.Πρίνου και των πεδίων Έψιλον και Πρίνου, όσον αφορά τη σύνθεση. Χαμηλά πολικά συστατικά, χαμηλά αρωματικά και υψηλό κορεσμένο κλάσμα για τα πεδία του Πρίνου και του Έψιλον, ενώ αντίθετα όσον αφορά το Β.Πρίνο έχουμε υψηλά πολικά συστατικά, χαμηλά αρωματικά ενώ οι συγκεντρώσεις στο κορεσμένο κλάσμα υποδηλώνουν διαφορετικό βαθμό ωριμότητας, προσδιορίζοντας χαμηλότερο βαθμό ωριμότητας για το δεύτερο. Οι λόγοι Pr/C₁₇ και Ph/C₁₈ επίσης υποδηλώνουν περισσότερο ώριμα πετρέλαια στον Πρίνο και στο Έψιλον σε σχέση με το πεδίο του Β.Πρίνου.

Διαφορές στην κατανομή των κανονικών αλκανίων μεταξύ των πεδίων επίσης παρατηρούνται. Τα δείγματα από τα πεδία του Έψιλον και του Πρίνου δείχνουν μια ξεκάθαρη υπεροχή όσον αφορά τον αριθμό των n – αλκανίων, στην παραγωγή θαλάσσιου οργανικού υλικού. Αντίθετα, τα δείγματα από το πεδίο του Β.Πρίνου δείχνουν κι αυτά μια ξεκάθαρη υπεροχή στον αριθμό των n – αλκανίων που όμως οφείλεται, σε ανώτερα φυτά, και είσοδο χερσαίου οργανικού υλικού.

Τα αποτελέσματα της πυρόλυσης Rock – Eval δεικνύουν υψηλότερο βαθμό θερμικής ωριμότητας για δείγματα προερχόμενα από το πεδίο του Β.Πρίνου σε σχέση με τα πεδία Πρίνου και Έψιλον, όπως υποδηλώνεται από τις τιμές T_{max}. Τα μητρικά πετρώματα του Πρίνου και του Έψιλον, φαίνεται να είναι ανθρακικά, σε αντίθεση με το μητρικό πέτρωμα του Β.Πρίνου όπου οι υδρογονάνθρακες φαίνονται να προέρχονται από αργιλικό μητρικό πέτρωμα.

Συμπερασματικά, αποτιμάται ότι οι υδρογονάνθρακες από τα πεδία του Πρίνου και του Έψιλον έχουν δημιουργηθεί σε βαθύτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες, που εξασφάλισαν υψηλότερη θερμική ωριμότητα, και μετανάστευσαν στους ταμιευτήρες, από όπου ελήφθησαν τα δείγματα που αναλύθηκαν, προηγουμένως μη σημαντικοί υδρογονάνθρακες μπορούσαν να δημιουργηθούν από το φτωχό μητρικό πέτρωμα που

αναλύθηκε, στο σημερινό βαθμό θερμικής ωριμότητας. Το οργανικό υλικό που αναγνωρίστηκε αποδίδεται στη συγκέντρωση υδρογονανθράκων, ενώ δεν μπορούσε να αναγνωριστεί κηρογόνο εξαιτίας της παρουσίας των υδρογονανθράκων που μετανάστευσαν.

Αντίθετα στο πεδίο του Β.Πρίνου οι υδρογονάνθρακες δεν έχουν ανακατευθεί με πετρέλαια που μετανάστευσαν. Αν και το κηρογόνο που αναγνωρίστηκε φαίνεται να έχει δημιουργήσει ασήμαντη ποσότητα υδρογονανθράκων έως τώρα, θεωρείται ως ένα καλό εν δυνάμει μητρικό πέτρωμα για τη γένεση υδρογονανθράκων στο μέλλον. Τα παραπάνω συμπεράσματα, επίσης στηρίζονται στο γεγονός ότι τα δείγματα από τα πεδία του Έψιλον και του Πρίνου, έχουν ληφθεί από τους ορίζοντες του ταμιευτήρα, ενώ τα δείγματα από το πεδίο του Β.Πρίνου ελήφθησαν από ζώνες κάτωθεν των ταμιευτήρων.

Περαιτέρω έρευνα διαφορετικών πεδίων εντός της λεκάνης Πρίνου – Καβάλας συνεχίζεται, ώστε να αποκαλύψει μεταβολές στην είσοδο του οργανικού υλικού, στο βαθμό θερμικής ωρίμανσης και στο οργανικό υλικό των μητρικών πετρωμάτων, που επίσης επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των υδρογονανθράκων που παρήχθησαν και τελικά στον υπολογισμό των ανακτήσιμων αποθεμάτων πετρελαίου (Κιουμουρτζή et al., 2007).

2.10.2 Γεωχημικός χαρακτηρισμός υδρογονανθράκων του Πρίνου

Η αξιολόγηση των βιοδεικτών που αναγνωρίστηκαν φανερώνει ανώριμο οργανικό υλικό, απουσία βιοαποικοδόμησης, προέλευση από άλγη και περιορισμένη συμμετοχή χερσογενούς υλικού.

Αποτελέσματα

Τα αποστάγματα που προήλθαν από τα πετρώματα περιέχουν αρωματικά και πολικά συστατικά σε υψηλές συγκεντρώσεις, που αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό για όλα τα πετρέλαια της λεκάνης Πρίνου – Καβάλας (Γεωργακόπουλος 1998, Πασαδάκης et al., 2005). Μπορεί επίσης να επισημανθεί ότι τα αποστάγματα περιέχουν γενικά βαρύτερα και περισσότερα πολικά συστατικά, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα πετρέλαια. Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε στις συνθήκες αποθήκευσης των δειγμάτων (εξάτμιση ή πιθανώς οξείδωση) ή σε πιθανή απορρόφηση των βαρύτερων συστατικών της δομής των πετρωμάτων. Η ανάλυση του συνόλου των δεδομένων υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει φανερή συσχέτιση σε σχέση με το βάθος (δειγματοληψίας) των δειγμάτων δεν υπάρχει.

Η παρουσία n – αλκανίων με μακριές αλειφατικές αλυσίδες ($>C_{18}$) έχει αναγνωριστεί ως ένδειξη εισόδου ανώτερων φυτών σε θαλάσσιο ή ηπειρωτικό περιβάλλον.

Τιμές του λόγου Pr/Ph μικρότερες του ένα, όπως στην παρούσα μελέτη, δείχνουν ανοξική απόθεση, ιδιαιτέρως όταν τα πετρέλαια παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα θείου και έχουν συσχετιστεί με την αντίστοιχη υπεροχή της κατανομής των n-αλκανίων (Didyk et al., 1978). Ας σημειωθεί οι τιμές του λόγου Pr/Ph των σχηματισμών του Έψιλον και της Καλλιράχης είναι χαμηλότερες από αυτές που παρατηρήθηκαν στον ταμιευτήρα του Πρίνου (Γεωργακόπουλος, 1998).

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε, ότι τα πετρέλαια από διαφορετικούς σχηματισμούς στη λεκάνη Πρίνου – Καβάλας μπορούν επιτυχώς να διακριθούν βάση της τιμής του λόγου Pr/Ph, πιθανώς εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών οξειδοαναγωγής που έλαβαν χώρα εντός της λεκάνης.

Τα ισοπρενοειδή που υπολογίστηκαν σε σύγκριση με τους λόγους n – αλκανίων Pr/C₁₇ και Ph/C₁₈, παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαφοροποίηση, σε σύγκριση με τους λόγους Pr/Ph, πιθανόν εξαιτίας του διαφορετικού βαθμού θερμικής ωριμότητας ή των επιπέδων βιοαποδόμησης. Λόγοι Pr/C₁₇ για το σχηματισμό του Έψιλον είναι αναλογικά όμοιοι όπως παρατηρήθηκε πρωτύτερα για τον ταμιευτήρα του Πρίνου, ενώ ο σχηματισμός της Καλλιράχης παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές.

Ο δείκτης Ts/Tm, που θεωρείται χαρακτηριστικός όσον αφορά το βαθμό ωριμότητας των δειγμάτων πετρελαίου, δεν μπορούσε να υπολογιστεί λόγο της χαμηλής περιεκτικότητας του συστατικού Tm. Επειδή υψηλές τιμές αυτού του δείκτη, δηλώνουν ώριμα πετρέλαια **τα υπό μελέτη δείγματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως μη ώριμα**. Αυτή η διαπίστωση συμφωνεί με την παρατηρηθείσα υψηλή NSO περιεκτικότητα όπως επίσης ο χαμηλός λόγος ανάμεσα στα κορεσμένα και τα αρωματικά (συστατικά).

Η υπολογισθείσα υψηλή τιμή του δείκτη gamacerane, που θεωρείται ως ένδειξη χαρακτηριστική της αλατότητας στο περιβάλλον απόθεσης, είναι σε συμφωνία με τις χαμηλές τιμές του λόγου Pr/Ph που παρατίθενται παραπάνω. Η παρουσία ολεανάνης στα αποστάγματα, είναι μια ένδειξη ύπαρξης υλικού ανώτερων φυτών στο αρχικό οργανικό υλικό.

Η σχετική αφθονία στερανίων (C₂₇, C₂₈ και C₂₉), που παρατηρείται ως χαρακτηριστική για την προέλευση του μητρικού οργανικού υλικού, δείχνει ότι στα πετρέλαια που σχηματίστηκαν από θαλάσσια άλγη, κυριαρχούν στεράνια όπως το C₂₇. Η σχετικά υψηλή συγκέντρωση του C₂₉ μπορεί να αποδοθεί στην είσοδο χερσαίου οργανικού υλικού.

Συμπερασματικά, το πετρέλαιο του Πρίνου είναι ανώριμο και δεν έχει υποστεί μεταβολή από τη βιοαποδόμηση. Μερικά από τα κύρια γεωχημικά χαρακτηριστικά που καθορίστηκαν είναι σπάνια, όπως η υπεροχή του φυτανίου προς το πριστάνιο, η υψηλή περιεκτικότητα NSO, η υψηλότερη συγκέντρωση αρωματικών σε σχέση με τα κορεσμένα δείγματα και η υψηλή συγκέντρωση στερανίων και τερπανών.

Όλες αυτές οι διαπιστώσεις υποδεικνύουν ότι **το πετρέλαιο έχει δημιουργηθεί από σαπροπηλιτικό κηρογόνο που αποτέθηκε σε έντονα αναγωγικό περιβάλλον**. Η προέλευση του οργανικού υλικού έχει σχέση με άλγη με επιπρόσθετη είσοδο χερσογενούς υλικού. (Κιουμουρτζή et al., 2007)

2.11 Συγκριτική ανάλυση δειγμάτων νερού

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μια σύγκριση μεταξύ δύο δειγμάτων νερού (**mg/l**), ενός που προέρχεται από ένα φρέαρ του ταμιευτήρα του Πρίνου και ενός που προέρχεται από δείγμα θαλασσινού νερού της περιοχής.

Αυτό που εύκολα παρατηρείται, συγκρίνοντας τα 2 δείγματα μεταξύ τους, είναι οι μεγάλες διαφορές στην συγκέντρωση στα περισσότερα στοιχεία. Κατά κανόνα το δείγμα νερού που προέρχεται από τον ταμιευτήρα, εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε όλα τα στοιχεία, εκτός από το SO. Εδώ παρατηρείται η εξαίρεση του κανόνα. Μεγάλη διαφορά στη συγκέντρωση παρουσιάζουν τα στοιχεία Na, K, Mg, Ca, Cl, Br αλλά και άλλα στοιχεία όπως τα Ba, Fe, Sr, Mn, B, Si. Στην πρώτη ομάδα στοιχείων τοποθετούνται εκείνα που θεωρούνται πιο σημαντικά γενικότερα όσον αφορά τις αναλύσεις νερού, όπως το χλώριο.

Component	Formation Water (mg/l)	Sea Water (mg/l)
Na	103000	11500
K	4200	410
Li	80	0,15
Mg	8500	1440
Ca	6500	450
Sr	60	8,5
Ba	180	0,05
Fe	30	<1
Cl	195000	20200
Br	750	65
HCO ₃	300	166
SO₁	600	2225
NH₄	2500	-
Mn	50	-
B	31	-
Si	25	0,2
Ni	<0,5	-
Ph	<3	-
Zn/Cu	<0,5	0,15
Al/Cr	<2	0,1
NO₃	<1	0,5
Solids	335000	44000
Ph	5,7	8,2

Πίνακας V : Συγκριτικός πίνακας δειγμάτων νερού

Οι δύο λόγοι που εξετάζονται Zn/Cu, Al/Cr, δεν παρουσιάζουν τόσο μεγάλες διαφορές εντούτοις παρουσιάζουν διαφορά. Η συγκέντρωση σε στερεά είναι πολύ μεγάλη όσον αφορά το νερό του σχηματισμού (335000) σε σχέση με αυτή του θαλασσινού νερού (44000), ενώ επίσης αξίζει να παρατηρηθεί η διαφορά του Ph. Το νερό του σχηματισμού είναι ελαφρά όξινο (5,7) ενώ το θαλασσινό νερό, όπως είθισται, είναι ελαφρά αλκαλικό (8,2).

2.12 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία

Παρακάτω παρατίθενται εν συντομία, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να εκπονηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης περιγράφεται περιληπτικά, το πώς αυτά χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να κατασκευαστούν τα μοντέλα και οι εκάστοτε χάρτες. Τα δεδομένα αυτά, παραχωρήθηκαν διαμέσου του επιβλέποντος καθηγητή, από την εταιρεία **Kavala Oil**. Πρόκειται για 3 φύλλα εργασίας του Microsoft Excel, από τα οποία αντλήθηκε το πλήθος των δεδομένων που αφορούσαν τη στρωματογραφική περιγραφή των γεωτρήσεων, τη βαθυμετρία της λεκάνης, αλλά και τις ακριβείς συντεταγμένες κάθε γεώτρησης, το ολικό βάθος, και τη θέση του επιπέδου αναφοράς.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Bore	File	Range	Township	Section	Legal	Longitude	Latitude	Easting	Northing	Elevation	TD
2	PA-1	PA-1							288909	4519550	0	2858,5
3	PA-10	PA-10							288814,5	4519098	0	2783,5
4	PA-11	PA-11							288138,4	4519850	0	2845,2
5	PA-12	PA-12							288141,4	4519131	0	2923,5
6	PA-2	PA-2							288491	4519765	0	2796,5
7	PA-28	PA-28							288818,2	4519374	0	2764,1
8	PA-29	PA-29							288967,4	4519529	0	2754
9	PA-3	PA-3							287955,9	4519838	0	2929,5
10	PA-31	PA-31							288491,7	4519482	0	2790,1
11	PA-4	PA-4							287598,4	4519466	0	2939
12	PA-5	PA-5							288547,4	4519171	0	2792,5
13	PA-6	PA-6							289272	4519367	0	2803
14	PA-7	PA-7							288245,2	4519477	0	2842,5
15	PA-8	PA-8							288488,5	4518707	0	2887,5
16	PA-9	PA-9							288632,2	4519469	0	2765
17	PA-9A	PA-9A							288611,6	4519428	0	2762,5
18	PB-13	PB-13							288830,2	4518894	0	2810
19	PB-14	PB-14							288900,6	4519196	0	2783,5
20	PB-14A	PB-14A							288900,6	4519196	0	2785,4
21	PB-16A	PB-16A							289406,5	4518470	0	2794,5
22	PB-17	PB-17							288523	4518401	0	2927,5
23	PB-18	PB-18							288069	4518747	0	2794
24	PB-19A	PB-19A							289539,2	4519189	0	2877
25	PB-20	PB-20							288900,7	4518134	0	3010,5
26	PB-22	PB-22							289010	4518584	0	2870
27	PB-23	PB-23							289206,5	4519002	0	2862,5
28	PB-24	PB-24							287912,3	4519002	0	3035,5
29	PB-26	PB-26							288740,1	4519309	0	2775,9
30	PB-27	PB-27							289097,1	4519203	0	2812,4

Εικ. 2.10 : Δεδομένα που προσδιορίζουν τη θέση κάθε γεώτρησης (Easting,Northing), το συνολικό βάθος, και η απόσταση από το επίπεδο αναφοράς (Elevation)

Από το τελευταίο φύλλο εργασίας του Microsoft Excel, ελήφθησαν τα δεδομένα σύμφωνα με τα οποία κατασκευάστηκαν οι βυθομετρικοί χάρτες, που περιλαμβάνονται εντός της εργασίας. Ο μεγάλος βυθομετρικός χάρτης, που κατασκευάστηκε, αντιστοιχεί στο σύνολο των δεδομένων αυτού του φύλλου εργασίας, ενώ ο μικρός κατασκευάστηκε από ένα μικρό μόνο μέρος των δεδομένων, όπως υποδεικνύεται στο κεφάλαιο 5.

Επισημαίνεται ότι το όνομα της κάθε γεώτρησης δεν είναι τυχαίο. Με PA σημειώνονται οι γεωτρήσεις που έχουν γίνει από την πλατφόρμα A ενώ με PB αυτές που έχουν γίνει από την πλατφόρμα B. Η σχέση τους δηλαδή είναι χωρική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ROCKWORKS – Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΣΕΛΙΔΑΣ UTILITIES ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ

3.1 Εισαγωγή στο Rockworks – Δημιουργία τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Rockworks

Το **Rockworks 2006** είναι ένα λογισμικό πακέτο που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να παραστήσει προσεγγιστικά σε ένα H/Y ένα κοίτασμα ή μια γεωλογική δομή του εδάφους ή του υπεδάφους με βάση στοιχεία γεωτρήσεων και στοιχείων επιφανείας. Με αυτόν τον τρόπο **δίνεται η δυνατότητα κατασκευής λιθολογικών και στρωματογραφικών προσομοιώσεων οποιουδήποτε τύπου καθώς επίσης και άλλων δομών όπως π.χ τη κατασκευή βυθομετρικών χαρτών.** Η δομή του λογισμικού αποτελείται από τρεις κύριες υποσελίδες (Tabs). Τις “Borehole Manager”, “Tables” και “Utilities”.

Με τη βοήθεια της υποσελίδας **borehole manager** εισάγονται στο Rockworks τα **δεδομένα τα σχετικά με τις γεωτρήσεις** που έγιναν γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Τα δεδομένα αυτά αφορούν την ακριβή θέση των γεωτρήσεων (**συντεταγμένες**) καθώς και τις λιθολογίες ή τα **γεωλογικά στρώματα** που διάτρησαν στα διάφορα βάθη. Επίσης δεδομένα απαραίτητα για τη δημιουργία του μοντέλου μας είναι **το βάθος της κάθε γεώτρησης** και το απόλυτο υψόμετρο του κολάρου. Το απόλυτο υψόμετρο ορίζεται συνηθέστερα σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας, χωρίς όμως να αποκλείεται κατά περίπτωση ο ορισμός ως επιφάνειας αναφοράς ενός άλλου επιπέδου (π.χ ο πυθμένας). Το **αν η γεώτρηση είναι κάθετη ή κεκλιμένη** είναι μια πληροφορία που επίσης μας ενδιαφέρει (TVD ή MD), είναι μια πληροφορία που συνήθως δίνεται εξ’ αρχής.

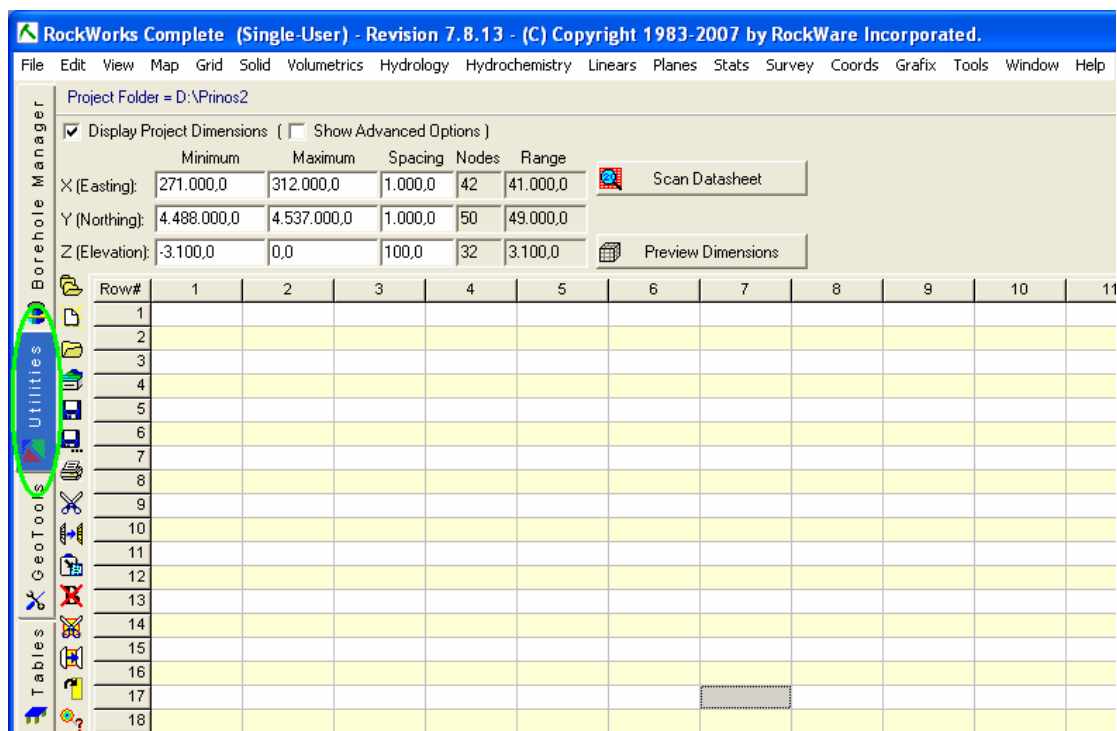
Προκειμένου να κατασκευαστεί ένα λιθοστρωματογραφικό μοντέλο, στην υποσελίδα **Tables**, επιλέγεται το menu stratigraphy types και ορίζονται τα στρώματα που θα έχει το μοντέλο. **Το μοντέλο που κατασκευάζεται στην παρούσα εργασία έχει 18 στρώματα.** Το πρώτο στρώμα, από πάνω προς τα κάτω, είναι το **Brown Marker**, ένα στρώμα οδηγός, ακολουθούν στρώματα εβαποριτών και αλάτων που εναλλάσσονται με στρώματα κλαστικών (13 στρώματα) και τέλος στον πυθμένα του μοντέλου, βρίσκονται τα 4 στρώματα των ψαμμιτών, που φιλοξενούν το πετρέλαιο.

Στην υποσελίδα **Utilities**, κάνουμε εισαγωγή δεδομένων διαφόρων τύπων, π.χ **εισαγωγή συντεταγμένων** για την κατασκευή ενός χάρτη επιφανείας με υψομετρικές διακυμάνσεις ή ενός βυθομετρικού χάρτη στην παρούσα περίπτωση. **Ομοιάζει με ένα φύλλο εργασίας του Microsoft Excel** με τη διαφορά ότι εδώ τοποθετούνται απευθείας δεδομένα που θα αξιοποιηθούν από το πρόγραμμα. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας απαραίτητη ήταν η κατασκευή βυθομετρικών χαρτών.

Για τον σκοπό αυτόν εισήχθησαν **δεδομένα της μορφής XYZ** που αφορούν τις συντεταγμένες των σημείων για τα οποία έχουν ληφθεί βαθυμετρικές μετρήσεις. Με τη διαδικασία αυτήν προκύπτουν τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM). Πιο αναλυτικά για τις δυνατότητες του Rockworks 2006 και πώς αυτές αξιοποιήθηκαν σε τούτη την εργασία ακολουθεί μία προσεκτικότερη ανάλυση στις σελίδες που ακολουθούν.

3.2 Εισαγωγή στην υποσελίδα Utilities

Μία από τις κύριες υποσελίδες του **Rockworks 2006** είναι και η υποσελίδα **Utilities**, η οποία επιλέγεται, πάνω αριστερά, όπως φαίνεται στην Εικ. 3.1.



Εικ. 3.1: Η υποσελίδα utilities και οι επιλογές της

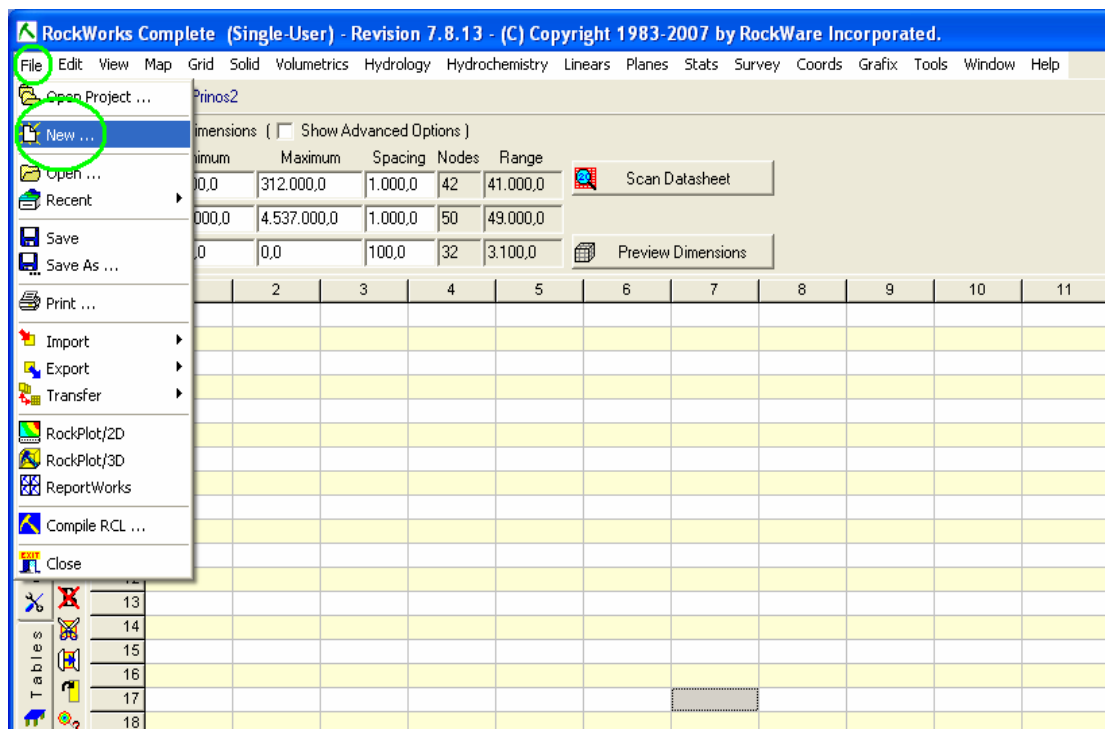
Ομοιάζει με ένα **φύλλο εργασίας** του Microsoft Excel, (ουσιαστικά για ένα τέτοιο πρόκειται αλλά μέσα στο πρόγραμμα), που δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων διαφόρων τύπων προκειμένου να κατασκευαστούν χάρτες, όπως τρισδιάστατοι χάρτες επιφανείας ή βυθομετρικοί χάρτες, που μπορούν έπειτα να συνδυαστούν με μοντέλα εδάφους ή υπεδάφους.

Τα **δεδομένα** που εισάγονται μπορεί να είναι απλά συντεταγμένες σημείων **XYZ** για την **δημιουργία χαρτών οποιουδήποτε τύπου, με σημειακά δεδομένα ή ισοϋψείς**. Ακόμη **δίνεται η δυνατότητα κατασκευής τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DTM)**. Ένα φύλλο εργασίας της υποσελίδας Utilities μπορεί επιπροσθέτως να περιλαμβάνει δεδομένα από μετρήσεις κλίσεως και παρατάξεως επιφανειών προκειμένου να δημιουργηθούν **στερεογραφικά διαγράμματα**.

3.3 Δημιουργία νέου φύλλου εργασίας

Για να **δημιουργηθεί** ένα νέο φύλλο εργασίας, γίνονται τα εξής :

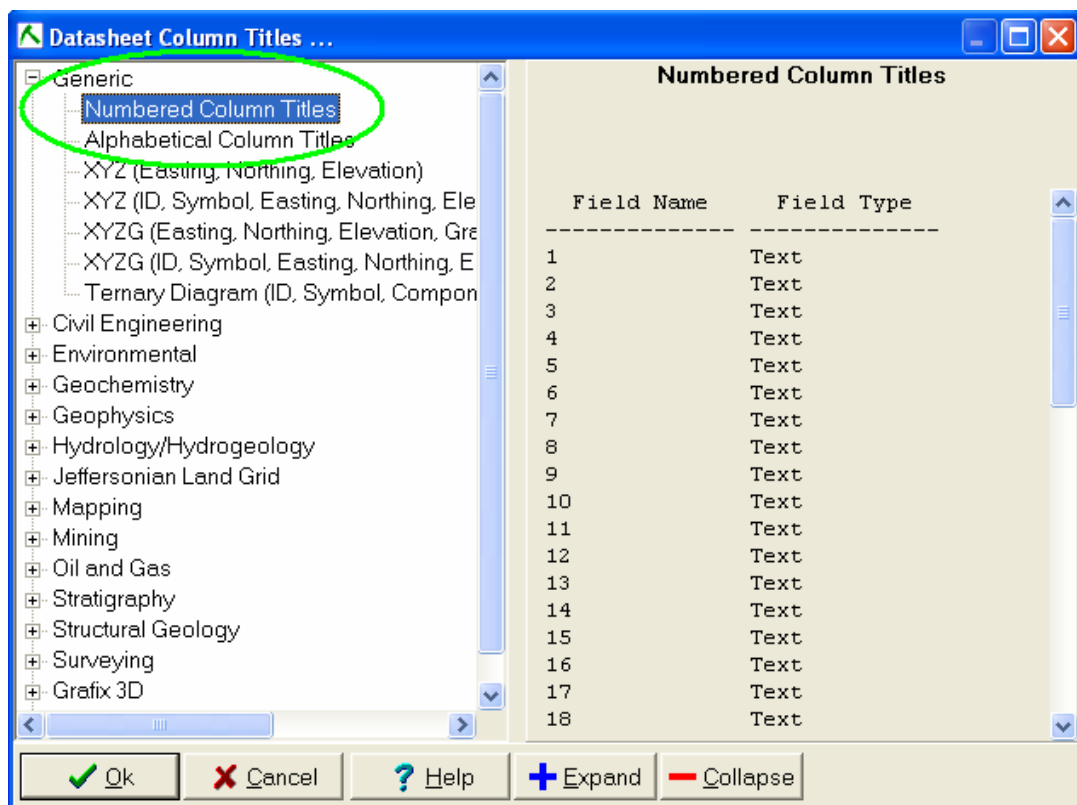
1. Επιλέγεται η υποσελίδα **Utilities**
2. Επιλέγεται από το menu **File** η εντολή **New**, όπως στο σχήμα



Εικ. 3.2 : Παράθυρο δημιουργίας νέου φύλλου εργασίας

Εάν έχουν γίνει αλλαγές στο συγκεκριμένο φύλλο εργασίας οι οποίες δεν έχουν αποθηκευτεί, το Rockworks ερωτά εάν ο χρήστης επιθυμεί να τις αποθηκεύσει. Εάν αυτός επιθυμεί επιλέγει Yes.

3. Από το επόμενο παράθυρο ο χρήστης επιλέγει τον τύπο επικεφαλίδων των στηλών.



Εικ. 3.3: Παράθυρο επιλογής μορφοποίησης στηλών

Όπως φαίνεται υπάρχει μια μεγάλη **ποικιλία διαμορφωμένων στηλών** για την εισαγωγή δεδομένων από απλές αριθμημένες στήλες έως στήλες **για την κατασκευή ειδικών χαρτών** δηλαδή λατομείων μαρμάρων και κοιτασμάτων αερίων. Επιλέγοντας **Expand** το πρόγραμμα πληροφορεί το χρήστη για τις δυνατότητες των διάφορων ομάδων συνολικά, ενώ επιλέγοντας **Collapse** συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή όλες οι πληροφορίες κρύβονται από την οθόνη και παραμένουν μόνον οι κατηγορίες. Προκειμένου να αποθηκευτούν τα δεδομένα ενός φύλλου εργασίας της υποσελίδας Utilities γίνονται τα εξής : Επιλέγεται από το menu **File** η εντολή **Save as** ή, η εντολή **Save** εάν το όνομα που δίδει το πρόγραμμα ή υπάρχει μας ικανοποιεί. Τα **αρχεία** τα οποία αποθηκεύονται, έχουν πάντα την **κατάληξη .atd**.

3.4 Δημιουργία δισδιάστατων και τρισδιάστατων βυθομετρικών χαρτών

Μέσα από την υποσελίδα Utilities δίνεται η δυνατότητα να απεικονιστούν τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί σε αυτήν με διάφορες μορφές, ανάλογα με το χάρτη που ενδιαφέρει το χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας από το **κύριο menu** την επιλογή **Map** όπως αυτό φαίνεται στην Εικ.3.5.

Προκειμένου να δημιουργηθούν χάρτες πρέπει σε πρώτη φάση να εισηχθούν τα δεδομένα στο φύλλο εργασίας της υποσελίδας Utilities. Το πρόγραμμα, δίνει την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από μια πληθώρα πηγών όπως είναι αρχεία τύπου ASCII, DXF (AutoCAD), XLS και άλλα.

Τα **δεδομένα** μπορούν να εισηχθούν από την εντολή **Import** διαμέσου του **menu File** ή απλώς να γίνουν **Copy – Paste** αφού πρώτα έχει δημιουργηθεί ένα νέο φύλλο εργασίας στο Utilities και έχουν ρυθμιστεί οι παράμετροι που χρειάζεται να ρυθμιστούν.

Project Folder = D:\Pmos2

☒ Display Project Dimensions (☐ Show Advanced Options)

	Minimum	Maximum	Spacing	Nodes	Range
X (Easting):	271.000,0	312.000,0	1.000,0	42	41.000,0
Y (Northing):	4.488.000,0	4.537.000,0	1.000,0	50	49.000,0
Z (Elevation):	340,0	0,0	10,0	35	340,0

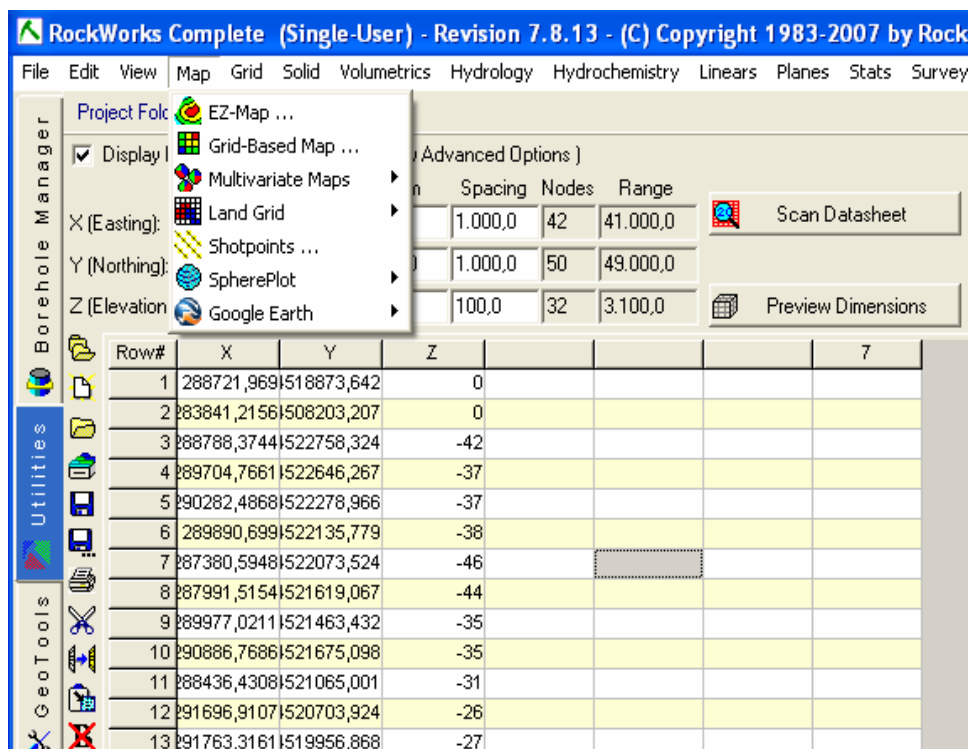
Scan Datasheet

Preview Dimensions

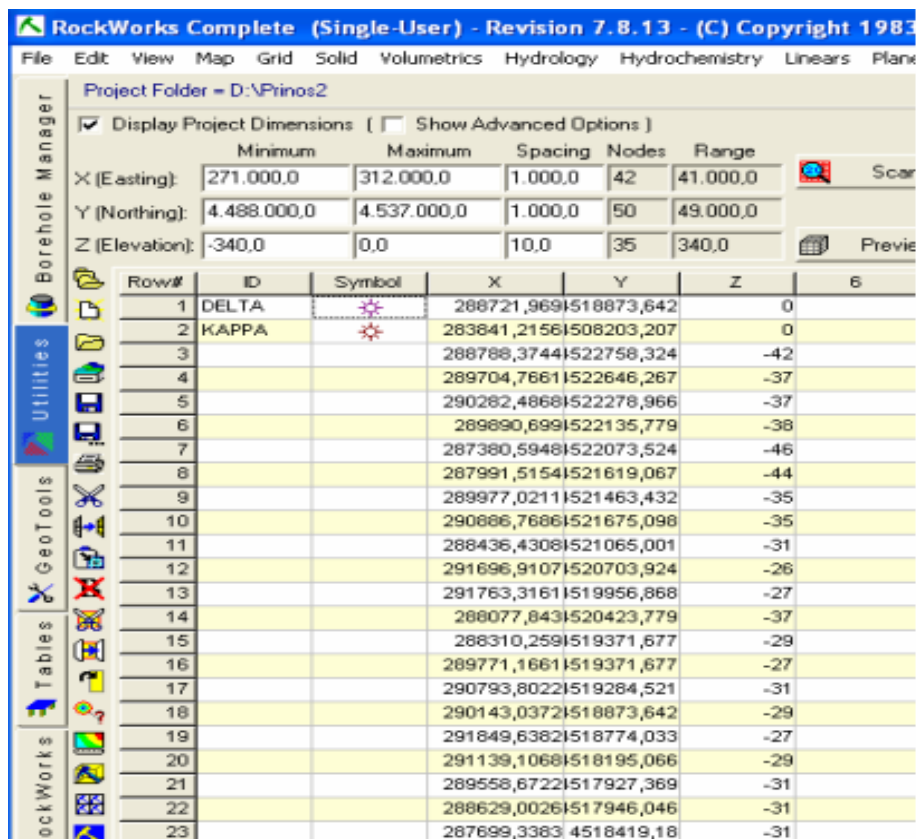
Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	288721,969	4518873,642	0						
2	283841,2156	4508203,207	0						
3	288788,3744	4522758,324	-42						
4	289704,7661	4522646,267	-37						
5	290282,4868	4522278,966	-37						
6	289890,699	4522135,779	-38						
7	287380,5948	4522073,524	-46						
8	287991,5154	4521619,067	-44						
9	289977,0211	4521463,432	-35						
10	290886,7686	4521675,098	-35						
11	288436,4308	4521065,001	-31						
12	291696,9107	4520703,924	-26						
13	291763,3161	4519956,868	-27						
14	288077,843	4520423,779	-37						
15	288310,259	4519371,677	-29						
16	289771,1661	4519371,677	-27						
17	290793,8022	4519284,521	-31						
18	290143,0372	4518873,642	-29						
19	291849,6382	4518774,033	-27						
20	291139,1068	4518195,066	-29						
21	289558,6722	4517927,369	-31						
22	288629,0026	4517946,046	-31						

Εικ. 3.4 : Συμπληρωμένο φύλλο εργασίας με δεδομένα XYZ για την κατασκευή ενός βυθομετρικού χάρτη (αρχείο τύπου .XLS)

Προκειμένου να σχεδιαστεί ένας χάρτης από τα δεδομένα επιλέγεται στην υποσελίδα **utilities** από το **menu Map** η επιθυμητή επιλογή, ανάλογα με το χάρτη, που ο χρήστης επιθυμεί να σχεδιάσει.

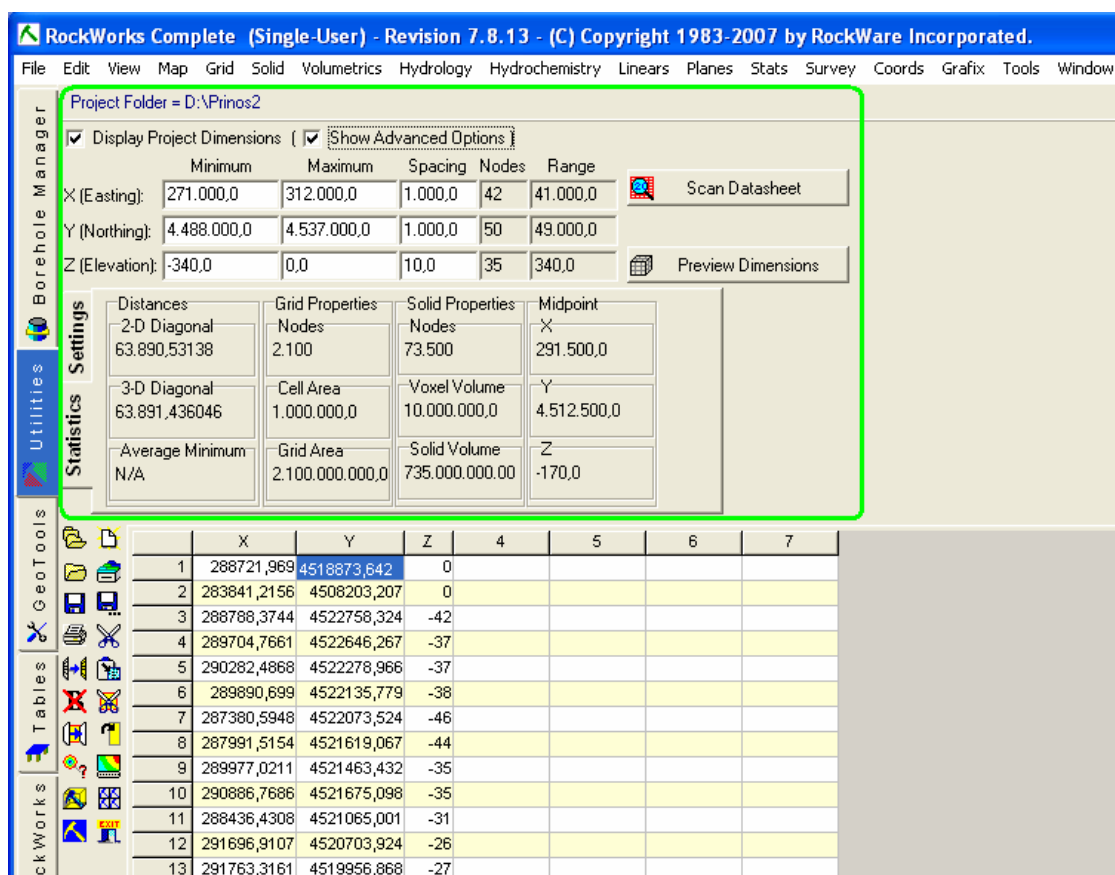


Εικ. 3.5 : Οι επιλογές στο menu Map



Εικ. 3.6 : Εισαγωγή των προηγούμενων δεδομένων με διαφορετικό τρόπο

Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να ελέγξει και να ρυθμίσει τις διαστάσεις του χάρτη, διαμέσου της επιλογής **Display Project Dimensions** (Εικ.3.7). Η επιλογή αυτή στην υποσελίδα Utilities, βρίσκεται επάνω αριστερά. Επιλέγοντας **Show Advanced Options**, το πρόγραμμα μεγαλώνει τον ήδη υπάρχον χώρο παρέχοντας στο χρήστη περισσότερες πληροφορίες. Επιπροσθέτως μπορεί να επιλεγούν οι υποκαρτέλες **Settings** ή **Statistics**. Από την επιλογή Settings, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την ανάλυση του μοντέλου, ενώ η επιλογή Statistics, πληροφορεί το χρήστη σχετικά με τις επιλογές που έγιναν από την υποκαρτέλα Settings.

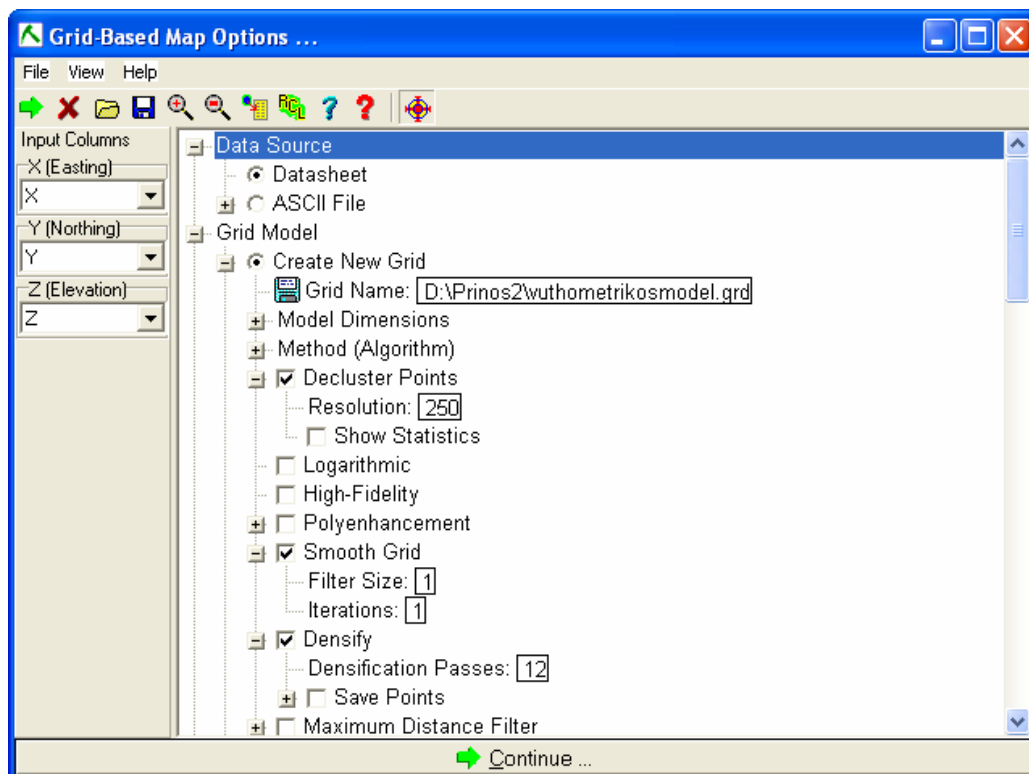


Εικ. 3.7 : Οι επιλογές που παρέχονται από του Display Project Dimensions

Ακόμη από την επιλογή **Scan Datasheet**, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει εάν θέλει να γίνει σχεδιασμός του μοντέλου σε δύο διαστάσεις ή τρεις διαστάσεις καθώς και σε ποιες στήλες να ανιχνεύσει το πρόγραμμα για δεδομένα. Πατάμε OK και το πρόγραμμα υπολογίζει τις διαστάσεις του χάρτη από τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί.

