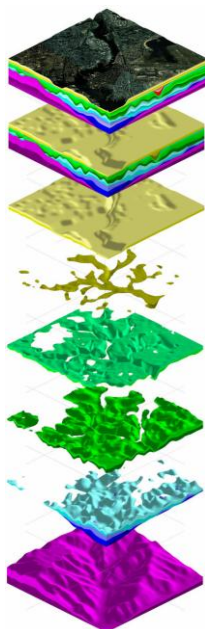




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙ-
ΣΜΩΝ ΤΗΣ ΙΟΝΙΟΥ ΖΩΝΗΣ ΣΤΗΝ ΗΠΕΙΡΟ



ΚΛΕΑΝΗ Γ. ΚΑΡΟΛΙΝΑ

Εξεταστική Επιτροπή

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

Μαρκόπουλος Θεόδωρος, Καθηγητής

Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Λέκτορας

ΧΑΝΙΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Στην οικογένεια μου..

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία τρισδιάστατων σύνθετων γεωλογικών μοντέλων στην περιοχή Δελβινάκι της Δυτικής Ηπείρου, που δομείται από πετρώματα της Ιονίου Ζώνης, τα οποία εμπεριέχουν σχιστόλιθους, κερατολίθους, ανθρακικά και φωσφορούχα πετρώματα, φωσφορίτες και κατά θέσεις ουρανιούχους φωσφορίτες. Με τα μοντέλα αυτά θα γίνει μία πρώτη προσέγγιση της χωρικής κατανομής των φωσφοριτών και της ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας και θα απεικονιστούν υποεπιφανειακά γεωλογικά στοιχεία των περιοχών ενδιαφέροντος.

Πέραν των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία για τα μοντέλα δημιουργίας φωσφοριτών και ουρανιούχων φωσφοριτών, επεξεργάστηκαν δεδομένα για τη δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους σε δύο θέσεις στην περιοχή Δελβινάκι, καθώς επίσης τα λιθολογικά δεδομένα που προέκυψαν από την ερμηνεία γεωτρητικών δεδομένων 28 πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων (μεγίστου βάθους 162m) που πραγματοποιήθηκαν από το 1975 μέχρι το 1999 κατά την αναγνωριστική ερευνητική φάση της περιοχής και παραχωρήθηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε.. Τα στοιχεία αυτά επεξεργάστηκαν με το λογισμικό «RockWorks 15» για τη δημιουργία τρισδιάστατων γεωμετρικών στατικού τύπου προσομοιώσεων της κατανομής των φωσφορούχων αποθέσεων, των φωσφοριτών και των ουρανιούχων τμημάτων τους.

Το λογισμικό RockWorks 15 αποτελεί ένα εργαλείο αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης γεωλογικών δεδομένων. Μεταξύ άλλων το λογισμικό αυτό ειδικεύεται στην απεικόνιση υποεπιφανειακών δεδομένων υπό μορφή γεωτρήσεων, τομών, επάλληλων τομών, στερεών μοντέλων και χαρτών, τόσο σε δισδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο χώρο καθώς επίσης και στον υπολογισμό γεωλογικών αποθεμάτων. Στην εργασία αυτή περιγράφεται με λεπτομέρεια η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής (στρωματογραφική επαλληλία, τεκτονική, μορφοτεκτονική), τα όρια και οι περιορισμοί που τέθηκαν και ελήφθησαν υπόψη αντίστοιχα για τη δημιουργία των στρωματογραφικών, λιθολογικών και συνδυαστικών μοντέλων των δύο θέσεων, που επέτρεψαν την υποεπιφανειακή χωρική απεικόνιση των πολύπλοκα δομημένων σχηματισμών και τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων, με τη χρήση αλγορίθμων του προγράμματος.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the development of complex three-dimensional geological models in the area of Delvinaki in Western Epirus. The area consists of geological formations of the Ionian Zone, and includes schists, irestones, carbonates and phosphate rocks, phosphorites and uraniferous phosphorites in some places. These models can be used to approximate the spatial distribution of phosphorites and uraniumphosphate mineralization in the area and visualize the geological data available for the areas of interest.

The three-dimensional models of phosphorites and uraniferous phosphorites, were built using data from the international bibliography. The data were processed for the development of digital soil models at two locations in the area of Delvinaki. The lithological data obtained from the interpretation of 28 core drillings (with the maximum depth of 162m) which were conducted from 1975 to 1999, during the exploration of the area by IGME. The data were processed and imported to the «RockWorks 15» software, in order to generate static three-dimensional geometric models of the distribution of phosphate deposits of phosphorites and uraniferous sections.

The RockWorks 15 software can be used for storage, management, analysis and visualization of geological data. Among other things, this software is specialized in undersurface display of data in the form of drillcores, sections, equitant sections of solid models and maps in both two dimensions and three-dimensions as well as the estimation of geological deposits. This thesis describes in detail the geology of the region (stratigraphic superposition, tectonics, morphotectonics), the limits and restrictions that were defined and taken into account respectively for the development of stratigraphic, lithological and combined models for the two locations, which enabled the undersurface spatial visualization of the complex structured formations and the estimation of geological deposits, using the algorithms of the program.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί με επιτυχία χωρίς την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση ορισμένων προσώπων του ιδρύματος τα οποία και θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα, στην παρούσα εργασία, Αναπληρωτή Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ, για την επιλογή του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, την άριστη συνεργασία που είχαμε, την πολύτιμη βοήθεια του, την αμέριστη συμπαράσταση του, καθώς επίσης και για τις συμβουλές και τα εύστοχα σχόλια που έκανε κατά τη διόρθωση της εργασίας αυτής.

Τον Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Μαρκόπουλο Θεόδωρο, για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της εργασίας μου.

Τον Λέκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Παρτσινέβελο Παναγιώτη, για τη βοήθειά του στα προβλήματα τοπογραφίας που προέκυψαν, για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της εργασίας μου.

Επίσης ευχαριστίες οφείλω στο Ι.Γ.Μ.Ε. και ιδιαίτερα τους κ. Γιώργο Χατζηγιάννη Msc Γεωλόγο Ι.Γ.Μ.Ε. και Δρ. Παύλο Βέκιο οι οποίοι μας εμπιστεύτηκαν τα αποτελέσματα των μακρόχρονων ερευνών τους όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην τεχνική έκθεση με τίτλο «Μελέτη και αποτίμηση δυναμικού ορυκτών και ενεργειακών πρώτων υλών (ουρανιούχοι φωσφορίτες)» και εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Μηχανικό Ορυκτών Πόρων κ. Βάχλα Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθεια στην εκμάθηση του λογισμικού Rockworks.

Τον Γεωλόγο και υποψήφιο διδάκτορα κ. Γιώργο Παναγόπουλο για την υπομονή, συμπαράσταση και τη διάθεσή του να με βοηθήσει καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δασολόγο και υποψήφια διδάκτορα Μπίζουρα Κατερίνα για τα σχόλια και τις διορθώσεις της καθώς και για την ουσιαστική συμπαράσταση της.