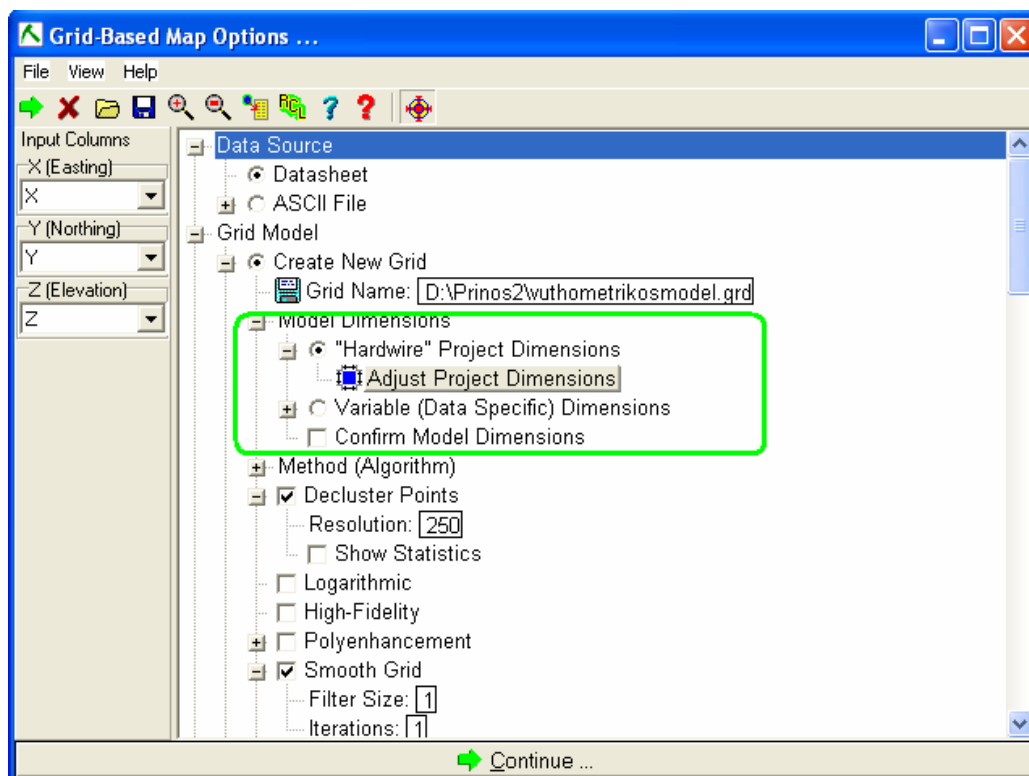
Αφού οριστούν τις διαστάσεις του χάρτη, όπως περιγράφηκε παραπάνω, επιλέγεται από το menu **Map** η εντολή **Grid – Based Map** (πλεγματικός χάρτης). Με την εντολή αυτή το Rockworks δημιουργεί **δισδιάστατους ή τρισδιάστατους χάρτες**.

Επιλέγοντας την εντολή **Grid – Based Map** ανοίγει το παράθυρο της Εικ.3.8 από το οποίο ο χρήστης καθορίζει τις παραμέτρους του χάρτη.



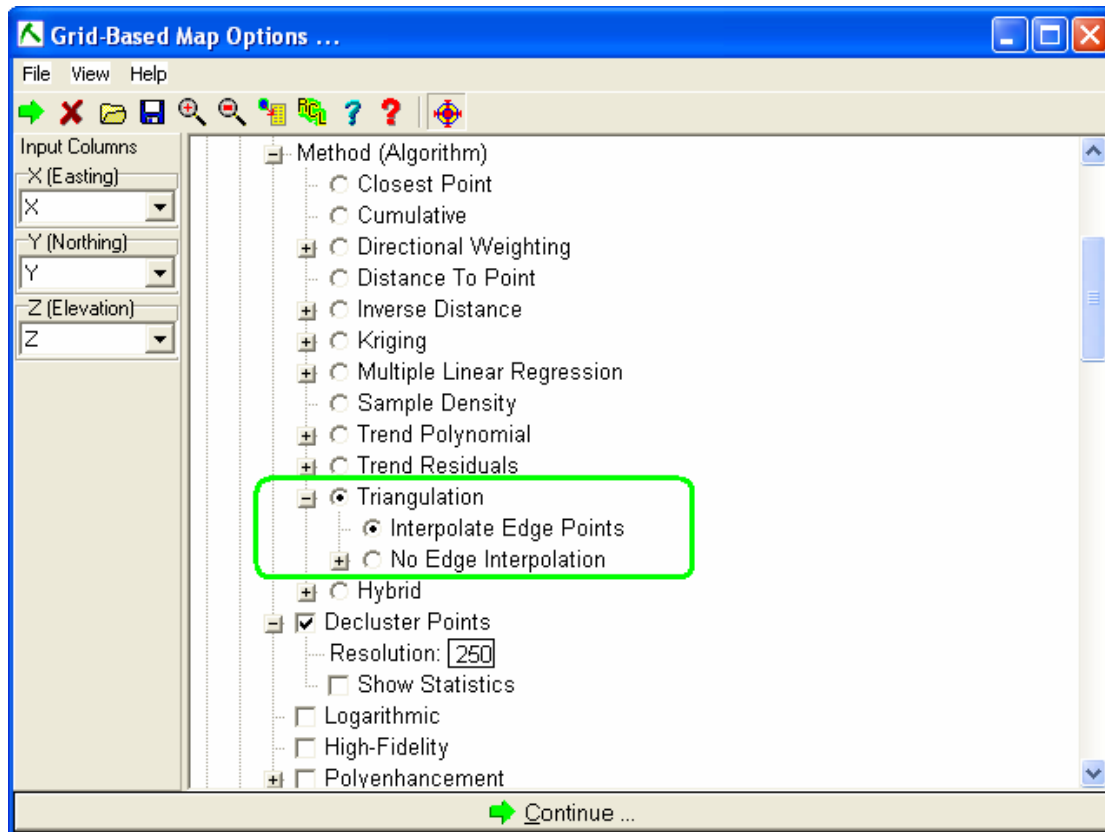
Εικ. 3.8 : Επιλογές για την κατασκευή ενός βυθομετρικού χάρτη

Ο χρήστης επιλέγει **Datasheet** σε περίπτωση που επιθυμεί να εισαγάγει τα δεδομένα από ένα φύλλο εργασίας του Microsoft Excel. Στη συγκεκριμένη εργασία αυτό επιθυμείται. Εν συνεχεία επιλέγεται να δημιουργηθεί ένα **νέο πλεγματοτικό μοντέλο** (Create New Grid).



Εικ. 3.9 : Επιλέγεται Hardwire Project Dimensions

Ο χρήστης ονομάζει το αρχείο με το όνομα που επιθυμεί. Τα αρχεία πλέγματος έχουν πάντα κατάληξη **.grd**. Στην επιλογή **Model Dimensions** επιλέγεται **Hardware Project Dimensions** ώστε το μοντέλο που θα δημιουργηθεί να έχει τις διαστάσεις που ορίστηκαν στο πεδίο Project Dimensions. Στη συνέχεια ο χρήστης διαλέγει έναν αλγόριθμο σχεδιασμού (Εικ.3.10). Ο αλγόριθμος που επιλέγεται στη συγκεκριμένη εργασία προκειμένου να κατασκευαστούν οι χάρτες, είναι ο αλγόριθμος Triangulation, με ή χωρίς την επιλογή Edge Interpolation.



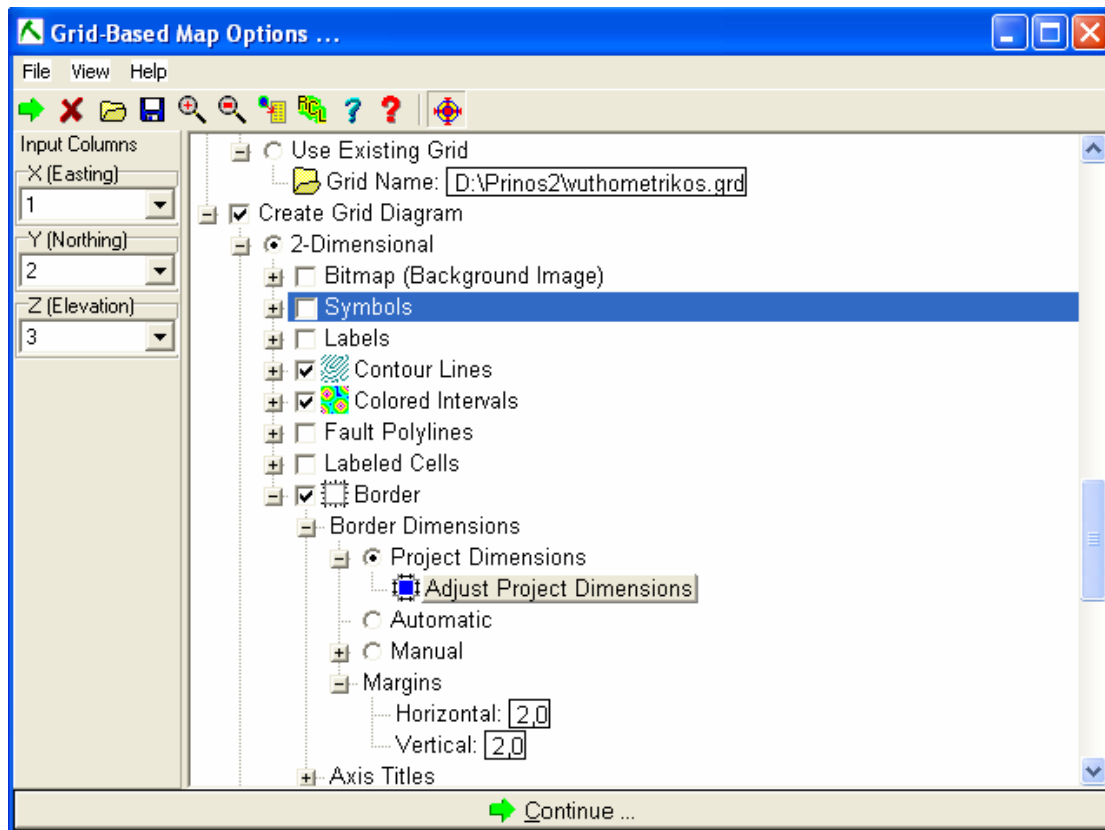
Εικ. 3.10 : Επιλογή του αλγορίθμου Triangulation

Ο αλγόριθμος **Triangulation**, είναι ο πλέον ενδεδειγμένος για σχεδιασμό χαρτών, όπως ο βυθομετρικός χάρτης της παρούσας εργασίας. Το πρόγραμμα δημιουργεί τρίγωνα ανάμεσα στα γνωστά σημεία, ισομοιράζοντας τις αποστάσεις και τις υψομετρικές διαφορές.

Η επιλογή **Interpolate Edge Points** και η αντίθετη της (No Edge Interpolation), δίδουν στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει εάν επιθυμεί ο χάρτης να κατασκευαστεί με ή χωρίς παρεμβολή στα άκρα.

Οι διαφορές στους δύο χάρτες δεν είναι πολύ μεγάλες, αλλά στη συγκεκριμένη εργασία επιλέγεται να μη γίνει παρεμβολή στα άκρα, προκειμένου ο χάρτης να είναι αντιπροσωπευτικότερος.

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει εάν επιθυμεί να κατασκευάσει ένα **δισδιάστατο** ή **τρισδιάστατο χάρτη πλέγματος**. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται να κατασκευαστεί ένας δισδιάστατος χάρτης, (**2-Dimensional**) :



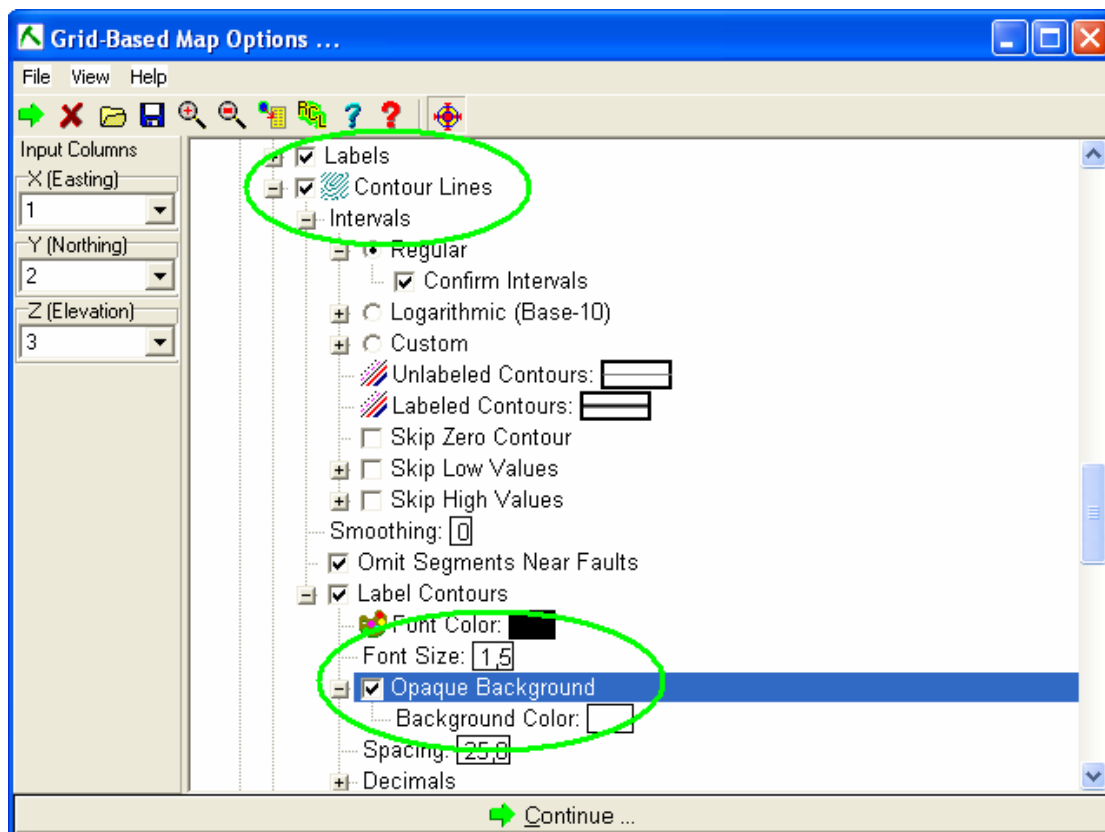
Εικ. 3.11 : Επιλογές διαστάσεων χάρτη για το μοντέλο μας

Η επιλογή **Bitmap**, στην οποία επιλέγουμε **off**, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισαγάγει μια εικόνα ως ξεχωριστό επίπεδο, πάνω στην οποία προβάλλονται τα υπόλοιπα επίπεδα του χάρτη.

Η επιλογή **Symbols**, στην οποία επιλέγουμε **off**, δημιουργεί ένα νέο επίπεδο (layer) στο οποίο τα σημεία δειγματοληψίας από το φύλλο δεδομένων αναπαριστώνται με κάποιο σύμβολο.

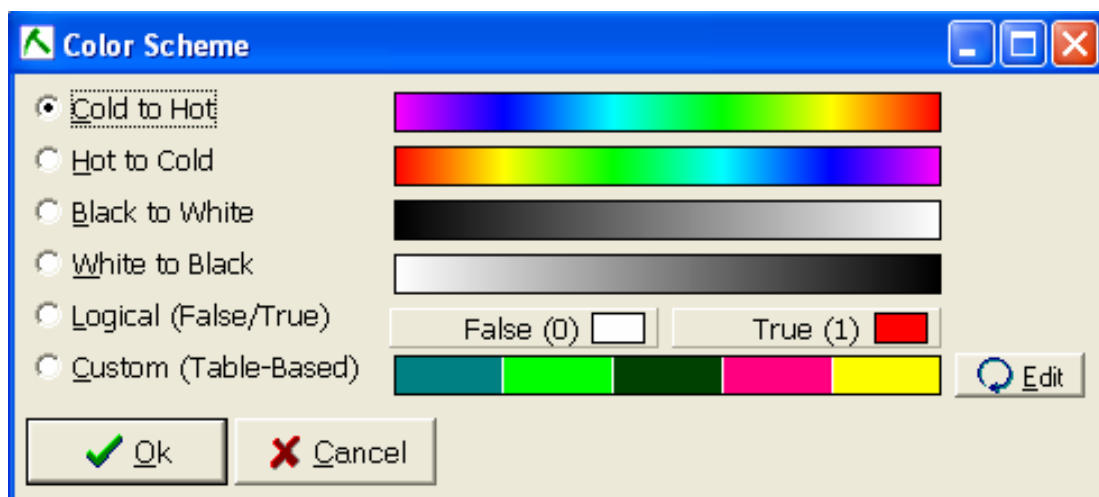
Η επιλογή **Labels**, στην οποία επιλέγουμε **on**, δημιουργεί ένα επίπεδο στο χάρτη στο οποίο εμφανίζονται ετικέτες (Labels) των σημείων δειγματοληψίας.

Η επιλογή **Contour Lines**, είναι η επιλογή με την οποία σχεδιάζονται οι **ισοϋψείς του χάρτη**. Στην περίπτωση που δεν έχουμε υψόμετρα αλλά κάποια άλλη παράμετρο, δημιουργούνται αντίστοιχα γραμμές όπου το μετρούμενο μέγεθος λαμβάνει την ίδια τιμή. Μέσα από την επιλογή **Contour Lines**, μπορούμε να κάνουμε μια σειρά δευτερευουσών επιλογών, όπως αυτές απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.

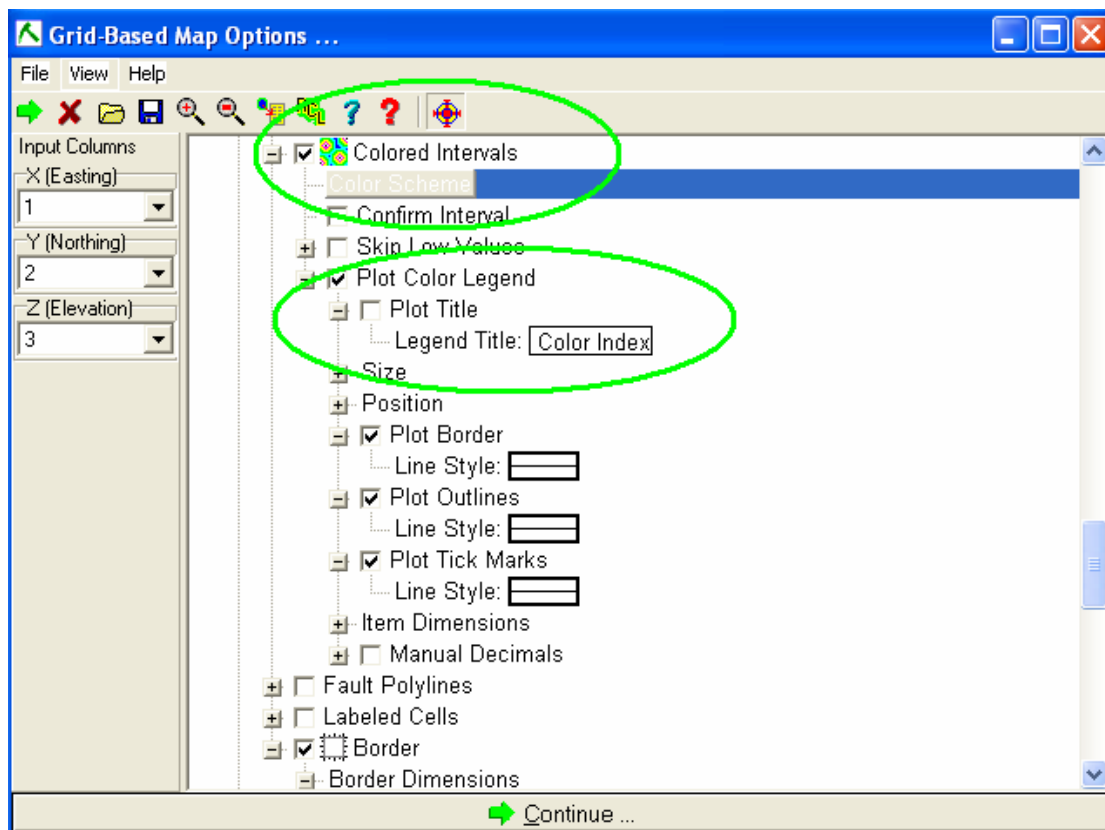


Εικ. 3.12 : Οι επιλογές του Contour Lines

Από την επιλογή **Intervals** ο χρήστης επιλέγει εάν θέλει οι ισοϋψείς να υπολογίζονται σε κανονικά διαστήματα (Regular) ή αν επιθυμεί εκείνος να ορίσει τα διαστήματα στα οποία θα υπολογίζονται (Custom). Επιλέγουμε **regular** και **Confirm Intervals : on**. Στη συνέχεια ρυθμίζουμε το **Colored Intervals**, δηλαδή, το **χρωματικό υπόμνημα** του **χάρτη**. Οι ρυθμίσεις της εντολής φαίνονται στις εικόνες 3.13 και 3.14.



Εικ. 3.13 : Επιλέγεται Cold to Hot

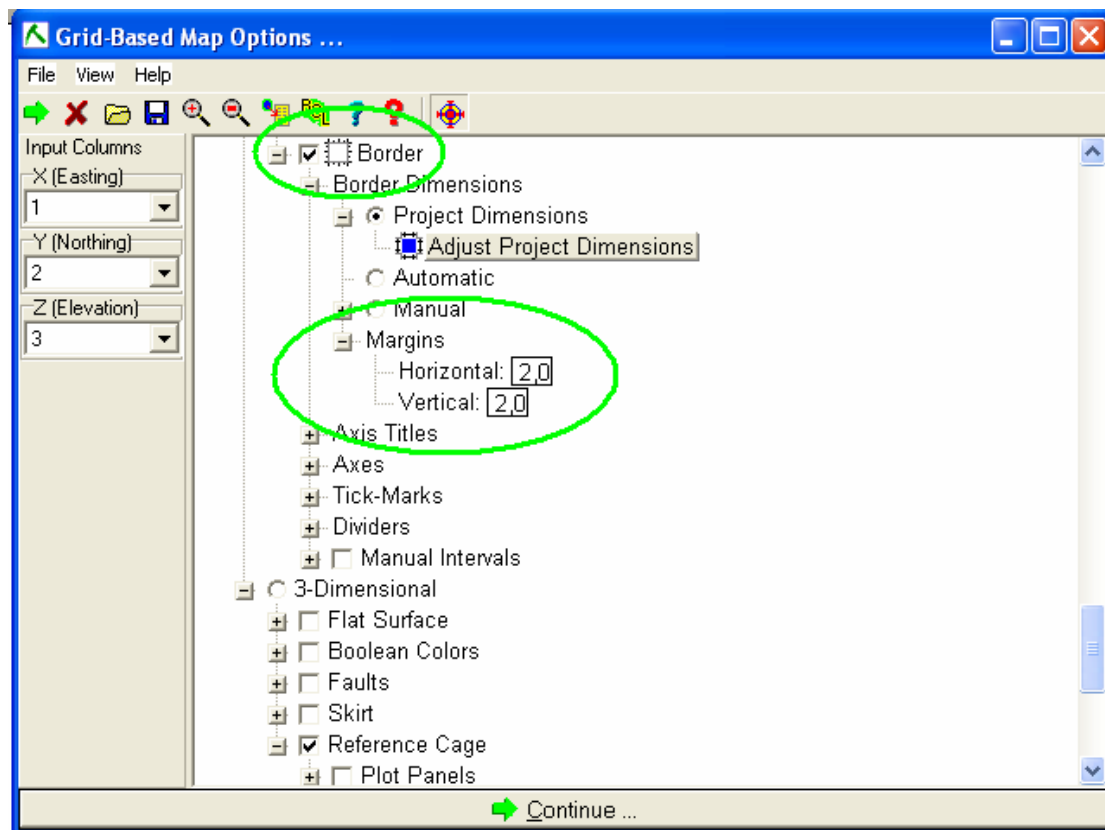


Εικ. 3.14 : Γενικές επιλογές του **menu Colored Intervals**

Από την επιλογή **Colored Scheme** διαλέγουμε ποια χρώματα θα χρησιμοποιήσει το Rockworks προκειμένου να παραστήσει τις υψομετρικές μεταβολές. Επιλέγουμε **Cold to Hot** σύμφωνα με την οποία οι **χαμηλές τιμές** αναπαριστώνται με **ψυχρά χρώματα** (μπλε, μωβ) ενώ οι **υψηλές τιμές** με τα **θερμά χρώματα** (πορτοκαλί, ερυθρό). Αντίστοιχα η επιλογή **White to Black** δίνει σε τονική κλίμακα του γκρι την μετάβαση από χαμηλές τιμές, που αντιπροσωπεύονται με άσπρο, στις υψηλές τιμές, που αντιπροσωπεύονται με μαύρο. Η επιλογή **Logical** αποδίδει δύο χρώματα στα δεδομένα εφόσον σε αυτά δοθεί η τιμή 0 ή 1 που συμβολίζει αν πληρούν ή όχι μια συγκεκριμένη ιδιότητα. Με την επιλογή **Custom** ο χρήστης μπορεί να ορίσει ένα συγκεκριμένο χρωματικό μοτίβο για να χρησιμοποιήσει. Στη συνέχεια ενεργοποιείται την επιλογή **Color Legend** για να εμφανιστεί το **χρωματικό υπόμνημα** στο χάρτη που θα δημιουργηθεί. **Στο πεδίο Legend εισάγεται μια τιμή** για το μέγεθος του υπομνήματος. Στο πεδίο **Maximum Intervals** εισάγεται ακόμη, μια τιμή για τον αριθμό των διαστημάτων στα οποία θα χωριστεί το χρωματικό υπόμνημα.

Με την επιλογή **Fault Polylines**, που στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχει επιλεγεί ως ανενεργή (**off**), δημιουργείται ένα νέο επίπεδο στο χάρτη πλέγματος στο οποίο προβάλλονται τυχόν ρήγματα που υπάρχουν στα δεδομένα μας.

Η τελευταία ρύθμιση που γίνεται αφορά την επιλογή **Border**. **Με την επιλογή αυτή ο χρήστης ορίζει τη μορφή των ορίων του χάρτη** καθώς και τους τίτλους. Οι επιλογές της εντολής αυτής, φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Από την επιλογή **Axis Titles** (Τίτλοι Αξόνων), δίνεται η δυνατότητα να αλλάξουν οι **ονομασίες των αξόνων**. Στην επιλογή **Axes** φροντίζουμε να είναι επιλεγμένοι όλοι οι άξονες ούτως ώστε να εμφανιστούν κανονικά κατά την δημιουργία του χάρτη.



Εικ. 3.15 : Επιλογές της εντολής Border

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει την ρύθμιση των παραμέτρων για την δημιουργία **δισδιάστατου χάρτη** πατάμε το πλήκτρο **OK** και ανοίγει το παράθυρο της εικόνας 3.16 στο οποίο εισάγουμε ανά πόσα μέτρα θα σχεδιάζεται ισοϋψής (**contour interval**) και ανά πόσα μέτρα θα αναγράφεται το υψόμετρο των ισοϋψών (**labeling interval**). Για την κατασκευή των δισδιάστατων χαρτών επιλέχθηκε 2 : 6.

Contour Intervals

Maximum Value = 0,0
Minimum Value = -338,0

Contour Interval: 2

Labeling Interval: 6

Note:
The labeling interval must be a multiple of the contour interval. Examples;

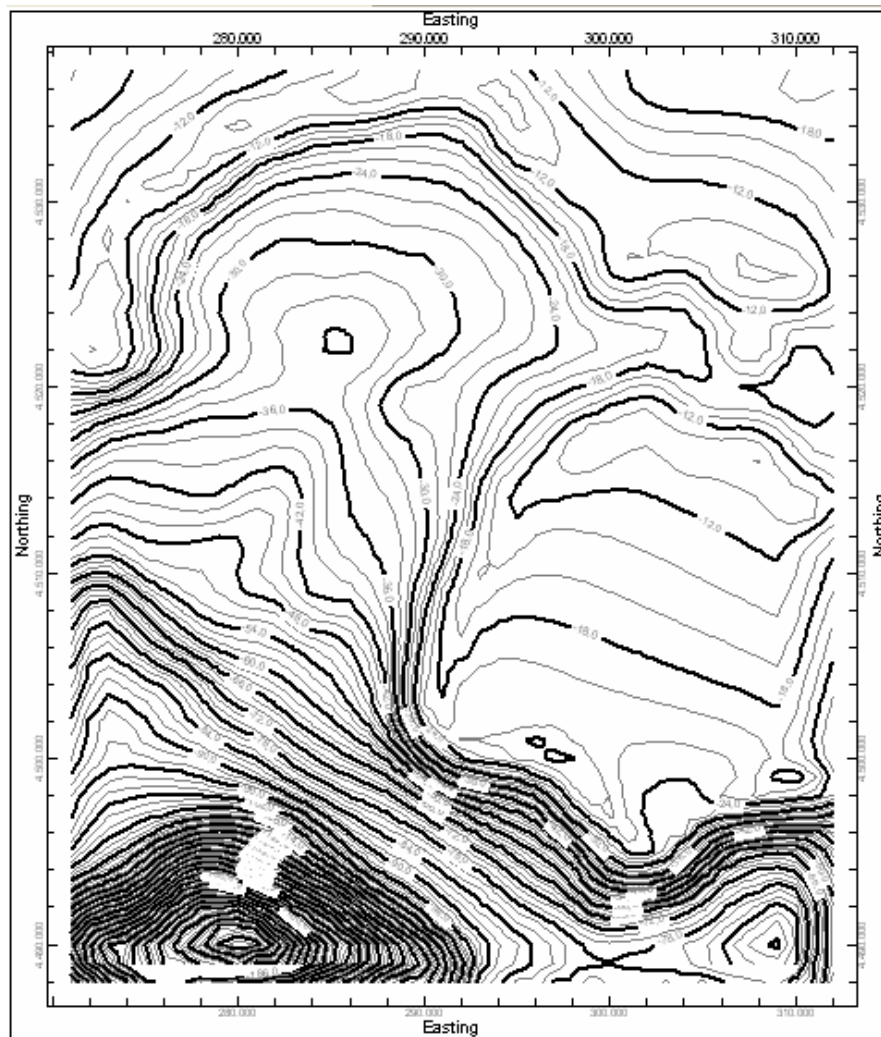
Contour Interval	Labeling Interval	Status
2	2	Good
2	4	Good
2	8	Good
2	5	Bad

Color Interval: 20,0

Ok Cancel

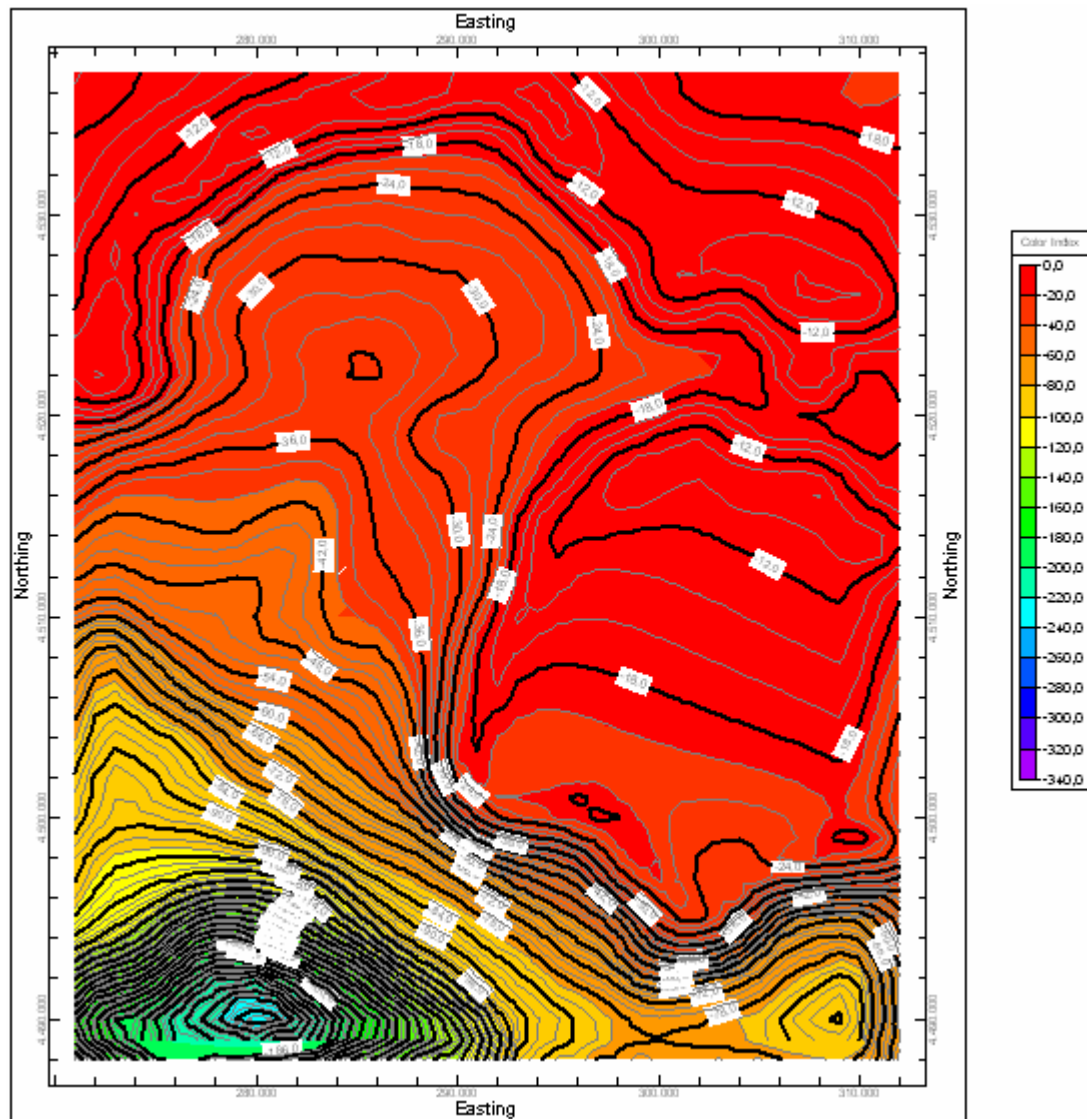
Εικ. 3.16 : Οι επιλογές Contour Intervals

Πατώντας **OK** για να κλείσει το παράθυρο, το πρόγραμμα ξεκινά τους υπολογισμούς για τη δημιουργία του δισδιάστατου χάρτη πλέγματος.



Εικ. 3.17 : Ασπρόμαυρος δισδιάστατος χάρτης που προκύπτει από τις παραπάνω επιλογές

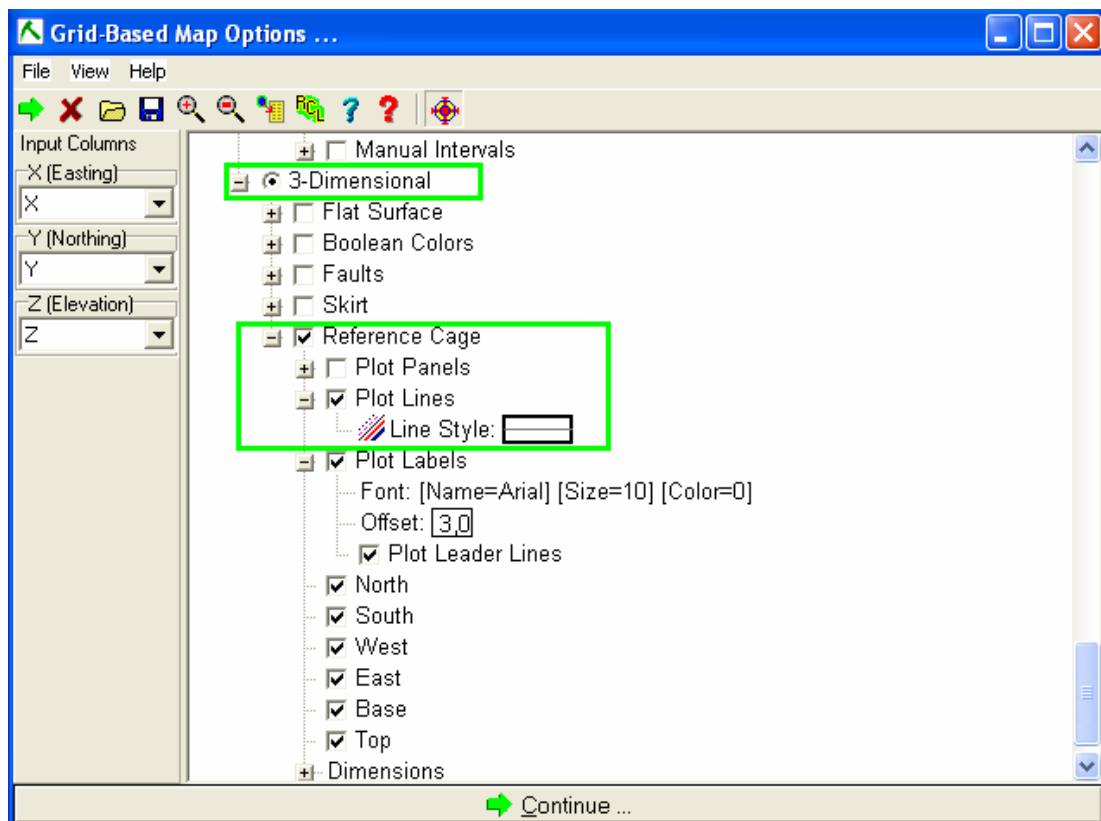
Στη συνέχεια επιλέγεται Colored Intervals, και το πρόγραμμα σχεδιάζει το παραπάνω χάρτη έγχρωμο, απεικονίζοντας με τις εναλλαγές των χρωμάτων τις υψομετρικές διαφορές.



Εικ 3.18 : Παρουσίαση έγχρωμου δισδιάστατου βυθομετρικού χάρτη της περιοχής

Αυτό που παρατηρείται είναι τα σχετικά μικρά βάθη στο μεγαλύτερο μέρος του χάρτη με εξαίρεση τη μεγάλη αύξηση του βάθους σε μικρή περιοχή στο κάτω μέρος αριστερά.

Εναλλακτικά , η επιλογή τρισδιάστατου χάρτη (3 – Dimensional), μας δίνει πρόσβαση στο μενού παραμέτρων της εικόνας. 3.19.



Εικ. 3.19 : Οι επιλογές για το σχεδιασμό ενός τρισδιάστατου χάρτη

- Η επιλογή **Flat Surface** απεικονίζει το μοντέλο μας με χρωματική κωδικοποίηση σαν επίπεδη επιφάνεια και όχι σαν τρισδιάστατο μοντέλο. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται **off**.
- Η επιλογή **Boolean Colors** απεικονίζει το μοντέλο πλέγματος με δυο χρώματα. Η αντιστοίχιση γίνεται ως εξής: εάν ένας κόμβος πληρεί μια συγκεκριμένη προϋπόθεση του αποδίδεται η τιμή 1 ότι είναι δηλαδή «αληθής», ενώ εάν ένας κόμβος δεν πληροί την ίδια προϋπόθεση τότε αποδίδεται η τιμή 0 άρα είναι «μη αληθής». Ανάλογα λοιπόν με το εάν ένας κόμβος είναι αληθής ή μη αληθής αποδίδεται στον κόμβο το αντίστοιχο χρώμα για την κατάστασή του. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται **off**.
- Η επιλογή **Faults**, αφορά ρήγματα που πιθανόν υπάρχουν στο μοντέλο μας. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται **off**.
- Η επιλογή **Skirt** σχεδιάζει ένα περίγραμμα στο μοντέλο μέχρι ένα ύψος που εμείς ορίζουμε. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται **off**.
- Η επιλογή **Reference Cage**, σχεδιάζει γύρω από το μοντέλο, ένα κελί αναφοράς στο οποίο αναγράφονται οι διευθύνσεις **Βορράς, Νότος, Ανατολή, Δύση καθώς και το Άνω (Top) και το Κάτω όριο (Base)**. Διαμέσου αυτής της εντολής μπορούν να ρυθμιστούν οι διαστάσεις του κελιού αναφοράς από το πεδίο **Dimensions**. Ο χρήστης μπορεί επίσης να επιλέξει να χρησιμοποιηθούν οι διαστάσεις του χάρτη σαν όρια ή να ορίσει νέες διαστάσεις για το κελί. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται **On**.

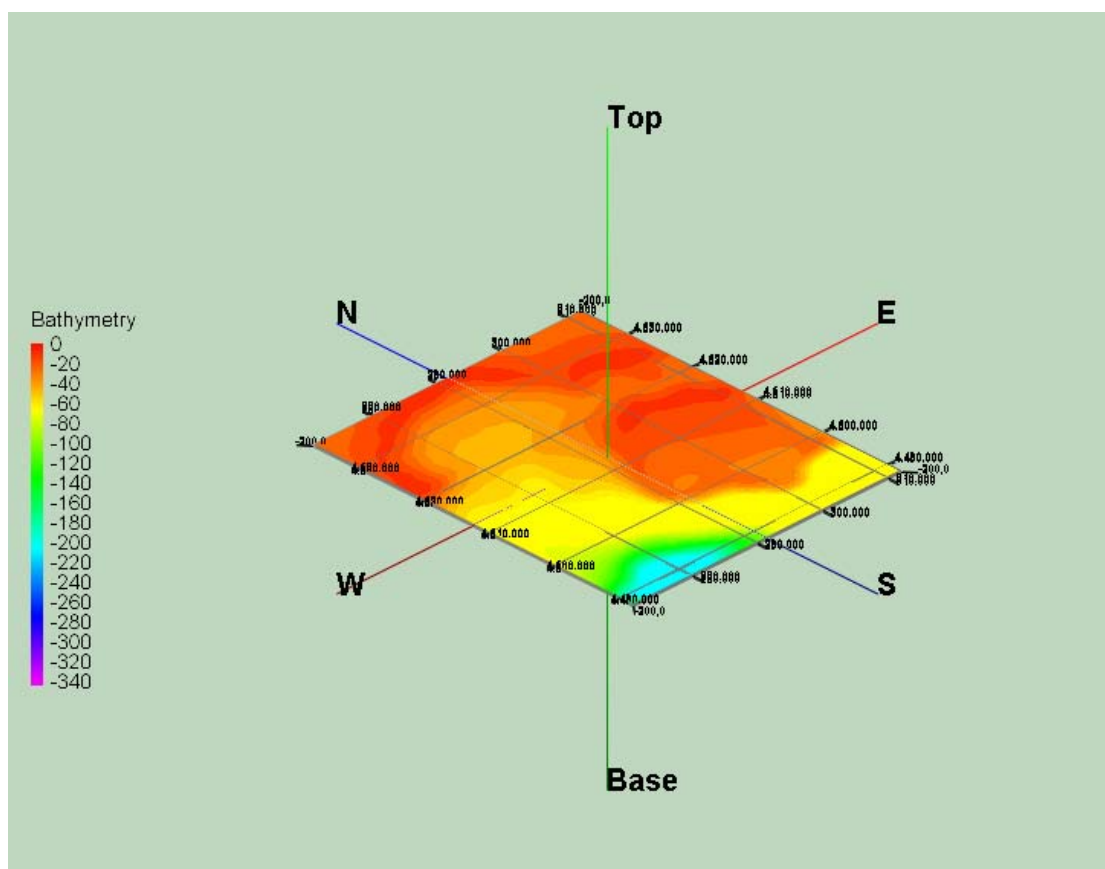
3.5 Παρουσίαση τρισδιάστατου βυθομετρικού χάρτη της περιοχής

Ο βυθομετρικός χάρτης της περιοχής, όπως σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις παραπάνω ρυθμίσεις, παρουσιάζεται στην αμέσως επόμενη εικόνα. Το **υπόμνημα (Bathymetry)** αντικατοπτρίζει τις χρωματικές αλλαγές που παρουσιάζονται σε σχέση με το βάθος. Προστέθηκε από το menu **Edit → Add legend → Legend...**, ενώ κάνοντας δεξί κλικ και επιλέγοντας Options ρυθμίστηκε η κλίμακα του Vathimetry.

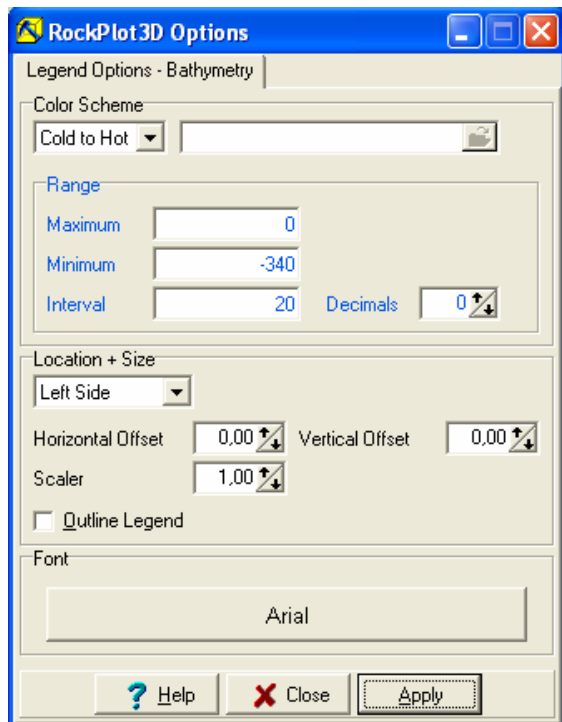
Από το δεδομένα του .grd αρχείου επιλέχτηκε η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για την κλίμακα, ενώ στην επιλογή Intervals από 10 που είχε επιλεγεί 20 ώστε να υπάρχει καλύτερη απόκριση. Η επιλογή **Intervals** ουσιαστικά ρυθμίζει τη χρωματική αλλαγή σε σχέση με το βάθος.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ο παρακάτω βυθομετρικός χάρτης σχεδιάστηκε με χρήση του αλγορίθμου Triangulation, αφού αυτός ο αλγόριθμος ενδείκνυται για σχεδιασμό χαρτών. Το μεγάλο πλήθος των δεδομένων δίνει παρόμοια αποτελέσματα, για τις επιλογές Interpolate Edge Points, και No Edge Interpolation (σχεδιάστηκαν και οι δύο χάρτες). Στο παράθυρο Contour Intervals, επιλέχθηκε 20 : 100.