Αισθάνομαι ότι οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία τόσο για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή του, όσο και για τις εξαιρετικά πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Στους γονείς μου Γιώργο και Βασιλική και τον αδερφό μου Άρη καθώς και στην πολυαγαπημένη μου συγγάτοικο, Σμαράγδα για την αγάπη και την υποστήριξη που μου παρείχαν σε κάθε μου επιλογή, καθώς και για τη συνεισφορά τους τόσο ηθική, όσο και υλική κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου αυτά τα χρόνια μέχρι την αποπεράτωση των σπουδών μου και ιδιαίτερα τον συμφοιτητή, συνάδελφο και φίλο, Τσολάκη Δημήτρη για την ουσιαστική συμπαράσταση στις όμορφες και δύσκολες στιγμές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xvi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΙΤΕΣ	3
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΩΣΦΟΡΟΥ	3
1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ	4
1.3 Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ	4
1.4 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΑΛΑΤΑ	7
1.5 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΕΝΕΣΗΣ – ΔΙΑΓΕΝΕΣΗΣ (ΦΩΣΦΟΡΟΓΕΝΕΣΗ)	9
1.5.1 Θεωρίες γένεσης των θαλάσσιων ιζηματογενών κοιτασμάτων φωσφόρου.....	10
1.6 ΦΩΣΦΟΡΙΤΕΣ	14
1.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ	15
1.8 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	17
2.1 ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ ΟΡΟΣΕΙΡΕΣ.....	17
2.2 ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ.....	19
2.3 ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ.....	25
2.3.1 Άνω Κρητιδικής ηλικίας φωσφορίτες.....	25
2.3.2 Ιουρασικής ηλικίας ουρανιούχοι φωσφορίτες	28

2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	38
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑ ΤΟ ΟΥΡΑΝΙΟ.....	38
3.2 ΟΡΥΚΤΟΓΕΝΕΣΗ- ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ	39
3.3 ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ.....	42
3.4 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΣΕ ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	49
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	49
4.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ.....	50
4.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	52
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	52
5.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	52
5.3 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	53
5.4 Η ΥΠΟΣΕΛΙΔΑ ROCKWARE UTILITIES	53
5.4.1 Δημιουργία χαρτών και τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους	54
5.5 Η ΥΠΟΣΕΛΙΔΑ BOREHOLE MANAGER	65
5.5.1 Μενού Striplogs.....	69
5.5.2 Μενού Lithology	79
5.5.3 Μενού Stratigraphy	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	94
6.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	94
6.2 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (striplogs).....	96
6.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	98

6.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	101
6.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	107
6.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ (Sections) ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΤΟΜΩΝ (Fence diagrams) ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ ΙΣΟΠΑΧΩΝ	115
6.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	134

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. 1: Ο κύκλος του φωσφόρου σε χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα (Smith,1992)	6
Σχήμα 1. 2: Διάγραμμα των ευνοϊκών συνθηκών καθίζησης φωσφορικών αλάτων, σύμφωνα με τη θεωρία του Kazakov (Σκουνάκης, 1979)	11
Σχήμα 2. 1: Γεωτεκτονική διάταξη των Ελληνίδων ζωνών Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm:	18
Σχήμα 2. 2: Γεωτεκτονικές ζώνες της ΒΔ Ελλάδας και η υποδιαίρεση της Ιονίου Ζώνης σε επιμέρους υποζώνες (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	20
Σχήμα 2. 3: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης (Κατσικάτσος, 1992)	23
Σχήμα 2. 4: Λιθοστρωματογραφική παράσταση των σχηματισμών της Ιονίου ζώνης με τη θέση των φωσφορικών οριζόντων (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	26
Σχήμα 2. 5: Φλεβικός τύπος ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	29
Σχήμα 2. 6: Συμπαγής τύπος ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).....	30
Σχήμα 2. 7: Λιθολογική στήλη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).....	35
Σχήμα 2. 8: Γεωλογική τομή περιοχής Δελβινακίου από το γεωλογικό χάρτη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).....	35
Σχήμα 2. 9: Θέσεις εμφανίσεων ουρανιούχων φωσφοριτών στην Ιόνιο ζώνη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).....	37
Σχήμα 3. 1: Εύρος περιεκτικότητας ουρανίου σε διάφορες οικογένειες κρυσταλλικών πετρωμάτων (Βέκιος, 1999).....	39
Σχήμα 3. 2: Εξωγενής κύκλος του ουρανίου κατά Dongara (Βέκιος, 1999).....	42
Σχήμα 3. 3: Περιεκτικότητα του ουρανίου στους φωσφορίτες από το Προκάμβιο μέχρι το Ολόκαινο. Φωσφορίτες: (1)Προκάμβριο,(2)Κάμβριο,(3)Παλαιοζωικός,(4)Κάτω Ιουρασικό-Κρητιδικό,(5)Κρητιδικό-Παλαιογενές,(6)Νεογενές,(7)Πλειστόκαινο-Ολόκαινο (Baturin & Kochenov, 2000)	44
Σχήμα 3. 4: Ιστόγραμμα με τη μέση περιεκτικότητα ουρανίου στους φωσφορίτες. Φωσφορίτες: (1)Προκάμβριο και Κάμβριο,(2)Παλαιοζωικός,(3)Κάτω Ιουρασικό-	

Κρητιδικό,(4)Κρητιδικό-Παλαιογενές,(5)Νεογενές,(6)Πλειστόκαινο-Ολόκαινο (Baturin & Kochenov, 2000).....	45
Σχήμα 5. 1: Το κύριο παράθυρο εργασίας της υποσελίδας Rockware Utilities	54
Σχήμα 5. 2: Παράθυρο εισαγωγής αρχείου	55
Σχήμα 5. 3: Παράθυρο εισαγωγής αρχείου ASCII	56
Σχήμα 5. 4: Παράθυρο εισαγωγής διαστάσεων χάρτη	56
Σχήμα 5. 5: Παράθυρο αυτόματου υπολογισμού διαστάσεων	57
Σχήμα 5. 6: Παράθυρο ρύθμισης παραμέτρων της εντολής Grid – Based Map.....	58
Σχήμα 5. 7: Ρυθμίσεις Μοντέλου Πλέγματος	59
Σχήμα 5. 8: Επιλογή Δισδιάστατου ή τρισδιάστατου χάρτη πλέγματος.....	60
Σχήμα 5. 9: Μενού παραμέτρων τρισδιάστατου χάρτη.....	61
Σχήμα 5. 10: Η επιλογή Flat vs Relief.....	62
Σχήμα 5. 11: Η επιλογή Colors.....	62
Σχήμα 5. 12: Η εντολή Faulting.....	63
Σχήμα 5. 13: Η εντολή Perimeter	63
Σχήμα 5. 14: Επιλογές ρυθμίσεων Reference Cage	64
Σχήμα 5. 15: Υποσελίδα Borehole Manager	65
Σχήμα 5. 16: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των στοιχείων στην καρτέλα Locations	68
Σχήμα 5. 17: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των στοιχείων στην καρτέλα Lithology.....	69
Σχήμα 5. 18: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των στοιχείων στην καρτέλα Stratigraphy.....	69
Σχήμα 5. 19: Παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής 2D – Striplog	70
Σχήμα 5. 20: Η λιθολογική και η στρωματογραφική στήλη που προκύπτει για μία γεώτρηση	71
Σχήμα 5. 21: Το παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής Single Log 3D	72
Σχήμα 5. 22: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας μίας γεώτρησης με το υπόμνημά της	72

Σχήμα 5. 23: Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφίας μίας γεώτρησης με το υπόμνημά της	73
Σχήμα 5. 24: Οι ρυθμίσεις απεικόνισης της εντολής Multilog Profile	74
Σχήμα 5. 25: Η επιλογή Plot Surface Profile	74
Σχήμα 5. 26: Το μενού Perimeter Annotation Options	75
Σχήμα 5. 27: Η επιλογή Create Location Map	75
Σχήμα 5. 28: Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού προφίλ.....	76
Σχήμα 5. 29: Λιθολογικό με στρωματογραφικό προφίλ με την εντολή Multi-Log Profile	77
Σχήμα 5. 30: Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού προφίλ με την εντολή Multilog Section	78
Σχήμα 5. 31: Λιθολογικό με στρωματογραφικό προφίλ με την εντολή Multi-Log Section	78
Σχήμα 5. 32: Το παράθυρο ρυθμίσεων για τη δημιουργία τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων.....	79
Σχήμα 5. 33: Η εντολή Randomize Blending	80
Σχήμα 5. 34: Η εντολή Interpolate outliers	81
Σχήμα 5. 35: Η εντολή Upper Surface (Grid) Filter	81
Σχήμα 5. 36: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας της περιοχής του ΠΕΔΙΟΥ 1	82
Σχήμα 5. 37: Ρυθμίσεις της εντολής Section	82
Σχήμα 5. 38: Η εντολή Fill options.....	83
Σχήμα 5. 39: Λιθολογικό Προφίλ τύπου «Section».....	84
Σχήμα 5. 40: Ρυθμίσεις της εντολής Fence	85
Σχήμα 5. 41: Η εντολή Plot Outline Around Each Panel.....	85
Σχήμα 5. 42: Λιθολογικό Προφίλ τύπου «Fence»	86
Σχήμα 5. 43: Το παράθυρο ρυθμίσεων για τη δημιουργία τρισδιάστατων στρωματογραφικών μοντέλων.....	87
Σχήμα 5. 44: Η εντολή Onlap.....	88
Σχήμα 5. 45: Η εντολή Constrain model based on ground surface	89
Σχήμα 5. 46: Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφίας	90

Σχήμα 5. 47: Ρυθμίσεις της εντολής Section	91
Σχήμα 5. 48: Στρωματογραφικό Προφίλ τύπου «Section»	92
Σχήμα 5. 49: Ρυθμίσεις της εντολής Fence	92
Σχήμα 5. 50: Στρωματογραφικό Προφίλ τύπου «Fence»	93
Σχήμα 6. 1: Απεικόνιση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών του <i>Πεδίου 1</i>	94
Σχήμα 6. 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση του τοπογραφικού ανάγλυφου του <i>Πεδίου 1</i>	95
Σχήμα 6. 3: Απεικόνιση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών του <i>Πεδίου 2</i>	95
Σχήμα 6. 4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του τοπογραφικού ανάγλυφου του <i>Πεδίου 2</i>	96
Σχήμα 6. 5: Δισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας της γεώτρησης F15 του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	97
Σχήμα 6. 6: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας όλων των γεωτρήσεων του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	97
Σχήμα 6. 7: Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	98
Σχήμα 6. 8: Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο του <i>ΠΕΔΙΟΥ 2</i>	98
Σχήμα 6. 9: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (<i>ΠΕΔΙΟ 1</i>) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	99
Σχήμα 6. 10: Κάτοψη λιθολογικού μοντέλου του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	99
Σχήμα 6. 11: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (<i>ΠΕΔΙΟ 2</i>) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	100
Σχήμα 6. 12: Κάτοψη λιθολογικού μοντέλου του <i>ΠΕΔΙΟΥ 2</i>	100
Σχήμα 6. 13: Τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	102
Σχήμα 6. 14: Τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο του <i>ΠΕΔΙΟΥ 2</i>	102
Σχήμα 6. 15: Υπολογισμός της περιεκτικότητας g_{block} του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα k πλησιέστερα δείγματα με τη μέθοδο IDS	104
Σχήμα 6. 16: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (<i>ΠΕΔΙΟ 1</i>) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).....	105
Σχήμα 6. 17: Κάτοψη στρωματογραφικού μοντέλου του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	105
Σχήμα 6. 18: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (<i>ΠΕΔΙΟ 2</i>) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	106
Σχήμα 6. 19: Κάτοψη στρωματογραφικού μοντέλου του <i>ΠΕΔΙΟΥ 2</i>	106
Σχήμα 6. 20: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Παντοκράτορα του <i>ΠΕΔΙΟΥ 1</i>	108

Σχήμα 6. 21: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Παντοκράτορα του ΠΕΔΙΟΥ 2108	
Σχήμα 6. 22: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων με Filaments του ΠΕΔΙΟΥ 1 ..	109
Σχήμα 6. 23: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων με Filaments του ΠΕΔΙΟΥ 2 ..	109
Σχήμα 6. 24: Στρωματογραφική ενότητα των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες του ΠΕΔΙΟΥ 1.	110
Σχήμα 6. 25: Στρωματογραφική ενότητα των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες του ΠΕΔΙΟΥ 2.	110
Σχήμα 6. 26: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Βίγλας του ΠΕΔΙΟΥ 1	111
Σχήμα 6. 27: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Βίγλας του ΠΕΔΙΟΥ 2	111
Σχήμα 6. 28: Τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 1	112
Σχήμα 6. 29: Τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 2	112
Σχήμα 6. 30: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (ΠΕΔΙΟ 1) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	113
Σχήμα 6. 31: Κάτοψη λιθοστρωματογραφικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 1	113
Σχήμα 6. 32: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (ΠΕΔΙΟ 2) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)	114
Σχήμα 6. 33: Κάτοψη λιθοστρωματογραφικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 2	114
Σχήμα 6. 34: Διάγραμμα με το χάρτη των γεωτρήσεων όπου πάνω του υπάρχει σχεδιασμένη η τομή μελέτης και η απεικόνιση της επιλεγμένης δισδιάστατης τομής του Πεδίου 1	115
Σχήμα 6. 35: Διάγραμμα με το χάρτη των γεωτρήσεων όπου πάνω του πάρχει σχεδιασμένη η τομή μελέτης και η απεικόνιση της επιλεγμένης δισδιάστατης τομής του Πεδίου 2	116
Σχήμα 6. 36: Τρισδιάστατες επάλληλες τομές στο στρωματογραφικό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα των 19 γεωτρήσεων του Πεδίου 1	116
Σχήμα 6. 37: Τρισδιάστατες επάλληλες τομές στο στρωματογραφικό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα των 9 γεωτρήσεων του Πεδίου 2	117
Σχήμα 6. 38: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα του Πεδίου 1, με πιθανό ρήγμα διεύθυνσης BBA - NNA	118
Σχήμα 6. 39: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι με Filaments του Πεδίου 1 με πιθανά ρήγματα διεύθυνσης BBA - NNA	118
Σχήμα 6. 40: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του Πεδίου 1 με πιθανό ρήγμα διεύθυνσης B - N	119

Σχήμα 6. 41: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι Βίγλας του <i>Πεδίου 1</i>	119
Σχήμα 6. 42: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα του <i>Πεδίου 2</i> με πιθανά ρήγματα διεύθυνσης <i>BBA – NNΔ</i> και <i>BBD - NNA</i>	120
Σχήμα 6. 43: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι με Filaments του <i>Πεδίου 2</i> με πιθανό ρήγμα διεύθυνσης <i>BBA - NNΔ</i>	120
Σχήμα 6. 44: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του <i>Πεδίου 2</i>	121
Σχήμα 6. 45: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι Βίγλας του <i>Πεδίου 2</i> με πιθανά ρήγματα διεύθυνσης <i>BBA – NNΔ</i> και <i>BBD - NNA</i>	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3. 1: Περιεχόμενο ουράνιο σε μερικά ορυκτά σύμφωνα με τον De Voto (Βέκιος, 1999)	40
Πίνακας 3. 2: Μέσος όρος περιεκτικότητας U ppm και P_2O_5 (%) σε φωσφορίτες από διάφορα μέρη του κόσμου (από Χατζηγιάννη & Βέκιο, 2001)	46
Πίνακας 6. 1: Αποθέματα των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων των δύο <i>Πεδίων</i>	122

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της βασικής γεωλογικής και της κοιτασματολογικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε τις προηγούμενες δεκαετίες από το Ι.Γ.Μ.Ε. εντοπίσθηκαν ήδη από τη δεκαετία του '80 οι γνωστοί πλέον δύο φωσφορούχοι σχηματισμοί, Ιουρασικής και Κρητιδικής ηλικίας που δομούν και εμφανίζονται στην Ιόνια ζώνη. Στη Δυτική Ελλάδα και ειδικότερα στην κεντρική και εξωτερική Ιόνιο ζώνη, έχει καταγραφεί και μελετηθεί, μιας μεγάλης έκτασης συγκέντρωση ουρανιούχων φωσφοριτών Ιουρασικής ηλικίας που σε σχέση με τους Κρητιδικής ηλικίας φωσφορίτες επιδέχονται περαιτέρω μελέτης. Στα πλαίσια αυτά αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων τμημάτων των εν λόγω φωσφοριτών σε δύο θέσεις στην Περιοχή Δελβινάκι της Δυτικής Ηπείρου, με απώτερο στόχο μία πρώτη προσέγγιση της χωρικής κατανομής των φωσφοριτών και της ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας και τον καθορισμό γεωλογικών παραμέτρων για το υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων.