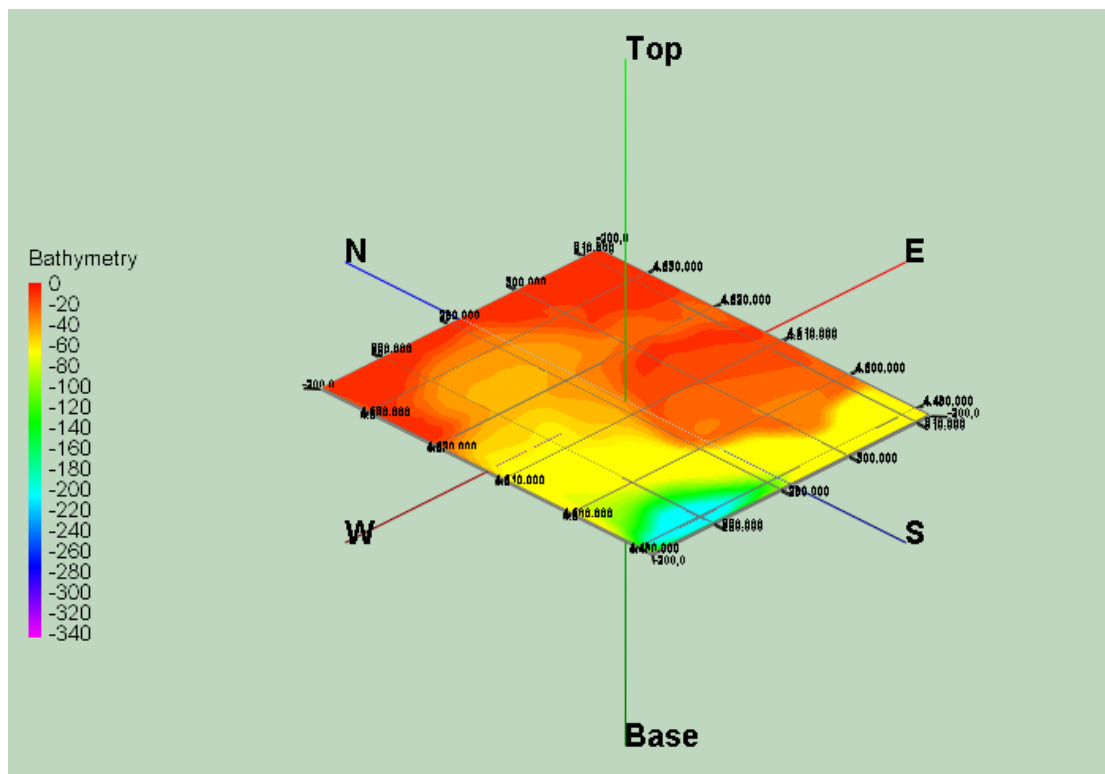
Ο τρισδιάστατος βυθομετρικός χάρτης της περιοχής, παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω :



Εικ. 3.20 : (Τρισδιάστατος) βυθομετρικός χάρτης εκτεταμένης περιοχής πάνω από το μοντέλο, με την επιλογή Interpolate Edge Points

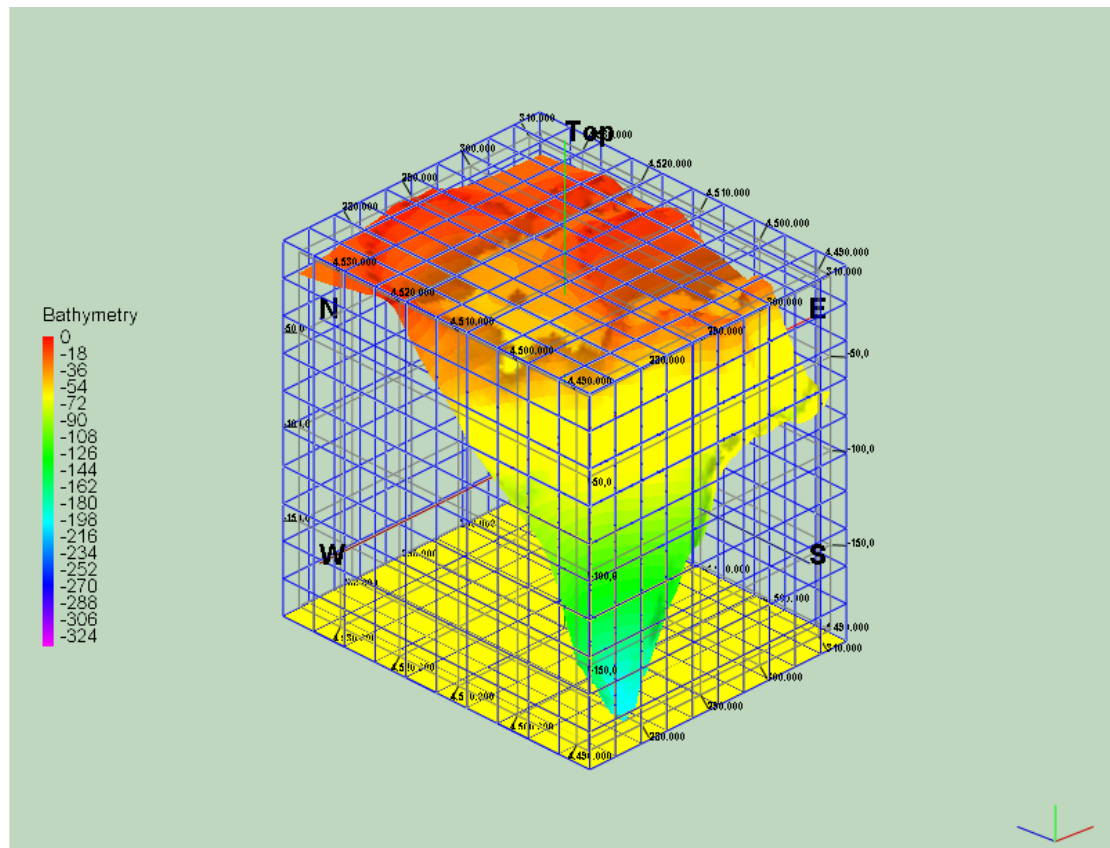


Εικ. 3.21 : Παράθυρο ρυθμίσεων του χρωματικού υπομνήματος



Εικ. 3.22 : (Τρισδιάστατος) βυθομετρικός χάρτης εκτεταμένης περιοχής πάνω από το μοντέλο, με την επιλογή No Edge Interpolation

Όσον αφορά το χρωματικό υπόμνημα επιλέγεται ως ελάχιστη τιμή -340μ . και ως μέγιστη το 0 σύμφωνα με τα δεδομένα του Project Dimensions. Στην επιλογή Interval εισάγεται η τιμή 20 . Κατόπιν επιλέγεται Apply.



Εικ. 3.23 : Τρισδιάστατος βυθομετρικός χάρτης της περιοχής όπως προκύπτει χρησιμοποιώντας την εντολή *stretch*

Οι περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη παρουσιάζονται στο χάρτη με πιο ψυχρά χρώματα όπως το μπλε που αφορά τα μεγαλύτερα βάθη και το πράσινο που αφορά λίγο μικρότερα, όπως φαίνεται παραπάνω. Τα θερμά χρώματα που όπως το ερυθρό, το πορτοκαλί και το κίτρινο χρησιμοποιούνται για να παραστήσουν περιοχές μικρότερου βάθους.

Οι συντεταγμένες του βαθύτερου σημείου, σύμφωνα με τα δεδομένα που εστάλησαν από τους μηχανικούς του Πρίνου είναι (σε ΕΓΣΑ 87) :

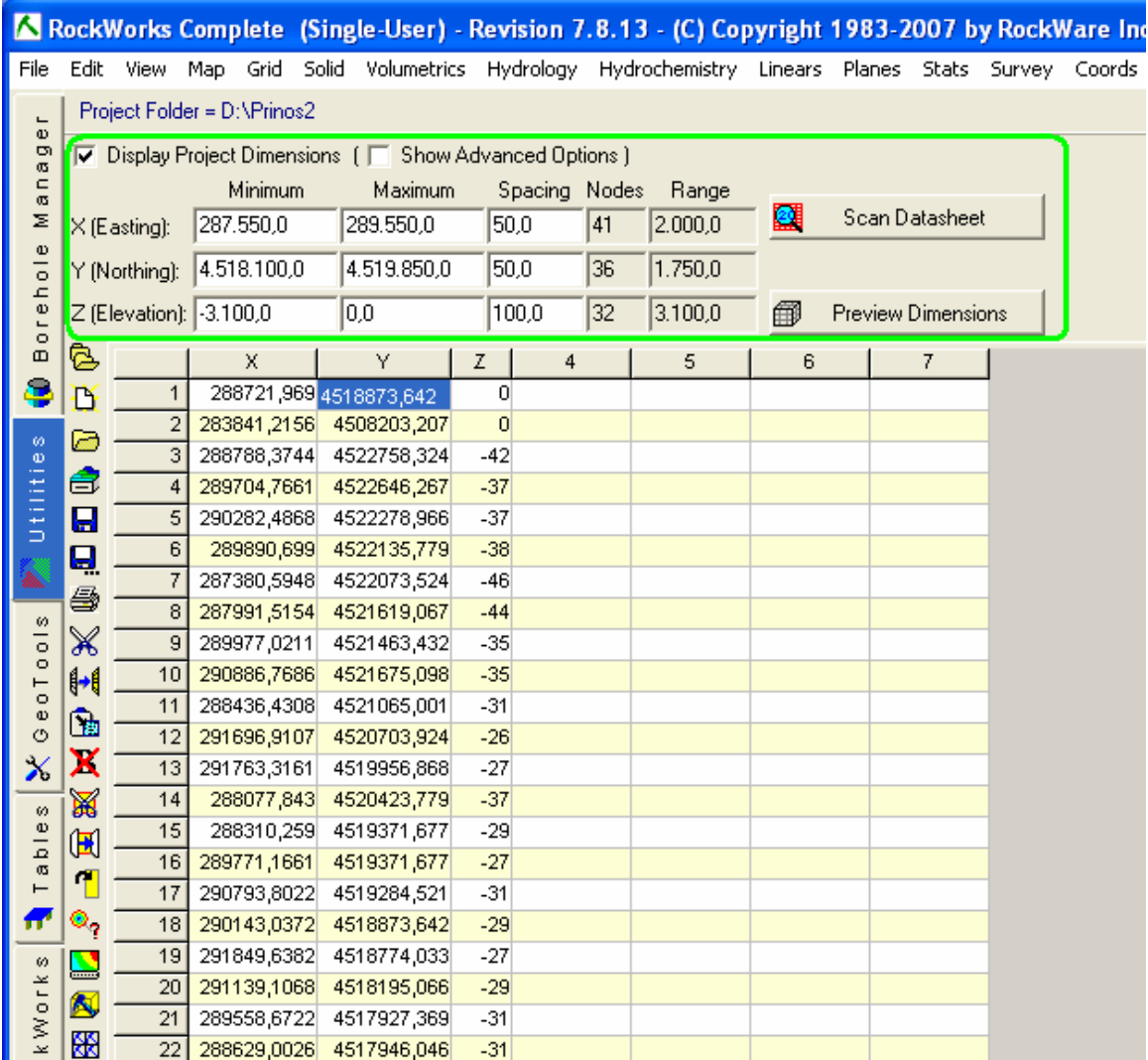
<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z (Βάθος) – (μέτρα)</i>
281292,3	4488886	-338

Το βάθος θάλασσας των –338 μέτρων αφορά *περιορισμένη* έκταση. Το μέσο βάθος είναι πολύ μικρότερο, ενώ μεγάλο θεωρείται στην περιοχή ακόμα και ένα βάθος της τάξεως των 200 μέτρων.

3.6 Δημιουργία βυθομετρικού χάρτη που αντιστοιχεί ακριβώς επάνω από το κοίτασμα

Στη συγκεκριμένη υποενότητα παρουσιάζεται η κατασκευή ενός μικρότερου βυθομετρικού χάρτη, ο οποίος αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος του βυθομετρικού χάρτη της περιοχής. Ο συγκεκριμένος μικρός βυθομετρικός χάρτης βρίσκεται ακριβώς επάνω από το κοίτασμα. Προκειμένου να κατασκευαστεί ακολουθείται από το πρόγραμμα η παρακάτω διαδικασία :

Στην υποσελίδα **Utilities**, τοποθετούνται τις διαστάσεις του μοντέλου του κοιτάσματος, ακριβώς κάτω από την επιλογή **Display Project Dimensions**, εκεί που υπάρχουν τα πεδία για τις συντεταγμένες **X (Easting)**, **Y (Northing)**, **Z (Elevation)** **Maximum** και **Minimum**, ενώ παράλληλα επιλέγεται από το **menu File → import → XLS**, ώστε να εισηχθούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του βυθομετρικού χάρτη της περιοχής. Με αυτό τον τρόπο, το πρόγραμμα σχεδιάζει μόνο το μέρος εκείνο του χάρτη που αντιστοιχεί μεταξύ των συντεταγμένων επιφανείας που εισήχθησαν.



RockWorks Complete (Single-User) - Revision 7.8.13 - (C) Copyright 1983-2007 by RockWare Inc

File Edit View Map Grid Solid Volumetrics Hydrology Hydrochemistry Linears Planes Stats Survey Coords

Project Folder = D:\Prinos2

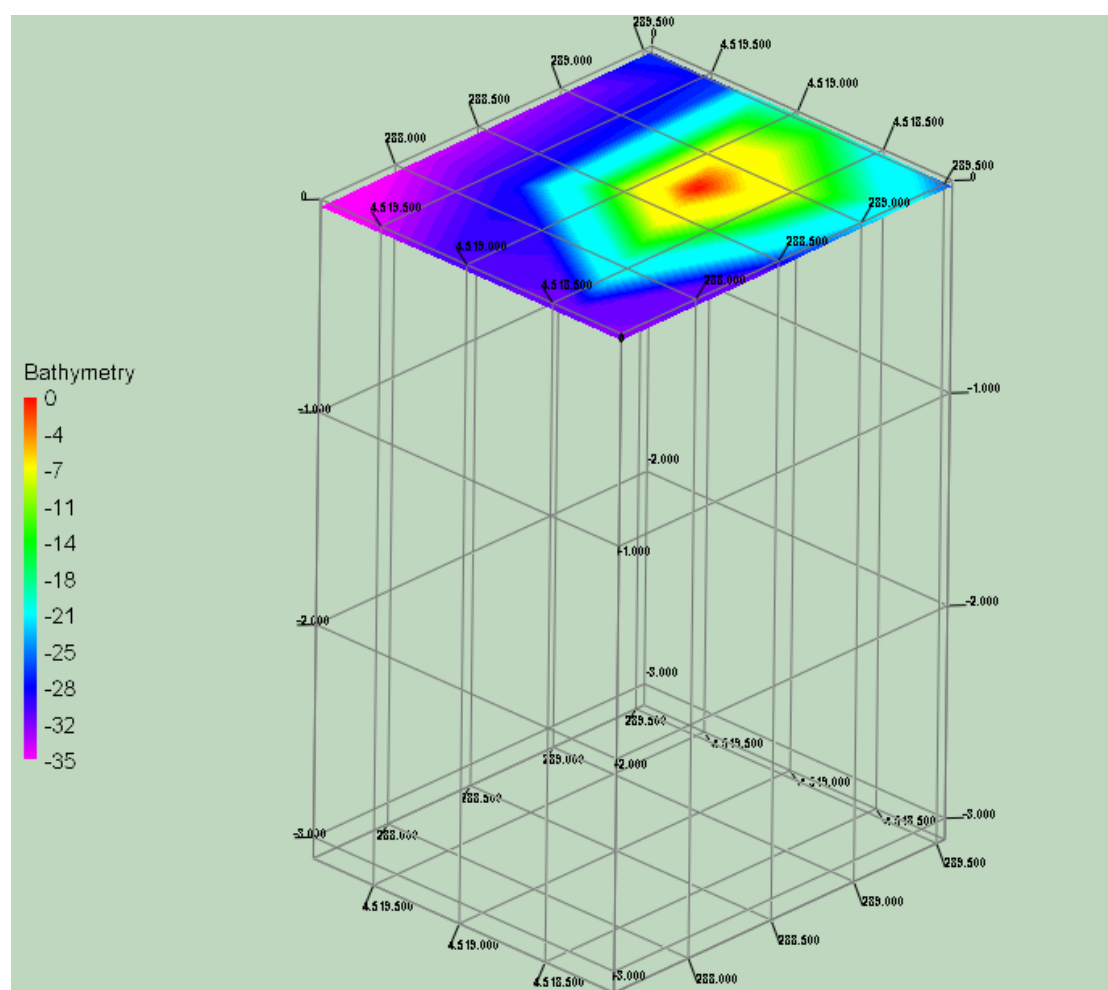
☒ Display Project Dimensions (☐ Show Advanced Options)

	Minimum	Maximum	Spacing	Nodes	Range	
X (Easting):	287.550,0	289.550,0	50,0	41	2.000,0	Scan Datasheet
Y (Northing):	4.518.100,0	4.519.850,0	50,0	36	1.750,0	
Z (Elevation):	-3.100,0	0,0	100,0	32	3.100,0	Preview Dimensions

	X	Y	Z	4	5	6	7
1	288721,969	4518873,642	0				
2	283841,2156	4508203,207	0				
3	288788,3744	4522758,324	-42				
4	289704,7661	4522646,267	-37				
5	290282,4868	4522278,966	-37				
6	289890,699	4522135,779	-38				
7	287380,5948	4522073,524	-46				
8	287991,5154	4521619,067	-44				
9	289977,0211	4521463,432	-35				
10	290886,7686	4521675,098	-35				
11	288436,4308	4521065,001	-31				
12	291696,9107	4520703,924	-26				
13	291763,3161	4519956,868	-27				
14	288077,843	4520423,779	-37				
15	288310,259	4519371,677	-29				
16	289771,1661	4519371,677	-27				
17	290793,8022	4519284,521	-31				
18	290143,0372	4518873,642	-29				
19	291849,6382	4518774,033	-27				
20	291139,1068	4518195,066	-29				
21	289558,6722	4517927,369	-31				
22	288629,0026	4517946,046	-31				

Εικ. 3.24 : Εισαγωγή των συντεταγμένων του μοντέλου, προκειμένου να δημιουργηθεί, ο βυθομετρικός χάρτης που βρίσκεται ακριβώς επάνω από αυτό

Ο βυθομετρικός χάρτης που προέκυψε από τις παραπάνω ρυθμίσεις παρουσιάζεται παρακάτω. Σχεδιάστηκε και αυτός με χρήση του αλγορίθμου Triangulation, και της επιλογής Interpolate Edge Points.



Εικ. 3.25 : Ο παραπάνω βυθομετρικός χάρτης αντιστοιχεί ακριβώς πάνω από το μοντέλο του κοιτάσματος που σχεδιάστηκε

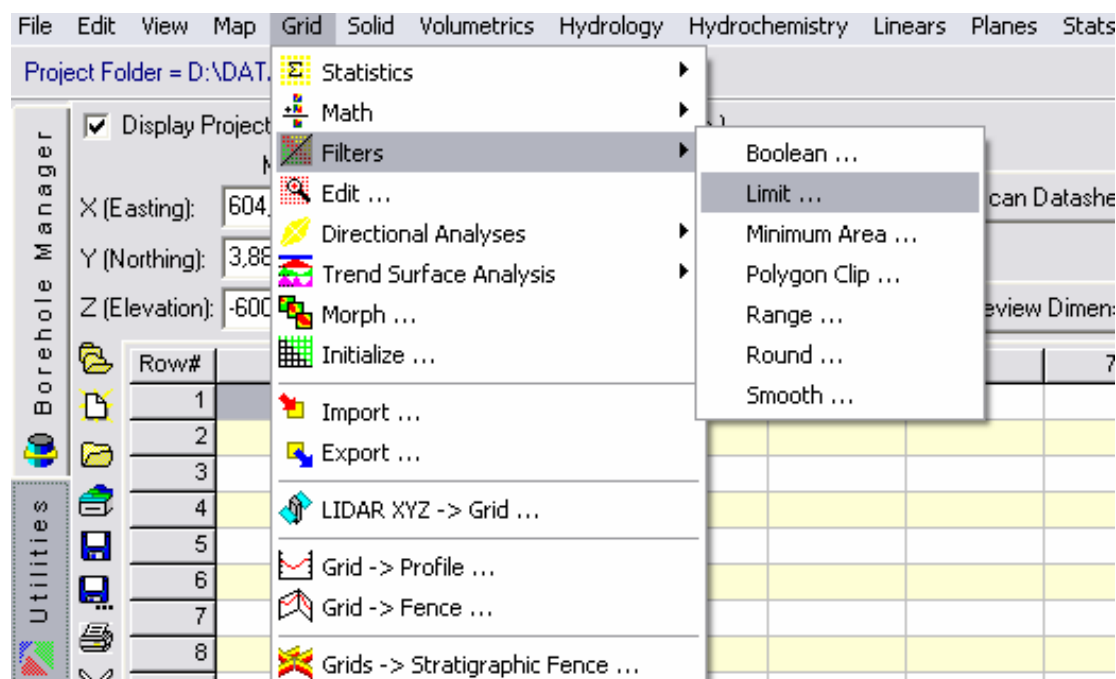
Παρατήρηση : Η χρωματική κλίμακα που έχει ο βυθομετρικός χάρτης σχετίζεται άμεσα με το βάθος. Από την επιλογή Cold to Hot, τα βάθη παρασταίνονται από σύμφωνα με τις χρωματικές αλλαγές. Μικρά βάθη παρουσιάζονται με θερμά χρώματα ενώ μεγάλα βάθη με ψυχρά. Η κλίμακα (Vathimetry), προστέθηκε από το menu **Edit → Add legend → Legend...**, οπότε και ρυθμίστηκαν οι παράμετροι Maximum, Minimum και Interval σύμφωνα με τα δεδομένα από το .grd αρχείο.

Τέλος συνδυάζεται ο βυθομετρικός χάρτης που δημιουργήθηκε (ή το αντίστοιχο τμήμα του που βρίσκεται πάνω από το μοντέλο) με το τελικό μοντέλο. Ο συνδυασμός γίνεται με την εντολή **append**.

Ακολουθεί μια μικρή υποενότητα που δε σχετίζεται άμεσα με την παρούσα διπλωματική, όμως θεωρήσα βασικό να την παραθέσω, αφού σε κάθε άλλη περίπτωση σχεδιασμού ενός στρωματογραφικού μοντέλου θα πρέπει αυτό να συνδυαστεί με το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.

3.7 Δημιουργία στρωματογραφικού μοντέλου με τοπογραφικό ανάγλυφο

Το **stratigraphy menu** δεν μπορεί να δημιουργήσει απευθείας μοντέλα στρωματογραφίας που να συμπεριλαμβάνουν το ανάγλυφο της περιοχής. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο πρέπει να γίνει μια επεξεργασία των **Grid files** που σχηματίζουν το στρωματογραφικό μοντέλο. Όταν το Rockworks δημιουργεί ένα στρώμα, τότε παράλληλα δημιουργούνται και δύο αρχεία τύπου .grd, που οριοθετούν την ανώτερη και την κατώτερη επιφάνεια του στρώματος. 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 ακολουθείται στην υποσελίδα Utilities, η διαδρομή : **Grid /Filter/Limit**.



Εικ. 3.26 : Ακολουθείτε η διαδρομή Grid /Filter/Limit, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα στρωματογραφικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψιν το ανάγλυφο

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

Στη συγκεκριμένη εργασία το μοντέλο των 18 στρωμάτων, που βρίσκεται σε βάθος πολλών εκατοντάδων μέτρων από την επιφάνεια, συνδυάζεται με το βυθομετρικό χάρτη. Τα δεδομένα που προέρχονται από ένα μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων, αποτυπώνουν τη στρωματογραφία ικανοποιητικά. (κεφ.4 & 5).

Αρχικά δημιουργήθηκαν τα “grids” για κάθε στρώμα του μοντέλου, χρησιμοποιώντας το borehole manager. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τοπογραφική επιφάνεια κατασκευάστηκε από πολύ μεγάλο πλήθος σημείων σε σχέση με το μοντέλο που σχεδιάστηκε από πολύ λιγότερα δεδομένα στο borehole manager.

Αυτά τα πλέγματα, “grids” αποθηκεύτηκαν στο φάκελο των εργασιών με ονόματα που αντανakλούσαν στις δύο επιφάνειες κάθε στρώματος (Top & Base), ενώ όλα τα αρχεία ήταν τύπου .grd.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – Η ΕΠΙΛΟΓΗ PROJECT DIMENSIONS & Η ΥΠΟΣΕΛΙΔΑ TABLES

4.1 Ιστορική αναδρομή τρισδιάστατων μεθόδων προσομοίωσης

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση (**3D geological modeling**) 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. Σταθμοί που καθόρισαν την περαιτέρω εξέλιξη στον τομέα αυτόν ήταν η μέθοδος του τρισδιάστατου ομοιώματος σταθερού μπλοκ (**3D fixed block model**) που χρησιμοποιήθηκε σε μη στρωσιγενή ή τεκτονικά παραμορφωμένα στρωσιγενή κοιτάσματα (Shurtz, 1959) και ο κάρναβος προσομοίωσης στρώσης (**gridded seam model**) (Zensus, 1963) που εφαρμόστηκε σε τεκτονικά αδιατάρακτα στρωσιγενή κοιτάσματα.

Η ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών έδωσε ώθηση στην εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων με την βοήθεια υπολογιστή (CAD - Computer Aided Design). Από μια σειρά μεθόδων (Voelcker & Requicha 1982, Requicha & Voelcker 1983) η μέθοδος της παράστασης οριακών επιφανειών (**Boundary Representation, BRep**) αποδείχτηκε η πιο κατάλληλη για γεωμετρική προσομοίωση σε γεωλογικές εφαρμογές. Μια εκτεταμένη επισκόπηση των τρισδιάστατων μεθόδων που εφαρμόζονται στον τομέα των γεωεπιστημών παρουσίασε ο Houlding (1994).

Προσέγγιση της μεθόδου

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση ενός γεωλογικού φαινομένου μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό ομοίωμα. Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων από το φυσικό περιβάλλον ακολουθεί τις νομοτέλειες της γεωλογικής χαρτογράφησης. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, που συμπληρώνονται από το σύνολο των υπαρχόντων για την περιοχή δεδομένων, για την μεταφορά τους στο τεχνητό περιβάλλον, που οδηγεί στην τελική χαρτογραφική απεικόνιση, γίνεται με την χρήση απόλυτων γεωμετρικών κανόνων. Τα περισσότερα δεδομένα της γεωλογικής χαρτογράφησης είναι γεωμετρικού τύπου (παρατάξεις, κλίσεις) που καταγράφονται ύστερα από παρατηρήσεις και μετρήσεις. Δεν λείπει όμως και η ανάλυση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων και πληροφοριών όπου προσεγγίζονται και παρουσιάζονται μακροχρόνιες, επάλληλες χωροχρονικές γεωλογικές διεργασίες, που απαιτούν και εμπεριέχουν ταυτόχρονα την ερμηνεία του ερευνητή-χαρτογράφου.

Για τα δεδομένα αυτού του τύπου ο χρήστης υποστηρίζεται από το υπόμνημα του χάρτη και από αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές. Στην κλασσική αποτύπωση της γεωλογικής χαρτογράφησης μεταφέρεται ένα μέρος της ερμηνείας στον χρήστη. Κλασσικό παράδειγμα αποτελεί η κατανομή του πάχους των διαφόρων σχηματισμών στο σύνολο της περιοχής. Το μεγαλύτερο δε πρόβλημα βρίσκεται στην ερμηνεία του άλματος των ρηγμάτων της περιοχής.

Είναι αυτονόητο ότι με την κλασσική μέθοδο αποτύπωσης ένα μέρος της ερμηνείας του γεωλογικού χάρτη μεταφέρεται αυτόματα στον χρήστη.

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

- i. Ο μελετητής υποστηρίζεται στην κατασκευή ενός λογικά ορθού προτύπου. Σφάλματα και αντινομίες γίνονται εμφανή κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής προσομοίωσης και μπορούν να διορθωθούν.
- ii. 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.
- iii. Ο γεωλογικός χάρτης δεν υποστηρίζεται μόνο από αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές αλλά από την δυνατότητα κατασκευής οποιασδήποτε τομής η τομών σε κάθε διεύθυνση.
- iv. Οι πληροφορίες που περιέχονται στο πρότυπο μπορούν εύκολα να αναπαραχθούν και να παρουσιαστούν είτε με τη μορφή τομών σε διάφορες διευθύνσεις είτε υπεδαφικών χαρτών.
- v. 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).
- vi. Γίνεται εύκολη η ενσωμάτωση ψηφιακών εικόνων και στοιχείων από τηλεπισκοπικούς δορυφόρους, ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα, μοντέρνα τοπογραφικά όργανα, και δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS).
- vii. Η μέθοδος παρουσιάζει μεγάλες αναλυτικές δυνατότητες που εξαρτιούνται από την κλίμακα ψηφιοποίησης της τοπογραφίας. Η δυνατότητα αυτή μετατρέπεται πρακτικά σε εισαγωγή πληθώρας ταξιθετιμένων δεδομένων, χωρίς η ποσότητα των στοιχείων να επιδρά στην εποπτεία της χαρτογραφικής απεικόνισης.
- viii. Εκτός από την επιτάχυνση της χαρτογραφικής παραγωγής, παραμένει ανοιχτή η διαδικασία για ευκολότερη μετατροπή, ενημέρωση, και αναθεώρηση του χάρτη.
- ix. Γίνεται εύκολη η παραγωγή ειδικών θεματικών χαρτών για συγκεκριμένες εφαρμογές και χρήστες.
- x. Είναι δυνατή η σύνδεση χαρτογραφικών και θεματικών δεδομένων για αξιοποίηση σε ένα σύστημα πληροφοριών (G.I.S.).

4.2 Εισαγωγή στη γεωλογική μοντελοποίηση

Η γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού (π.χ. RockWorks, SURPAC VISION, lynx, DATA MINE, GOCAD κ.α.). Τα πακέτα αυτά έχουν έναν πυρήνα CAD εμπλουτισμένο με ειδικά εργαλεία και συναρτήσεις γεωμετρικής και χαρτογραφικής επεξεργασίας (τεκτονική ανάλυση, μοντελοποίηση ρηγμάτων, χαρτογραφικά συστήματα συντεταγμένων).

Εκτός από το σχεδιαστικό πυρήνα, τα πακέτα αυτά συμπληρώνονται από τμήματα στατιστικής επεξεργασίας και γεωστατιστικής μοντελοποίησης για την εκτίμηση των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (γεωχημική σύσταση, μηχανικές ιδιότητες, περατότητα κ.ά.), από εξειδικευμένη βάση δεδομένων για γεωτρήσεις (τυποποιημένο format σε όλα τα συστήματα), από χαρτογραφικό τμήμα, από ειδικό λογισμικό παρουσίασης (visualization). Επίσης στα περισσότερα πακέτα παρέχεται και η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος για απόλυτα εξειδικευμένες εφαρμογές με τη χρήση της γλώσσας macro-προγραμματισμού του λογισμικού.

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, η γεωλογική χαρτογράφηση, γεωλογικές τομές, γεωφυσικά στοιχεία, στοιχεία γεωτρήσεων και τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα για την περιοχή.

Η μέθοδος της τρισδιάστατης γεωλογικής απεικόνισης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την κλασσική, στατικού τύπου απεικόνιση (γεωλογικό χάρτη) : Ο μελετητής υποστηρίζεται στην κατασκευή ενός λογικά ορθού προτύπου. Σφάλματα και αντινομίες γίνονται εμφανή κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής προσομοίωσης και μπορούν να διορθωθούν.

Στα πρώιμα στάδια της μελέτης υποστηρίζονται οι αποφάσεις για τη συλλογή επιπλέον στοιχείων, ενώ η διαδικασία για μετατροπή, ενημέρωση, και αναθεώρηση του γεωλογικού μοντέλου γίνεται γρήγορα και αξιοποιώντας όλα τα προϋπάρχοντα στοιχεία.

Τα σφάλματα ερμηνείας, σε σχέση με τον κλασσικό γεωλογικό χάρτη περιορίζονται αισθητά, επειδή στο ψηφιακό ομοίωμα μεταφέρονται και συνδυάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο τα συλλεγόμενα πρωτογενή στοιχεία, τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και οι εμπειρίες και απόψεις του ερευνητή.

Το γεωλογικό μοντέλο δεν υποστηρίζεται μόνο από αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές αλλά από την δυνατότητα κατασκευής οποιασδήποτε τομής 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, υπεδιαφικών 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). Επίσης, γίνεται εύκολη η ενσωμάτωση ψηφιακών εικόνων και στοιχείων από τηλεπισκοπικούς δορυφόρους, ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα, μοντέρνα τοπογραφικά όργανα, και δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS) (Manutsoglou et al. 2001).

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των εργασιών είναι το γεωμετρικό μοντέλο, που αποτελεί τη βάση για τις παραπέρα εργασίες της εκτίμησης ιδιοτήτων (μοντέλο ιδιοτήτων).

Μοντέλο ιδιοτήτων

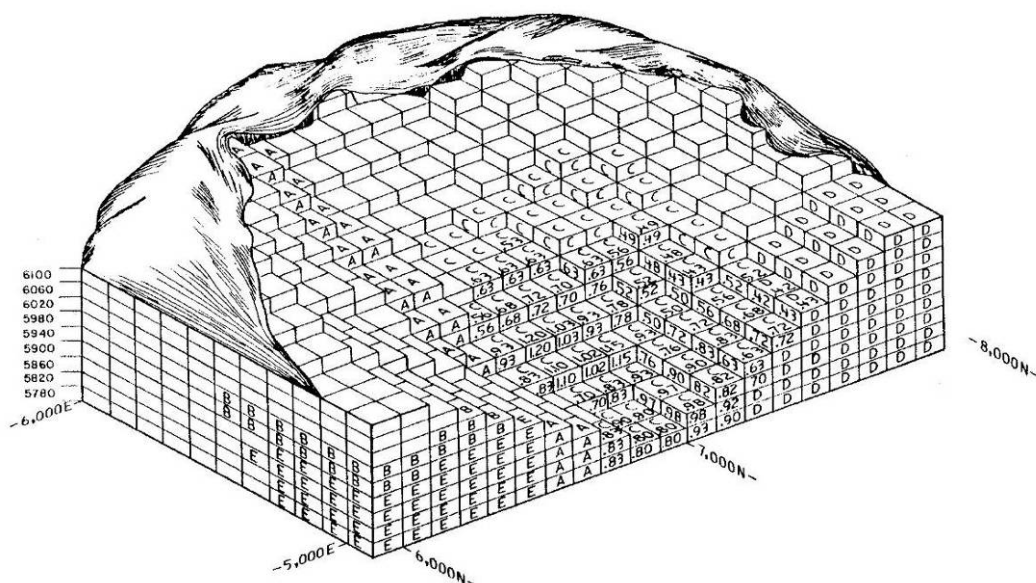
Τα γεωλογικά μοντέλα διαφοροποιούνται από τις περισσότερες βιομηχανικές CAD εφαρμογές επειδή εκτός από τη γεωμετρία πρέπει να αναπαριστούν και την κατανομή στο χώρο των ιδιοτήτων (διακριτών ή συνεχών) του γεωλογικού σχηματισμού που προσομοιώνουν. Οι διακυμάνσεις των συνεχών χαρακτηριστικών στο χώρο μοντελοποιούνται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

Κανονικά μοντέλα 3D σταθερού μπλοκ

Σε αυτήν την κατηγορία μοντέλων το γεωλογικό σώμα χωρίζεται σε κυψέλες ίσου όγκου και ίδιου σχήματος (Εικ.4.1). Ο τρόπος αυτός επιτρέπει την εύκολη εκτίμηση της χωρικής κατανομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος από σημειακές μετρήσεις (π.χ. γεωτρήσεις) με τη χρήση μεθόδων μαθηματικής παρεμβολής και γεωστατιστικής (IDW, Krigging). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αδρή προσέγγιση της γεωμετρίας στα όρια του μοντέλου, σχετικά μεγάλος χώρος αποθήκευσης στον υπολογιστή και μέτρια αποτελέσματα σε περίπτωση ανομοιομερούς κατανομής των δειγμάτων.

Κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ

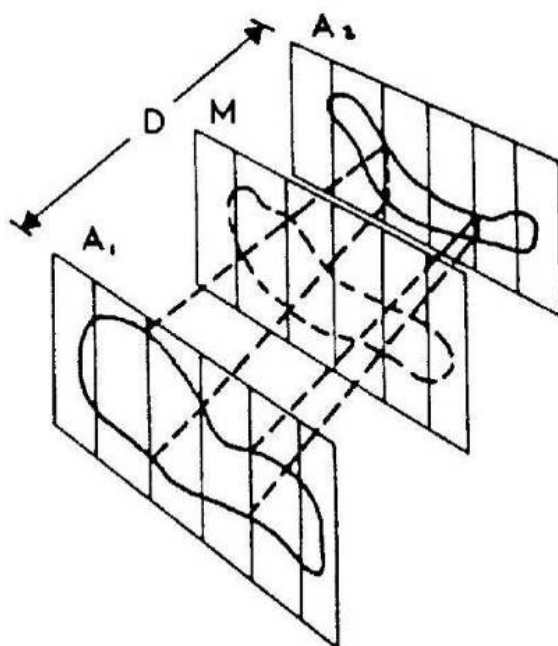
Σε αυτά τα μοντέλα γειτονικά μπλοκ με ίδιες ιδιότητες ομαδοποιούνται σε ένα μεγαλύτερο μπλοκ, μειώνοντας σημαντικά τον απαιτούμενο χώρο αποθήκευσης σε σχέση με τα μοντέλα σταθερού μπλοκ. Τα μπλοκ έχουν ίδιο σχήμα αλλά διαφορετικό όγκο. Επιπλέον επιτρέπουν την καλύτερη προσέγγιση της γεωμετρίας, επιλέγοντας μικρότερο μέγεθος μπλοκ στα όρια του μοντέλου. Είναι συμβατά τόσο με λύσεις των εξισώσεων ροής και θερμικής διάχυσης και μεταφοράς με πεπερασμένες διαφορές όσο και με πεπερασμένα στοιχεία.



Εικ. 4.1 : Προσομοίωση με τη μέθοδο κανονικού μοντέλου 3D σταθερού μπλοκ

Μη κανονικά μοντέλα 3D μεταβλητού μπλοκ

Με αυτά τα μοντέλα τα γεωλογικά αντικείμενα διακριτοποιούνται με μπλοκ διαφορετικού όγκου και σχήματος και έτσι προσαρμόζονται καλύτερα στη διαφορετική πυκνότητα και είδος των διαθέσιμων στοιχείων (π.χ. γεωτρήσεις και γεωλογικές τομές). Η πιο συνηθισμένη υλοποίηση αυτής της προσέγγισης είναι η μέθοδος των διαδοχικών τομών (Εικ.4.2). Με αυτήν ένα γεωλογικό σώμα κατασκευάζεται με τη σύνδεση διαδοχικών παράλληλων τομών. Η μέθοδος εφαρμόζεται περισσότερο για γεωμετρική μοντελοποίηση και λιγότερο για μοντέλο ιδιοτήτων, αφού προϋποθέτει ενιαίες ιδιότητες σε όλη την έκταση της τομής.



Εικ. 4.2 : Μοντελοποίηση με τη μέθοδο των διαδοχικών τομών

Εκτίμηση ιδιοτήτων

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

Οι πιο απλές μέθοδοι εκτίμησης είναι αυτές του κοντινότερου δείγματος (nearest neighbor) και των πολυγώνων επίδρασης των γεωτρήσεων. Πιο σύνθετες μέθοδοι είναι η σταθμισμένη αντίστροφη απόσταση (Inverse Distance Weighting – IDW), που μειώνει την επίδραση των δειγμάτων στην εκτιμώμενη τιμή ανάλογα με την απόστασή τους από το μπλοκ και η μέθοδος Krigging. Η μέθοδος Krigging βασίζεται στη γεωστατιστική δομική ανάλυση και προϋποθέτει την ύπαρξη αρκετών στοιχείων, για τον υπολογισμό της συνάρτησης του βαριογράμματος που περιγράφει τη μεταβολή του συσχετισμού των στοιχείων στο χώρο. Το βαριόγραμμα είναι διανυσματική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των δειγμάτων. Σε περίπτωση που μπορεί να υπολογιστεί το τρισδιάστατο ελλειψοειδές των βαριογραμμάτων, η μέθοδος Krigging δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και επιτυγχάνεται αξιόπιστη αναπαράσταση της τρισδιάστατης δομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος. Επιπλέον η μέθοδος παρέχει και τιμές του σφάλματος εκτίμησης, για καλύτερο έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

4.3 Η επιλογή Display Project Dimensions

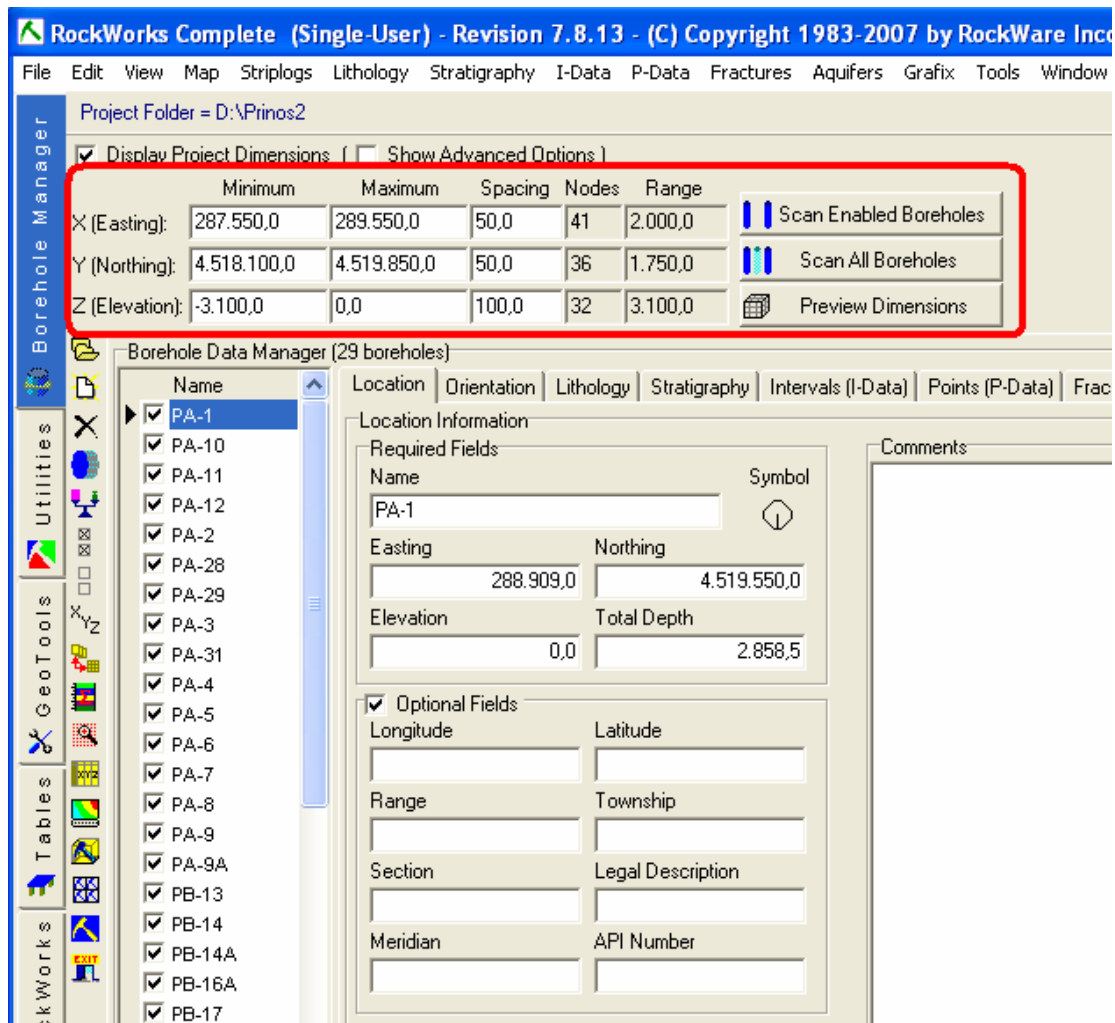
Βασική προϋπόθεση προκειμένου να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο είναι να προσδιορίσουμε τις διαστάσεις αυτού, που πολλές φορές σχετίζονται και με τις συντεταγμένες του, δηλαδή να προσδιορίσουμε τη θέση της προσομοίωσης στο χώρο. Αυτό όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα επιτυγχάνεται διαμέσου της επιλογής **Display Project Dimensions**. Εδώ καθορίζεται ο χώρος που καταλαμβάνει η προσομοίωση καθώς αυτός ορίζεται από τα δεδομένα μας ενώ επίσης φαίνονται οι διαστάσεις των κυψελίδων που απαρτίζουν το χώρο σχεδίασης και οι μέγιστες-ελάχιστες τιμές κατά τους άξονες που ορίζονται από το πρόγραμμα σχεδίασης x-Easting, y-Northing, z-Elevation. Επίσης είναι ορατός ο αριθμός των κόμβων προς κάθε κατεύθυνση.

Τρεις επιπρόσθετες επιλογές μας πληροφορούν σχετικά με τις δυνατότητες που παρέχει το πρόγραμμα, όσον αφορά τη σχεδίαση της προσομοίωσης και αυτές σχετίζονται με την επιλογή **Display Project Dimensions**.

- Η επιλογή **Scan Enabled Boreholes**, που επιλέγεται προτού σχεδιαστεί κάποια προσομοίωση, δίνει εντολή να καθοριστούν οι διαστάσεις της προσομοίωσης που θα δημιουργηθεί σύμφωνα με τις γεωτρήσεις που είναι επιλεγμένες. Η αξία αυτής της εντολής έγκειται στο γεγονός ότι πολλές φορές δεν είναι όλα τα δεδομένα άμεσα αξιοποιήσιμα. Παραδείγματος χάριν στην παρούσα εργασία δεν ήταν όλες οι γεωτρήσεις πλήρεις δεδομένων και

έτσι απορρίφθηκαν κάποιες, προκειμένου να σχεδιαστεί το τελικό μοντέλο με μεγαλύτερη ακρίβεια.