Για τη δημιουργία των τρισδιάστατων στρωματογραφικών, λιθολογικών και συνδυαστικών μοντέλων των γεωλογικών σχηματισμών ενδιαφέροντος των δύο θέσεων, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί, γεωλογικοί χάρτες της περιοχής και δεδομένα πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων που παραχωρήθηκαν από το ΙΓΜΕ, τα οποία εισήχθησαν στο λογισμικό Rockworks 15 ύστερα από τη μελέτη δεδομένων από τη διεθνή βιβλιογραφία σχετική με φωσφορίτες και ουρανιούχους φωσφορίτες. Ποιο αναλυτικά, για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τα φωσφορούχα πετρώματα και τους φωσφορίτες όπως τα περιβάλλοντα και τα μοντέλα απόθεσης που έχουν κατά καιρούς προταθεί, τα οικονομικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα και τις βιομηχανικές χρήσεις αυτών.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στη γεωλογία της περιοχής μελέτης, ξεκινώντας από τη γεωλογία της Ιονίου ζώνης όπου και ανήκουν και αναλύοντας τους φωσφορούχους σχηματισμούς Κρητιδικής και Ιουρασικής ηλικίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται η ουρανιούχος μεταλλοφορία συνδεδεμένη με τους φωσφορούχους σχηματισμούς και τους φωσφορίτες. Σημαντική

ενότητα αυτού του κεφαλαίου αποτελεί η αναφορά στην ορυκτογένεση και εναπόθεση του ουρανίου καθώς και στις αποθέσεις του στα επιφανειακά περιβάλλοντα.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η δημιουργία/κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί το εφαρμοσμένο μέρος όπου δημιουργούνται τα τρισδιάστατα λιθολογικά και στρωματογραφικά μοντέλα στις δύο θέσεις της περιοχής έρευνας. Περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό Rockworks 15 για τη χωροθέτηση των γεωτρητικών στοιχείων που ήταν διαθέσιμα. Ακολούθως περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας ψηφιακών μοντέλων εδάφους και ο συνδυασμός τους για τη δημιουργία της τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εφαρμογών που προέκυψαν από το λογισμικό Rockworks 15.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τον συνδυασμό όλων των διαθέσιμων στοιχείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΙΤΕΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Ο φώσφορος είναι το χημικό στοιχείο που έχει το σύμβολο P και ατομικό αριθμό 15. Πρόκειται για αμέταλλο στοιχείο της ομάδας του αζώτου (N) και εμφανίζεται με δύο μορφές, το λευκό και τον ερυθρό φώσφορο. Ο φώσφορος είναι το 11^ο, κατά σειρά αφθονίας, στοιχείο του στερεού φλοιού της γης, με μέση περιεκτικότητα 0.118% περίπου. Ο ηπειρωτικός φλοιός είναι περισσότερο εμπλουτισμένος, απ' ότι ο ωκεάνιος, με μέση περιεκτικότητα σε φώσφορο περίπου 0.3%.

Ο φώσφορος (P) ανακαλύφθηκε το 1669 από το Γερμανό ερασιτέχνη αλχημιστή Hennig Brandt, στην προσπάθειά του να ανακαλύψει κάποια θαυματουργή ουσία η οποία θα μετέτρεπε βασικά μέταλλα σε χρυσό. Ο Brandt ανακάλυψε ένα λευκό κηρώδες στερεό το οποίο εξέπεμπε γαλαζοπράσινη ακτινοβολία κατά την έκθεσή του στον αέρα. Η ουσία αυτή, η οποία αργότερα αποδείχθηκε ότι ήταν στοιχείο, ονομάστηκε φώσφορος από το ελληνικό 'φως' και 'φέρω'. Η φωτοβολία του φωσφόρου, η οποία αποτελούσε μυστήριο για μεγάλο διάστημα, είναι αποτέλεσμα χημειοφωταύγειας διεγερμένων μοριακών προϊόντων της χημικής αντίδρασης μεταξύ φωσφόρου και οξυγόνου (Κοφινά, 2006).

Ο φώσφορος έχει μία ποικιλόμορφη χημεία, μπορεί να υπάρξει σ' ένα εύρος οξειδωτικών καταστάσεων από -3 ως +5 (από PH_3 ως P_2O_5). Στο θαλάσσιο περιβάλλον όμως, απαντά σχεδόν εξολοκλήρου στην οξειδωτική κατάσταση +5, σε ποικιλία μορφών, τόσο διαλυτών όσο και σωματιδιακών. Βασικές μορφές των διαλυτών ενώσεων του φωσφόρου αποτελούν τα διάφορα ανόργανα φωσφορικά άλατα και ιδιαίτερα τα ορθοφωσφορικά (Καστρίτης, 2007).

Τέλος ο φώσφορος απαντάται ευρύτατα στην επιφάνεια της γης, στα πετρώματα και στα φυσικά νερά, ενώ δεν υφίσταται σε αέρια φάση στις επικρατούσες γήινες συνθήκες (Κοφινά, 2006).

1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Φώσφορος σημαίνει "φορέας φωτός", μια λέξη που σχετίζεται με την ιδιότητα του φωσφόρου να αναφλέγεται κατά την έκθεσή του στον αέρα και να εκπέμπει φως. Οφείλει το όνομά του και την ιδιαιτερότητα του στην ιδιότητά του να μεταφέρει ενέργεια σε διάφορα επίπεδα της ζωής και στη βιόσφαιρα (με τη μορφή φωσφορικών).

Ο φώσφορος είναι από τα βασικότερα στοιχεία στους ζώντες οργανισμούς. Οι ιδιότητές του ως μεταφορέα ενέργειας μέσα στη ζωή τον καθιστούν ένα από τα θεμελιώδη βιόφιλα στοιχεία σε διαδικασίες μεσολάβησης ανάμεσα στα βιώσιμα και μη στοιχεία της βιόσφαιρας. Το DNA, το ελικοειδές βιολογικό μόριο της ζωής στο οποίο εδράζονται πληροφορίες και κληρονομικά χαρακτηριστικά περιέχει φωσφορικές ομάδες κατά μήκος της αλυσίδας του. Επιπλέον ο φώσφορος είναι το κυριότερο συστατικό των οστών και των δοντιών των σπονδυλωτών οργανισμών (Κοφινά, 2006). Φωσφορικές ομάδες περιέχονται επίσης στο μόριο μεταφορέα της βιολογικής ενέργειας των ζώντων οργανισμών, το ATP που ελέγχει τις περισσότερες διαδικασίες στα φυτά, όπως η φωτοσύνθεση, η αναπνοή καθώς και η μεταφορά θρεπτικών συστατικών μέσω των κυττάρων του φυτού. Οι ρυθμοί παραγωγικότητας, με τη σειρά τους, καθορίζουν την ταχύτητα με την οποία το ατμοσφαιρικό CO₂ μετατρέπεται σε οργανική ύλη, η οποία στη συνέχεια είναι επιρρεπής στην αποθήκευση σε εδάφη και ιζήματα. Αυτό συνδέει πολύ κοντά τον κύκλο του φωσφόρου με τον κύκλο του άνθρακα και άλλων βιόφιλων στοιχείων, όπως οξυγόνο, θείο, άζωτο και σίδηρο, και προσφέρει στο φώσφορο εκτενείς ρυθμιστικές ιδιότητες σε κλιματικές και περιβαλλοντικές διαδικασίες καθώς και σε οικολογικές αλλαγές (<http://soils.usda.gov/>).

1.3 Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

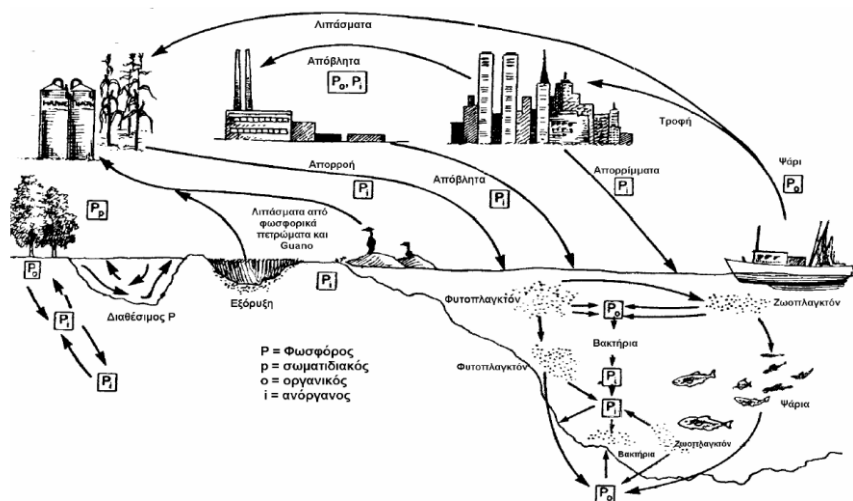
Κύκλο του φωσφόρου ονομάζουμε την κυκλική μεταφορά του φωσφόρου από το έδαφος και τα φωσφορικά πετρώματα στα φυτά και τα ζώα. Η παραγωγή πολλών οικοσυστημάτων ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από το φώσφορο, γι' αυτό και θεωρείται ο μεγάλος ρυθμιστής των άλλων βιογεωχημικών κύκλων. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν το φώσφορο ως τον αδύνατο κρίκο στην αλυσίδα της ζωής πάνω στη γη, διότι ο κύκλος του είναι σχετικά ατελής και ανοιχτός. Αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα στα περισσότερα υδατικά οικοσυστήματα, δεδομένου ότι σχηματίζει εύκολα αδιάλυ-

τες ενώσεις, πράγμα που παρεμποδίζει την πλήρη απόληψή του από τα φυτά και τη μεταφορά του με τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Ένας άλλος λόγος είναι ότι δεν σχηματίζει στο φυσικό περιβάλλον αέριες ενώσεις, πράγμα που του στερεί τη δυνατότητα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Χατζημπίρος, 2007)

Ο φωσφόρος με την αποσάθρωση και τη διάβρωση απελευθερώνεται από τα φωσφορούχα πετρώματα και τις αποθέσεις και προσλαμβάνεται από τους παραγωγούς, μέσω των οποίων εισέρχεται στα τροφικά πλέγματα. Ο φωσφόρος μεταφέρεται από τη χέρσο στα νερά και αντιστρόφως, ενώ φυσιολογικά δεν μεσολαβεί ατμοσφαιρική φάση αφού είναι κύκλος ιζηματογενούς τύπου (Βλάχος & Κολλάρος, 2010).

Στον κύκλο αυτό συμμετέχει και ο φώσφορος των κοιτασμάτων *guano*. Τα *guano* πήραν τ' όνομά τους από την ινδική λέξη *huanu*, που σημαίνει κόπρος ζώων. Είναι ιζήματα που προέρχονται από τα περιττώματα των πτηνών, τα οποία αφοθούν στα ωκεάνια νησιά, στις ακτές της Χιλής κλπ. Η ετήσια παραγωγή τους είναι $3,5 \cdot 10^6$ tn, ενώ τα αποθέματά τους υπολογίζονται σε $200 \cdot 10^6$ tn. Στα κοιτάσματα *guano* το πάχος μπορεί να φτάνει περίπου 35 m, ενώ η περιεκτικότητά τους σε P_2O_5 είναι περίπου 27%. Εκτός από φώσφορο (P^{-3}) περιέχουν επίσης και άζωτο (N^{-3}) και κάλιο (K^{+1}) (1^η διαδυσκτική πηγή).

Σε κάποια δάση των τροπικών με κόκκινα λατεριτικά εδάφη, που έχουν βασικό συστατικό τον καολίνη, η μεγαλύτερη ποσότητα του διαθέσιμου φωσφόρου, προέρχεται από την αποσύνθεση της υπάρχουσας βιομάζας. Εάν συμβεί διάβρωση σε αυτά τα εδάφη, το νερό συμπαρασύρει το φωσφόρο τους και τον αποθέτει σε ιζηματικά στρώματα, στους βυθούς λιμνών και ποταμών, απομακρύνοντας τον από την ανακύκλωση για εκατομμύρια χρόνια (Βλάχος & Κολλάρος, 2010).



Σχήμα 1. 1: Ο κύκλος του φωσφόρου σε χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα (Smith, 1992)

Ο φωσφόρος συναντάται συχνά σε μικρές ποσότητες στα καλά οξυγονωμένα επιφανειακά νερά των λιμνών, αποτελώντας έτσι, με την ανεπάρκειά του, περιοριστικό παράγοντα για την αύξηση της βιομάζας του οικοσυστήματος. Μια μικρή αύξησή του, αυξάνει την παραγωγή βιομάζας στη λίμνη. Αν όμως καταλήξουν σ' αυτή μεγάλες ποσότητες φωσφορικών αλάτων λόγω έκπλυσης εδαφών με φωσφορικά λιπάσματα, ή λόγω κατάληξης αποβλήτων με απορρυπαντικά, μπορεί να υπερπαραχθεί βιομάζα και να οδηγηθεί το λιμναίο οικοσύστημα σε ανισορροπία. Αν έχουν παραχθεί και πεθάνει μικροσκοπικοί, βραχύβιοι, φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί σε μεγάλες ποσότητες, τα βακτήρια που τους αποσυνθέτουν εμφανίζουν συνολικά υψηλή βιολογική απαίτηση οξυγόνου (biological oxygen demand, που συμβολίζεται ως BOD) και στις χειρότερες περιπτώσεις με την υπερκατανάλωση οξυγόνου, το μειώνουν κάτω από το επίπεδο που είναι απαραίτητο για τα ψάρια και άλλους ευαίσθητους αερόβιους οργανισμούς. Η βιολογική σε συνδυασμό με τη χημική απαίτηση οξυγόνου (chemical oxygen demand, που συμβολίζεται ως COD) χρησιμοποιούνται γενικά ως δείκτες ρύπανσης (συγκεκριμένα οργανικού φορτίου) του νερού. Αντίθετα στους ωκεανούς, που αντιπροσωπεύουν το 85% της θαλάσσιας επιφάνειας, υπάρχει μια διαρκής απώλεια φωσφόρου, που οφείλεται στη συσσώρευση οργανικής ύλης και κυρίως νεκρών σωμάτων, οστών κλπ., στις αβύσσους και γενικά στα μεγάλα βάθη (Βλάχος & Κολλάρος, 2010).