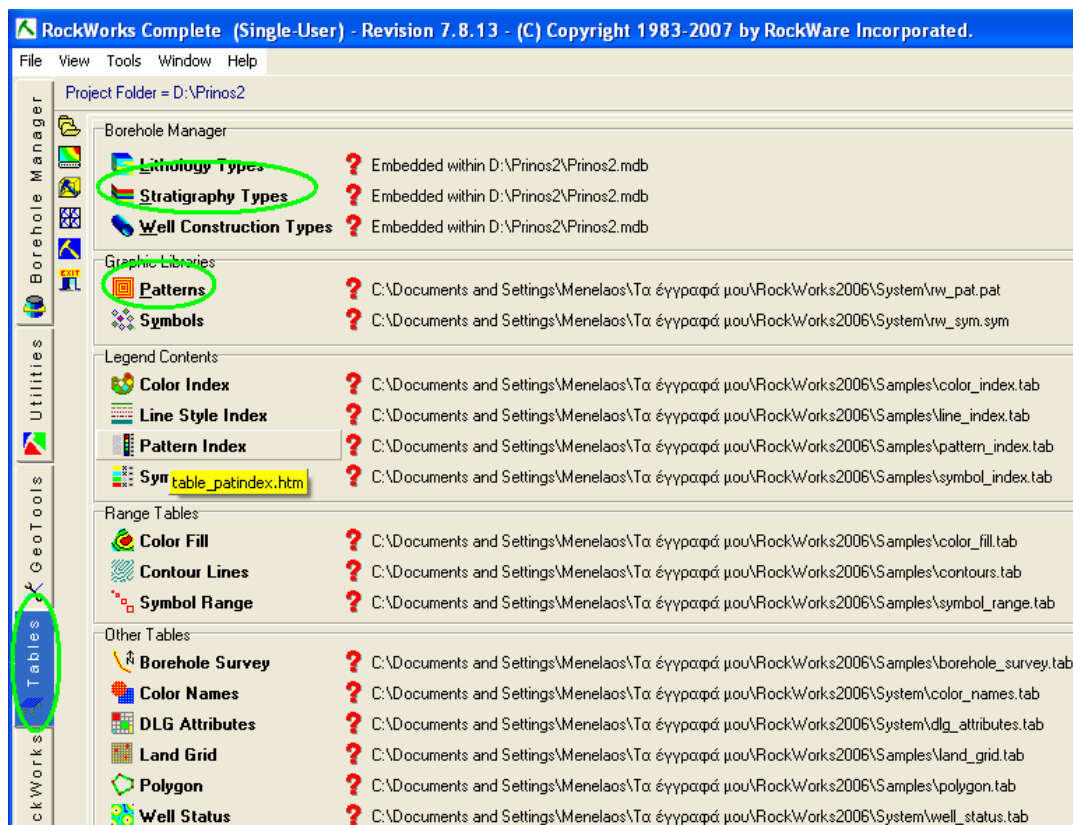
- Η επιλογή **Scan All Boreholes**, δίνει εντολή στο πρόγραμμα να επιλέξει όλες τις γεωτρήσεις που έχουν τυχόν εισαχθεί προκειμένου να σχεδιαστεί το τελικό μοντέλο.
- Τέλος, η επιλογή **Preview Project Dimensions**, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγξει πριν το σχεδιασμό τις διαστάσεις του μοντέλου όπως αυτές έχουν ήδη καθοριστεί.



Εικ. 4.3 : Η επιλογή **Display Project Dimensions** και οι δυνατότητες της

4.4 Η χρήση της υποσελίδας Tables

Τα στρώματα που απαρτίζουν το μοντέλο μας, ορίζονται, επιλέγοντας στην υποσελίδα Tables την επιλογή **Stratigraphy Types**.

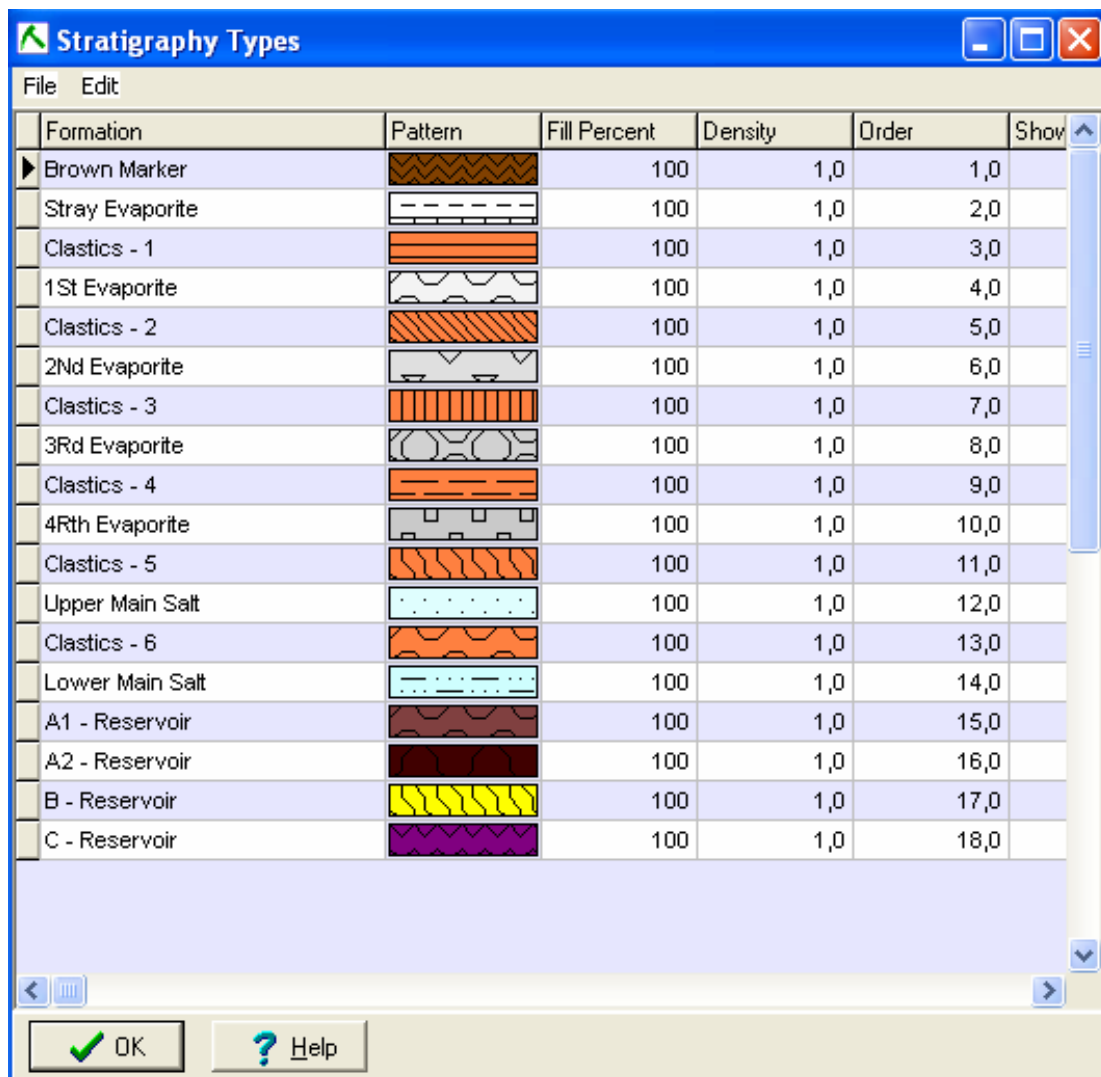


Εικ. 4.4 : Η υποσελίδα Tables, όπου θα ορίσουμε τα στρώματα από την επιλογή Stratigraphy Types

Στην υποσελίδα Tables, επιλέγοντας το menu **stratigraphy types**, ορίζουμε τα στρώματα που θα έχει το μοντέλο μας. Ο ορισμός των στρωμάτων του μοντέλου (Εικ. 4.5) που απαρτίζεται από 18 διαφορετικά στρώματα γίνεται διαμέσου του stratigraphy types.

Πιο συγκεκριμένα τα στρώματα από πάνω προς τα κάτω είναι τα εξής :

1. *Brown Marker*
2. *Stray Evaporite*
3. *Clastics – 1*
4. *1st Evaporite*
5. *Clastics – 2*
6. *2nd Evaporite*
7. *Clastics – 3*
8. *3rd Evaporite*
9. *Clastics – 4*
10. *4th Evaporite*
11. *Clastics – 5*
12. *Upper Main Salt*
13. *Clastics – 6*
14. *Lower Main Salt*
15. *A1 Reservoir*
16. *A2 Reservoir*
17. *B Reservoir*
18. *C Reservoir*



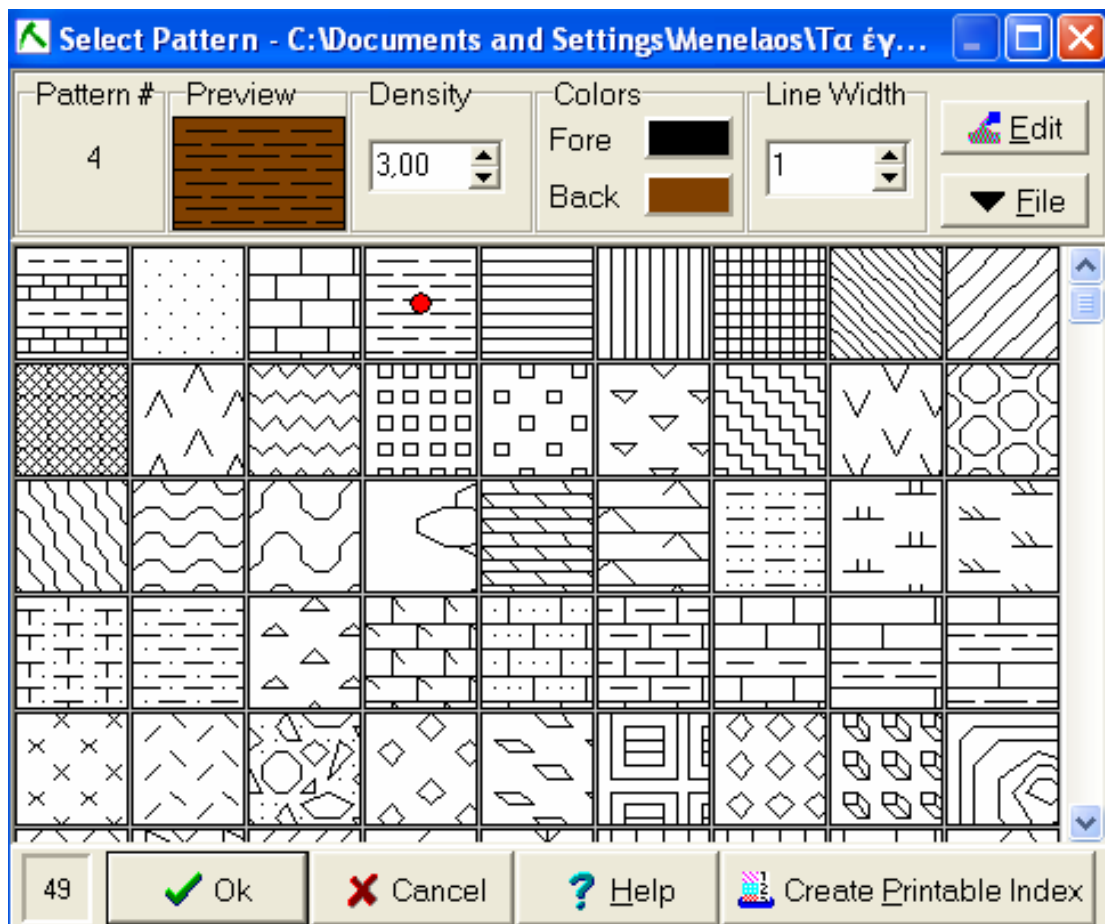
Εικ. 4.5 : Εδώ ορίστηκαν τα στρώματα του τελικού μοντέλου, σύμφωνα με την παραπάνω σειρά

Επίσης εδώ επιλέγεται το ιδιαίτερο σχέδιο (**pattern**), που θα χαρακτηρίζει κάθε στρώμα καθώς και η πυκνότητα (**density**) που χρησιμεύει στον υπολογισμό της μάζας κάθε στρώματος.

Στη δεύτερη στήλη, επιλέγεται το σχέδιο (pattern), για κάθε στρώμα. Κάνοντας click με το mouse μας επιλέγουμε το ιδιαίτερο σχήμα και χρώμα του. Το πώς ακριβώς γίνεται αυτό φαίνεται στην Εικ.4.6.

Στην τρίτη στήλη, επιλέγουμε το ποσοστό γεμίσματος του κάθε στρώματος. Ουσιαστικά η παράμετρος αυτή παριστάνει την τρωτότητα κάθε σχηματισμού και απεικονίζεται στις καταγραφές των γεωτρήσεων (Log plots) που βγάζει το Rockworks. Στο μοντέλο μας έχουν επιλεγθεί όλα στο 100 τοις εκατό.

Στο μοντέλο που σχεδιάζεται στην παρούσα εργασία, αφού δεν υπάρχουν στοιχεία για την πυκνότητα των στρωμάτων βάζουμε σε όλα πυκνότητα (density) 1,0.



Εικ. 4.6 : Επιλογή σχεδίου και γεμίσματος για κάθε στρώμα

Σημαντική παράμετρος αποτελεί η στήλη **Order** αφού ο ακέραιος αριθμός που προσδίδεται σε κάθε σχηματισμό αποτελεί την «ταυτότητά» του με την οποία αναγνωρίζεται από το λογισμικό στο στάδιο της επεξεργασίας. Όπως γίνεται σαφές, το νούμερο αυτό πρέπει να είναι μοναδικό για κάθε στρώμα. Συνηθέστερα προτείνεται η αρίθμηση να ακολουθεί τη σειρά με την οποία έχουν καθοριστεί τα στρώματα. Πιο συγκεκριμένα, τα παραπάνω 18 στρώματα ορίστηκαν με τους αριθμούς από 1 μέχρι 18, από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Η ΥΠΟΣΕΛΙΔΑ BOREHOLE MANAGER ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ

5.1 Εισαγωγή στην υποσελίδα Borehole Manager

Στην υποσελίδα Borehole Manager, γίνεται η εισαγωγή των εκάστοτε δεδομένων προς δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, όχι μόνο στρωματογραφικών όπως στην παρούσα εργασία, αλλά και λιθολογικών. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι δεδομένα γεωτρήσεων που αφορούν τη λιθολογία και τη στρωματογραφία, γεωχημικές αναλύσεις, δεδομένα που προέρχονται από γεωφυσικές μεθόδους, δεδομένα ρηγμάτων, αλλά και στοιχεία από κάποιο υδροφόρο ορίζοντα. Κάθε είδος δεδομένων εισάγεται σε διαφορετικό πεδίο της υποσελίδας, ενώ ακολουθεί σύντομη περιγραφή για τη λειτουργία κάθε καρτέλας.

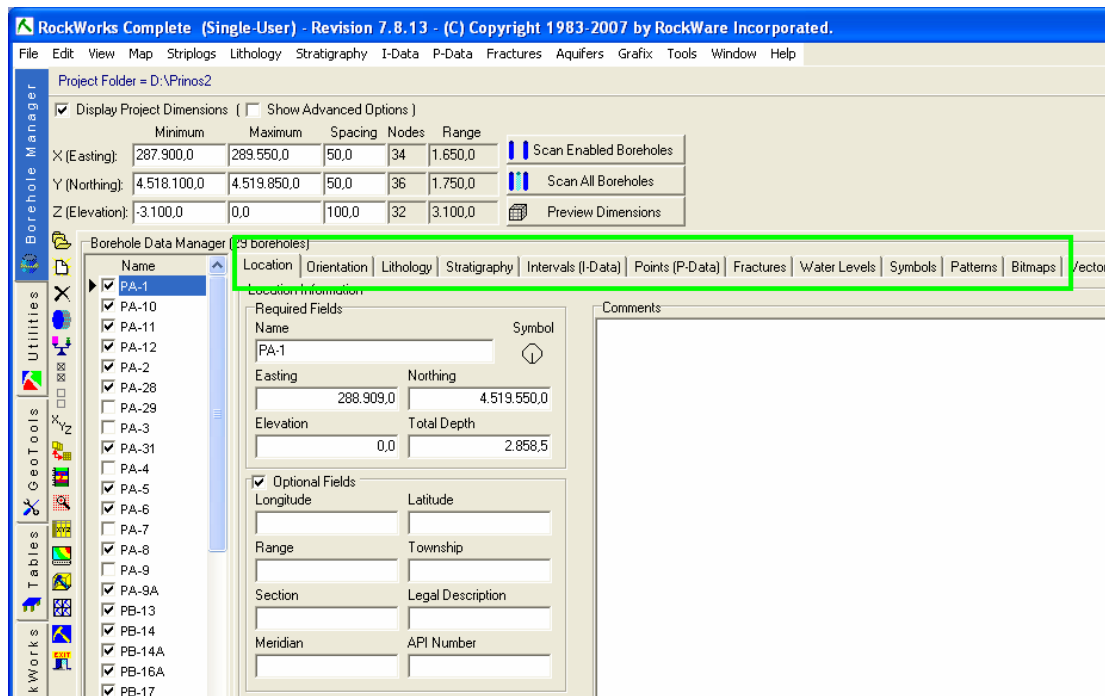
- **Πεδίο Location** : Εδώ εισάγονται δεδομένα που αφορούν τις ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε γεώτρησης, καθώς επίσης το υψόμετρο και το μέγιστο βάθος κάθε γεώτρησης.
- **Πεδίο Orientation** : Εδώ εισάγεται ο προσανατολισμός, δηλαδή η κλίση μιας γεώτρησης, εάν αυτή έχει.
- **Πεδίο Lithology** : Εδώ εισάγονται τα δεδομένα που περιγράφουν τη λιθολογία κάθε γεώτρησης.
- **Πεδίο Stratigraphy** : Εδώ εισάγονται τα δεδομένα που περιγράφουν τα στρώματα κάθε γεώτρησης.
- **Πεδίο I – data** : Εδώ εισάγονται γεωχημικά αποτελέσματα που αντιστοιχούν κάθε φορά σε αντίστοιχο στρώμα (interval) της γεώτρησης.
- **Πεδίο P – data** : Εδώ εισάγονται δεδομένα γεωφυσικών διασκοπίσεων που αντιστοιχούν σε σημεία (points) της γεώτρησης.
- **Πεδίο Fractures** : Εδώ εισάγονται στοιχεία σχετικά με τον προσανατολισμό των ρηγμάτων, εάν αυτά υπάρχουν.
- **Πεδίο Aquifers** : Εδώ εισάγονται στοιχεία σχετικά με τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής μελέτης, εάν υπάρχει.
- **Πεδία Symbols, patterns, bitmaps** : Αναφέρονται στον τρόπο με τον οποίο παριστάνονται οι γεωτρήσεις και τα στρώματα αυτών στους διάφορους χάρτες.

Όλα τα παραπάνω πεδία είναι απαραίτητα προκειμένου να σχεδιαστούν μοντέλα ακριβή, ανάλογα βέβαια και με τα δεδομένα που δίνονται κάθε φορά (Εικ.5.1).

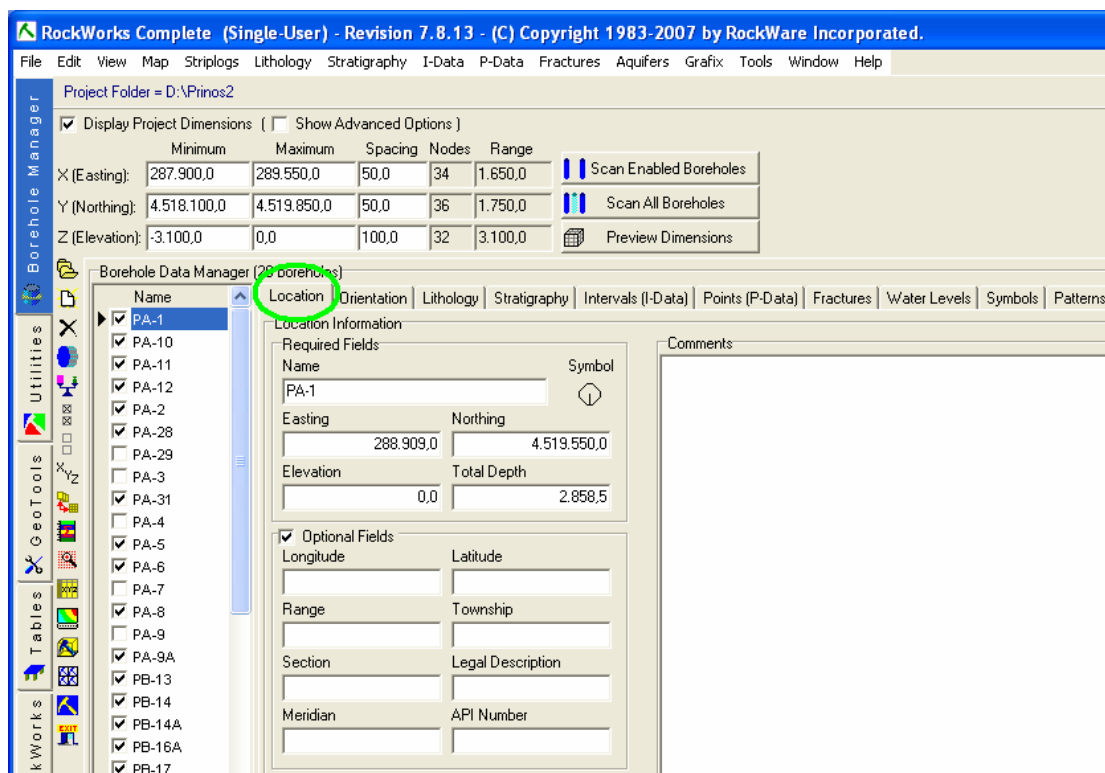
5.2 Η καρτέλα Locations

Η καταχώρηση των δεδομένων στην καρτέλα Locations, γίνεται συμπληρώνοντας τα αντίστοιχα πεδία με τα δεδομένα που αντιστοιχούν στην κάθε γεώτρηση. Αυτά είναι το όνομα (name), το βάθος (total depth), οι χαρακτηριστικές συντεταγμένες x, y δηλαδή (Easting, Northing), το υψόμετρο του κολάρου της γεώτρησης (Elevation) και το ολικό βάθος (total depth) της γεώτρησης αντίστοιχα (Εικ.5.2).

Μια νέα γεώτρηση προστίθεται, επιλέγοντας από το menu **File → New Log**, ή επιλέγοντας το αντίστοιχο εικονίδιο (το δεύτερο από πάνω προς τα κάτω), που βρίσκεται στην αριστερά μπάρα εργασίας.



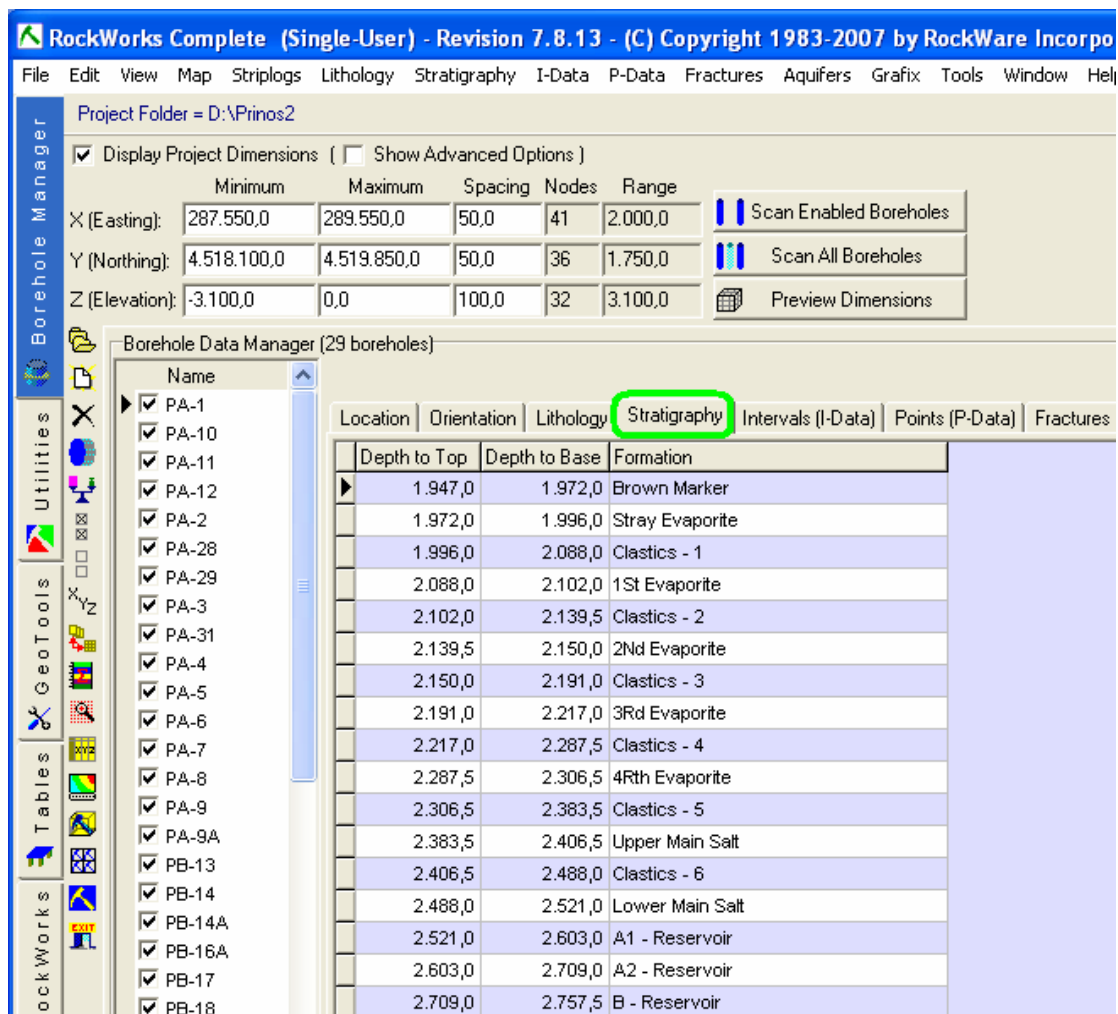
Εικ. 5.1 : Οι καρτέλες της υποσελίδας Borehole Manager



Εικ. 5.2 : Η καρτέλα Location και οι επιλογές της

5.3 Η καρτέλα Stratigraphy

Στη συγκεκριμένη καρτέλα γίνεται η καταχώρηση των στρωματογραφικών δεδομένων, που αφορούν κάθε γεώτρηση, καταχωρούνται δηλαδή τα στρώματα κάθε γεώτρησης με τα αντίστοιχα βάθη τους.



Εικ. 5.3 : Η καρτέλα Stratigraphy όπου καταχωρούνται τα στρώματα με τα αντίστοιχα βάθη τους

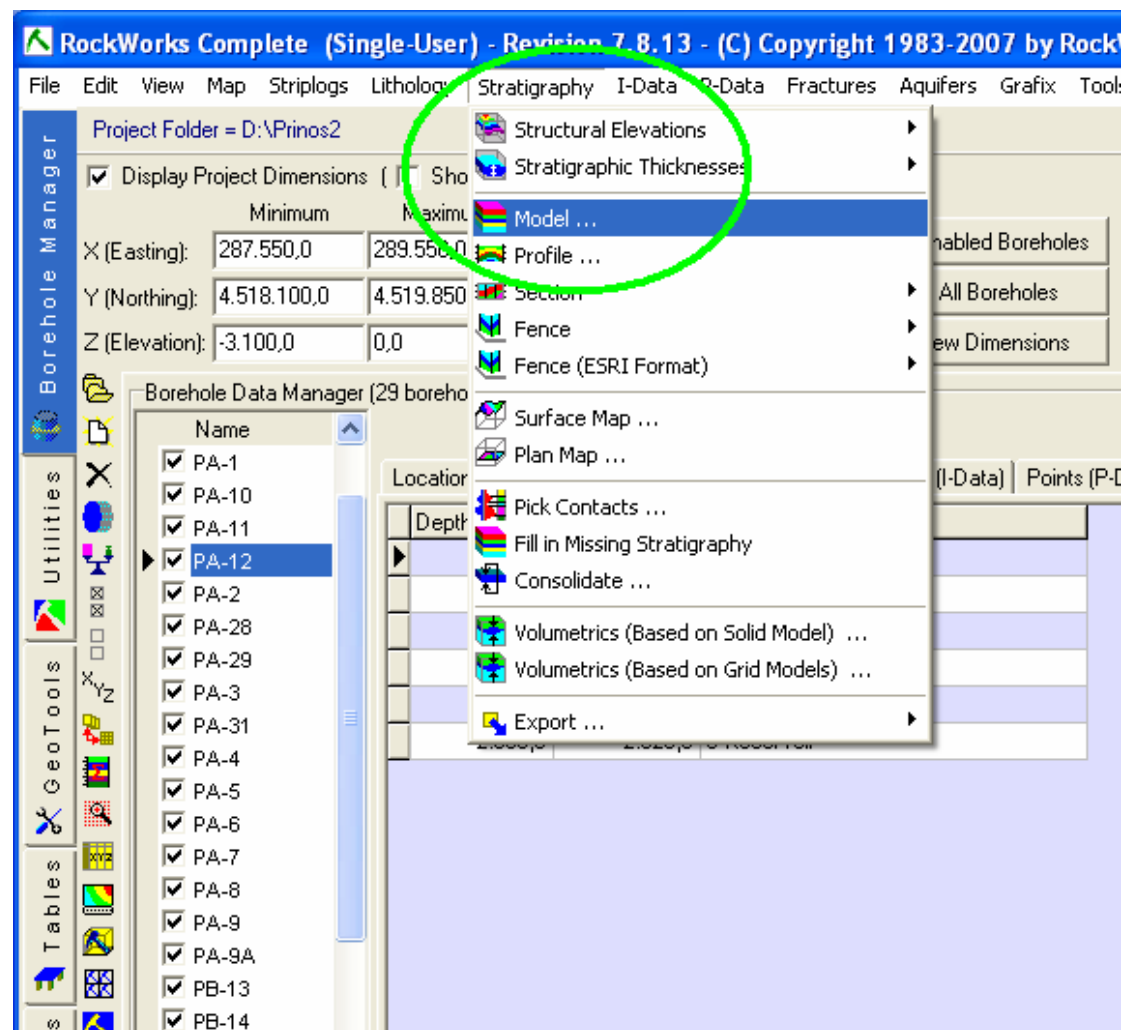
Το μοντέλο που θα κατασκευάσουμε αποτελείται από 18 στρώματα, όπως αυτά ορίστηκαν στην υποσελίδα Tables. Έχοντας ήδη ορίσει τη θέση κάθε γεώτρησης διαμέσου της καρτέλας Locations, **στη συνέχεια ορίζουμε, για κάθε γεώτρηση τα πάχη των στρωμάτων, καθώς και τα αντίστοιχα βάθη τους.**

Στην Εικ.5.3 μπορούμε να δούμε μια γεώτρηση που είναι πλήρης δεδομένων. Φαίνονται τα αντίστοιχα στρώματα, με σημειωμένα τα αντίστοιχα ανώτερα και κατώτερα βάθη (Depth to Top – Depth to Base). Στη στήλη Formation, φαίνεται το όνομα κάθε σχηματισμού, σύμφωνα με τα ονόματα που δόθηκαν στην αρχή της εργασίας.

5.4 Το menu Map και το menu Stratigraphy

Το Rockworks παρέχει, ανάμεσα σε πολλά άλλα, **τη δυνατότητα δημιουργίας στρωματογραφικών μοντέλων από τα δεδομένα των γεωτρήσεων. Η καταχώρηση αυτών των δεδομένων, δηλαδή των διαφορετικών στρωμάτων και του βάθους που αυτά απαντώνται σε κάθε γεώτρηση έγινε στην προηγούμενη παράγραφο μέσω της καρτέλας Stratigraphy της υποσελίδας Borehole Manager (Εικ.5.3), όπως ήδη αναφέρθηκε.**

Προκειμένου να δημιουργήσουμε ένα τρισδιάστατο **στρωματογραφικό μοντέλο** επιλέγουμε από το κύριο **menu** διαδοχικά τις επιλογές **Stratigraphy → Model**. Στην Εικ.5.4, φαίνεται ο δρόμος (path), που περιγράφεται παραπάνω.

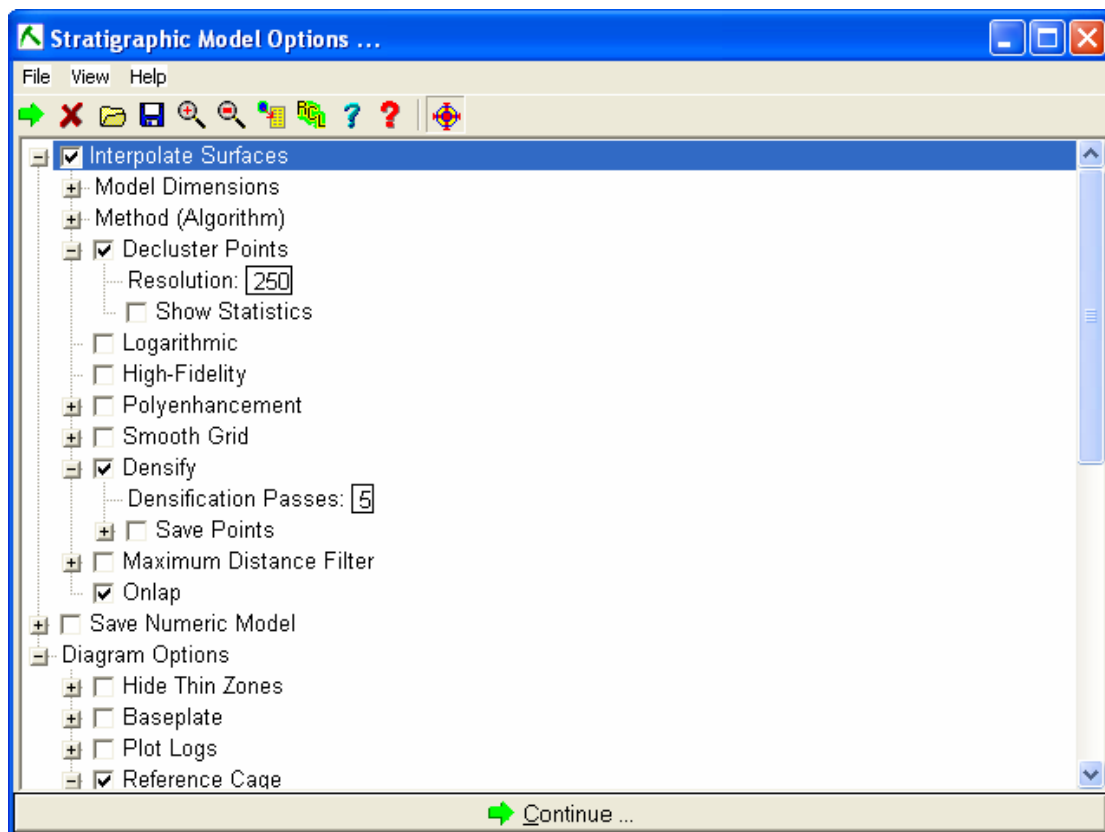


Εικ. 5.4: Επιλογή κατασκευής ενός στρωματογραφικού μοντέλου

Η επιλογή που κάναμε παραπάνω μας δίνει τη δυνατότητα να διαλέξουμε τις παραμέτρους κατασκευής του στρωματογραφικού μοντέλου που θέλουμε να δημιουργήσουμε (Εικ.5.5).

Για την κατασκευή του στρωματογραφικού μοντέλου, πρέπει εκτός από τις παραμέτρους που επιλέγουμε, να επιλέξουμε και κάτι ακόμα, όσον αφορά αυτή τουλάχιστον την εργασία.

Πρέπει να φροντίσουμε ώστε όλες οι γεωτρήσεις που έχουν καταχωρηθεί να είναι επιλεγμένες προκειμένου το πρόγραμμα να σχεδιάσει το λιθοστρωματογραφικό μοντέλο. Αυτό μπορεί να γίνει είτε από την επιλογή **Enable All Boreholes**, είτε έχοντας κάνει κλικ σε όλες τις γεωτρήσεις που βρίσκονται στη λίστα αριστερά (Εικ.5.4).

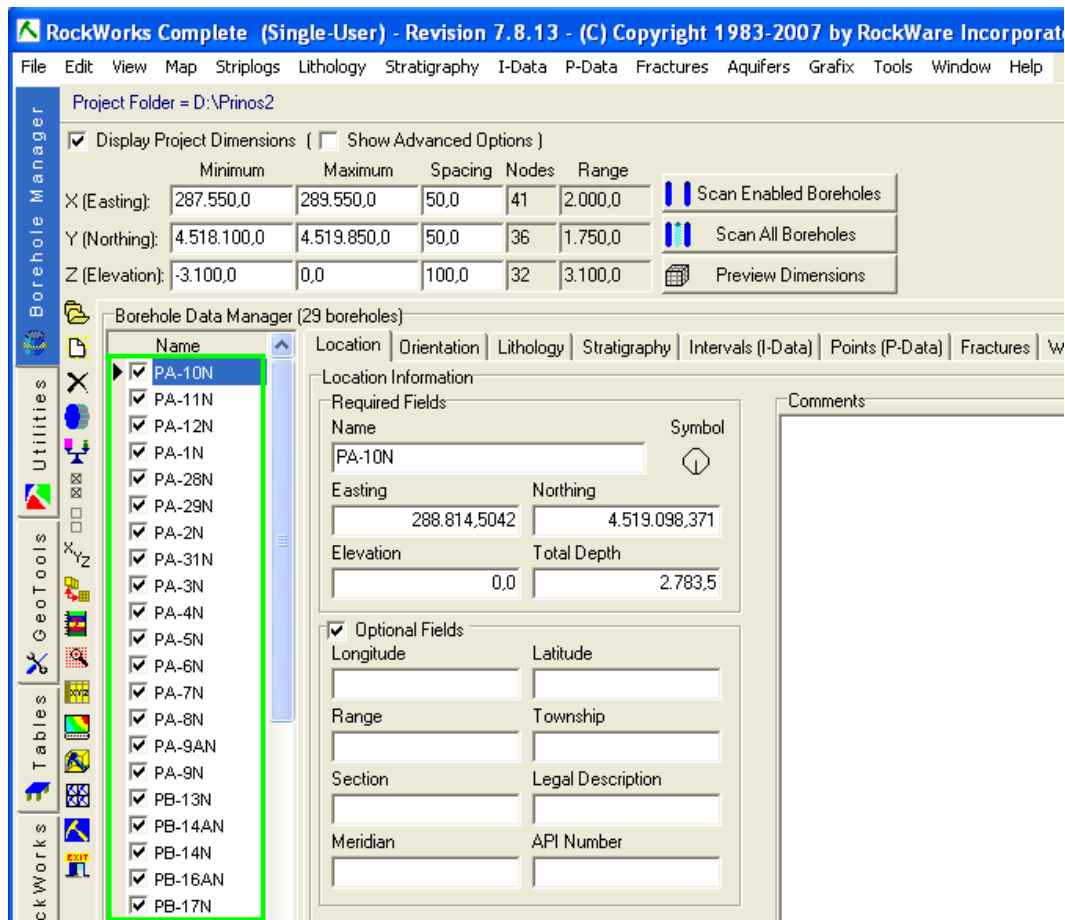


Εικ. 5.5: Παράθυρο ρυθμίσεων παραμέτρων κατασκευής στρωματογραφικού μοντέλου

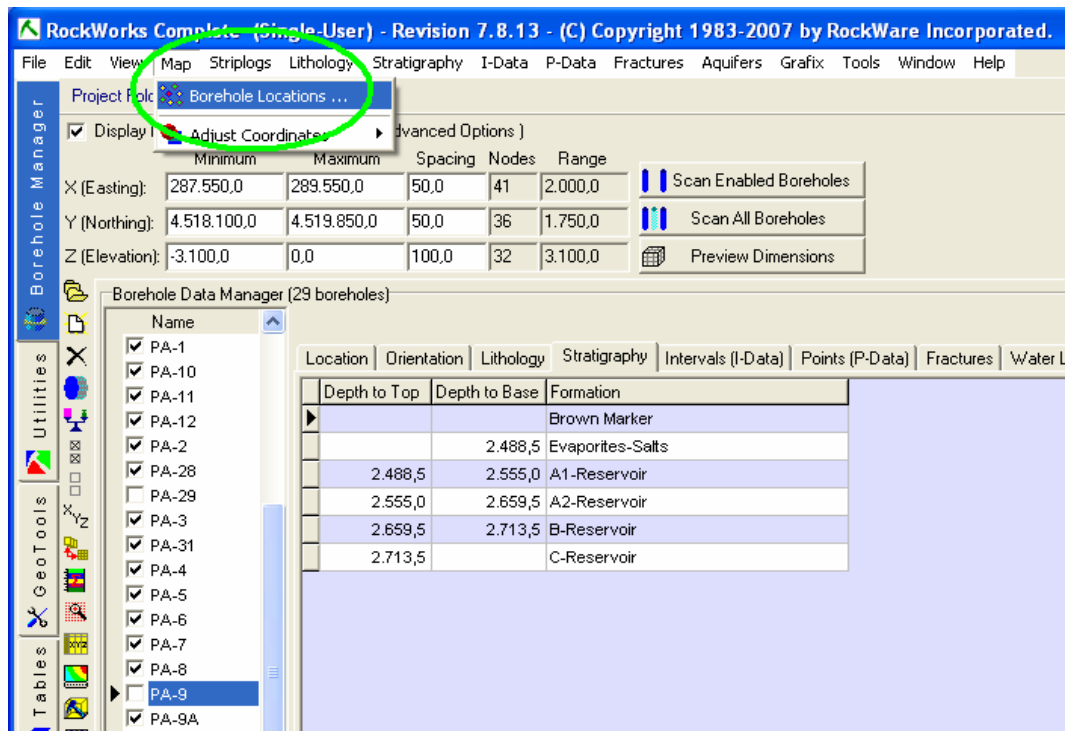
Στη συγκεκριμένη εργασία, επιλέχθηκαν όλες οι γεωτρήσεις, ακόμη και αυτές που δεν ήταν πλήρεις δεδομένων. Το πρόγραμμα κάνει παρεμβολή (Interpolation), προκειμένου να κατασκευάσει ένα μοντέλο, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν πληροφορίες για κάποιο στρώμα σε μία γεώτρηση τότε αυτό συμπληρώνεται με δεδομένα από τις γειτονικές γεωτρήσεις. Μεγάλη σημασία διαδραματίζουν οι επιλογές κατασκευής του μοντέλου, όπως ο αλγόριθμος σχεδιασμού, αλλά και οι επιλογές πύκνωσης και σχεδιασμού.

Θα μπορούσαν να απενεργοποιηθούν οι γεωτρήσεις PA – 3, PA – 4 και PA – 7, προκειμένου να κατασκευαστεί ένα παρόμοιο μοντέλο, ως ελλιπείς δεδομένων. Εντούτοις, στο μοντέλο που δημιουργήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία δεν πραγματοποιήθηκε κάτι τέτοιο, λόγω της θέσης των γεωτρήσεων, επειδή δεν βρίσκονται κοντά τους άλλες γεωτρήσεις πλήρεις δεδομένων οπότε η απώλεια πληροφορίας είναι πολύ σημαντική.

Όπως φαίνεται παρακάτω (Εικ.5.6), όλες οι γεωτρήσεις είναι επιλεγμένες.

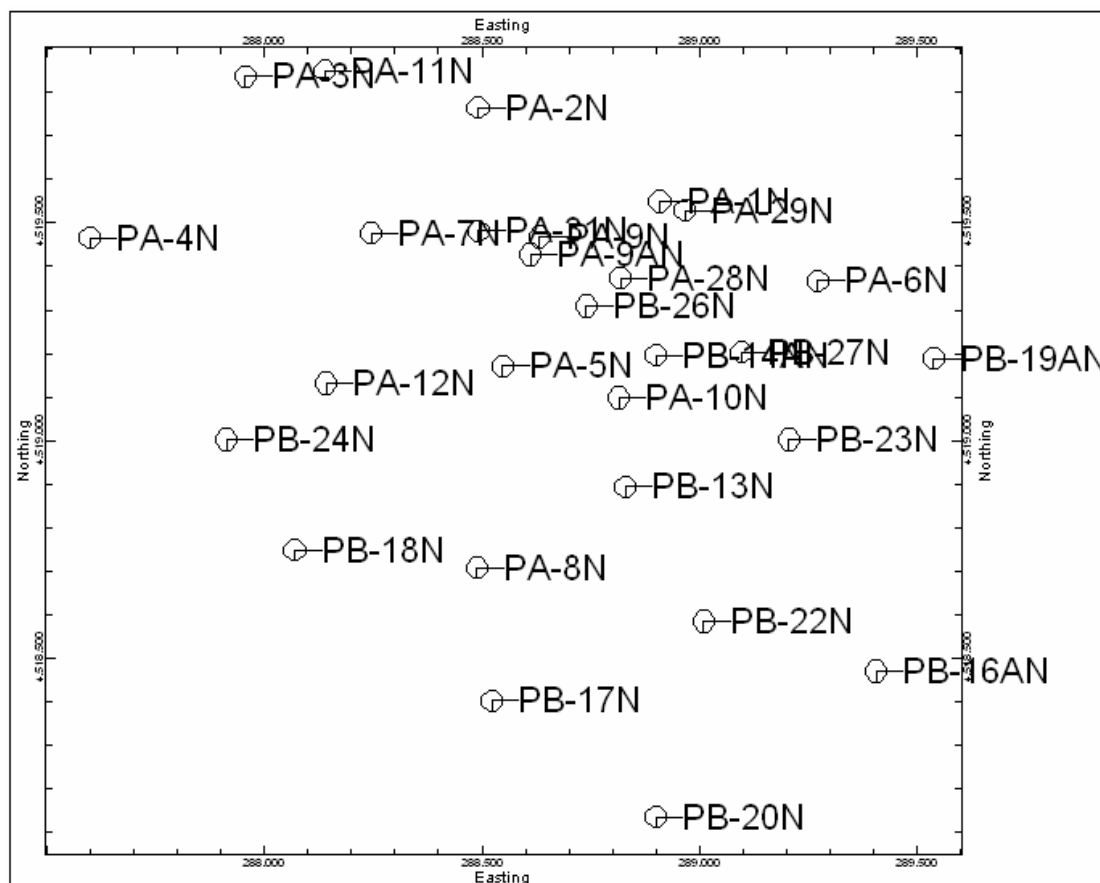


Εικ. 5.6 : Προκειμένου να κατασκευαστεί το μοντέλο, όλες οι γεωτρήσεις είναι επιλεγμένες



Εικ. 5.7 : Από το menu Map επιλέγουμε Borehole Locations, προκειμένου να σχεδιάσουμε το χάρτη με τις θέσεις των γεωτρήσεων

Προκειμένου να σχεδιαστεί ο χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων, επιλέγεται από το κύριο menu η εντολή **Map** και στη συνέχεια η επιλογή **Borehole Locations**. Έτσι κατασκευάζεται ο χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων. Μελετώντας το χάρτη, και παράλληλα ελέγχοντας τη θέση των γεωτρήσεων και την πληρότητα τους δίνεται η δυνατότητα να προσδιοριστεί από πριν η ποιότητα του μοντέλου.