Οι φάσεις του κύκλου του φωσφόρου βρίσκονται σε ισορροπία όταν απουσιάζουν οι έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες και οι φυσικές αιτίες. Σήμερα ο κύκλος έχει διαταραχθεί στα υδάτινα οικοσυστήματα, κυρίως λόγω της αφθονίας χρήσης στη γεωργία των φωσφορικών λιπασμάτων και της χρήσης απορρυπαντικών. Δυστυχώς, η ανθρώπινη δραστηριότητα επιβαρύνει την ατέλεια του κύκλου του φωσφόρου. Μεγάλες ποσότητες φωσφορούχων ουσιών εξορύσσονται από τα φυσικά αποθέματα της λιθόσφαιρας, μετατρέπονται σε φωσφορικά άλατα από τη βιομηχανία λιπασμάτων ή απορρυπαντικών και τελικά καταλήγουν στην υδρόσφαιρα και εν μέρει στο βυθό των ωκεανών (Τζωράκη, 2007).

Τα αστικά υγρά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες φωσφόρου, εξαιτίας κυρίως των χρησιμοποιούμενων απορρυπαντικών, το ίδιο δε συμβαίνει με μερικά βιομηχανικά απόβλητα. Ο φώσφορος των αποβλήτων αυτών έχει γίνει αιτία προχωρημένων ευτροφικών καταστάσεων σε λίμνες και παράκτια ύδατα. Μικρότερη είναι η συμβολή των φωσφορούχων λιπασμάτων, λόγω των αδιάλυτων ενώσεων που σχηματίζει ο φώσφορος με χημικά στοιχεία που περιέχονται στο έδαφος (Τζωράκη, 2007).

Η μελέτη του φωσφόρου ως θρεπτικό συστατικό των φυτών και συστατικό των εδαφών παρουσιάζει ιδιαιτερότητες επειδή η παραμονή του στο έδαφος είναι μεγάλη, λόγω της ισχυρής του προσροφητικής τάσης και της τάσης του να κινείται με το νερό είτε διαλυμένα είτε υπό τη μορφή κολλοειδών ή σωματιδίων (McGechan & Lewis, 2002)

1.4 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΑΛΑΤΑ

Η πιο συνηθισμένη απαντώμενη μορφή του φωσφόρου είναι αυτή των φωσφορικών και των πολυφωσφορικών αλάτων.

Τα φωσφορικά άλατα είναι ανόργανα ή οργανικά σε απλές ή πολύπλοκες μορφές. Εμφανίζονται σαν συναφείς φάσεις στα περισσότερα μαγματικά ορυκτά, ενώ βρίσκονται επίσης σε εδάφη και ιζηματογενή πετρώματα, όπου δρουν και σαν πρωτογενείς πηγές φωσφόρου. Τα φωσφορικά άλατα αποτελούν την κύρια μορφή φωσφόρου κατά τους ποικίλους περιβαλλοντικούς μετασχηματισμούς τους, καθώς ο μοναδικός τρόπος να απελευθερωθεί ο φώσφορος στο περιβάλλον είναι μέσω φυσικών

ή άλλων αλλοιώσεων οφειλόμενων σε ανθρωπογενείς δράσεις. Κάθε μορφή φωσφόρου που εισάγεται στο περιβάλλον υποβάλλεται σε εκτεταμένη ανακύκλωση μέσω χημικών, γεωλογικών και/ή βιολογικών διεργασιών (Κοφινά, 2006).

Τα ορυκτά άλατα του φωσφόρου, συνιστούν μια ομάδα ορυκτών, την ομάδα των φωσφάτων, σπουδαιότερο ορυκτό της οποίας είναι ο απατίτης $[\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3]$. Στο ορυκτό αυτό δεσμεύεται το 95% του φωσφόρου που απαντά στον στερεό φλοιό της γης. Όταν ο απατίτης περιέχει φθόριο, μέχρι 3,8%, περίπου, ονομάζεται φθοριοαπατίτης, ενώ όταν περιέχει χλώριο μέχρι 6,8% ονομάζεται χλωροαπατίτης. Αντίστοιχα, ο απατίτης που περιέχει (OH^-) ονομάζεται υδροξυαπατίτης, ενώ όταν περιέχει (CO_3^{2-}) ανθρακοαπατίτης. Ο φρανκολίτης είναι ανθρακοαπατίτης με $\text{CO}_2 > 2\%$. Η μικροκρυσταλλική μορφή του απατίτη ονομάζεται κολλοφανής. Το Ca του απατίτη μπορεί να αντικατασταθεί από Mn, Sr ή Mg, δεδομένου ότι τα στοιχεία αυτά έχουν παρόμοιες ιοντικές ακτίνες.

Μικροκοκκώδης απατίτης απαντά σε όλα σχεδόν τα εκκρηξιγενή πετρώματα, από τα βασικά έως τα όξινα. Ενώ το ποσοστό του, υπό κανονικές συνθήκες είναι 0,1-1%, σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φθάσει το 5%. Κυρίως απαντά σε ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα.

Εκτός από τον απατίτη, άλλα ορυκτά του P είναι ο μοναζίτης $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th})\text{PO}_4$ και ο βαβελίτης $[\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$. Ο μοναζίτης απαντά ως επουσιώδες ορυκτό στα όξινα εκκρηξιγενή πετρώματα. Στους πηγματίτες εμφανίζεται συχνά υπό μορφή ευμεγέθων κρυστάλλων. Απαντά, επίσης στις άμμους δεδομένου ότι είναι ανθεκτικός στην αποσάθρωση των πιο πάνω πετρωμάτων (1^η διαδικτυακή πηγή).

Στα ισχυρώς όξινα εδάφη δημιουργούνται ενώσεις του φωσφόρου με το σίδηρο (Fe) όπως ο στρεγκίτης $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και ο βιβιανίτης $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ και του αργιλίου (Al) όπως ο βαρισκίτης $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ο γκορσειξίτης $\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ο φλορενσίτης $\text{CeAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5$ (Δημήρκου - Ιωάννου, 1992).

Τέλος, στη φύση υπάρχουν φωσφορικά άλατα μαγνησίου και βαρέων μετάλλων, όπως του μολύβδου, του χαλκού, του ψευδαργύρου τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλές διαλυτότητες καθώς και φωσφορικά άλατα σπανίων γαιών (Κοφινά, 2006).

1.5 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΕΝΕΣΗΣ – ΔΙΑΓΕΝΕΣΗΣ (ΦΩΣΦΟΡΟΓΕΝΕΣΗ)

Η μελέτη ορισμένου αριθμού στρωματογραφικών τομών του φωσφορούχου σχηματισμού της Ιονίου Ζώνης επιτρέπει την εξαγωγή πρόδρομων συμπερασμάτων. Όσον αφορά την προέλευση ορισμένων, φωσφορικής σύστασης, αλλοχημικών συστατικών (π.χ. πελοειδών), πιστεύουμε ότι οφείλεται στη διαγενετική φωσφοριτίωση προϋπαρχόντων αλλοχημικών συστατικών ασβεστολίθων - κύρια πλαγκτονικών απολιθωμάτων - από πλούσια σε φώσφορο διαλύματα που κυκλοφόρησαν στο εσωτερικό των ιζημάτων. Δεν αποκλείουμε τον ίδιο μηχανισμό γένεσης και για τις λεπτοστρώσεις μικροφωσφορικού υλικού που παρατηρούνται στους ταινιωτούς ασβεστόλιθους.