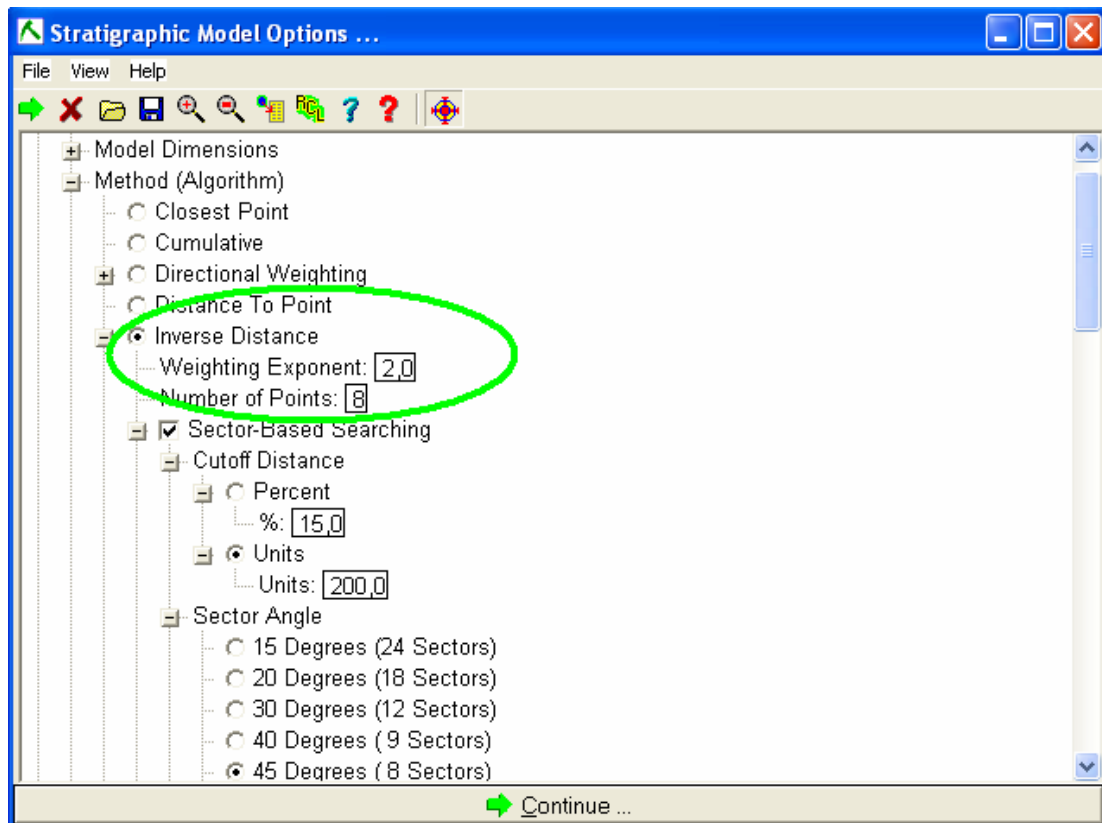


Εικ. 5.8 : Χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων

Στη συνέχεια, επιστρέφουμε στο menu stratigraphy, προκειμένου να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους κατασκευής του μοντέλου που θα δημιουργηθεί.

Αρχικά επιλέγεται ο αλγόριθμος κατασκευής του μοντέλου. Ο τελικός αλγόριθμος κατασκευής θα είναι ο αλγόριθμος IDS (Inverse Distance Square). Ο αλγόριθμος αυτός είναι ένας από τους απλούστερους και πιο αξιόπιστους αλγορίθμους για την εκτίμηση μιας τιμής σε σημεία που δεν υπάρχει μέτρηση. Στα ελληνικά ονομάζεται **μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων**. Εμείς επιλέγουμε ως **εκθέτη** το **2** και για αυτό ονομάζεται Inverse Distance **Square** Method.

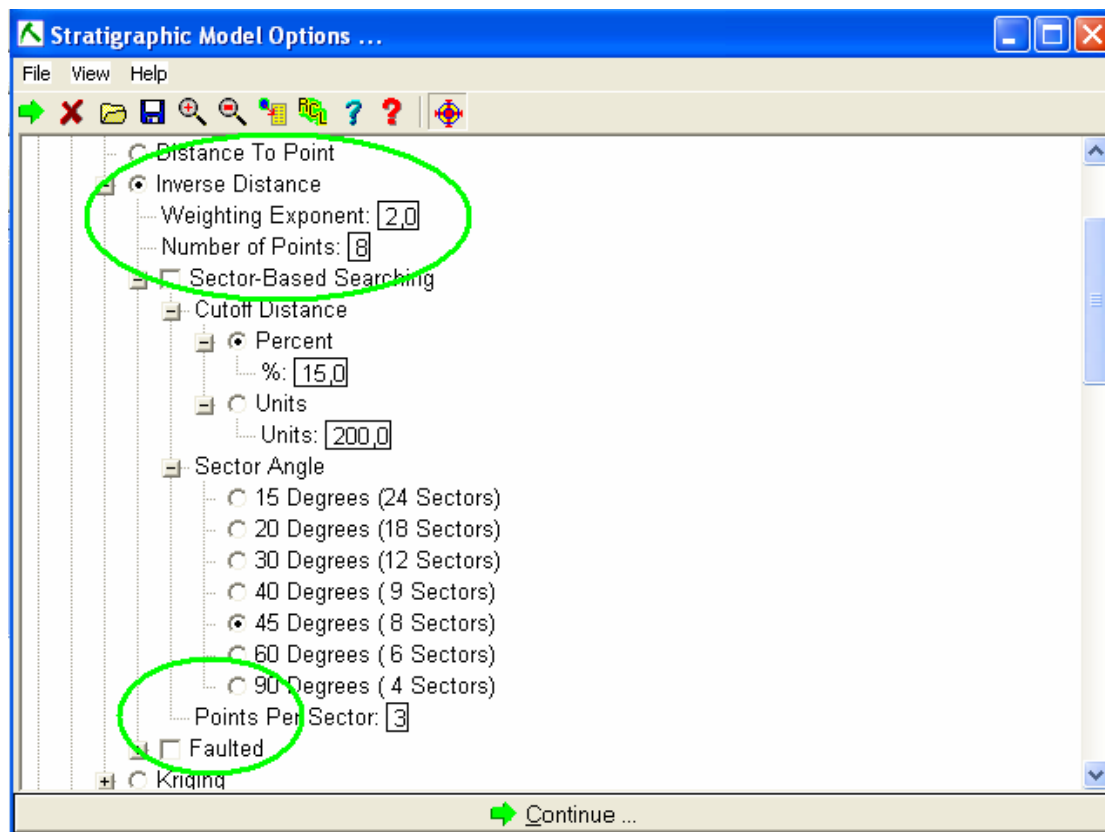
Ο υπολογισμός με τη μέθοδο **Inverse Distance**, που είναι εμπειρική βασίζεται στην αρχή ότι όσο πλησιέστερα είναι στη γεώτρηση ένα σημείο, τόσο αυξάνεται ο συντελεστής επιρροής του, στη διαμόρφωση της τρισδιάστατης προσομοίωσης. Η πιο συνηθισμένη παραλλαγή της μεθόδου των αντιστρόφων αποστάσεων είναι η μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων στο τετράγωνο. Επίσης θεωρούμε ότι στο μοντέλο μας, το κάθε στρώμα παρουσιάζει μια κάποια ομοιομορφία, δηλαδή όσον αφορά την πυκνότητα των σημείων αυτή δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την απόσταση, εντός ενός στρώματος.



Εικ. 5.9 : Επιλέγεται ο αλγόριθμος Inverse Distance με συντελεστή στάθμισης 2

Με επιλογή του αλγορίθμου Triangulation, το Rockworks σχεδιάζει ένα μοντέλο εφαρμόζοντας τη γνωστή **μέθοδο του τριγωνισμού**, δηλαδή ενώνονται τα σημεία των γεωτρήσεων μεταξύ τους, τα πλέον κοντινά, ώστε να **σχηματίζονται τρίγωνα**, και μεταξύ αυτών των αποστάσεων ισομοιράζονται οι υψομετρικές διαφορές που υπάρχουν, ανάλογα με την απόσταση. Η μέθοδος του τριγωνισμού, αποτελεί **ίσως την απλούστερη μέθοδο** για τον σχεδιασμό αυτού του γεωλογικού μοντέλου. Αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε αργότερα για την κατασκευή των βυθομετρικών χαρτών.

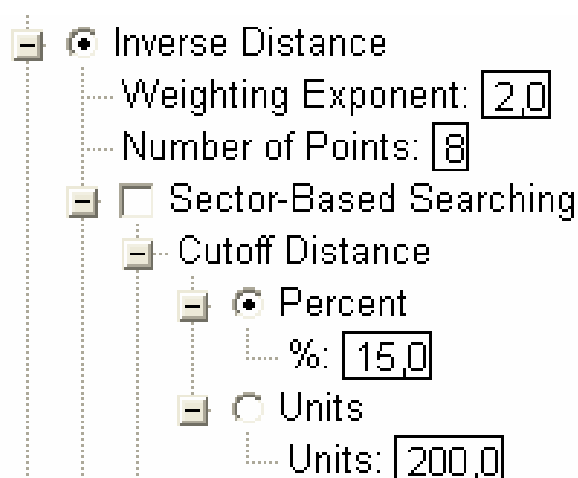
Μια επίσης αποτελεσματική μέθοδος είναι και η **μέθοδος krigging**. Πρόκειται για μία **γραμμική μεσοσταθμική μέθοδο εκτίμησης**. Το σημαντικότερο **πλεονέκτημα** της, σε σχέση με τη μέθοδο IDS, που θα δούμε παρακάτω και τελικά χρησιμοποιήθηκε είναι η δυνατότητα της να **λαμβάνει υπόψιν της και τη διακύμανση όσον αφορά την κατασκευή του μοντέλου**.



Εικ. 5.10 : Το παράθυρο επιλογών με τις ρυθμίσεις του αλγορίθμου Inverse Distance (ID)

Οι ρυθμίσεις που επιλέγουμε, προκειμένου να κατασκευαστεί το τελικό μοντέλο είναι οι παρακάτω :

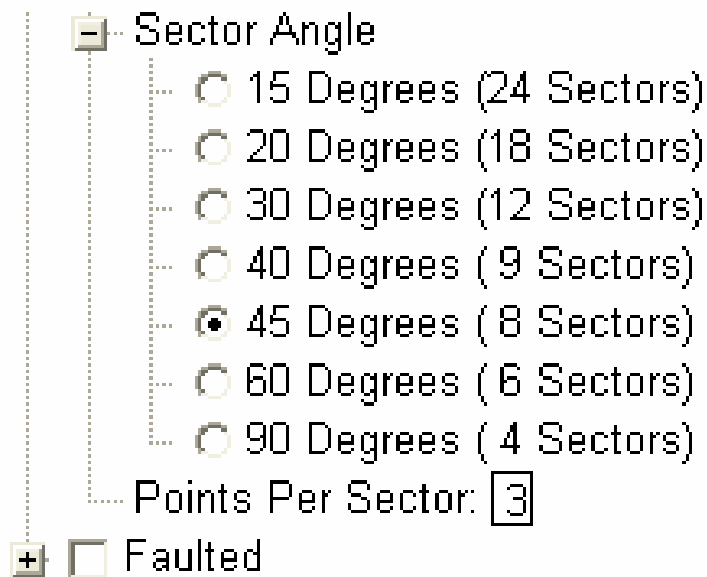
1. Weighting Exponent : 2,0
2. Number of points : 8
3. Cutoff Distance : 15%
4. Sector Angle : 45 Degrees (8 Sectors)
5. Points per Sector : 3
6. Faulted : No



Εικ. 5.11 : Ο συντελεστής στάθμισης σημείων, και οι πρώτες ρυθμίσεις

Ο εκθέτης καθορίζει το βαθμό επιρροής κάθε γεώτρησης στη διαδικασία απόδοσης τιμής σε κάποιο τυχαίο σημείο. Όπως είναι εύλογο, μεγάλες αριθμητικές τιμές για τον εκθέτη, θα συνεπάγονταν τεράστια σφάλματα στην κατασκευή του μοντέλου, αφού υπάρχουν περιοχές του κοιτάσματος, αρκετά μακριά από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις και αυτό θα δημιουργούσε σφάλματα. Για τιμές από 1 – 3 το μοντέλο πλησιάζει καλύτερα την πραγματικότητα, ενώ αν για κάποιο λόγο αυξήσουμε αυτή την τιμή, δημιουργείται σημαντικό σφάλμα.

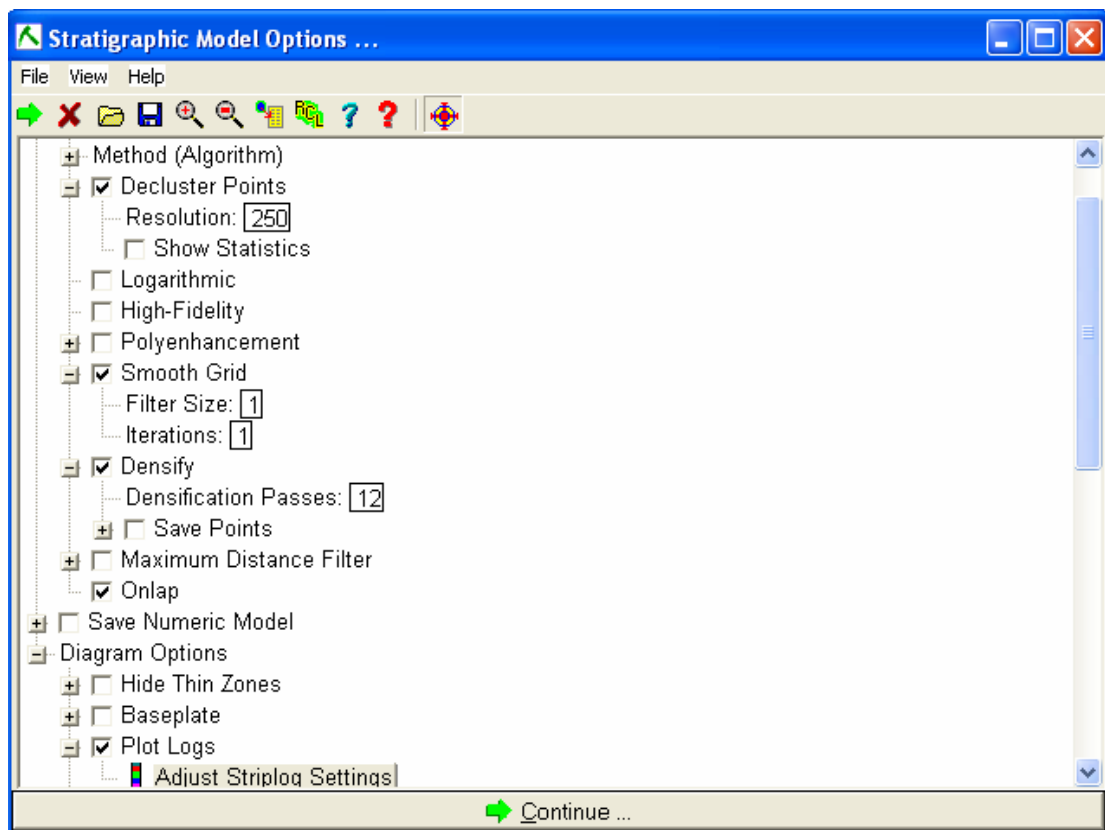
Επιπλέον, το Rockworks δίνει τη δυνατότητα ο αλγόριθμος να ψάξει σε συγκεκριμένους τομείς ορισμένου εύρους, για να βρει γειτονικές τιμές για τον υπολογισμό μίας άγνωστης τιμής. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το πεδίο **Sector – Based Searching**. Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που υπάρχουν πληροφορίες για την ανισοτροπία του κοιτάσματος. Πρόκειται ουσιαστικά για το εύρος αναζήτησης γύρω από τη γεώτρηση – Αναζήτηση κατά τομείς. Όσον αφορά το μοντέλο μου δεν έχω επιλέξει αυτή την επιλογή, γιατί με καλύπτει το IDS και οι πρώτες επιλογές.



Εικ. 5.12 : Στην επιλογή **Sector Angle** επιλέγεται το **εύρος της γωνίας** του τομέα έρευνας, ενώ στην επιλογή **Points per Sector** ορίζεται **πόσα σημεία θα επιλεγθούν ανά τομέα**

Τέλος, από τις υπόλοιπες γενικές επιλογές, για την κατασκευή του παρόντος μοντέλου επιλέγονται τα παρακάτω :

1. **Decluster points με resolution : 250**
2. **Smooth Grid : On, με Filter Size : 1 και Iterations : 1**
3. **Densify : On με Densification Passes : 12**
4. **Maximum Distance Filter : Off**
5. **Onlap : On**



Εικ. 5.13 : Επιλογή γενικών ρυθμίσεων για την κατασκευή του μοντέλου μας

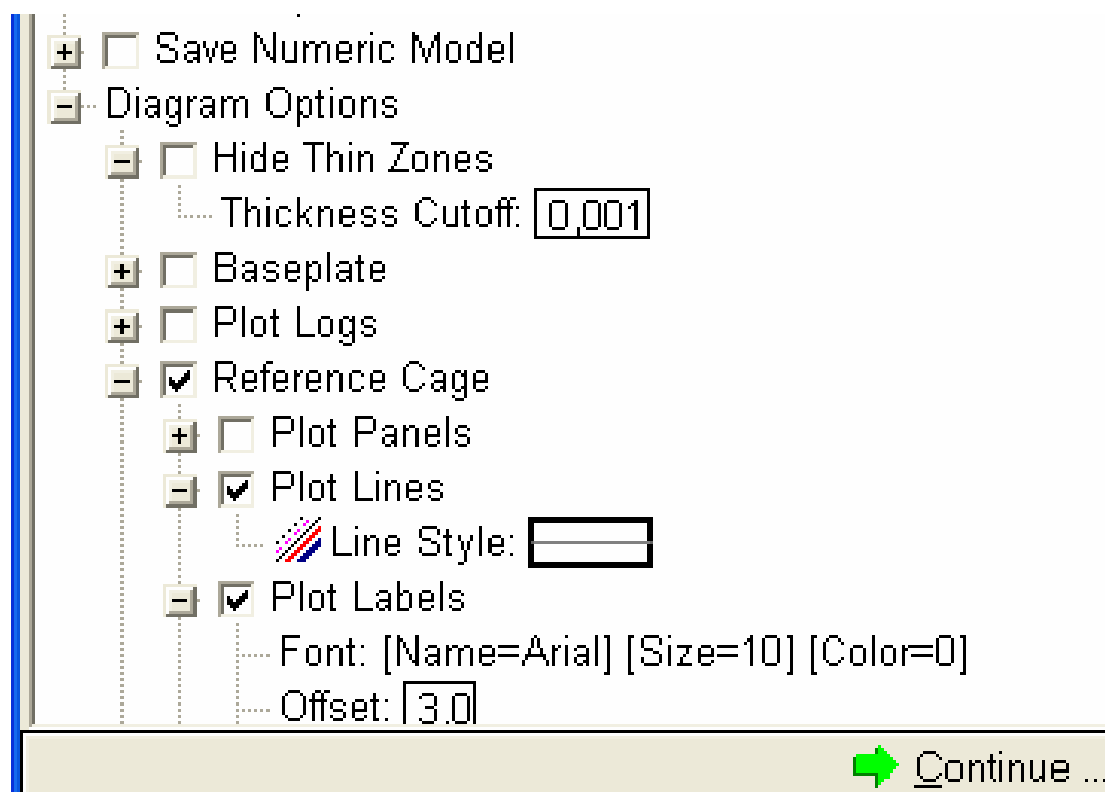
Η επιλογή **Decluster points** με **resolution 250**, σημαίνει ότι ο αλγόριθμος με τον οποίο έχει επιλεγθεί να κατασκευαστεί το μοντέλο μας, εφαρμόζει ένα κανάβο στα δεδομένα σύμφωνα με την ανάλυση (resolution) που έχει επιλεγθεί. Στο μοντέλο μας, η ανάλυση παίρνει την τιμή 250 (πρόκειται για την τιμή της ανάλυσης). Η εντολή αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν συγκεντρώσεις σημείων ή διπλά σημεία. Τότε **υπολογίζεται ένας μέσος όρος των σημείων για κάθε κελί του κανάβου**, εφόσον έχουμε πολλά δεδομένα, και από αυτές τις τιμές (των μέσων όρων), παίρνει δεδομένα το πρόγραμμα για την κατασκευή του μοντέλου μας.

Η επιλογή **Smooth grid : on**, με **Filter Size: 1** και **Iterations : 1**. Όταν ενεργοποιείται η επιλογή αυτή υπολογίζονται οι μέσοι όροι των τιμών Z των δεδομένων μας, βασιζόμενοι σε ένα μέγεθος φίλτρου, που ορίζεται από το χρήστη. Καθώς φιλτράρονται τα δεδομένα μας, έχουμε την κατασκευή ενός πιο αντιπροσωπευτικού μοντέλου, καθώς **οι τοπικές μεταβολές αμβλύνονται και έτσι το μοντέλο μας γίνεται ομοιόμορφο**. Το μέγεθος του φίλτρου ορίζεται στο πεδίο **Filter Size** ενώ ο **αριθμός επαναλήψεων του φίλτρου** στο πεδίο **Iterations**.

Η επιλογή **Densify : On**, με **Densification passes : 12**. Πρόκειται για εφαρμογή ενός **αλγορίθμου πυκνώσης των δεδομένων μας**. Εκεί όπου υπάρχουν ανεπαρκή δεδομένα προσθέτονται κάποια από το πρόγραμμα, ενώ εκεί όπου υπάρχουν πάρα πολλά, εξάγεται μέσος όρος. Η διαδικασία αυτή αυξάνει σημαντικά το χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων ανάλογα με τον αριθμό επαναλήψεων (Densification passes).

Η επιλογή **Onlap : On**, χρησιμοποιείται για να **διορθώνει σε στρωματογραφικά μοντέλα**, την περίπτωση όπου τμήματα ενός ανώτερου στρώματος εκτείνονται κάτω

από τη βάση ενός στρώματος που υπόκειται αυτού. Το πρόγραμμα, δημιουργεί το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω.



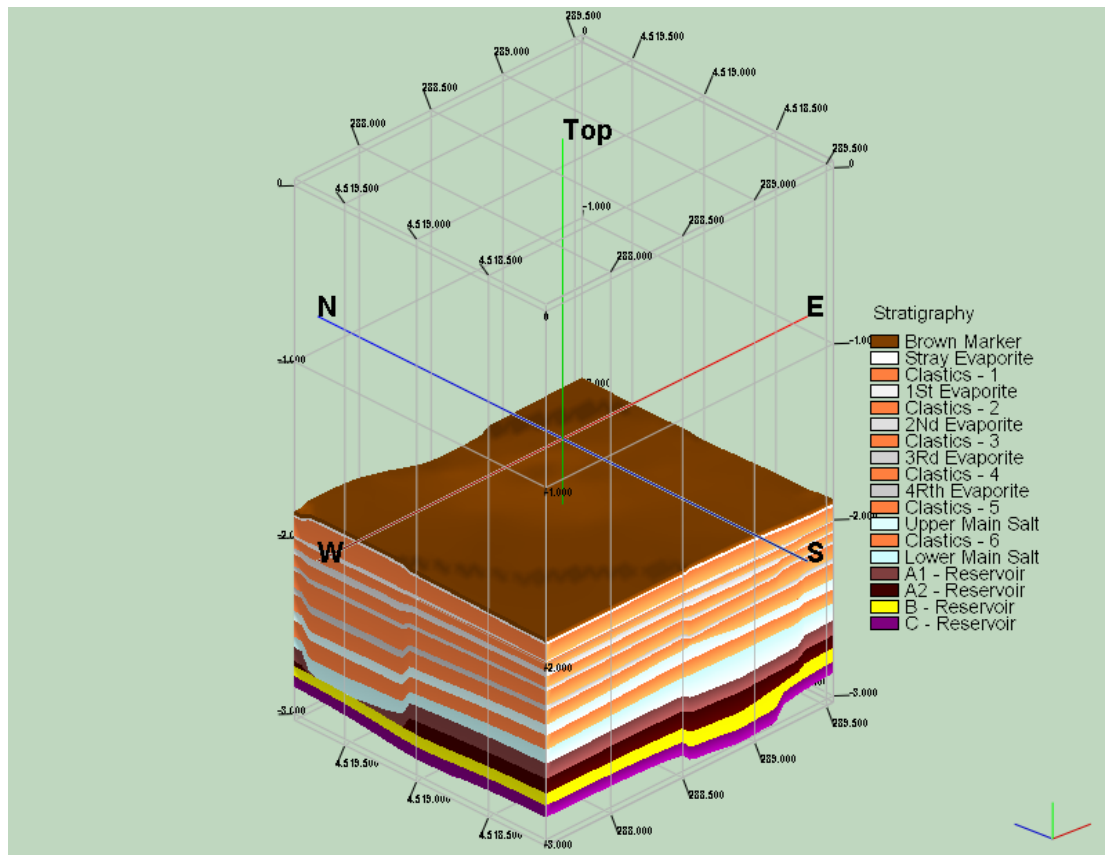
Εικ. 5.14 : Επιλογή δευτερευόντων ρυθμίσεων για κατασκευή του μοντέλου

Στις δευτερεύουσες επιλογές επιλέγουμε **Hide Thin Zones : Off, Baseplate : Off, Plot Logs : Off**. Αυτά επειδή το μοντέλο που ζητείται να κατασκευαστεί είναι απλό δεν περιλαμβάνει πολύ λεπτά στρώματα και έτσι δεν χρειάζονται αυτές οι επιλογές. Η επιλογή αυτή απομακρύνει στρώματα σε ένα πολύπλοκο μοντέλο που έχουν πάχος μικρότερο από κάποιο όριο (Thickness cutoff), το οποίο ορίζεται από το χρήστη.

Για την εξαγωγή του τελικού στρωματογραφικού μοντέλου έγιναν διάφορες δοκιμές στις επιλογές των ρυθμίσεων ώστε το αποτέλεσμα να είναι ικανοποιητικό, όσον αφορά τον ακριβή σχεδιασμό του μοντέλου με κάποιο βαθμό λεπτομέρειας. Οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται αλλάζοντας τις επιλογές που αφορούν την επιλογή του αλγορίθμου, και την επιλογή Smooth grid.

Σχεδιάστηκαν αρκετά μοντέλα τα οποία έχουν αποθηκευτεί αλλά με τις ρυθμίσεις που περιγράφηκαν παραπάνω σχεδιάστηκε το μοντέλο που παρουσιάζεται ως τελικό. Τα μοντέλα τούτα είχαν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους, αν και τα δεδομένα του προβλήματος παρέμειναν τα ίδια και άλλαζαν μόνο κάποιες παράμετροι, όπως ο αλγόριθμος σχεδίασης ή ο αριθμός κάποιων επαναλήψεων.

Το τελικό μοντέλο που σχεδιάστηκε με τις παραπάνω ρυθμίσεις, παρουσιάζεται αναλυτικά στο 6^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας μαζί με εκτενή σχολιασμό. Εδώ απλώς απεικονίζεται.



Εικ. 5.15 : Το τελικό μοντέλο που κατασκευάστηκε, σύμφωνα με τις παραπάνω ρυθμίσεις

5.5 Δημιουργία λιθοστρωματογραφικής τομής – Λιθοστρωματογραφικές τομές του τελικού μοντέλου

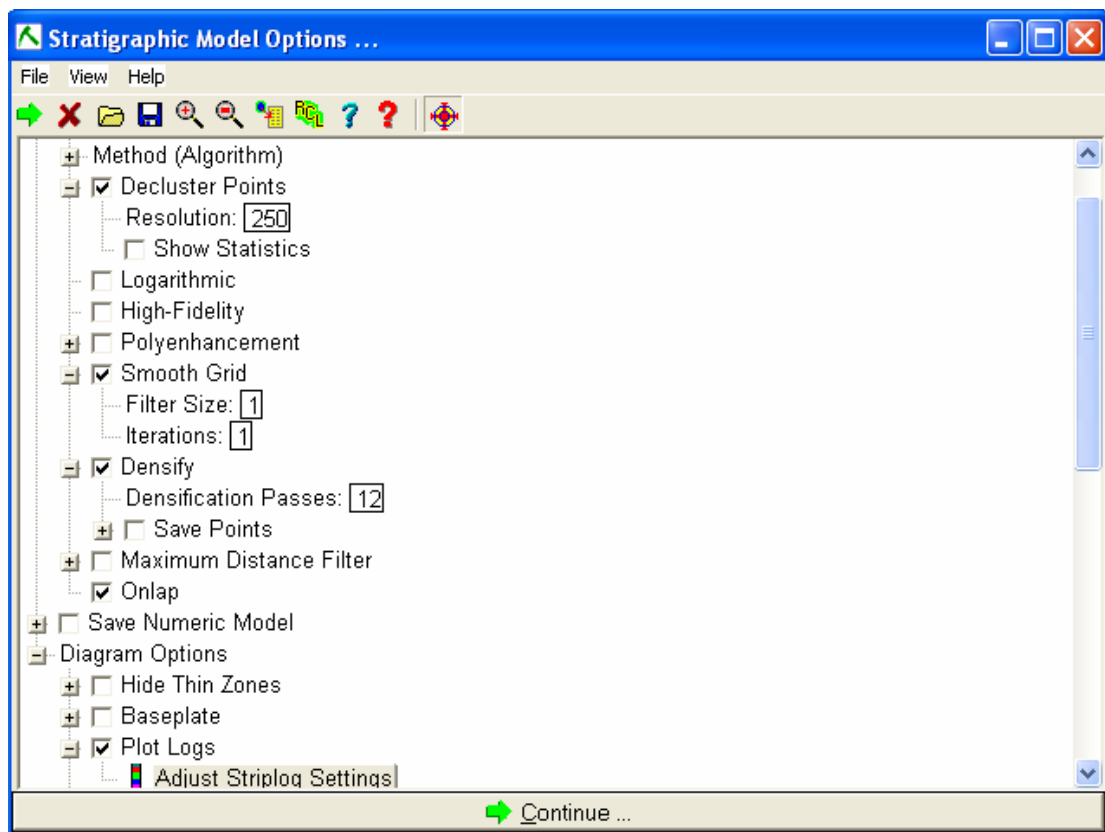
Το Rockworks δίνει επίσης τη δυνατότητα κατασκευής τομών, αφού έχει κατασκευαστεί το μοντέλο. Αυτή η ιδιότητα παρέχεται από την υποσελίδα Borehole Manager, επειδή όμως οι τομές γίνονται αφού έχει κατασκευαστεί το μοντέλο, θα έπρεπε να παρουσιάζονται στο τέλος. Εντούτοις θα παρουσιαστούν εδώ για θεματικούς λόγους.

Στην υποσελίδα Borehole Manager, διαμέσου του **menu Stratigraphy**, επιλέγουμε **Profile...**. Έπειτα ανοίγει το παράθυρο (Vertical Stratigraphic Profile Options...), των ρυθμίσεων, προκειμένου να κατασκευαστούν οι τομές.

Στο Correlation Options επιλέγεται :

1. Fill Background : On
2. Plot Patterns : On
3. Plot Outlines : On , με line thickness : 1

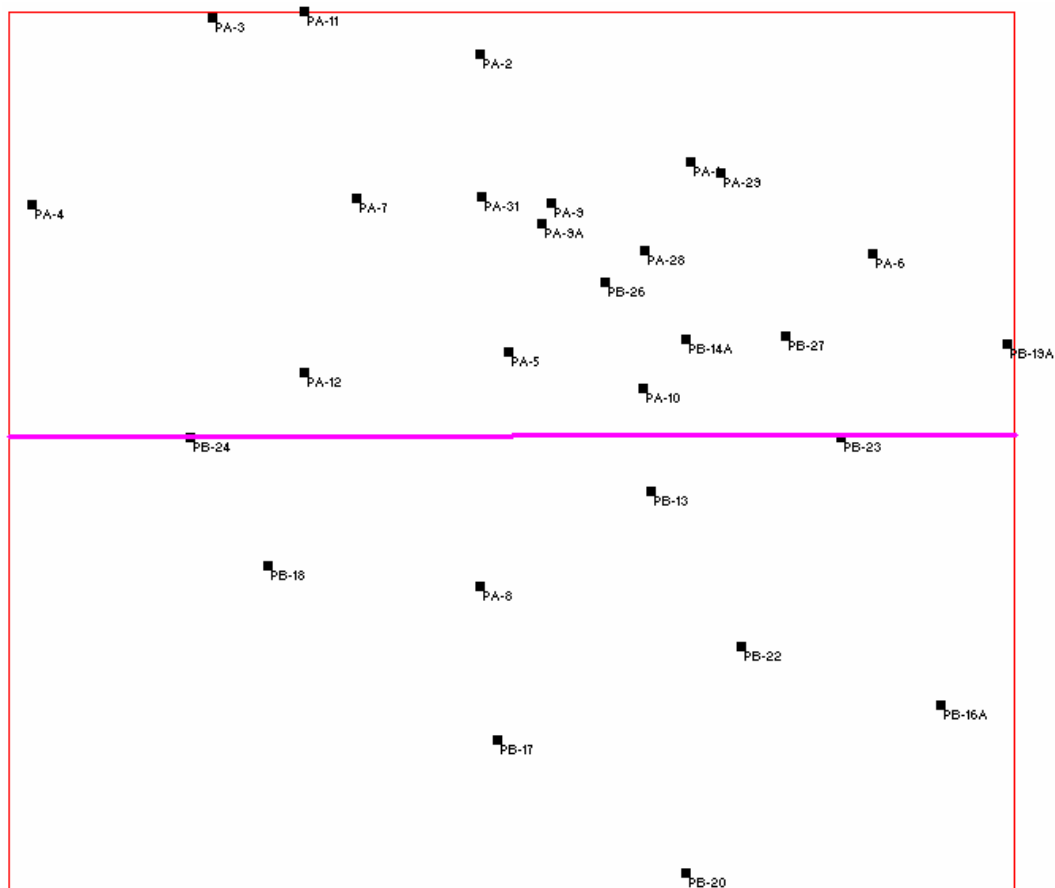
Επίσης επιλέγεται, Interpolate Surfaces : On και “Hardwire” project dimensions. Όσον αφορά τον αλγόριθμο σχεδιασμού, επιλέγεται Inverse Distance, με συντελεστή 2 και αριθμό σημείων 8, Units : 200 και Sector Angle : 45 degrees. Stratigraphy Legend : On , Plot Line : On , Legend Title : Stratigraphy Index, Width : 8, Height : 50, Plot Background Colors : On, Plot Patterns : On, Plot Border : On.



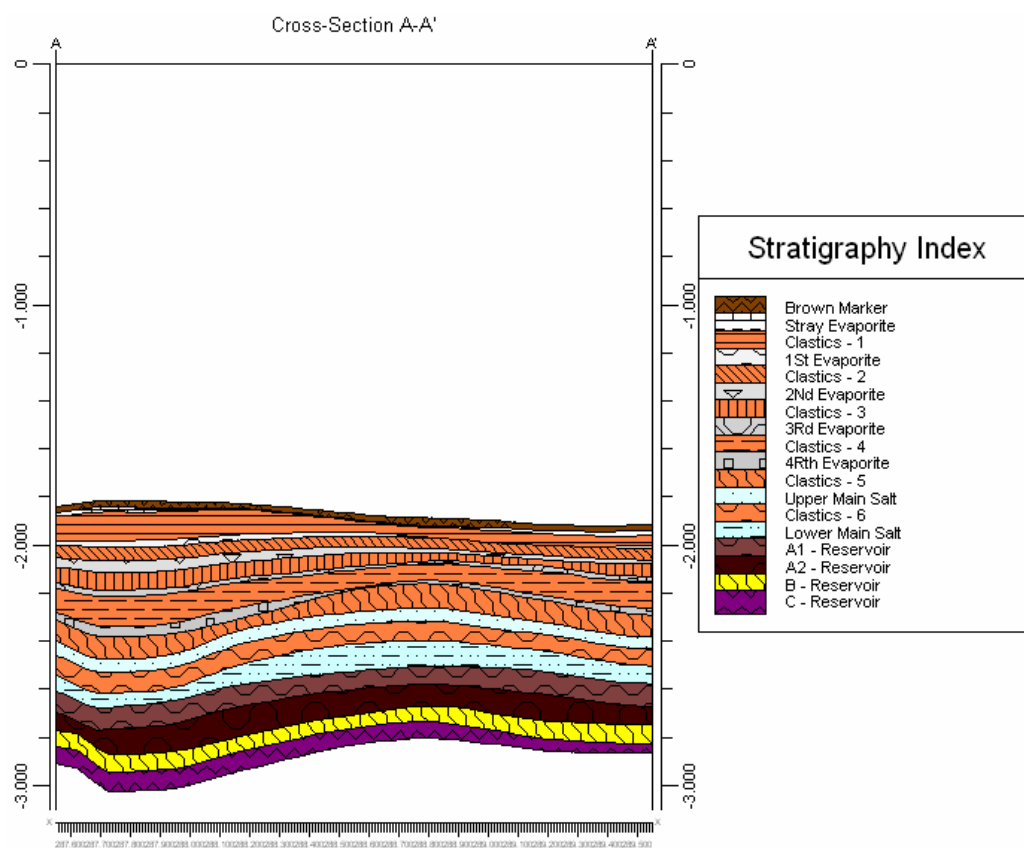
Εικ. 5.16 : Το παράθυρο επιλογής των ρυθμίσεων κατασκευής τομής

Εν συνεχεία, πατώντας Continue..., στο κάτω μέρος της οθόνης, εμφανίζεται ένας χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων. Από εδώ επιλέγουμε που θέλουμε να γίνει η τομή. Επιλέγουμε διαδοχικά με το mouse 2 σημεία, τα οποία ενώνονται με μία γραμμή. Η απενεργοποίηση της επιλογής Snap, δίνει τη δυνατότητα κατασκευής τομών άσχετα με τη θέση των γεωτρήσεων.

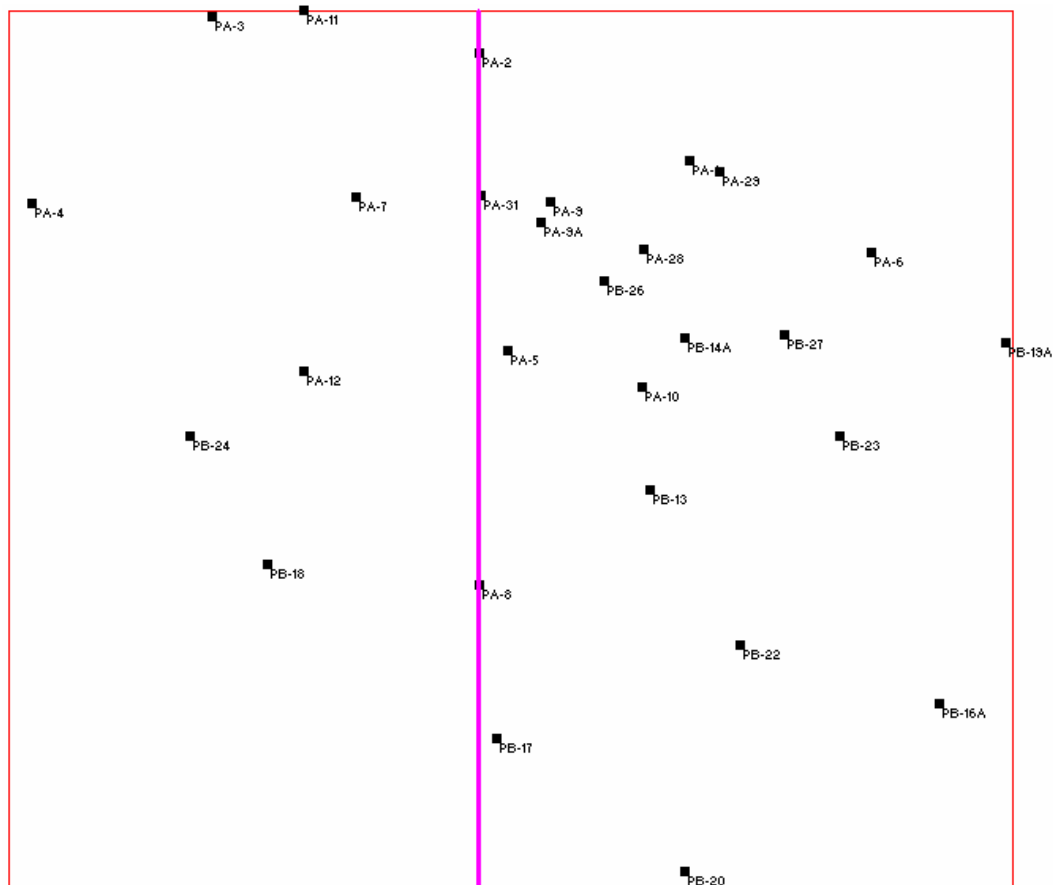
Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής 4 τομών, που τέμνουν το μοντέλο σε όλη του την έκταση, 2 κάθετες μεταξύ τους με κατεύθυνση Βορρά – Νότο, Ανατολή – Δύση και 2 διαγώνιες τομές.