Η διεργασία της αντικατάστασης ανθρακικού ασβεστίου από φωσφορικό ασβέστιο έχει αποδειχθεί εργαστηριακά και έχει καθορισθεί ότι απαιτείται ελάχιστη συγκέντρωση PO_4^{-3} της τάξης του 0,1 ppm PO_4^{-3} . Από αυτό προκύπτει ότι δεν απαιτείται παρά μία ελάχιστη αύξηση για να επιτευχθεί η απαραίτητη συγκέντρωση και να αρχίσει η φωσφοριτίωση. Στον εμπλουτισμό των διαλυμάτων σε φώσφορο συμβάλλει και ο φώσφορος που απελευθερώνεται από τη σήψη του πρωτοπλάσματος των θαλάσσιων οργανισμών. Όπως είναι γνωστό δε η γένεση των φωσφοριτών συνδέεται άμεσα με την επίδραση πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά ανοδικών ρευμάτων θαλάσσιου ύδατος και την οφειλόμενη σ' αυτά υψηλή βιολογική παραγωγικότητα. Απευθείας καθίζηση φωσφορικού υλικού παρατηρείται σε ορισμένες περιπτώσεις με τη μορφή τσιμέντου (φρανκολίτης).

Η ρυθμική εναλλαγή των διαφόρων φάσεων που παρατηρούνται στο φωσφορούχο σχηματισμό σε μακροσκοπική κλίμακα αποτελεί απόδειξη των φυσικοχημικών εναλλαγών του περιβάλλοντος σε ευρύτερη (επίκλυση-απόσυρση) και τοπική (pH, Eh) κλίμακα. Η αιτία των διαδοχικών αυτών μεταβολών του θαλάσσιου επιπέδου πιθανόν συνδέεται με τις γενικότερες ευστατικές κινήσεις κατά το χρονικό εκείνο διάστημα. Το γεγονός μάλιστα ότι το φαινόμενο της γένεσης φωσφοριτών κατά το διάστημα του Κρητιδικού (ιδιαίτερα στο Αν. Κρητιδικό) είναι γενικότερο στην περιοχή της Τηθύος και ενισχύει το συλλογισμό αυτό.

Μετά τη δημιουργία του φωσφορικού υλικού σε ορισμένες θέσεις ακολούθησε διεργασία εμπλουτισμού οφειλόμενη στη μεταφορά φωσφορικών σωματιδίων από το περιβάλλον γένεσης τους σε άλλες περιοχές-παγίδες, της ίδιας λεκάνης ιζηματογένεσης συνοδευόμενη με ταυτόχρονη έκπλυση της ανθρακικής ιλύος.

Συνοψίζοντας αναφέρονται επιγραμματικά τα βασικότερα στάδια που θεωρούνται υπεύθυνα για τη γένεση του φωσφορούχου σχηματισμού στην περιοχή της Ηπείρου και τα οποία προσεγγίζουν το ευρέως αποδεκτό "βιο-διαγενετικό" μοντέλο φωσφοριτίωσης.

- I. Εμπλουτισμός των θαλάσσιων υδάτων σε φώσφορο, οφειλόμενος στην ύπαρξη ανοδικών ρευμάτων με συνακόλουθη αύξηση στη βιολογική παραγωγή.
- II. Δημιουργία ανοξικών συνθηκών από τη σήψη της οργανικής ύλης και εμπλουτισμός των ενδιάμεσων διαλυμάτων σε φώσφορο.
- III. Φωσφοριτίωση των πελαγικών ιζημάτων από τα εμπλουτισμένα σε φώσφορο διαλύματα και, σε μερικές περιπτώσεις απευθείας καθίζηση απατίτη από τα διαλύματα αυτά.
- IV. Επανεπεξεργασία των ιζημάτων σε ορισμένες θέσεις (Βαρτή-Ματαράγκα, και συν., 1988).

1.5.1 Θεωρίες γένεσης των θαλάσσιων ιζηματογενών κοιτασμάτων φωσφόρου

Τις τελευταίες δεκαετίες διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες και απόψεις, όσον αφορά το σχηματισμό των θαλάσσιων ιζηματογενών κοιτασμάτων φωσφόρου. Οι απόψεις που διατυπώθηκαν συνοψίζονται σε τρεις θεωρίες:

- I. Τη θεωρία της ανόργανης ή χημικής γένεσης
- II. Τη θεωρία της οργανικής ή βιολογικής γένεσης
- III. Τη θεωρία της βιοχημικής γένεσης

- I. Θεωρία της ανόργανης γένεσης των φωσφοριτών

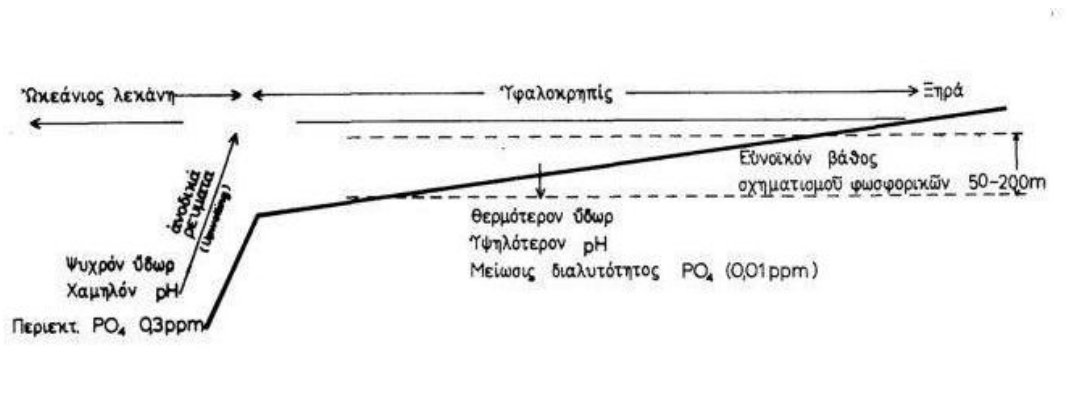
Θεμελιωτής της θεωρίας της ανόργανης γένεσης, των θαλάσσιων ιζηματογενών κοιτασμάτων φωσφόρου υπήρξε ο Kazakov (1937), ο οποίος βασιζόμενος σε ωκεανογραφικά και παλαιοκλιματολογικά δεδομένα, έδωσε, μία αξιόλογη ερμηνεία για τα κοιτάσματα αυτά. Η θεωρία του Kazakov έγινε αποδεκτή από πολλούς ερευνητές, οι

οποίοι εργάσθηκαν για τη βελτίωσή της (Mc Kelvey 1959, Sheldon 1964, Smirnov 1958).

Η θεωρία της ανόργανης γένεσης βασίζεται :

- Στη μείωση της διαλυτότητας του εν διαλύσει φωσφόρου στο θαλασσινό νερό, αυξανόμενου του pH και μειούμενης της περιεκτικότητας αυτού σε CO_2
- Στην παραδοχή ότι ο πυθμένας των ωκεανών αποτελεί την πηγή του φωσφόρου
- Στην ύπαρξη ανοδικών ρευμάτων (upwelling) μέσω των οποίων βενθικά ύδατα από τον πυθμένα των ωκεανών και πλούσια σε φώσφορο, εισέρχονται στην ακτή.