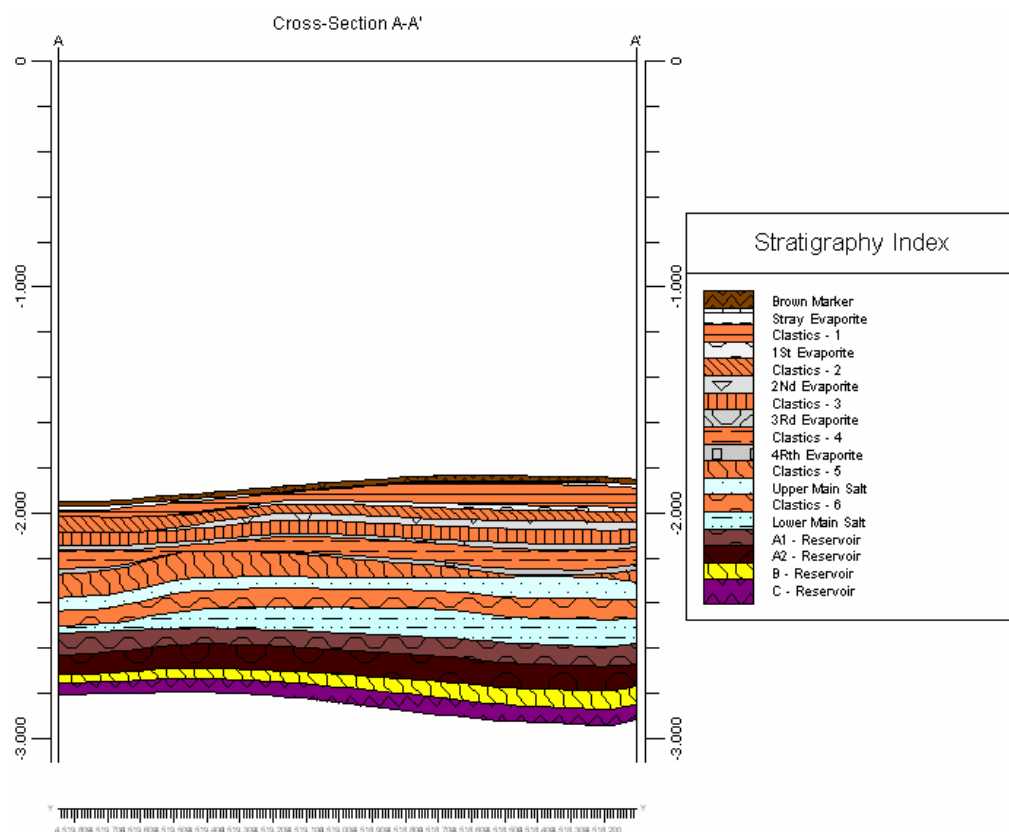
Εικ. 5.17 : Επιλογή κατασκευής τομής με κατεύθυνση Ανατολή – Δύση



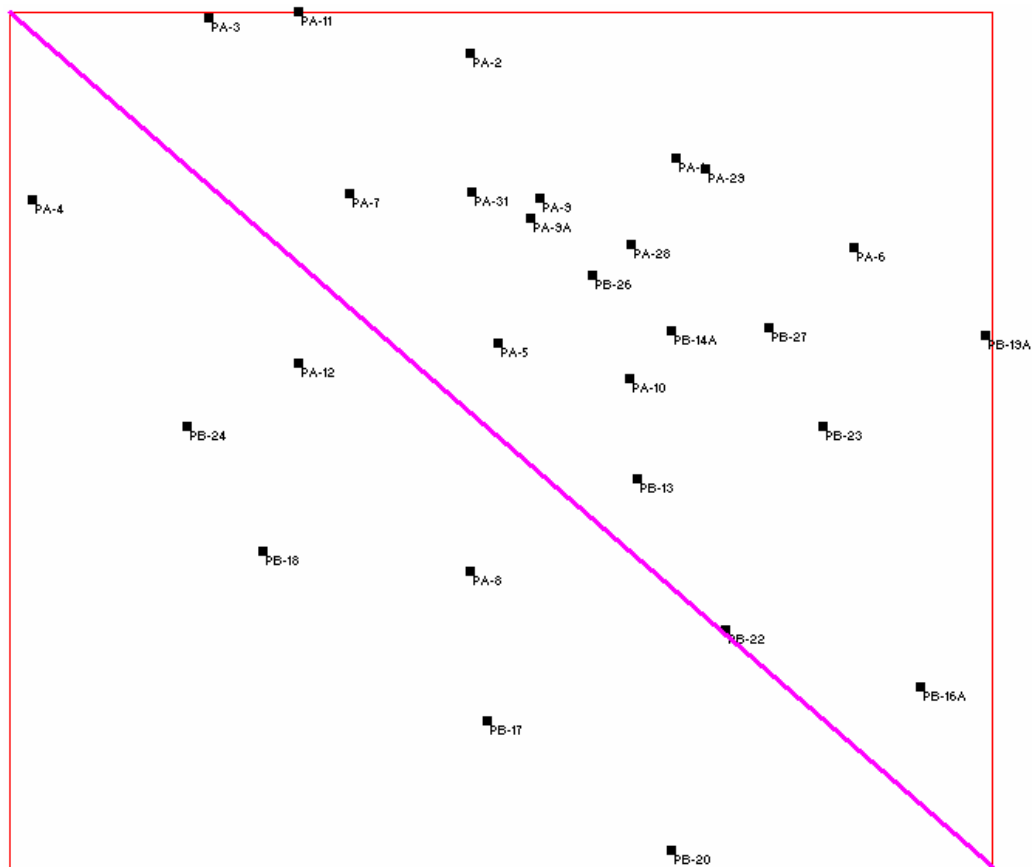
Εικ. 5.18 : Παρουσίαση της τομής με κατεύθυνση Ανατολή – Δύση



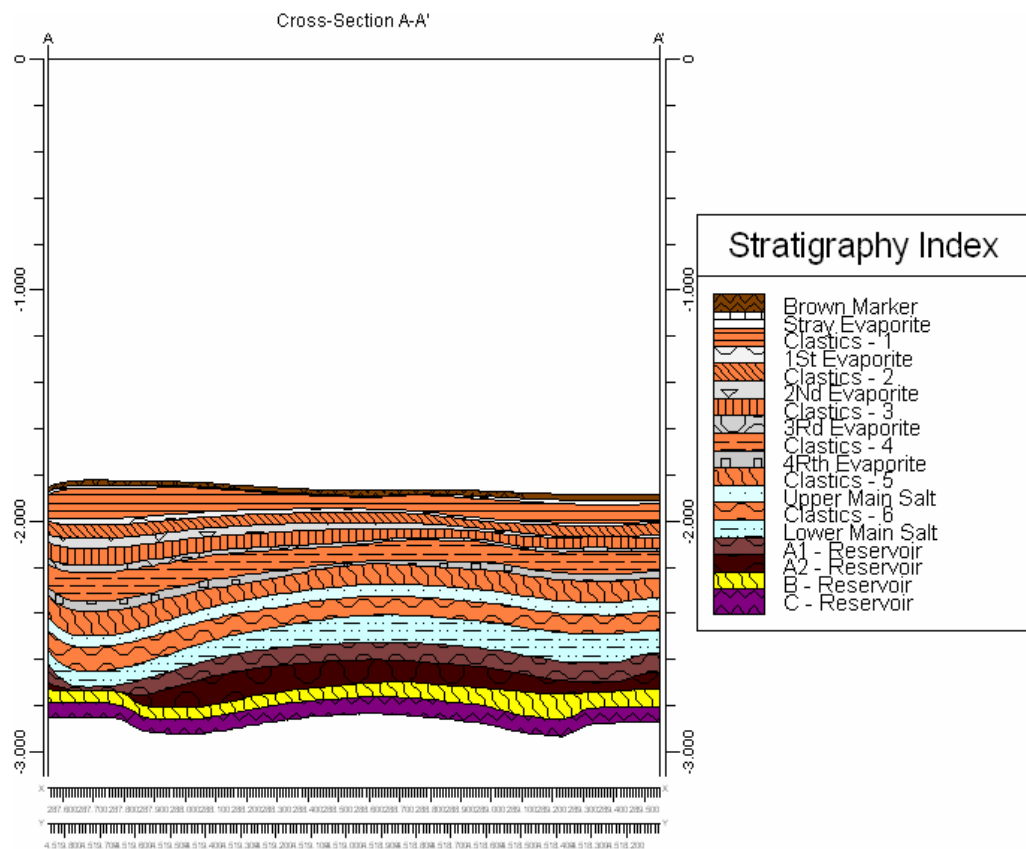
Εικ. 5.19 : Επιλογή κατασκευής τομής με κατεύθυνση Βορρά – Νότο



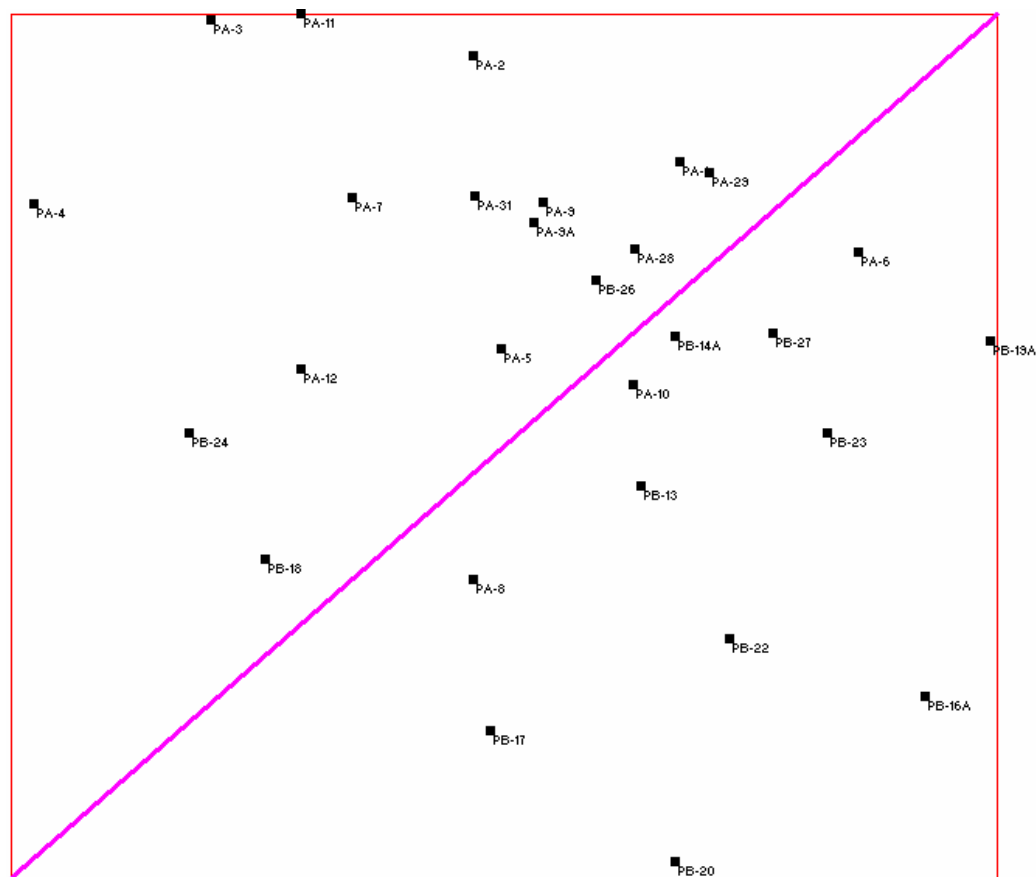
Εικ. 5.20 : Παρουσίαση της τομής με κατεύθυνση Βορρά – Νότο



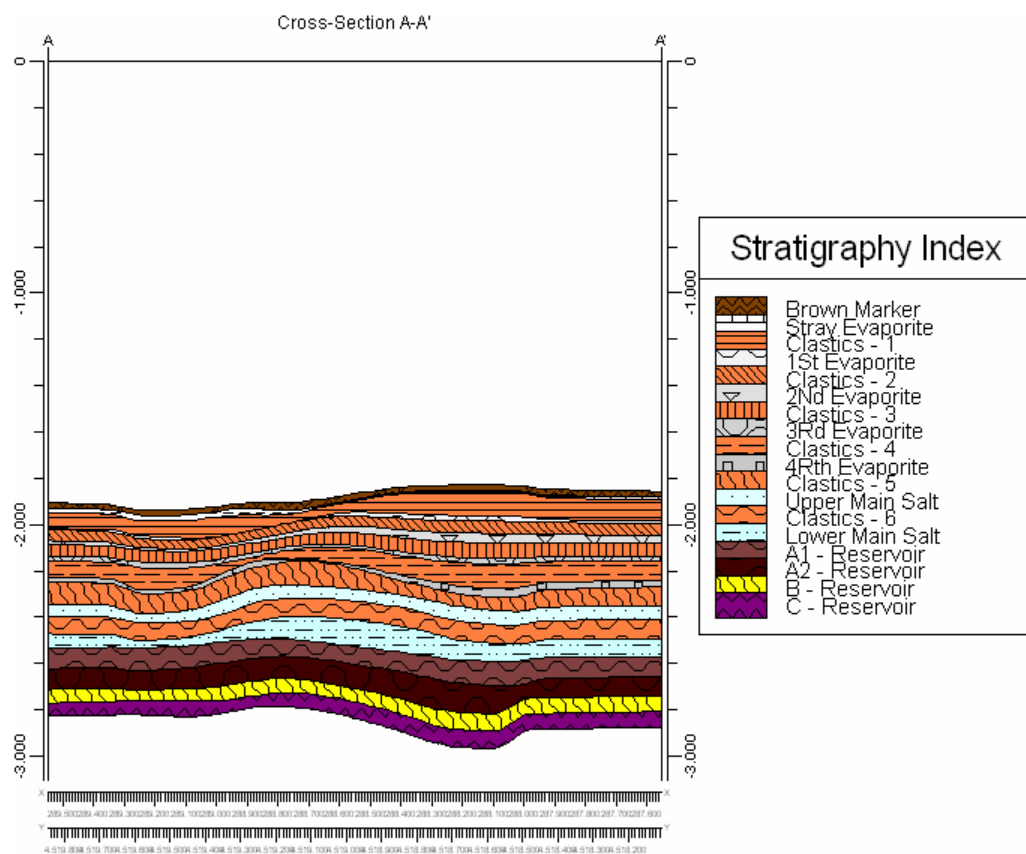
Εικ. 5.21 : Χάραξη της πρώτης διαγώνιας τομής



Εικ. 5.22 : Παρουσίαση της πρώτης διαγώνιας τομής



Εικ. 5.23 : Χάραξη της δεύτερης διαγώνιας τομής

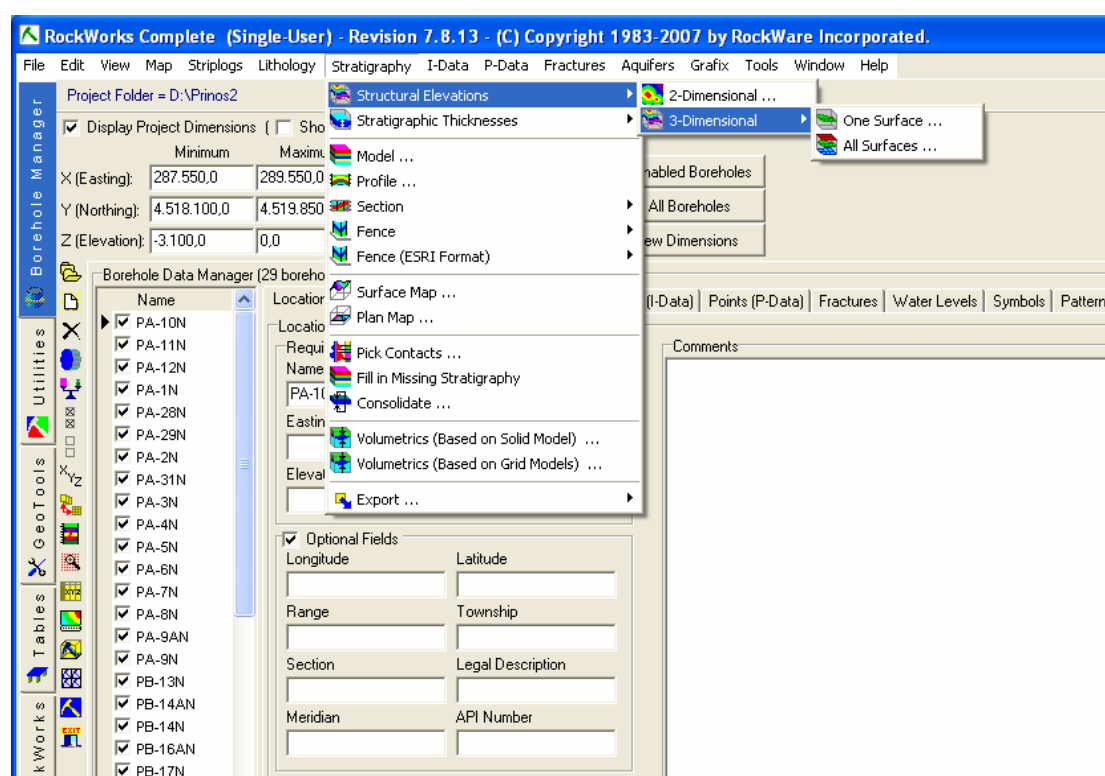


Εικ. 5.24 : Παρουσίαση της δεύτερης διαγώνιας τομής

Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί από τις 4 παραπάνω τομές, που είναι ενδεικτικές του κοιτάσματος είναι αφενός μεν η αντικλινική δομή και οι πτυχώσεις των στρωμάτων, αφετέρου δε μια αύξηση του πάχους στα στρώματα των εβαποριτών και των κλαστικών με το βάθος.

5.6 Η δυνατότητα δημιουργίας ενός πλεγματοκού μοντέλου – Η επιλογή Structural Elevations

Από το Menu **Stratigraphy**, επιλέγοντας διαδοχικά **Structural Elevations** → **3 – Dimensional** → **All Surfaces...**, δημιουργείται ένα πλεγματοκού μοντέλο με όλα τα στρώματα. Ένα πλέγμα αντιστοιχεί σε κάθε στρώμα. Το πλεγματοκού μοντέλο βοηθά ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα τη διάρθρωση και τη θέση των πλεγμάτων στο χώρο.

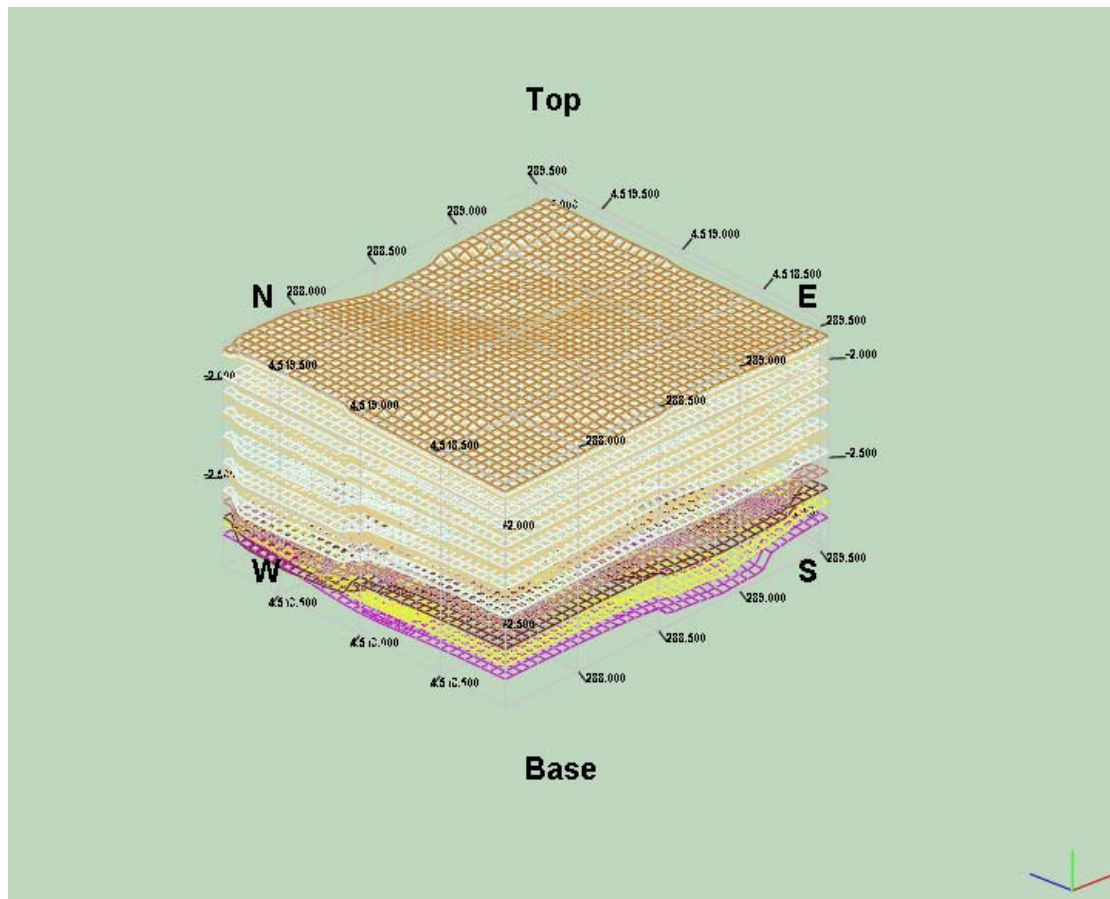


Εικ. 5.25 : Η επιλογή Structural Elevations

Από το Model Dimensions, επιλέγεται, “Hardwire” project dimensions. Όσον αφορά τον αλγόριθμο σχεδιασμού, επιλέγεται Inverse Distance, με συντελεστή 2 και αριθμό σημείων 8, Units : 200 και Sector Angle : 45 degrees.

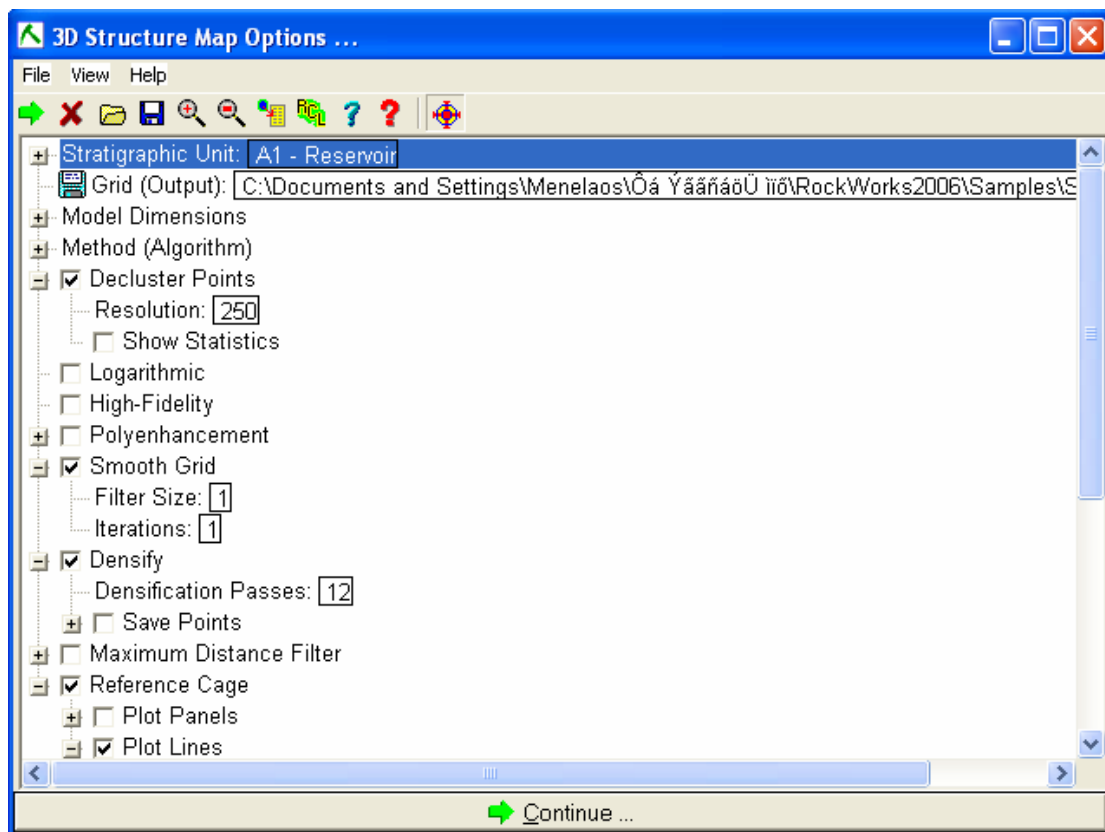
Επιπροσθέτως επιλέγεται Smooth Grid : On, Filter Size : 1, Iterations : 1, Densify : On, Densification Passes : 12, Reference Cage : On, Plot Lines : On, Plot Labels : On, Plot Leader Lines : On, Dimensions : Automatic.

Στη συνέχεια επιλέγουμε Continue..., οπότε το πρόγραμμα σχεδιάζει το πλεγματοκού μοντέλο σύμφωνα με τις παραπάνω επιλογές. Το μοντέλο παρατίθεται στην επόμενη εικόνα (Εικ.5.26).



Εικ. 5.26 : Το μοντέλο, όπως συνίσταται από τα επιμέρους πλέγματα, ένα για κάθε στρώμα

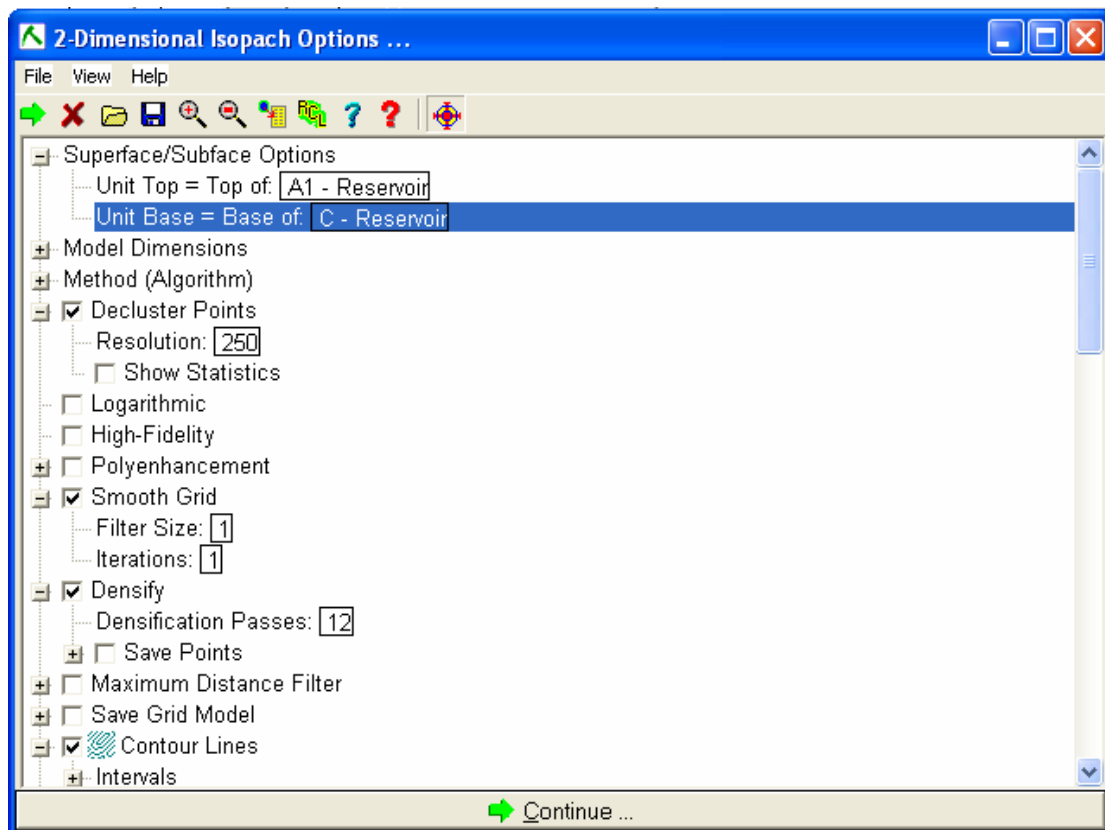
Επίσης δίνεται η δυνατότητα η κάθε επιφάνεια να μελετηθεί ξεχωριστά. Από το **Menu Stratigraphy**, επιλέγοντας διαδοχικά **Structural Elevations → 3 – Dimensional → One Surface...**, το πρόγραμμα κάνει επιλεκτική σχεδίαση των πλεγματικών στρωμάτων. Οι επιλογές είναι ίδιες για το σχεδιασμό ενός πολυστρωματικού μοντέλου μόνο που εδώ επιλέγουμε και το στρώμα που επιθυμούμε να σχεδιάσουμε.



Εικ. 5.27 : Ρυθμίσεις για το σχεδιασμό μιας επιφάνειας

5.7 Η επιλογή Stratigraphic Thickness

Από το **Menu Stratigraphy**, επιλέγεται (**Stratigraphic Thickness**) → (**3 – Dimensional...**). Με αυτή την επιλογή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μελετήσει κάθε ένα στρώμα ξεχωριστά, παρατηρώντας έτσι το πάχος του. Επίσης από την επιλογή (**Stratigraphic Thickness**) → (**2 – Dimensional (Isopach...**)) δίνεται η δυνατότητα κατασκευής ισοπαχών χαρτών όσον αφορά ένα ή περισσότερα στρώματα. Θεωρώντας ως ένα ενιαίο στρώμα όλα τα στρώματα – ταμιεντήρες, κατασκευάζεται ένας τέτοιος χάρτης στο τέλος αυτής της ενότητας. Η χρησιμότητα του είναι μεγάλη καθώς θα μπορούσε να υποδείξει βέλτιστη θέση για τη διεξαγωγή επιπλέον γεωτρήσεων. Επίσης κατασκευάζονται χάρτες για κάθε ένα από τα reservoir A1, A2, B και C.



Εικ. 5.28 : Παράθυρο με τις ρυθμίσεις για την κατασκευή του χάρτη ισοπαχών

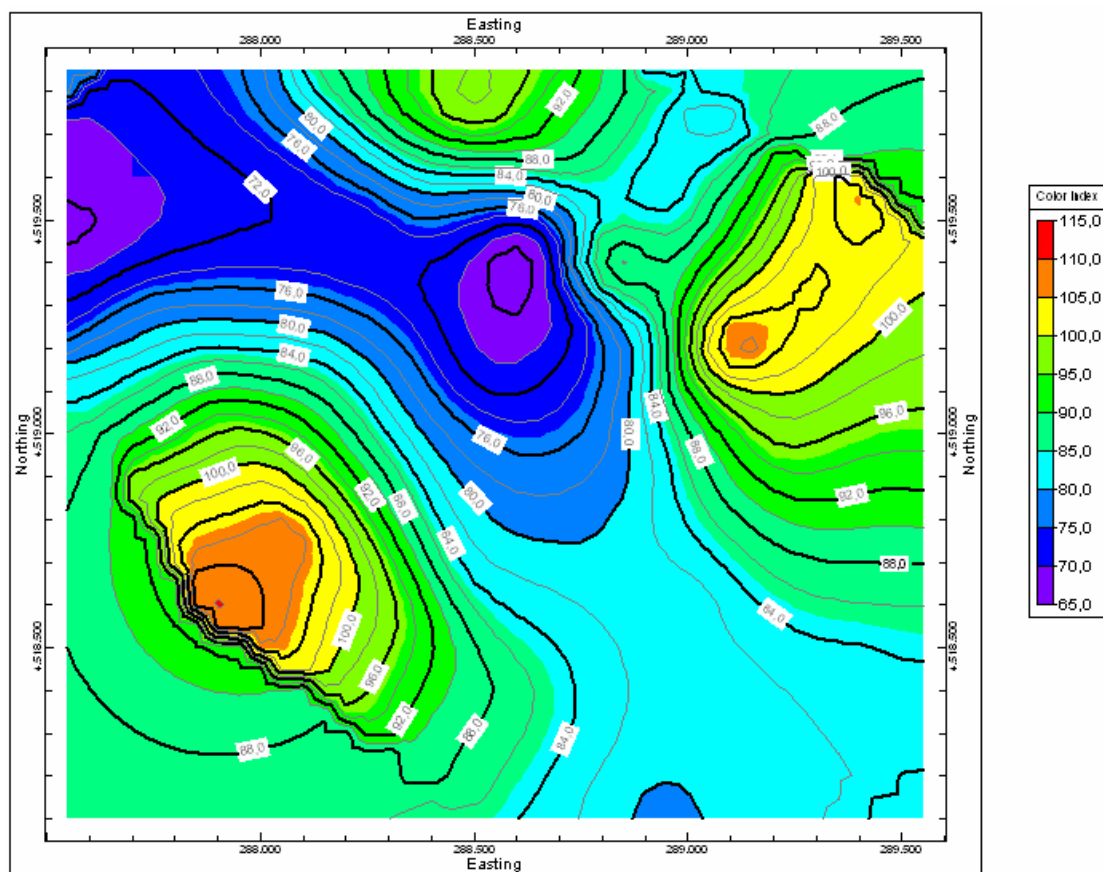
Στην επιλογή Superface/Subface Options επιλέγεται στην επιλογή Unit Top και Unit Base, A1 Reservoir και C Reservoir αντίστοιχα, όσον αφορά τον τελικό χάρτη.

Επιλέγεται Smooth Grid : On, Filter Size : 1, Iterations : 1, Densify : On, Densification Passes : 12, Reference Cage : On, Plot Lines : On, Plot Labels : On, Plot Leader Lines : On, Dimensions : Automatic. Επίσης επιλέγεται η επιλογή Contour Lines και στο παράθυρο όπου ζητείται η αναλογία μεταξύ Contour Interval και Labeling Interval, επιλέγεται (20 : 20).

Στη συνέχεια επιλέγουμε Continue..., οπότε το πρόγραμμα σχεδιάζει το χάρτη σύμφωνα με τις παραπάνω επιλογές. Οι ίδιες επιλογές ισχύουν και για την κατασκευή των ισοπαχών χαρτών που αφορούν το κάθε στρώμα, που παρουσιάζεται παρακάτω.

Χάρτες ισοπαχών

Παρακάτω, παρουσιάζονται χάρτες ισοπαχών για κάθε ένα από τα στρώματα ταμιευτήρες, και σημειώνονται τα χαρακτηριστικά υβώματα και το αντίστοιχο πάχος τους. Πρώτα παρουσιάζεται ο **χάρτης ισοπαχών** για το **reservoir A1**. Ο λόγος μεταξύ **Contour Interval** και **Labeling Interval** όσον αφορά το σχεδιασμό είναι **2 : 4**.



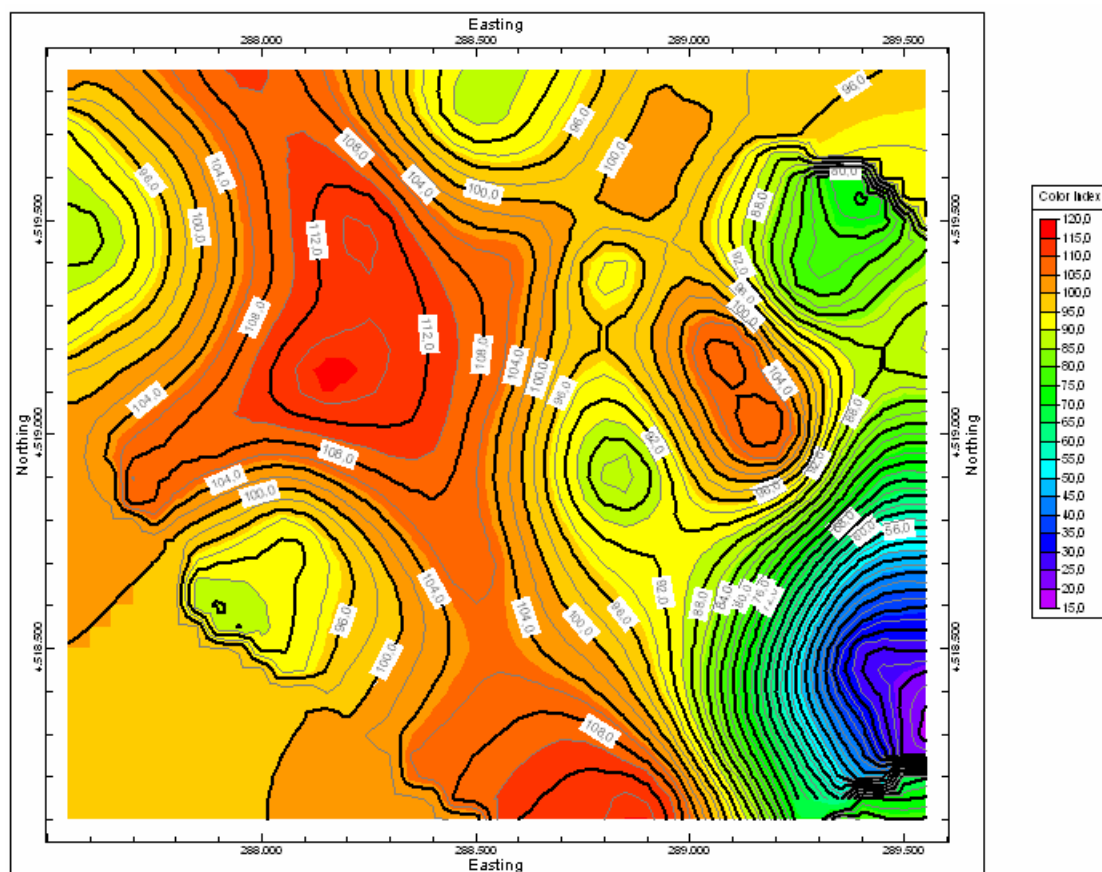
Εικ. 5.29 : Έγχρωμος Χάρτης ισοπαχών της ενότητας A1

Σχόλια για το χάρτη ισοπαχών της ενότητας A1

Ο λόγος μεταξύ **Contour Interval** και **Labeling Interval** όσον αφορά το σχεδιασμό είναι **2 : 4**, όπως και στους υπόλοιπους χάρτες, που παρουσιάζουν το πάχος ενός μόνο στρώματος.

Αύξηση του πάχους παρατηρείται σε 2 περιοχές του χάρτη, κάτω αριστερά και πάνω δεξιά, με μέγιστο πάχος 110μ. κάτω αριστερά και αντίστοιχο μέγιστο 104μ. πάνω δεξιά. Στη μέση παρατηρείται μείωση του πάχους περί τα 30μ. από τις μέγιστες τιμές.

Επίσης διαφαίνεται άλλο ένα ύβωμα στο επάνω μέρος του χάρτη (easting), όμως επειδή η εικόνα δεν είναι πλήρης δεν μας επιτρέπεται να γνωρίζουμε το μέγιστο πάχος.

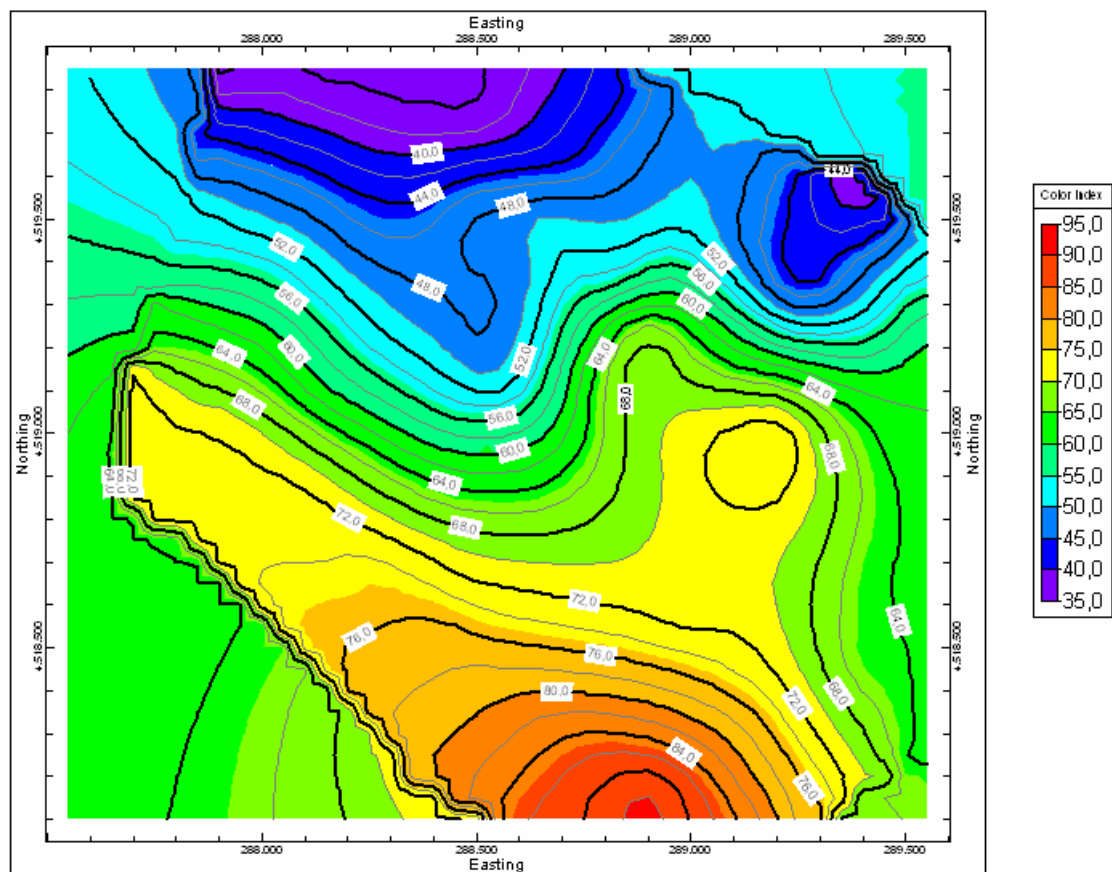


Εικ. 5.30 : Έγχρωμος χάρτης ισοπαχών της ενότητας A2

Σχόλια για το χάρτη ισοπαχών της ενότητας A2

Ο λόγος μεταξύ **Contour Interval** και **Labeling Interval** όσον αφορά το σχεδιασμό είναι **2 : 4**, όπως και στους υπόλοιπους χάρτες, που παρουσιάζουν το πάχος ενός μόνο στρώματος.

Στα αριστερά παρατηρούνται 2 υβώματα μέγιστο πάχος, το κάτω 100μ. ενώ το άνω 114μ. Αντίθετα παρατηρείται μία μείωση του πάχους κάτω δεξιά, δηλαδή ένα κοίλωμα με το πάχος να μειώνεται περίπου μέχρι τα 30μ. Η συγκεκριμένη μείωση είναι αρκετά μεγάλη, λαμβάνοντας υπόψιν τις μέγιστες τιμές πάχους του συγκεκριμένου στρώματος.



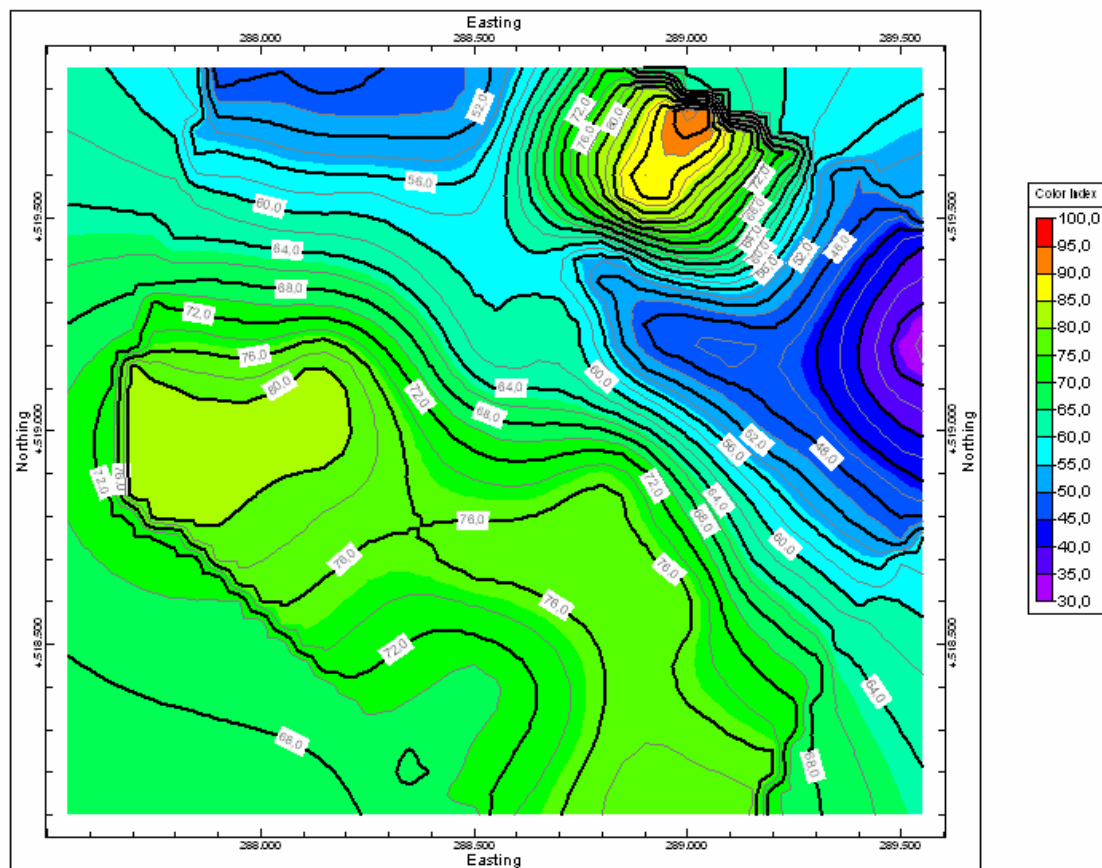
Εικ. 5.31 : Έγκλωμος χάρτης ισοπαχών της ενότητας Β

Σχόλια για το χάρτη ισοπαχών της ενότητας Β

Ο λόγος μεταξύ **Contour Interval** και **Labeling Interval** όσον αφορά το σχεδιασμό είναι **2 : 4**, όπως και στους υπόλοιπους χάρτες, που παρουσιάζουν το πάχος ενός μόνο στρώματος.

Ο συγκεκριμένος χάρτης διαφοροποιείται μερικώς από τους προηγούμενους, καθώς δεν εμφανίζει τις γνωστές αυξήσεις πάχους στα αριστερά, όπως οι προηγούμενοι χάρτες. Αντίθετα το συγκεκριμένο στρώμα, παρουσιάζει μια αύξηση του πάχους, εξεταζόμενο από πάνω προς τα κάτω των 48 μέτρων ως μέγιστη διαφορά.

Επίσης μικρή μείωση του πάχους παρατηρείται επάνω δεξιά με ελάχιστο πάχος τα 44μ.



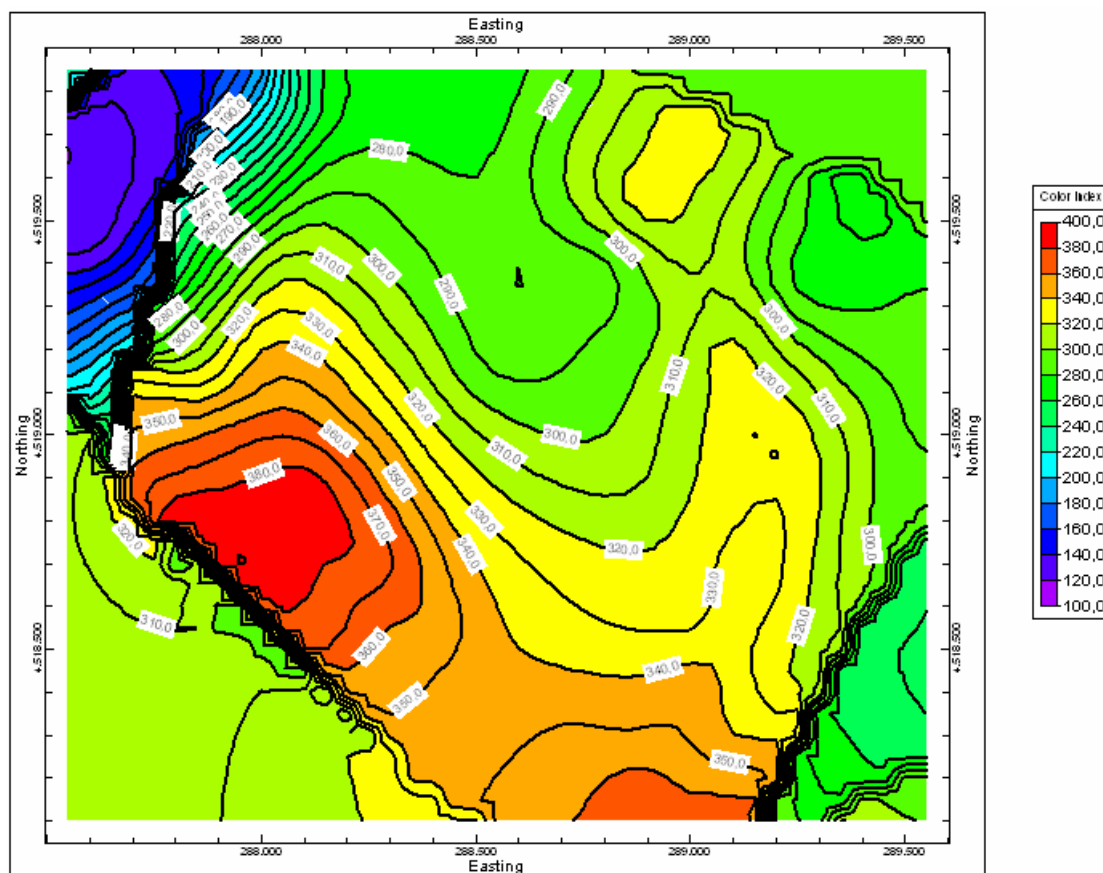
Εικ. 5.32 : Έγχρωμος χάρτης ισοπαχών της ενότητας C

Σχόλια για το χάρτη ισοπαχών της ενότητας C

Ο λόγος μεταξύ **Contour Interval** και **Labeling Interval** όσον αφορά το σχεδιασμό είναι **2 : 4**, όπως και στους υπόλοιπους χάρτες, που παρουσιάζουν το πάχος ενός μόνο στρώματος.

Στο συγκεκριμένο χάρτη παρατηρείται μικρή αύξηση του πάχους στα αριστερά με μέγιστο πάχος τα 80μ., ενώ πάνω αριστερά παρατηρείται επίσης μικρή αύξηση του πάχους με μέγιστο τα 86μ. Μικρή μείωση του πάχους παρατηρείται προς τα δεξιά έτσι όπως παρουσιάζεται ο χάρτης (Northing), με ελάχιστο πάχος τα 36μ.

Ακολουθεί παρουσίαση του χάρτη ενοποιημένων ενοτήτων, δηλαδή του χάρτη που λαμβάνει ως μία ενότητα τα στρώματα A1, A2, B, C.



Εικ. 5.33 : Παρουσίαση έγχρωμου χάρτη ισοπαχών των ενοποιημένων ενοτήτων A1, A2, B και C (reservoir) του κοιτάσματος

Σχόλια για τον χάρτη των ενοποιημένων ενοτήτων

Παραπάνω παρατίθεται χάρτης των ενοποιημένων ενοτήτων A1, A2, B και C, δηλαδή του συνόλου των reservoir που απαρτίζουν τον ταμιευτήρα.

Αυτό που εύκολα παρατηρεί κάποιος είναι ότι το μέγιστο πάχος φθάνει περίπου στα 380μ. κάτω αριστερά. Αντίθετα μείωση του πάχους παρατηρείται από το μέγιστο και το κέντρο με κατεύθυνση πάνω αριστερά όπως παρατηρούμε το χάρτη. Το ελάχιστο πάχος που μπορεί να διακριθεί είναι περί τα 140μ., που αποτελεί τιμή με μεγάλη διαφορά από τη μέγιστη.

5.8 Η επιλογή Fence (Modeled)

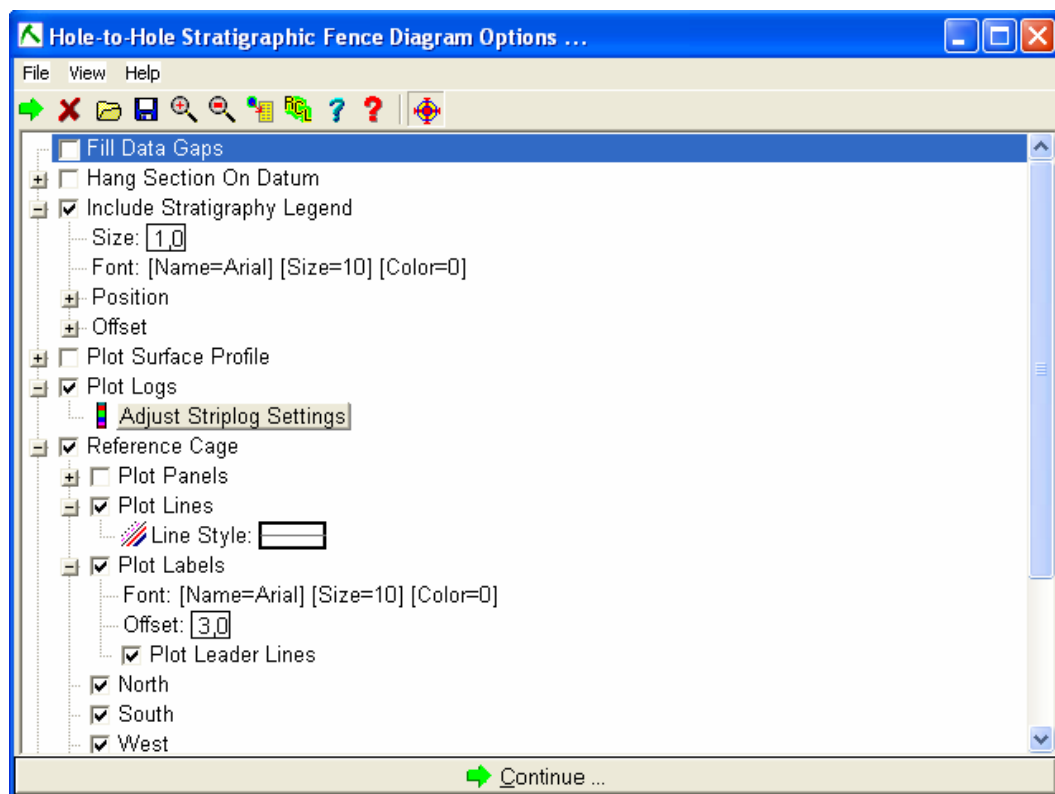
Με αυτή την επιλογή δημιουργείται ένας «στρωματογραφικός φράχτης», ο οποίος ενώνει 2 σημεία (από την κάτοψη του χάρτη των γεωτρήσεων) μεταξύ τους, ή δύο γεωτρήσεις. Συνδέει δηλαδή αυτά τα 2 σημεία μεταξύ τους σχεδιάζοντας τα ενδιάμεσα στρώματα πάνω σε μία επιφάνεια, που ενώνει για παράδειγμα 2 γεωτρητικές στήλες.

Από το menu Stratigraphy επιλέγεται **Fence → Modeled (based on interpolated Stratigraphic surface models)...**

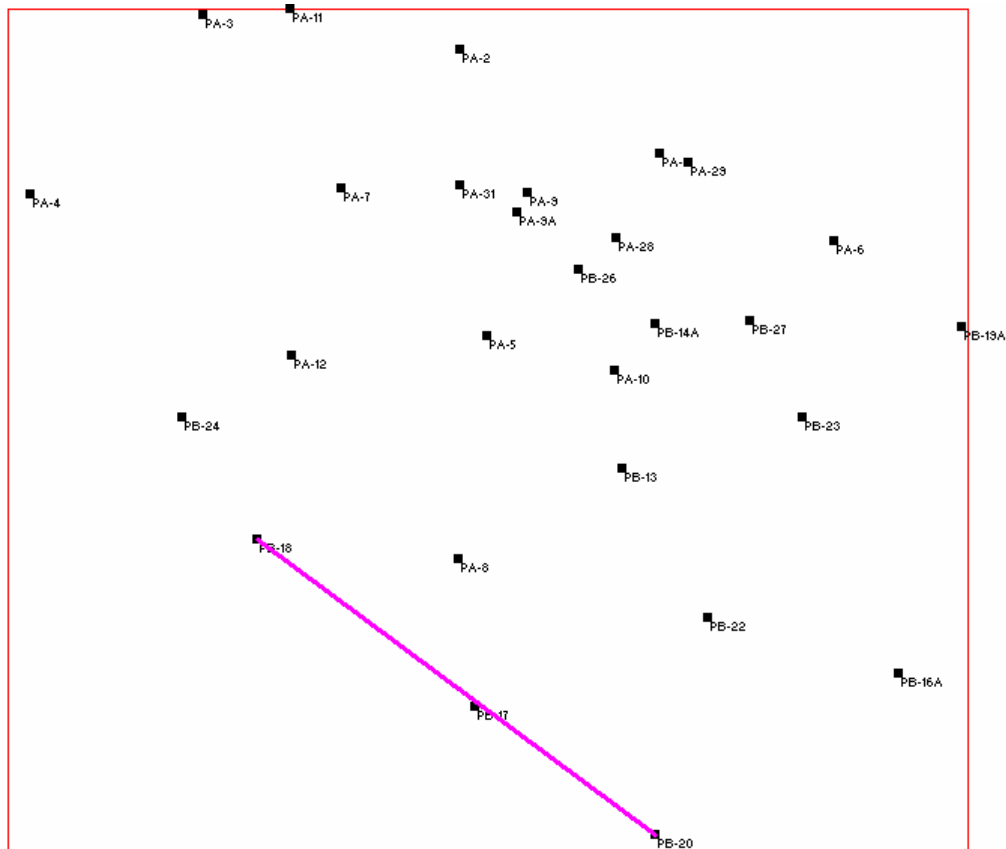
Από το Model Dimensions, επιλέγεται, “Hardwire” project dimensions. Όσον αφορά τον αλγόριθμο σχεδιασμού, επιλέγεται Inverse Distance, με συντελεστή 2, αριθμό σημείων 8, Units : 200 και Sector Angle : 45 degrees.

Επιπρόσθετα επιλέγεται Smooth Grid : On, Filter Size : 1, Iterations : 1, Densify : On, Densification Passes : 12, Reference Cage : On, Plot Lines : On, Plot Labels : On, Plot Leader Lines : On, Dimensions : Automatic.

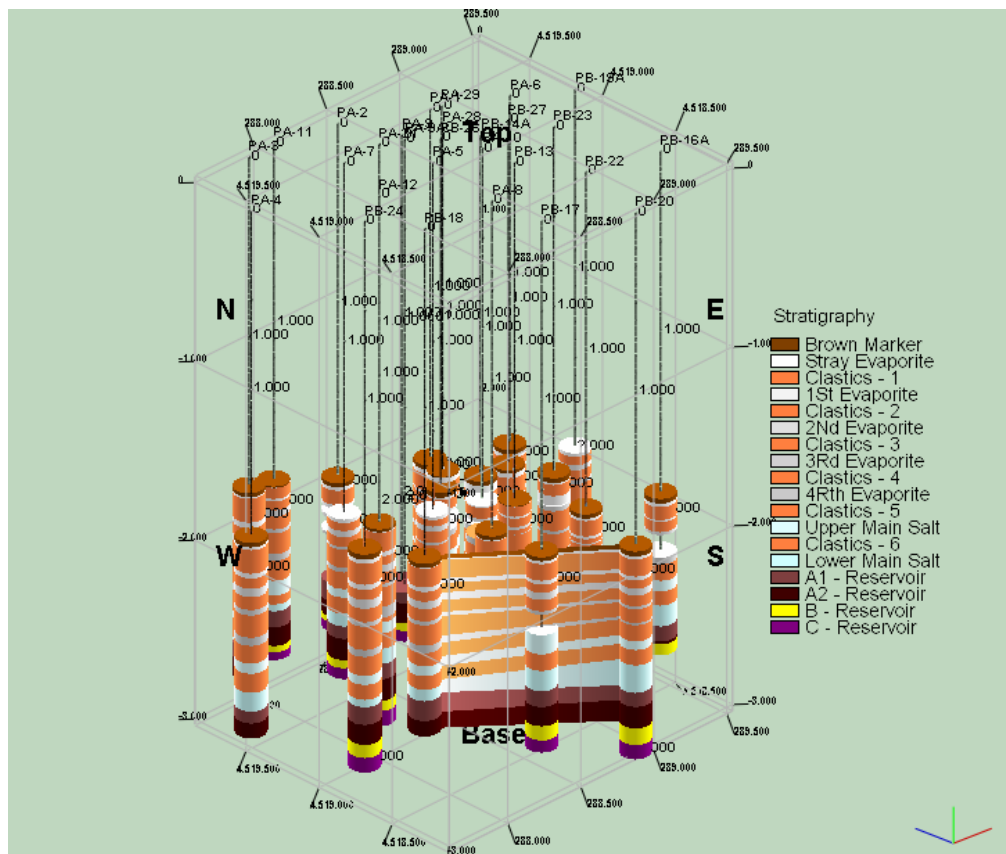
Κατόπιν το μοντέλο σχεδιάζει το φράχτη μεταξύ των 2 σημείων που έχουν επιλεγεί αφού πρώτα τα επιλέξει ο χρήστης από το χάρτη με τις θέσεις των γεωτρήσεων. Επιλέγεται ο σχεδιασμός να γίνει μεταξύ των γεωτρήσεων PB – 18 και PB – 20.



Εικ. 5.34 : Επιλογή των ρυθμίσεων για την κατασκευή ενός φράχτη



Εικ. 5.35 : Επιλογή των θέσεων μεταξύ των οποίων επιθυμούμε την κατασκευή του φράχτη

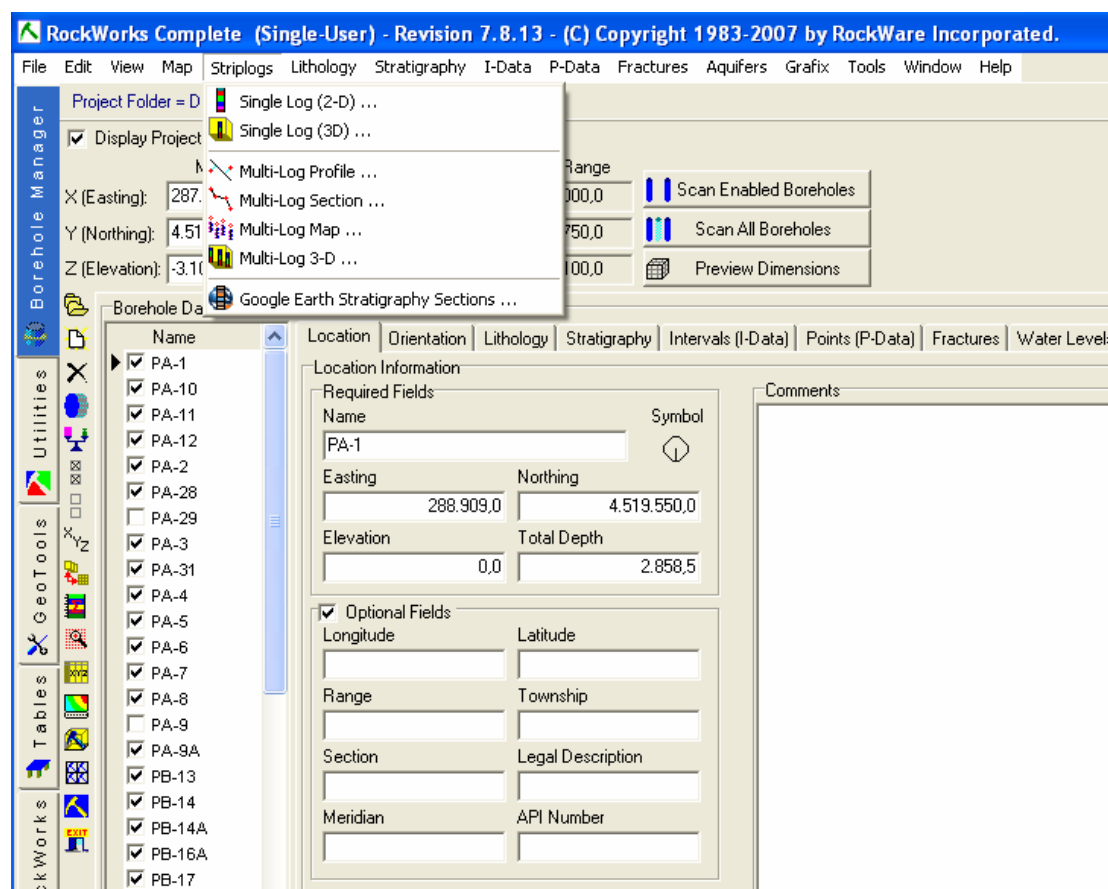


Εικ. 5.36 : Παρουσίαση του φράχτη (Fence) μεταξύ 2 σημείων

5.9 Το menu Striplogs – Δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση γεωτρήσεων

Από το **menu Striplogs** της υποσελίδας Borehole Manager, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρουσιάσει και να μελετήσει κάθε μία από τις γεωτρήσεις, με τα δεδομένα των οποίων κατασκευάζει το μοντέλο του. Προκειμένου να τις μελετήσει κάθε μία ξεχωριστά, το πρόγραμμα παρέχει αυτή τη δυνατότητα διαμέσου των επιλογών **Single Log (2 – D)**, **δισδιάστατη απεικόνιση**, και **Single Log (3 – D)**, **τρειςδιάστατη απεικόνιση**.

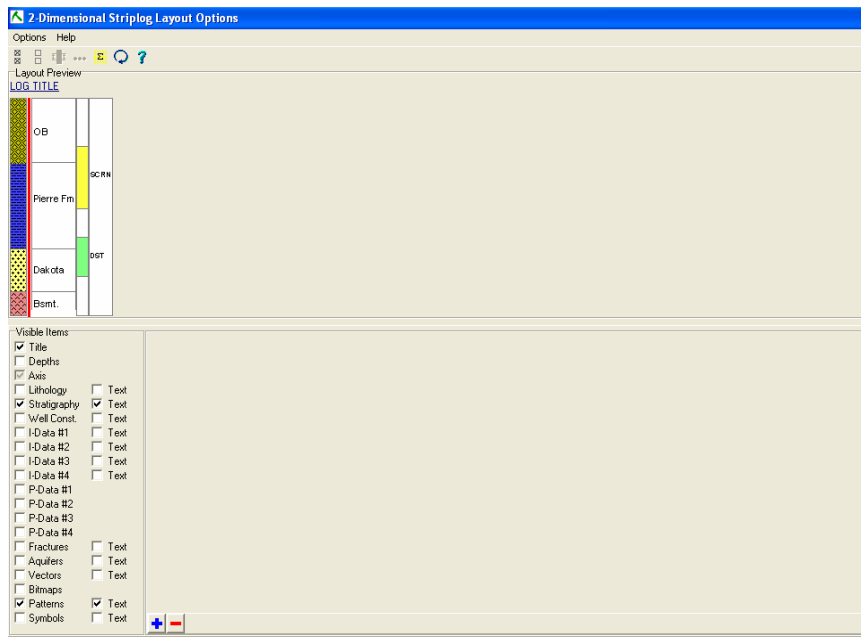
Επίσης παρέχεται η δυνατότητα μελέτης και παρουσίασης του συνόλου των γεωτρήσεων, από τις εντολές **Multi – Log Profile**, **Multi – Log Section**, **Multi – Log Map**, **Multi-Log 3 – D**, η τελευταία από τις οποίες θα χρησιμοποιηθεί ως πλέον κατατοπιστική.



Εικ. 5.37 : Το menu Striplogs και οι επιλογές του

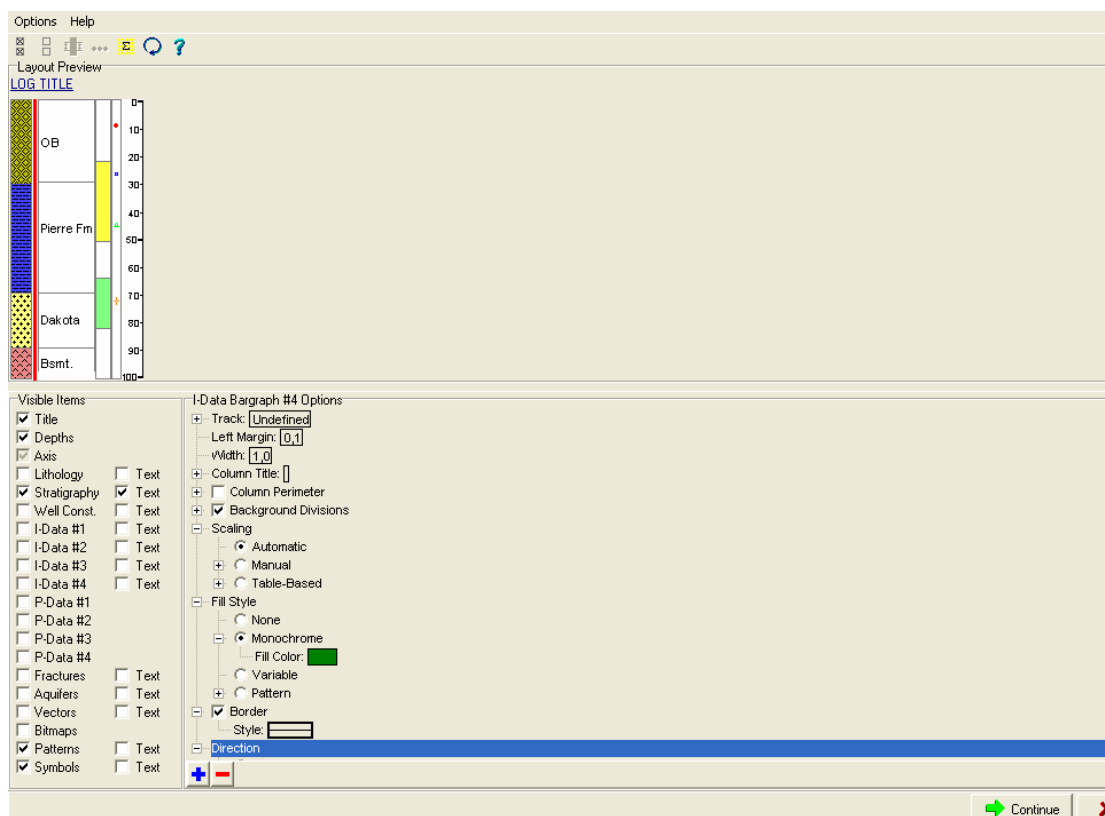
5.9.1 Οι επιλογές Single-Log (2 – D) και Single-Log (3 – D)

Αυτές οι επιλογές χρησιμοποιούνται προκειμένου να σχεδιαστεί μία γεώτρηση είτε σε δύο είτε σε τρεις διαστάσεις. Προκειμένου να σχεδιάσουμε σε 2 διαστάσεις, επιλέγουμε **Single – Log (2 – D)**, οπότε και ανοίγει το παρακάτω παράθυρο :



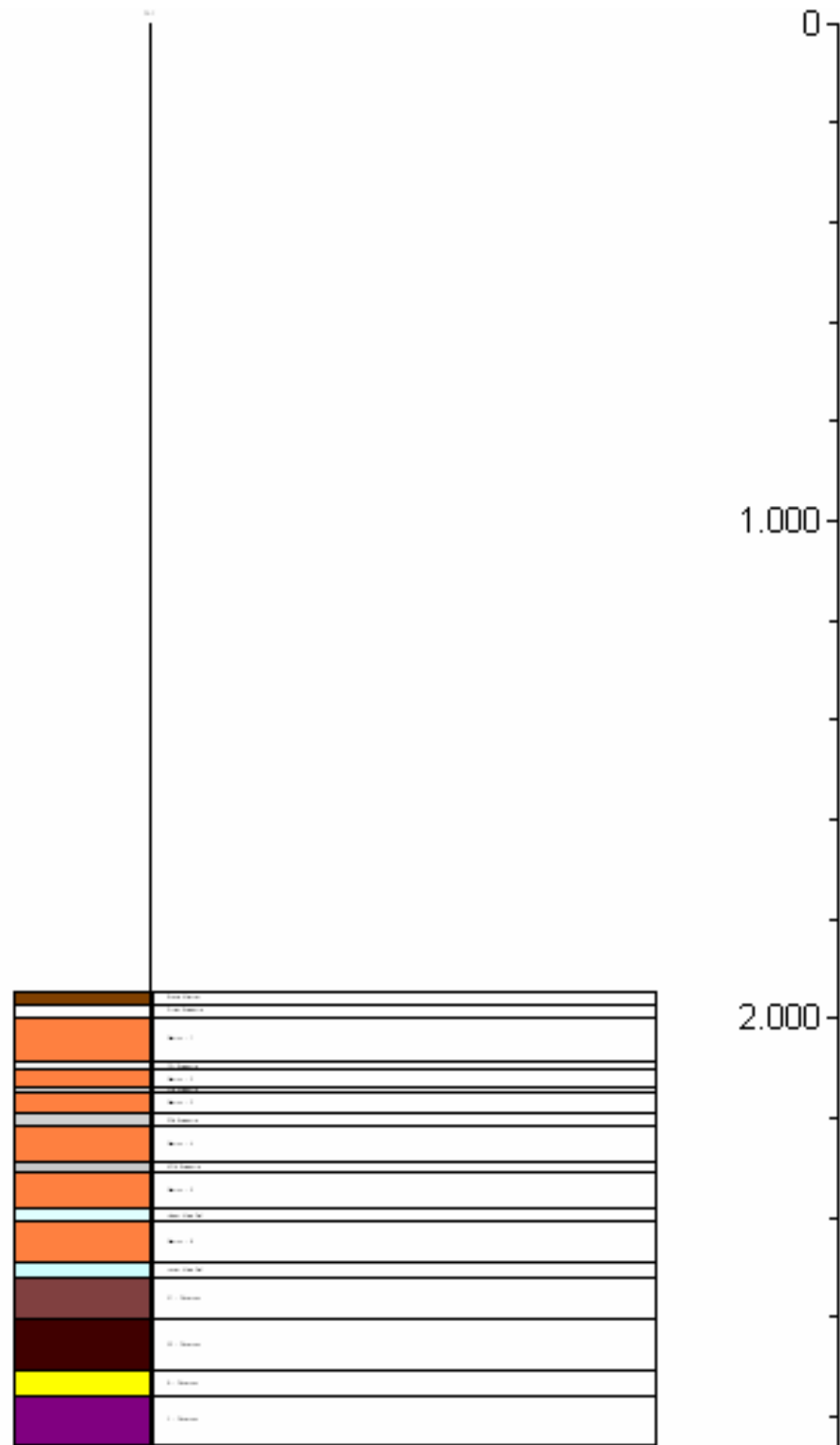
Εικ. 5.38 : Στο παράθυρο 2 – Dimensional Striplog Layout Options, παρουσιάζονται οι επιλογές για σχεδιασμό μιας γεώτρησης σε 2 διαστάσεις

Έχοντας επιλέξει μια γεώτρηση από την υποσελίδα Borehole Manager, επιλέγουμε επιπρόσθετα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως αυτά παρουσιάζονται κάτω αριστερά στο παραπάνω παράθυρο. Δηλαδή ο τίτλος, τα βάθη των στρωμάτων, αν τα δεδομένα μας είναι στρωματογραφικά ή λιθολογικά, επιπρόσθετες πληροφορίες (Text), σύμβολα, διανύσματα, ρήγματα, καθώς επίσης και το χαρακτηριστικό σχέδιο (pattern) του κάθε στρώματος. Με τις υπόλοιπες επιλογές δεν θα ασχοληθούμε εδώ.



Εικ. 5.39 : Οι επιλογές για το σχεδιασμό της δισδιάστατης απεικόνισης

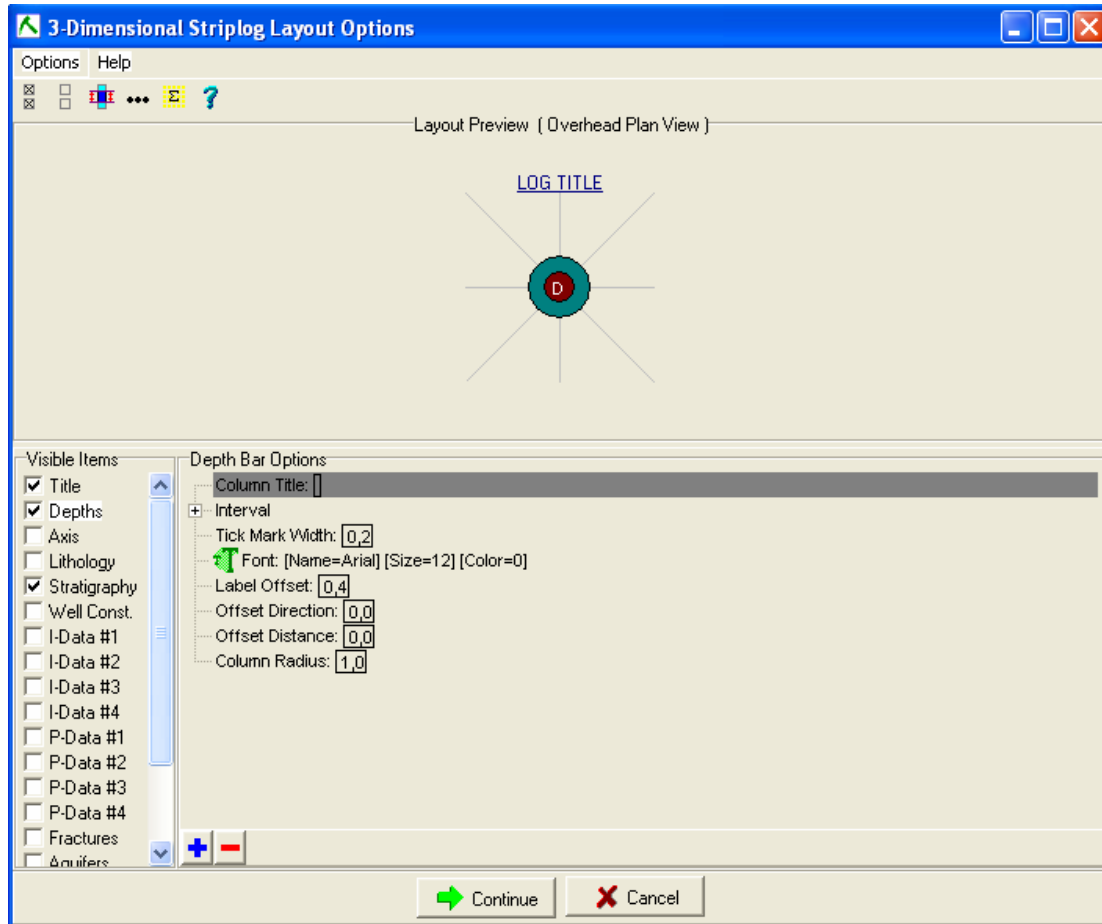
Για το σχεδιασμό της δισδιάστατης απεικόνισης, επιλέγεται, όπως φαίνεται παραπάνω **Title : On, Depths : On, Stratigraphy : On (Text : On), Patterns : On, Symbols : On**, με τις δευτερεύουσες επιλογές όπως διαμορφώνονται από το σύστημα. Στη συνέχεια πατάμε Continue και το πρόγραμμα σχεδιάζει σύμφωνα με τις επιλογές μας.



Εικ. 5.40 : Δισδιάστατη απεικόνιση της γεώτρησης PA – 1

Στο παραπάνω παράθυρο, διακρίνονται τα 18 στρώματα από τα οποία αποτελείται το μοντέλο που κατασκευάστηκε.

Στη συνέχεια σχεδιάζουμε την ίδια γεώτρηση σε 3 διαστάσεις, επιλέγοντας Single Log (3D), από το menu Striplogs, οπότε και ανοίγει το παρακάτω παράθυρο.



Εικ. 5.41 : Οι επιλογές για το σχεδιασμό τρισδιάστατης γεώτρησης

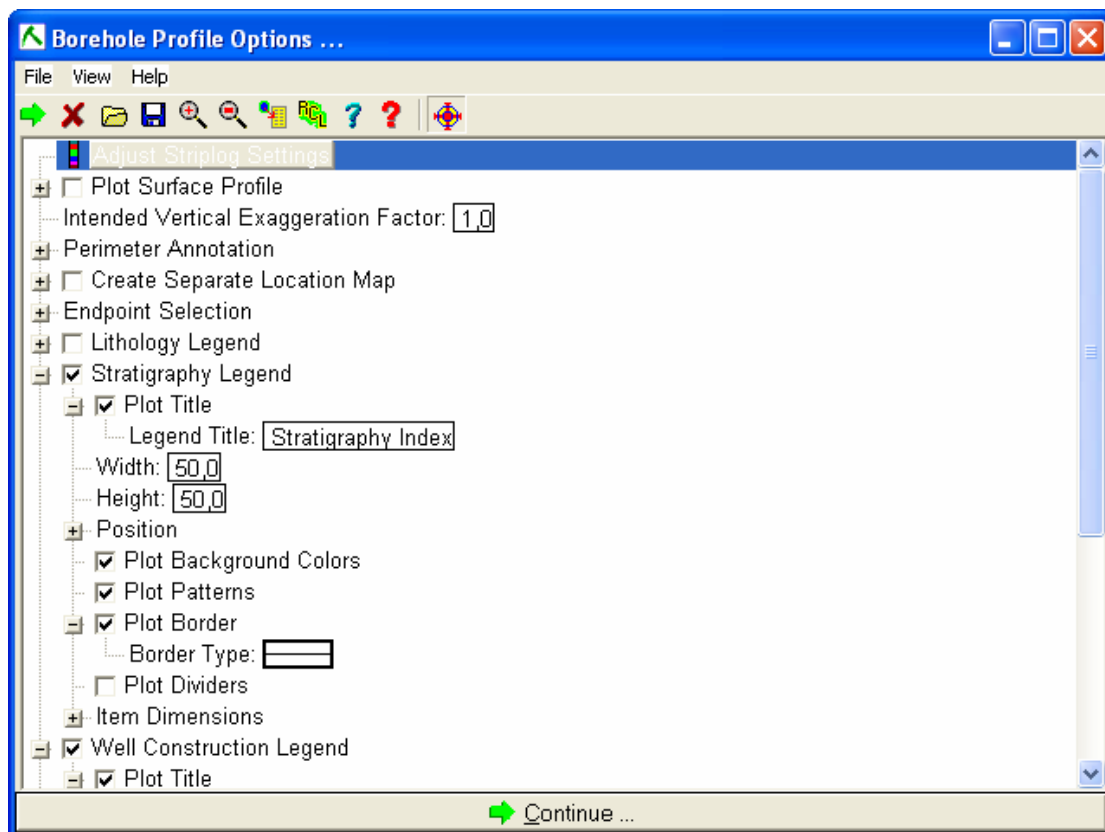
Για το σχεδιασμό της τρισδιάστατης γεώτρησης, επιλέγεται, όπως φαίνεται παραπάνω **Title : On, Depths : On, Stratigraphy : On (Text : On), Patterns : On**, με τις δευτερεύουσες επιλογές όπως διαμορφώνονται από το σύστημα. Στη συνέχεια πατάμε Continue και το πρόγραμμα σχεδιάζει σύμφωνα με τις επιλογές που έγιναν.



Εικ. 5.42 : Τρισδιάστατη στρωματογραφική απεικόνιση της γεώτρησης PA – 1, του δεύτερου μοντέλου, όπως αυτή σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις παραπάνω επιλογές

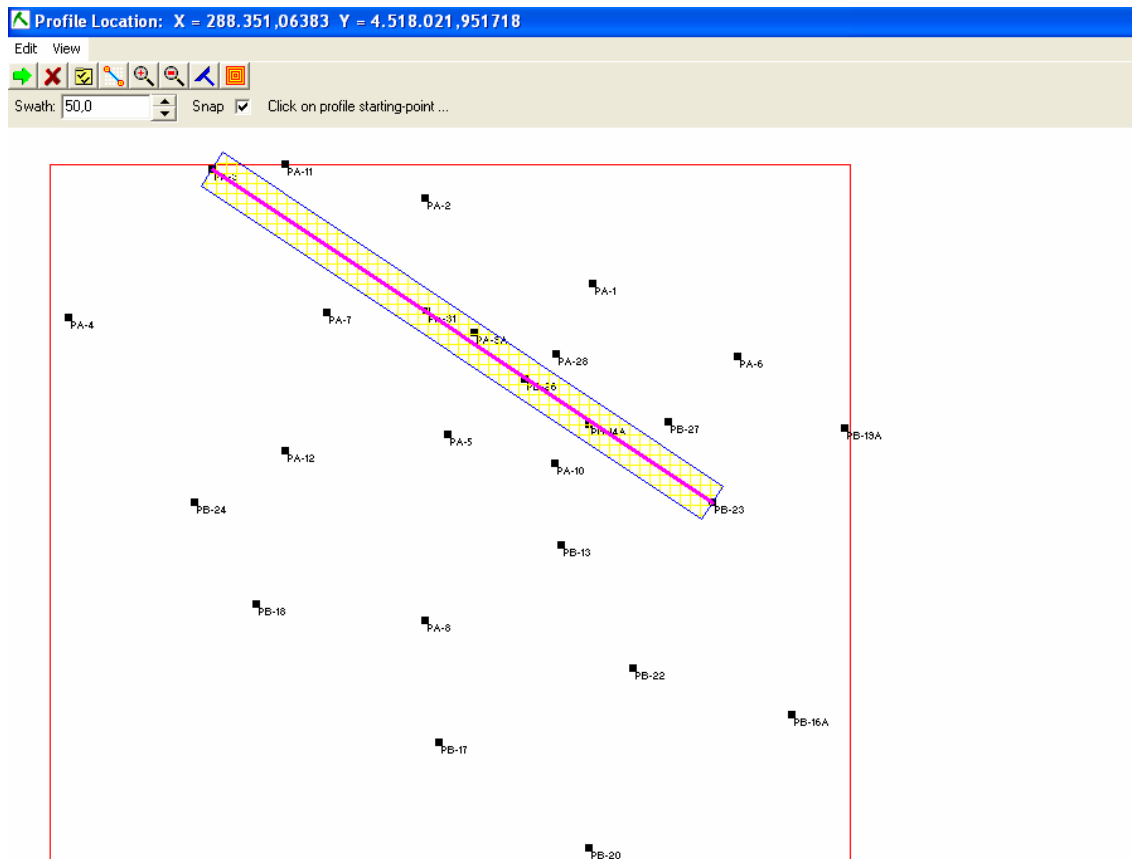
5.9.2 Οι επιλογή Multi – Log Profile

Αυτή η εντολή δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης της στρωματογραφίας πολλαπλών επιλεγμένων γεωτρήσεων κατά μήκος μιας γραμμής μελέτης. Η τελική απεικόνιση θα συμπεριλάβει μόνο τις γεωτρήσεις από τις οποίες περνά η γραμμή μελέτης που σχεδιάσαμε. Επιλέγοντας Multi – Log Profile ανοίγει το παρακάτω παράθυρο :



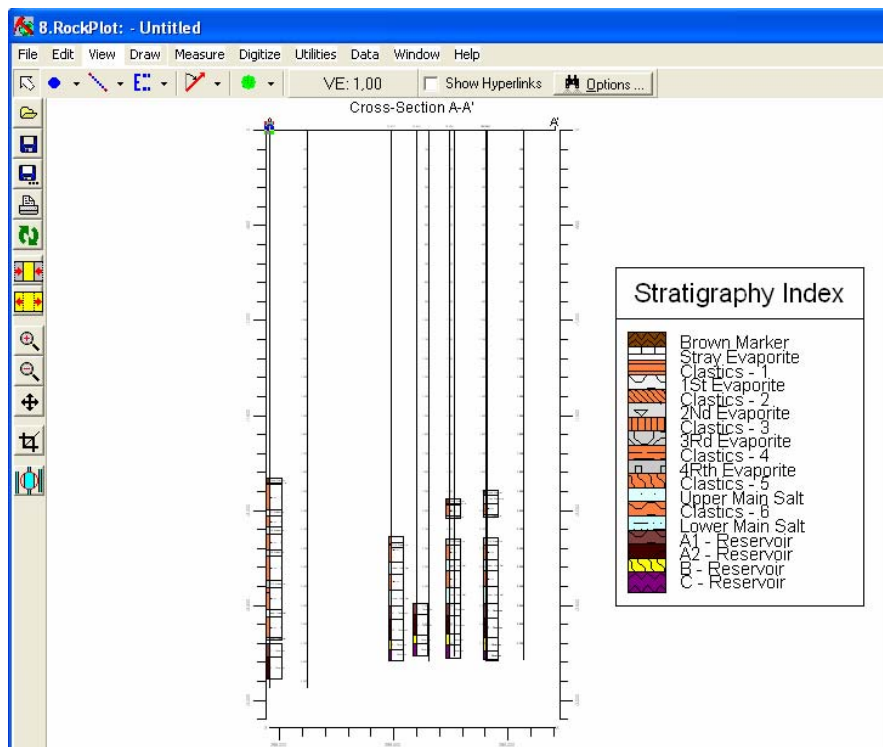
Εικ. 5.43 : Από το διπλανό παράθυρο επιλέγονται οι ρυθμίσεις του Multi – Log Profile

Στη συνέχεια αφού επιλέξουμε Continue, ανοίγει το παρακάτω παράθυρο που μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε τη γραμμή κατά μήκος της οποίας βρίσκονται οι επιλεγμένες γεωτρήσεις, τις οποίες επιθυμούμε να συμπεριλάβουμε στο Profile.



Εικ. 5.44 : Επιλογή της γραμμής μελέτης

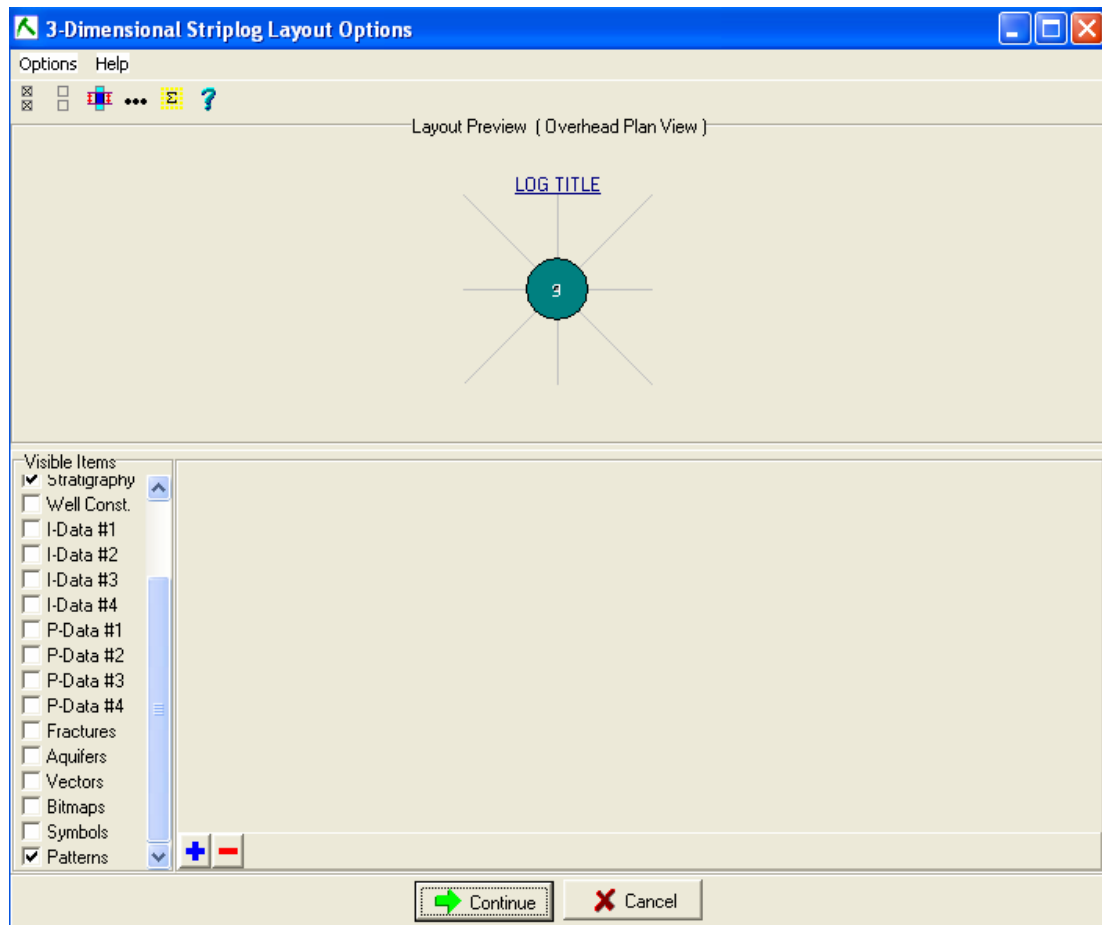
Πατώντας ξανά Continue, έχουμε :



Εικ. 5.45 : Παρουσίαση της ίδιας γραμμής μελέτης A – A', όπως προέκυψε από τις παραπάνω επιλογές, που έγινε για το τελικό μοντέλο

5.9.3 Η επιλογή Multi – Log 3 – D

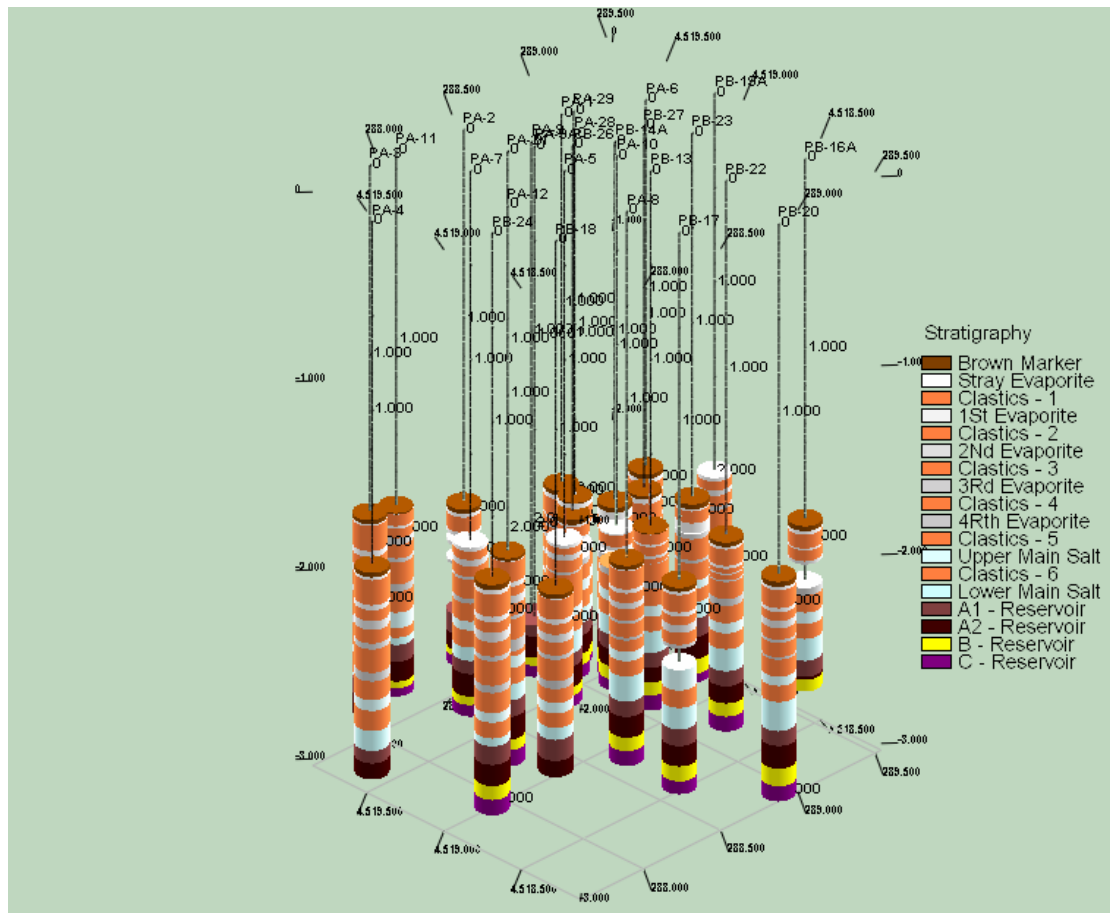
Από το **menu Striplogs**, επιλέγεται **Multi-Log 3 – D**, οπότε ανοίγει το παρακάτω παράθυρο :



Εικ. 5.46 : Επιλογές για το σχεδιασμό των γεωτρήσεων σε 3 διαστάσεις

Για το σχεδιασμό των τρισδιάστατων γεωτρήσεων, επιλέγεται, όπως φαίνεται παραπάνω **Title : On, Depths : On, Stratigraphy : On (Text : On), Patterns : On**, με τις δευτερεύουσες επιλογές όπως διαμορφώνονται από το σύστημα. Επίσης μια επιλογή που αφορά τις γεωτρήσεις, επιλέγεται Check All, (βρίσκεται κάτω από το menu Options).

Στη συνέχεια επιλέγεται Continue και το πρόγραμμα σχεδιάζει σύμφωνα με τις επιλογές μας.

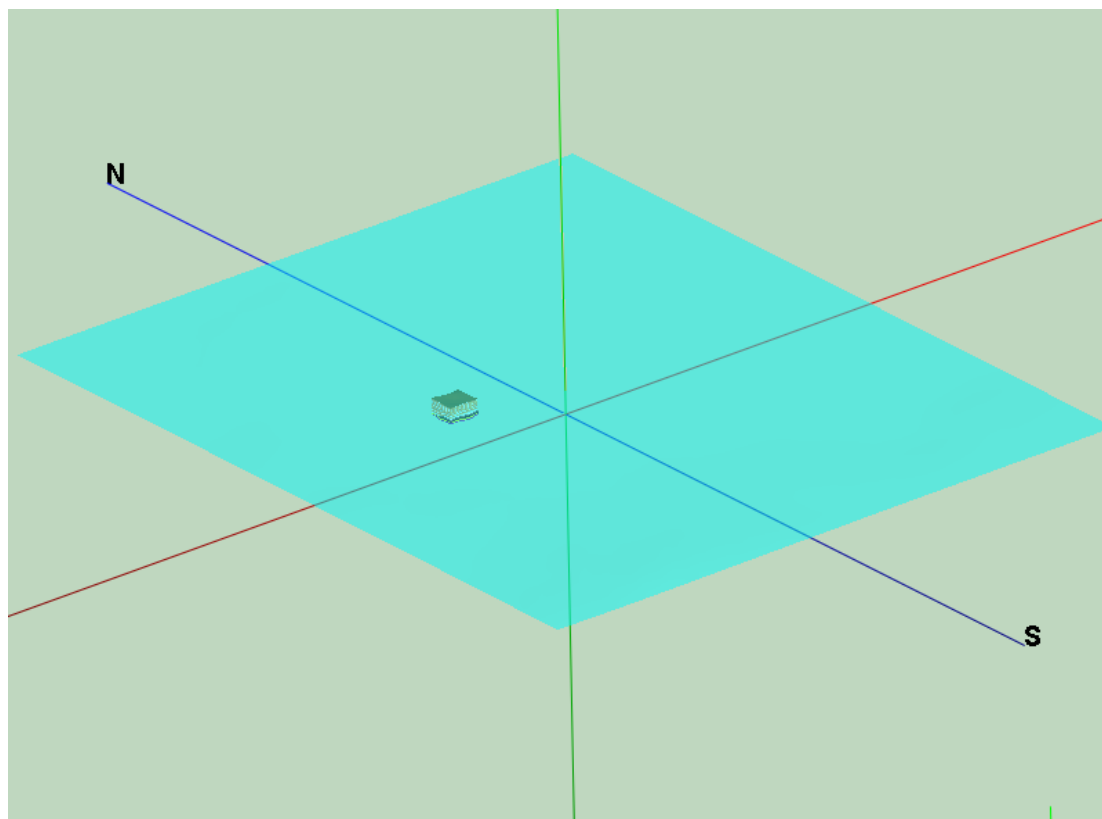


Εικ. 5.47 : Τρισδιάστατη απεικόνιση του συνόλου των γεωτρήσεων σύμφωνα με τη θέση τους και τα αντίστοιχα βάθη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σχέση μεγάλου βυθομετρικού χάρτη και μοντέλου ταμιευτήρα

Θα ήταν απαραίτητο να διασαφηνιστεί η αναλογία του βυθομετρικού χάρτη της περιοχής που παρουσιάζεται στο 3ο κεφάλαιο, (μεγάλος βυθομετρικός) σε σχέση με το μοντέλο που κατασκευάστηκε. Το μοντέλο είναι εξαιρετικά μικρό αναλογικά με το μεγάλο χάρτη. Η Εικ.6.1 είναι χαρακτηριστική των αναλογιών του μοντέλου σε σχέση με το μεγάλο βυθομετρικό χάρτη, ο οποίος είναι γαλάζιος, ώστε να φαίνεται σε συνδυασμό με το κοίτασμα.



Εικ. 6.1 : Το μοντέλο συνδυασμένο με το βυθομετρικό χάρτη, ο οποίος όμως δεν έχει χρώματα. Αξίζει να παρατηρηθούν οι αναλογίες

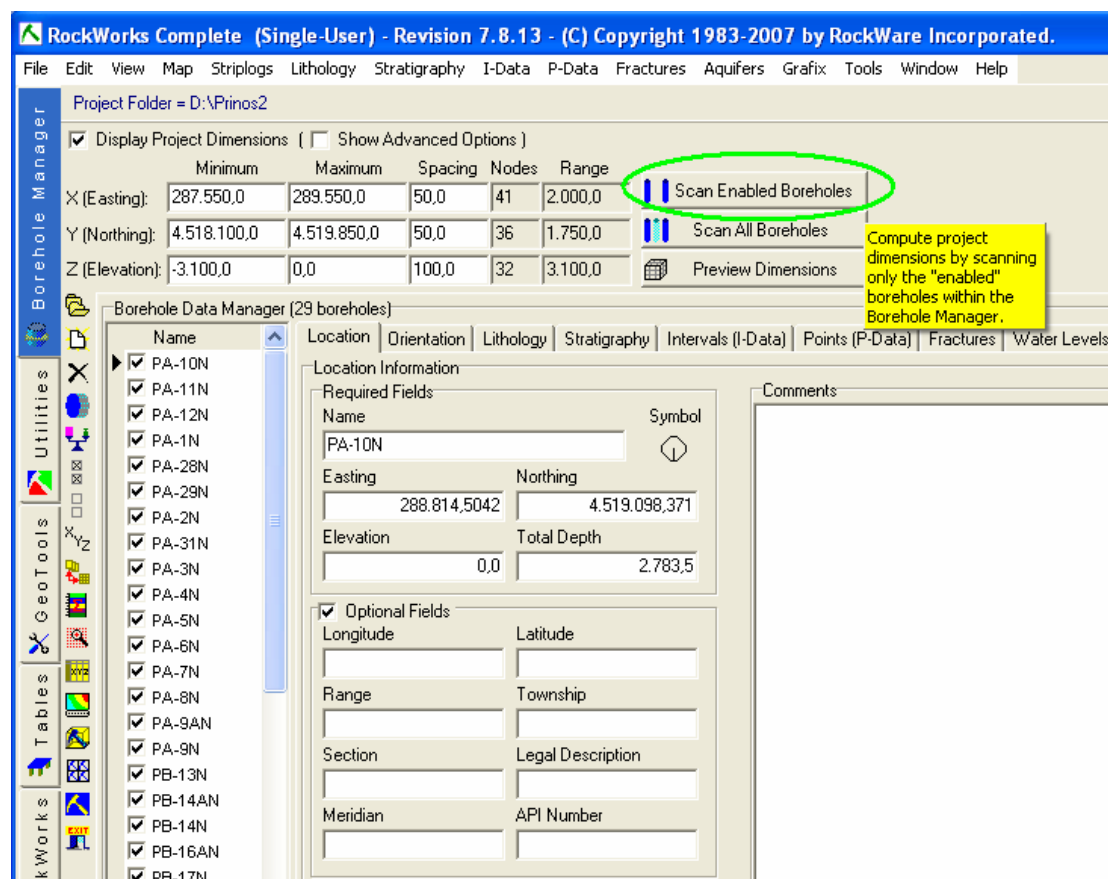
Το μοντέλο είναι διαστάσεων 2.000μ. κατά τον x άξονα, 1.750μ. κατά τον y άξονα, ενώ κατά τον z άξονα η μέγιστη τιμή του βάθους, λαμβάνει τιμή – 3035,5μ.

Οι αντίστοιχες τιμές για το βυθομετρικό χάρτη (γαλάζιο χρώμα), είναι 41.000μ. κατά το x άξονα, 49.000μ. κατά τον y άξονα, ενώ κατά το z η μέγιστη τιμή βάθους είναι – 338μ.

Ο y άξονας (B – N) είναι ο κυανός άξονας, ενώ ο κόκκινος άξονας, είναι ο x άξονας (A – Δ). Τέλος ο πράσινος άξονας είναι ο κάθετος στο βυθομετρικό χάρτη άξονας, δηλαδή ο z άξονας.

6.2 Παρουσίαση του μοντέλου που δημιουργήθηκε

Έχοντας επιλέξει τις ρυθμίσεις που περιγράφονται στα κεφάλαια 3, 4 και 5 ανοίγουμε το Rockworks, προκειμένου το πρόγραμμα να δημιουργήσει το μοντέλο μας και επιλέγουμε όπως φαίνεται στην Εικ.6.2 **Scan Enabled Boreholes**, οπότε και καθορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου, σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν επιλεγεί. Θα μπορούσε να επιλεγθεί **Scan All Boreholes**. Με αυτή την επιλογή το πρόγραμμα σχεδιάζει το μοντέλο, με πληροφορίες από όλες τις γεωτρήσεις. Δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά, αφού όλες οι γεωτρήσεις είναι επιλεγμένες.

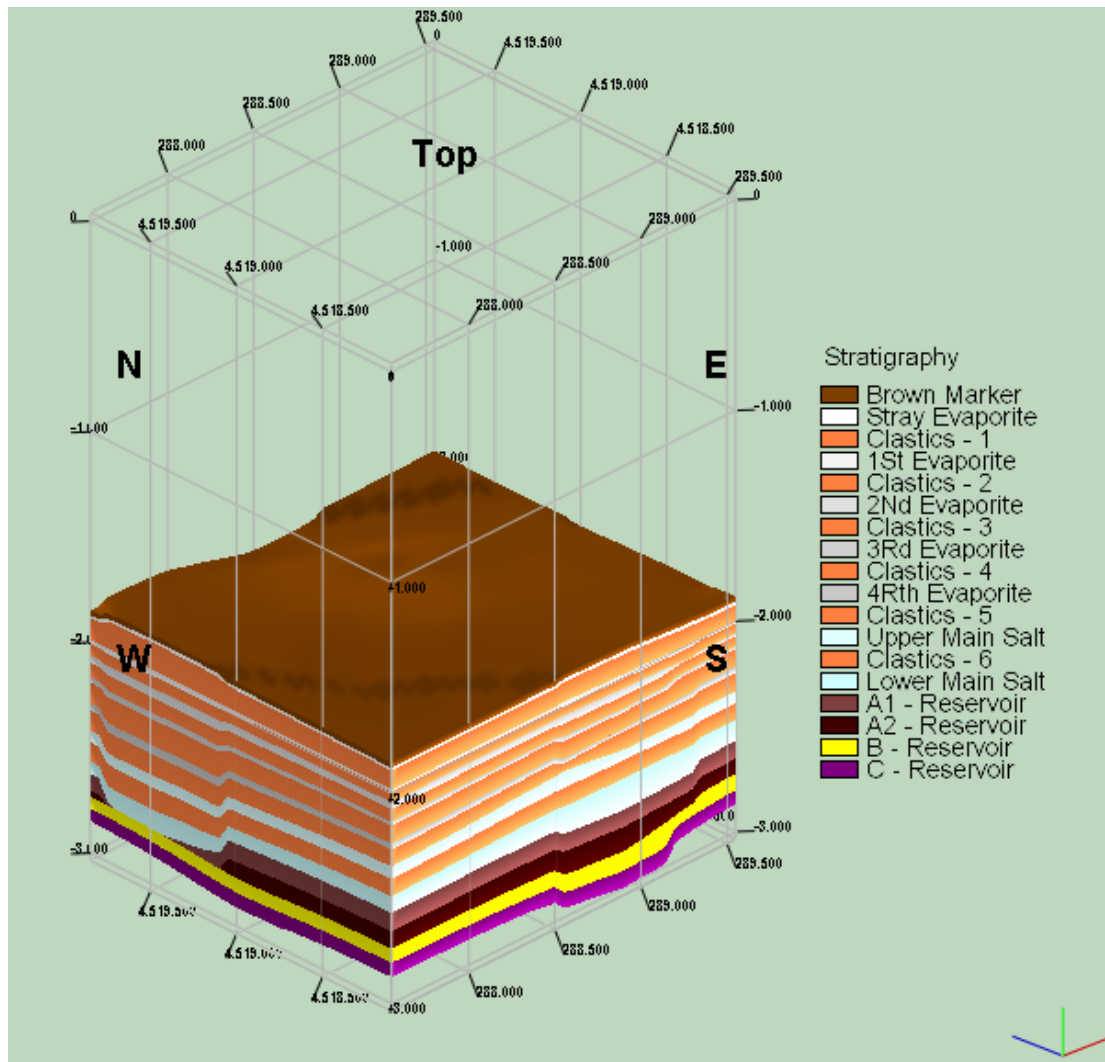


Εικ. 6.2 Επιλέγεται το πρόγραμμα να σχεδιάσει το μοντέλο με όλα τα δεδομένα των γεωτρήσεων

Στη συνέχεια επιλέγεται από το *menu stratigraphy* η επιλογή *model...* οπότε το Rockworks υλοποιεί το μοντέλο μας, με τις ήδη υπάρχουσες επιλογές όπως αυτές καθορίστηκαν στο κεφ.5. Στη συνέχεια επιλέγεται Continue.

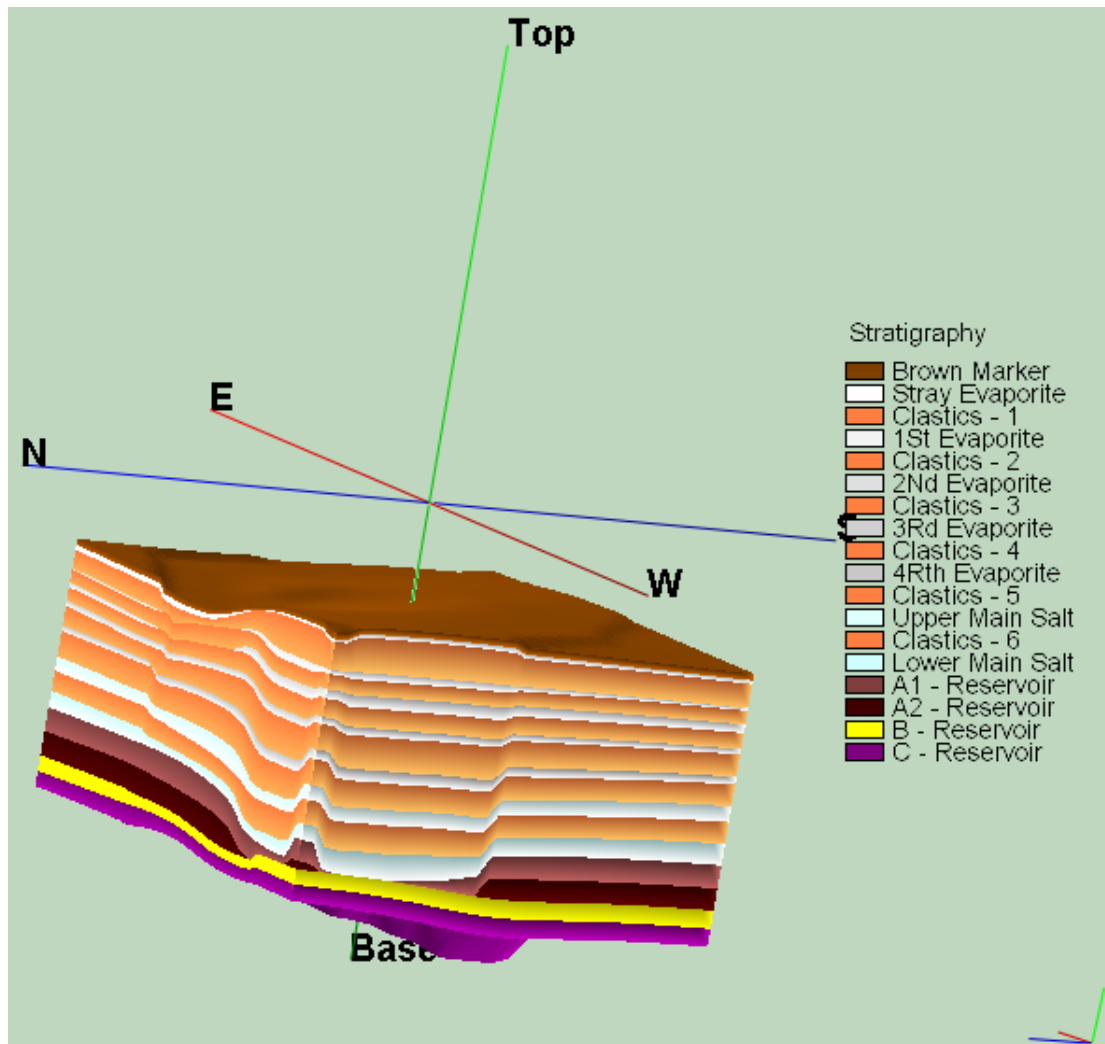
Στο σημείο αυτό μπορούν εύκολα να δημιουργηθεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός μοντέλων, αλλάζοντας μέρος ή όλες τις επιλογές μας. Το πιο απλό είναι να επιλεγθεί διαφορετικός αλγόριθμος σχεδίασης, οπότε και προκύπτουν διαφορετικά μοντέλα.

Στην (Εικ.6.3) παρουσιάζεται το μοντέλο όπως σχεδιάστηκε από το Rockworks, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν (κεφ.5) :



Εικ. 6.3 : Παρουσίαση του μοντέλου, όπως σχεδιάστηκε από τις ρυθμίσεις που έγιναν στα κεφ.5

Όσον αφορά το μοντέλο που σχεδιάστηκε, μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί μία αύξηση του πάχους του στρώματος των κλαστικών και των εβαποριτών, με κατεύθυνση προς τα ΒΔ, πράγμα το οποίο επαληθεύεται και από τις γεωλογικές περιγραφές, όσον αφορά την περιοχή σχεδίασης του μοντέλου. Αυτό φαίνεται καλύτερα εάν το παραπάνω μοντέλο περιστραφεί.

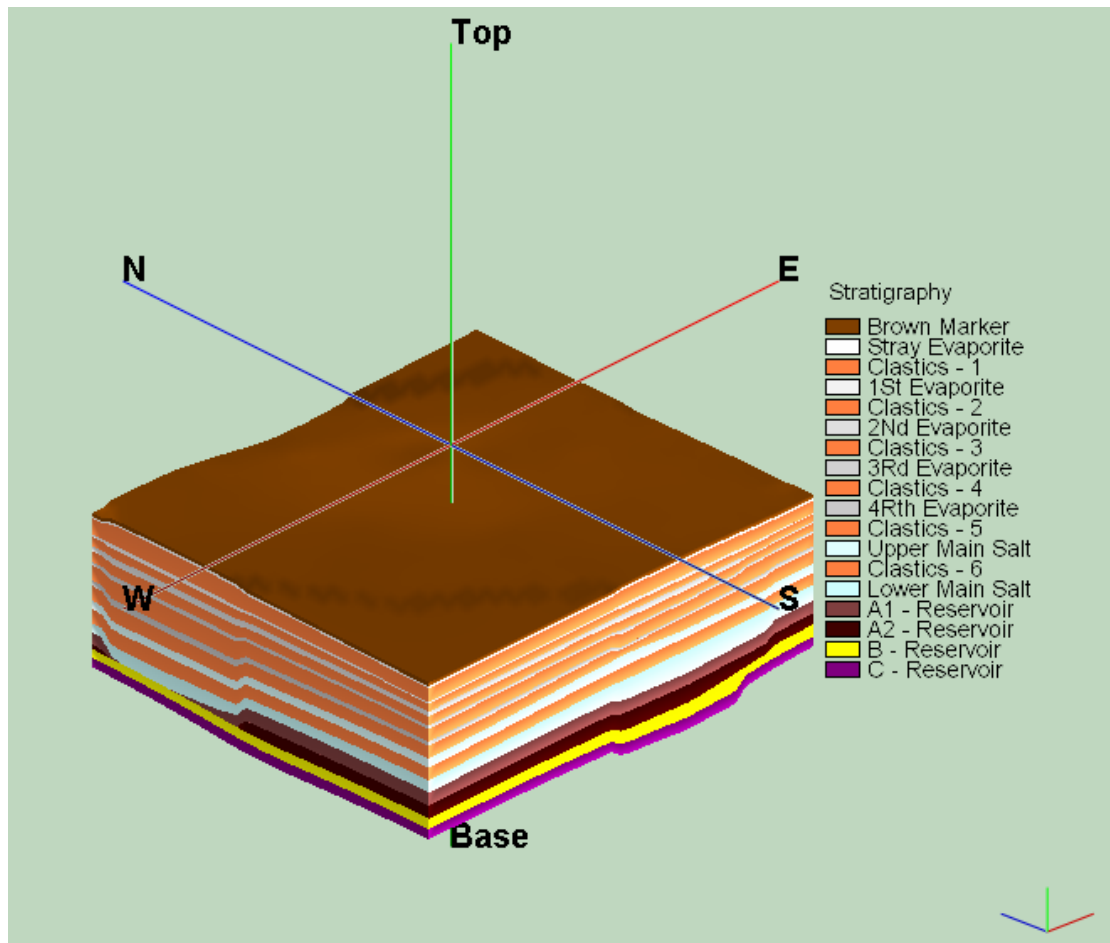


Εικ. 6.4 : Αύξηση του πάχους του στρώματος των εβαποριτών και των κλαστικών στην ΒΔ κατεύθυνση

Σύμφωνα με τη γεωλογία της περιοχής το αργιλικό στρώμα που υπάρχει μεταξύ των A1 και A2 ταμιευτήρων, δεν υπάρχει σε όλο το μήκος του ταμιευτήρα. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν αλλάζει πλήρως το όνομα αλλά χαρακτηρίζονται ως A1 και A2. Στο μοντέλο τα στρώματα ταμιευτήρες (A1+A2) επίσης ενώνονται σε ένα προς την ΒΔ κατεύθυνση. Όταν συμβαίνει αυτό, τότε έχουμε 1 μόνον επιφάνεια επαφής πετρελαίου – νερού, γεγονός που επηρεάζει και την εξόρυξη του πετρελαίου.

Όσον αφορά το πρώτο στρώμα, με την ονομασία **Brown Marker**, πρόκειται για μία **μάργα (marl)**, μικρού σχετικά πάχους το οποίο μάλιστα δε μεταβάλλεται σημαντικά και υπάρχει πάνω από την ενότητα των εβαποριτών του μοντέλου μας, σε όλο το μήκος και το πλάτος. Είναι ένα στρώμα οδηγός.

Από το συγκεκριμένο μοντέλο επίσης φαίνεται η αντικλινική μορφή του κοιτάσματος, ενώ καλύτερα διαφαίνεται από τις τομές. Τέλος οι απότομες εναλλαγές του βάθους που παρατηρούνται υποδηλώνουν την πιθανή ύπαρξη ρηγμάτων σε εκείνο το σημείο.



Εικ. 6.5 : Stretching του μοντέλου (Αξίζει να παρατηρηθούν από κοντά τα πάχη των στρωμάτων)

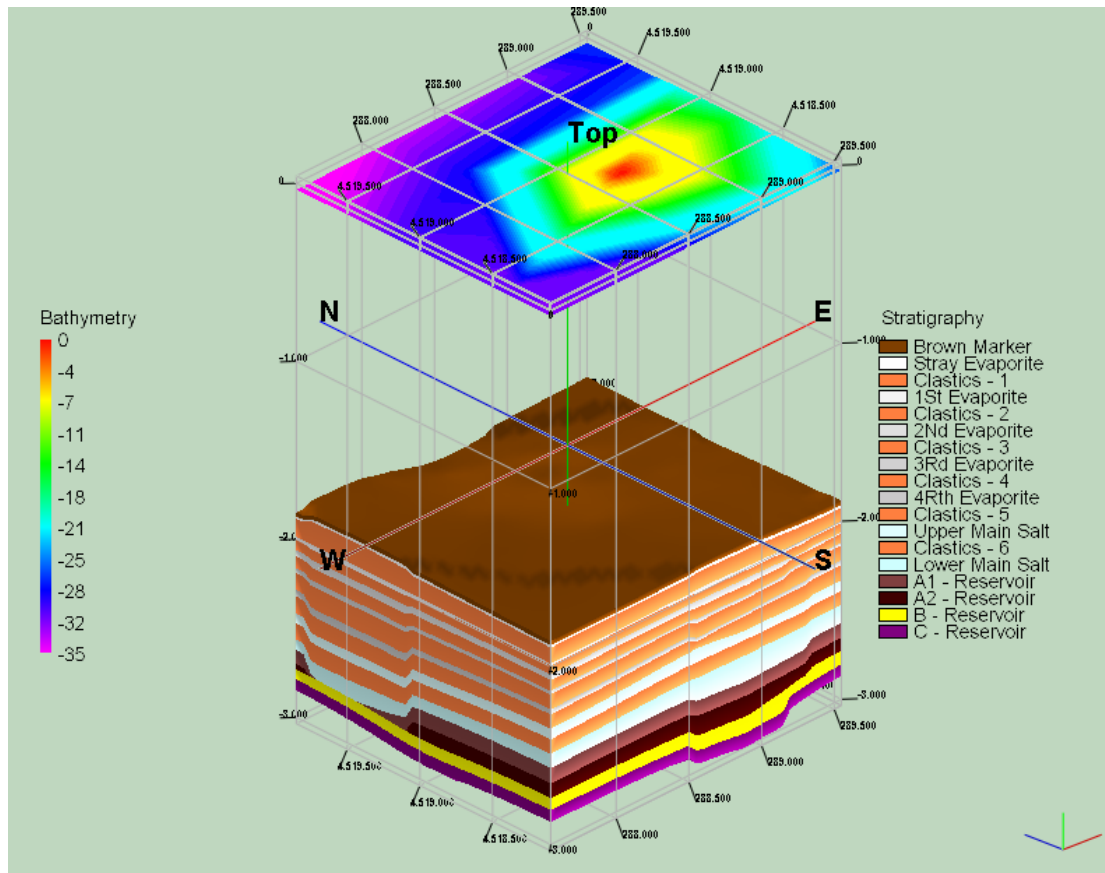
Οι πετρελαιοφόροι ψαμμίτες, αποτελούν τα 4 κατώτερα στρώματα του μοντέλου και ονομάζονται A1, A2, B, και C αντίστοιχα. Ο λόγος που το A ψαμμιτικό στρώμα διαχωρίζεται σε 2 διαφορετικά A1 και A2, είναι επειδή σε ορισμένες περιοχές αυτά τα 2 ενώνονται σε ένα αποκτώνοντας κοινή επιφάνεια νερού πετρελαίου. Για το μέσο πάχος των στρωμάτων ισχύουν τα ακόλουθα δεδομένα, που επαληθεύονται και από τα πάχη του μοντέλου που σχεδιάστηκε :

	Top	Bottom
Reservoir A (A1+A2)	2488.5 m	2636 m
Reservoir B	2642 m	2737 m
Reservoir C	2743 m	2785 m

6.3 Συνδυασμός του βυθομετρικού χάρτη με το μοντέλο του κοιτάσματος

Ο συνδυασμός του βυθομετρικού χάρτη με το μοντέλο του κοιτάσματος που αποτελεί και το τελικό προϊόν σχεδίασης αυτής της εργασίας, έγινε με χρήση της εντολής **Append** από το menu **File**, στο παρακάτω παράθυρο, έχοντας ήδη σχεδιαστεί ένα από τα δύο αντικείμενα. Τα δύο αρχεία ήταν τύπου .xml.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το στρωματογραφικό μοντέλο σε συνδυασμό με τον πυθμένα προκειμένου να απεικονιστεί το βάθος του ταμιευτήρα.



Εικ. 6.6 : Συνδυασμός του βυθομετρικού χάρτη με το πρώτο μοντέλο του κοιτάσματος

Το μοντέλο, λοιπόν, που σχεδιάστηκε σύμφωνα με όλα τα παραπάνω είναι αρκετά αντιπροσωπευτικό για απλό γεωμετρικό μοντέλο του κοιτάσματος.

Παραδοχές

Οι παραδοχές που έγιναν και αφορούν το τελικό μοντέλο που δημιουργήθηκε είναι οι ακόλουθες :

- Ένα λεπτό στρώμα αλάτων που υπόκειται του Stray Evaporite, και ονομάζεται Substray Evaporite έχει παραληφθεί. Το στρώμα βρίσκεται ανάμεσα στα κλαστικά του πρώτου στρώματος, ενώ οι εκτιμήσεις για το πάχος του ποικίλλουν σημαντικά από 13,5 έως και 40 μέτρα. Το πρόβλημα είναι ότι από τις συνολικά 29 γεωτρήσεις από τις οποίες ελήφθησαν δεδομένα υπήρχε μόνο σε 2. Δεν θεωρήθηκε λοιπόν ως ξεχωριστό στρώμα και δεν προστέθηκε στο μοντέλο. Μπορεί να αποτελεί απλώς μια τοπική εμφάνιση.
- Ένα λεπτό στρώμα αργίλων που υπέρκειται του A1 ταμιευτήρα και χαρακτηρίζεται ως O.P.C (Over Pressed Clay) έχει συμπεριληφθεί στο τελευταίο στρώμα αλάτων. Οι άργιλοι αυτοί που εμποδίζουν το πετρέλαιο να διαφύγει, περιέχουν ρευστά σε υψηλή πίεση. Το μέσο πάχος του στρώματος από τα δεδομένα μας, είναι γύρω στα 4,78 μέτρα., ενώ το πραγματικό μέσο πάχος πρέπει να είναι ακόμα μικρότερο. Δεν περιέχονταν σε όλες τις γεωτρήσεις, πράγμα που θα έπρεπε αφού υπέρκειται των ταμιευτήρων.

- Όσον αφορά το σχεδιασμό των ταμιευτήρων, τα λεπτά στρώματα αργίλων που βρίσκονται ανάμεσα στους ταμιευτήρες έχουν παραληφθεί. Τα πάχη τους που είναι μικρότερα των τριών μέτρων το καθένα, δεν δίνονται ως χωριστά στρώματα. Κάθε φορά αυτό το μικρό πάχος προστίθεται στο στρώμα που υπέρκειται, δηλαδή όσον αφορά το σχεδιασμό των ταμιευτήρων η οροφή του ενός στρώματος θεωρούνταν ο πυθμένας του άλλου.
- Στο μοντέλο που σχεδιάστηκε δεν υπάρχουν ρήγματα, εντούτοις οι απότομες αλλαγές στο πάχος των στρωμάτων υποδηλώνουν πιθανή ύπαρξη ρήγματος.

Συμπεράσματα

Το τελικό μοντέλο που σχεδιάστηκε στην παρούσα εργασία, αποτελείται από 18 στρώματα. Ένα στρώμα οδηγό (Brown Marker), 7 στρώματα εβαποριτών και αλάτων, 6 στρώματα κλαστικών που βρίσκονται ανάμεσα στα στρώματα των εβαποριτών αλάτων, και 4 στρώματα που είναι οι ταμιευτήρες υδρογονανθράκων.

Τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν και φαίνονται στα δεξιά της παραπάνω εικόνας είναι το καστανό για το Brown Marker, το ερυθροκίτρινο για τα κλαστικά, ενώ για τα στρώματα των εβαποριτών χρησιμοποιήθηκαν κατά κλίμακα από πάνω προς τα κάτω αποχρώσεις του λευκού, δηλαδή το χρώμα μετεβλήθη από λευκό έως ανοικτό τεφρό. Για τα δύο στρώματα αλάτων, χρησιμοποιήθηκαν αποχρώσεις του κυανού. Για τους ταμιευτήρες χρησιμοποιήθηκαν από πάνω προς τα κάτω ερυθροκάστανο (A1), σκούρο ερυθροκάστανο (A2), κίτρινο (B) και βυσσινί (C).

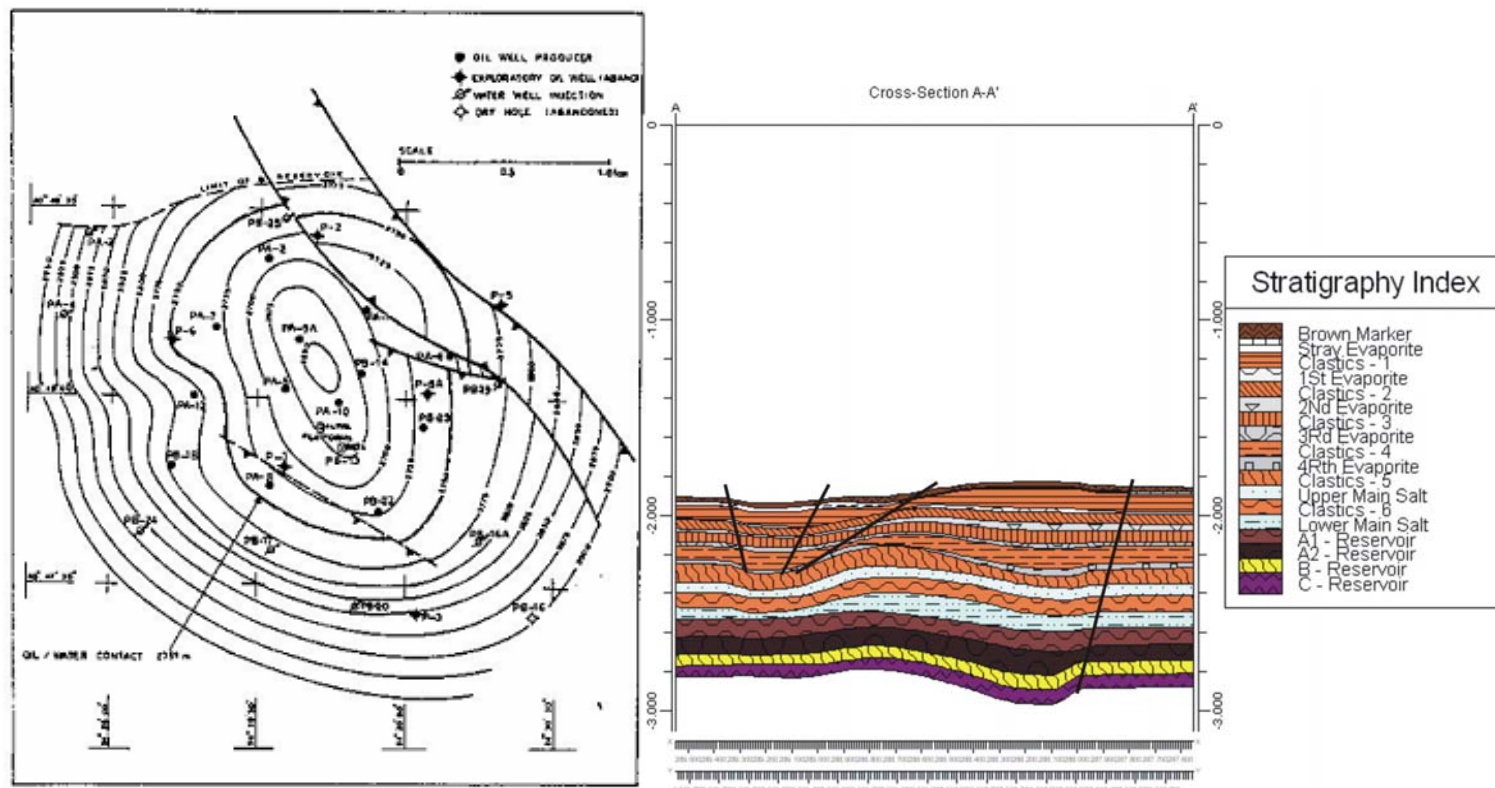
Ο μικρός βυθομετρικός χάρτης που αντιστοιχεί ακριβώς πάνω από το κοιτάσμα σχεδιάστηκε με τη μέθοδο του τριγωνισμού (Triangulation) και την επιλογή (Interpolate Edge Points).

Όσον αφορά τα στρώματα των εβαποριτών, ο δεύτερος εβαπορίτης έχει πολύ μεγαλύτερο πάχος σε σχέση με τους άλλους δύο. Επίσης τα στρώματα αλάτων (Upper Main Salt) και (Lower Main Salt), εμφανίζονται πολύ μεγαλύτερα σε πάχος από τα στρώματα των εβαποριτών. Το κατώτερο στρώμα αλάτων (Lower Main Salt) είναι πολύ παχύτερο από το ανώτερο (Upper Main Salt).

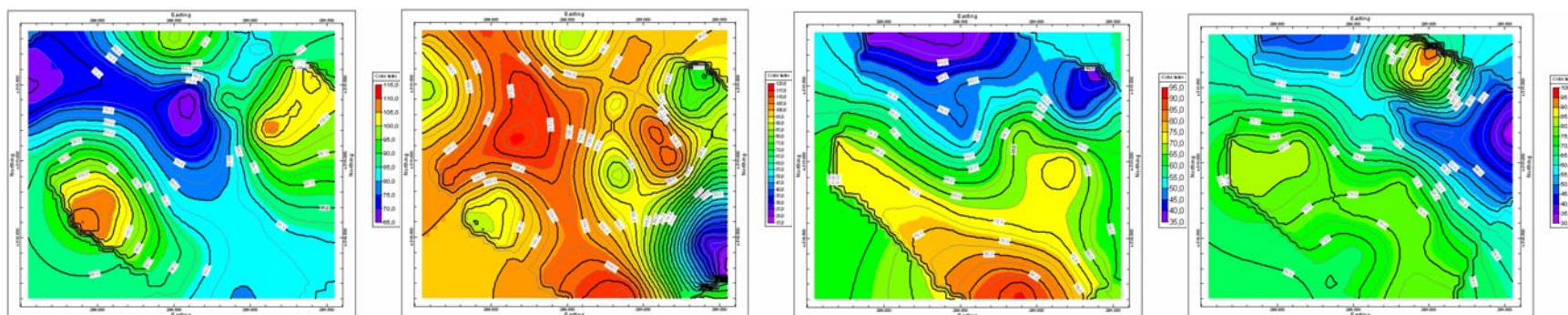
Αν και στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της τεκτονικής ανάλυσης της περιοχής παρ' όλα αυτά η τρισδιάστατη προσομοίωση των λιθολογικών ενοτήτων **εμφάνισε θέσεις που μπορούν να ερμηνευτούν μόνο με την παρουσία ρηγμάτων**. Έτσι λοιπόν στο πρώτο και τέταρτο τεταρτημόριο εμφανίζονται ρήγματα διεύθυνσης BBΔ – NNA που βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με δημοσιευμένα στοιχεία. Επιπρόσθετα όπως φαίνεται και από την εικ. 6.7 αυξομειώσεις των παχών μπορούν να ερμηνευτούν μόνο με ύπαρξη τεσσάρων ρηγμάτων τα οποία θα μπορούσαν να συγκριθούν επίσης με λεπτομερή δημοσιευμένα στοιχεία.

Ο χάρτης ισοπαχών των διαφόρων ταμιευτήρων του κοιτάσματος μας παρέχει πληροφορίες για το πάχος του κοιτάσματος σε συγκεκριμένα βάθη, αντιμετωπίζοντας το σύνολο των πετρελαιοφόρων ψαμμιτών ως ένα στρώμα αυξομειούμενου πάχους.

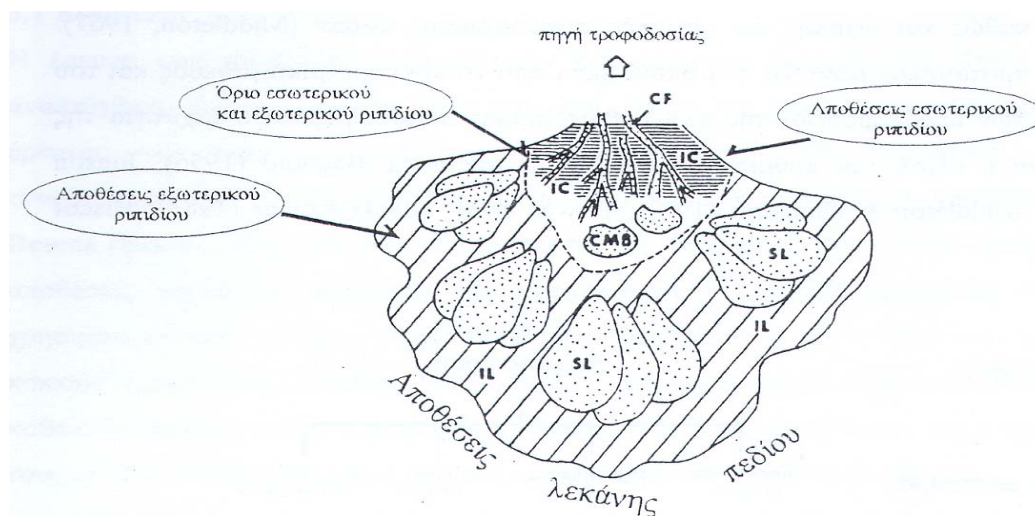
Σύγκριση των τεσσάρων ταμιευτήρων (ξέχωρα αλλά και ενοποιημένων εικ. 6.8 α, β και γ) οδηγεί στο συμπέρασμα **ότι η πηγή τροφοδοσίας των κλαστικών ιζημάτων θα πρέπει να αναζητηθεί στα ΒΔ του κοιτάσματος**. Το συμπέρασμα αυτό θα μπορούσε να φανεί χρήσιμο στην ερμηνεία της δημιουργίας και εξέλιξης της λεκάνης Πρίνου – Καβάλας που έχει υποδιαιρεθεί σε δύο μικρότερες λεκάνες, την βορειότερη υπολεκάνη του Νέστου και την νοτιότερη υπολεκάνη του Πρίνου, διαχωριζόμενες μεταξύ τους από ένα τοπογραφικά υψηλό επίπεδο. Ρήγματα με κατεύθυνση ΒΔ – ΝΑ κατά μήκος του νοτιότερου μετώπου του υβώματος αναπτύχθηκαν ομόρροπα με την ιζηματογένεση, μετακινώντας τα ιζήματα νοτιοδυτικά στα βαθύτερα μέρη της λεκάνης του Πρίνου, πράγμα που οδήγησε σε μεγάλους σχηματισμούς ιζημάτων (Προέδρου, 1986).



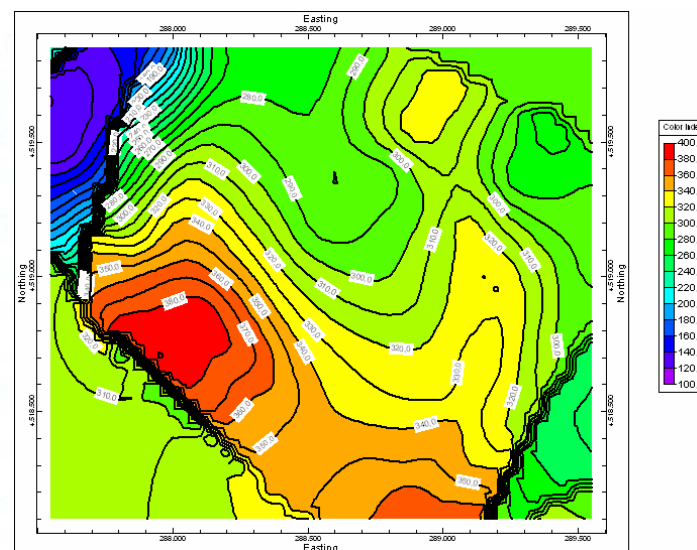
Εικ. 6.7 : Ερμηνεία παρατηρούμενων αυξομειώσεων σε πάχη των λιθολογικών ενοτήτων κατά μήκος της τομής του μοντέλου σε διεύθυνση BBA – NNΔ και σύγκριση με θέσεις ρηγμάτων του κοιτάσματος



Εικ. 6.8α : Χάρτης ισοπαχών ενότητας A1, χάρτης ισοπαχών της ενότητας A2, χάρτης ισοπαχών ενότητας B, χάρτης ισοπαχών της ενότητας C



Εικ. 6.8β : Μοντέλο απόθεσης και κατανομής των υποπεριβαλλόντων αποθέσεων υποθαλάσσιων ριτιδίων (Mutti et al, 1984).



Εικ. 6.8γ Χάρτης ισοπαχών των ενοποιημένων ενότητων A1, A2, B και C (reservoir) του κοιτάσματος του Πρίνου

Βιβλιογραφία – References (Ελληνική – Greek)

- 1. Βακαλάς Ι. (2003) :** *Εξέλιξη των λεκανών προχώρας της Δυτικής Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών Τμήματος Γεωλογίας, σελ.365, Πάτρα.*
- 2. Βαρότσης Ν. (2005) :** *Εκμετάλλευση ταμιευτήρων. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, σελ.141, Χανιά.*
- 3. Δερμιτζάκης Μ. (1986) :** *Εισαγωγή στη γεωλογία των πετρελαίων.*
- 4. Πασαδάκης Ν. (2005) :** *Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός ενεργειακών πρώτων υλών. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, σελ.135, Χανιά.*
- 5. Σαραντοπούλου Ε. & Τούντα Δ. (1991) :** *Ορυκτολογική, Πετρολογική και Γεωχημική μελέτη εβαποριτικών εμφανίσεων της περιοχής Αλτσί – Κρήτης. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.*
- 6. Τίγκας Ι., Λογοθέτης Σ., Τίγκας Α. (2001) :** *Η αναγκαιότητα της υπό επιφανειακής αποθηκεύσεως φυσικού αερίου εις την Ελλάδα. Η περίπτωση των κοιτασμάτων της Νοτίου Καβάλας και του Πρίνου.*
- 7. Τίγκας Ι., Λογοθέτης Σ., Τίγκας Α. (2001) :** *Διευρυμένη ανάκτησις πετρελαίου δια καυσασερίων θερμοηλεκτρικών σταθμών, H₂S και CO₂ του αερίου συνθέσεως αμμωνίας και πετροχημικών μονάδων. Η περίπτωση του Πρίνου.*

Βιβλιογραφία – References (Αγγλική – English)

- 1. Bouma, A. H., (1962) :** *Sedimentology of some flysch deposits: Amsterdam, Elsevier, 168 p.*
- 2. Didyk, A., et al. (1978) :** *Organic Geochemical indication of paleoenvironmental conditions of sedimentation. Nature. 272. 216 – 222.*
- 3. Einsele G. (2000) :** *Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget. – (Springer-Verlag), Berlin - Heidelberg.*
- 4. Georgakopoulos A. (1992). History, status and future considerations of hydrocarbon exploration in Greece. First Break, Vol. 10, No 11: 413 – 416.**
- 5. Georgakopoulos A. (1998) :** *Lithology and Stratigraphy of the Neogene Prinos – Kavala basin, Northern Greece : Geological society of Greece, Special Publications, No 9. 79-84, 2000.*
- 6. Hunt J.-M. (1996) :** *Petroleum Geochemistry and Geology. W.H. Freeman and Company. New York, 743 pp.*
- 7. Kioumourtzi P. et al., (2007) :** *Geochemical characterization of satellite hydrocarbon formations in Prinos-Kavala basin (North Greece), in Proc. Of the XXXX Geological society of Greece, Athens, May, 2007pp 839-850.*

8. **Kiountourzi P. et al., (2007) : Source rock and depositional analysis study of three hydrocarbon fields in Prinos-Kavala basin (North Aegean).**
9. **Manoutsoglou et al. (2001) : Αναθεώρηση του γεωλογικού χάρτη και τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής του παραγγιού της Σαμαριάς. – Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 34/1: 29 – 36, Αθήνα.**
10. **Mutti E., Ricci Lucchi F., Seguret M., Zanzucchi G. (1984) : Seismoturbidites: a new group of resedimented deposits. – Marine Geol 55 : 103 – 116.**
11. **Pasadak N. et al. 2005 : A comparative study of oils from Kavala Basin using biomarkers analysis. 2nd conference of the committee of economical geology, mineralogy and geochemistry of the geological society of Greece, Thessaloniki, October, 309 – 317.**
12. **Pollak W.H. (1979) : Structural and lithological development of the Prinos-Kavala basin, sea of Thrace, Greece. Ann. Geol. Pays Hellenique., Tome hors serie II, 1003 – 1011.**
13. **Proedrou P. (1979) : The evaporite formation in the Nestos - Prinos graben in the Northern Aegean Sea, Annex Geologique Pays Hellenic, tome hors serie fash II, 1013 – 1020, Athens.**
14. **Proedrou P. (1986) : New age determination of the Prinos Basin. Proc. Of the XX/2 Geological society of Greece, May, 141-147.**
15. **Proedrou P. and Papaconstantinou P., (2004) : Prinos Basin – A model for exploration. Proc. Of the XXXVI Geological society of Greece, Thessaloniki, April, 327 – 333.**
16. **Proedrou and Sidiropoulos Th. (1992) : Prinos field – Greece, Aegean basin, structural traps : Treatise of petroleum geology, atlas of oil and gas fields, AAPG, p.275 – 291.**
17. **Warren J. (1999) : EVAPORITES Their Evolution and Economics. Blackwell Science**
18. **Zimmerle W. (1995) : Petroleum Sedimentology. Kluwer Academic Publishers. Dordecht, 413 pp.**

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. *<http://www.energeia.gr>*
2. *<http://www.regal.com>*
3. *<http://www.tovima.gr>*