Βάσει των παραπάνω, ο Kazakov δέχεται ότι μέσω ψυχρών βενθικών ρευμάτων μεταφέρεται διαλυμένος φώσφορος από τους ωκεανούς προς τις ακτές. Η ποσότητα του διαλυμένου μεταφερόμενου φωσφόρου είναι αυξημένη λόγω χαμηλού pH και υψηλής περιεκτικότητας σε CO_2 . Όταν τα βενθικά ύδατα φτάσουν στην περιοχή της υφαλοκρηπίδας, λόγω αύξησης του pH και διαφυγής CO_2 , λαμβάνει χώρα καθίζηση του φωσφόρου, λόγω της μείωσης της διαλυτότητας του θαλασσινού νερού (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1. 2: Διάγραμμα των ευνοϊκών συνθηκών καθίζησης φωσφορικών αλάτων, σύμφωνα με τη θεωρία του Kazakov (Σκουνάκης, 1979)

Η καθίζηση του φωσφόρου στην αβαθή ζώνη γίνεται με τη μορφή φωσφορικού άλατος, του κολλοφανούς. Διακρίνονται δύο τύποι απόθεσης, οι αποθέσεις γεω-

σύγκλινων και οι αποθέσεις κρασπέδων. Οι πρώτες είναι πλούσιες και στρωματοειδείς ενώ οι δεύτερες κονδυλώδεις. Για τις αποθέσεις των γεωσύγκλινων ο Sheldon (1964) δέχεται ότι οικονομικώς ενδιαφέροντα κοιτάσματα αναμένονται στα μειογεωσύγκλινα, καθώς η παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων και μεγάλου πάχους ιζημάτων του φλύσχη περιορίζει τη δυνατότητα συγκέντρωσης σε αξιόλογη ποσότητα φωσφόρου.

Ο σχηματισμός των φωσφοριτών δεν γίνεται να πραγματοποιηθεί στη ζώνη της φωτοσύνθεσης επειδή ο εν διαλύσει φώσφορος αφομοιώνεται από το φυτοπλαγκτόν και το ζωοπλαγκτόν. Επίσης δεν πραγματοποιείται σε βάθος μεγαλύτερο των 200m επειδή η αυξημένη περιεκτικότητα του εν διαλύσει CO₂ εμποδίζει τον υπερκορεσμό του νερού σε φώσφορο.

Όσον αφορά, το ωκεανογραφικό τμήμα της θεωρίας Kazakov, δηλαδή της δημιουργίας ρευμάτων από τον πυθμένα των ωκεανών προς τις ακτές, η παρουσία αυτών είναι αναμφίβολη.

II. Θεωρία της οργανικής ή βιολογικής γένεσης

Η αφθονία των οργανικών υπολειμμάτων, στις ιζηματογενείς λεκάνες ορισμένων κοιτασμάτων φωσφόρου έδωσε αφορμή στη δημιουργία της θεωρίας της οργανικής προέλευσης των φωσφοριτών. Τα αμμωνιακά άλατα κατά την αποσύνθεση των οργανισμών παράγουν φωσφορικό αμμώνιο, το οποίο καθιζάνει με τη μορφή φωσφορικού ασβεστίου πάνω στους ασβεστόλιθους κατά την ιζηματογένεση.

Σύμφωνα με την υπόθεση αυτήν (Cayeux L., 1939), μεγάλες μεταβολές των συνθηκών του θαλασσινού νερού είναι δυνατόν να προκαλέσουν ομαδικό θάνατο των ζώων και των φυτών. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται στις μεταβολές της αλατότητας ή της χημικής σύστασης του θαλασσινού νερού. Οι μικροοργανισμοί συγκεντρώνουν τον διαλυμένο στη θάλασσα φώσφορο, και αποτελούν τροφή για τους μακροοργανισμούς, κυρίως ψάρια, οι οποίοι βρίσκονται σε αφθονία σε ορισμένα κοιτάσματα φωσφοριτών.

III. Θεωρία της βιοχημικής γένεσης

Η βιοχημική θεωρία γένεσης των φωσφοριτών υποστηρίζεται από πολλούς ερευνητές. Κατά τον Bushinskii (1966) ο σχηματισμός των φωσφοριτών περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια.

- Εισροή των ποτάμιων νερών με υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο στη θάλασσα. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί μέσω των ανοδικών ρευμάτων σε αβαθείς περιοχές (5-10m).
- Συγκέντρωση του διαλυμένου φωσφόρου από οργανισμούς κατά την κατασκευή του σκελετού και τμημάτων του σώματος αυτού.
- Καθίζηση των φωσφορικών αλάτων από υπέρκορα ενδιάμεσα διαλύματα. Κατά το στάδιο αυτό, οι φωσφορικοί κόνδυλοι, ωόλιθοι, συνδετικό υλικό και φωσφοροποιηθέντες κοπρόλιθοι ή κόκκοι φωσφορικών αλάτων σχηματίζονται στο ιλυολιθικό κλάσμα.
- Έκλυση της ιλύος εξαιτίας ισχυρών κυματισμών συνοδεύεται από εμπλουτισμό του στρώματος του φωσφορίτη, λόγω μεταφοράς λεπτόκοκκων μη φωσφορικών υλικών.

Τα στάδια αυτά συγκέντρωσης του φωσφόρου είναι αποτελεσματικά στις περιοχές όπου ζουν στον πυθμένα της θάλασσας πολλά σκουλήκια και μαλάκια. Αυτά παράγουν κοπρόλιθους οι οποίοι μπορούν να αντικατασταθούν από φωσφορικά άλατα. Αν δεν υπάρχουν κοπρόλιθοι, τα φωσφορικά άλατα διαχέονται στη θάλασσα και εισέρχονται εκ νέου στον βιολογικό κύκλο. Για το λόγο αυτό, πλούσια κοιτάσματα φωσφοριτών σχηματίζονται σε τοπικές γεωγεωγραφικές επαρχίες.

Το μικρό βάθος της θάλασσας δεν επιτρέπει αποσύνθεση των νεκρών μικροοργανισμών κατά την κάθοδο τους και κατά συνέπεια αυτοί μεταφέρουν φώσφορο στον πυθμένα. Εξ άλλου ο υπερκορεσμός των ενδιάμεσων διαλυμάτων πραγματοποιείται μόνο εφόσον υπάρχει αφθονία πλαγκτόν και γρήγορη αποσύνθεση αυτού.

Κατά τον Bushinskii (1966), οι ποταμοί είναι η κύρια πηγή φωσφόρου. Αυτό συμπεραίνεται από τα εξής:

- Από την παρουσία αδρομερέστερου κλαστικού υλικού μαζί με τα φωσφορικά στρώματα

- Από την εμφάνιση των σημαντικότερων κοιτασμάτων φωσφόρου κοντά σε κρατονικές μάζες
- Από την απουσία αρκοζών και γραουβακών δηλαδή ιζημάτων του γεωσύγκλι-νου

Ο Youssef (1965) υποστηρίζει ότι ο σχηματισμός των φωσφοριτών πραγμα-τοποιείται βιοχημικά εντός κοιλωμάτων του πυθμένα της θάλασσας. Εντός αυτών των κοιλωμάτων αποσυντίθενται οι διάφοροι μικροοργανισμοί, ελευθερώνοντας δια-λυτά φωσφορικά και νιτρικά άλατα. Τα διαλυτά φωσφορικά άλατα αντιδρούν με τα ιόντα Ca^{+2} και καθιζάνουν ως αδιάλυτα φωσφορικά άλατα. Το περιβάλλον των κοι-λωμάτων κατά τον Youssef είναι τοξικό με αποτέλεσμα την απουσία απολιθωμάτων εντός των κοιτασμάτων, ενώ αυτά αφθονούν στα υπερκείμενα και επικείμενα ιζήματα (Σκουνάκης, 1979).

Για τους φωσφορίτες και τους φωσφορούχους ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώ-νης έχει επικρατήσει η άποψη ότι αυτοί σχηματίστηκαν λόγω της ύπαρξης ανοδικών ρευμάτων (upwelling system) (ανόργανη γένεση) με τη συμμετοχή του ποσοστού του φωσφόρου από σχηματισμούς της υφαλοκρηπίδας (βιοχημική γένεση).

1.6 ΦΩΣΦΟΡΙΤΕΣ

Ο Φωσφορίτης είναι πετρολογικός όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για φω-σφορούχα ιζηματογενή πετρώματα με περιεκτικότητα σε P_2O_5 μεγαλύτερη του 20% ενώ με τον όρο φωσφορικό πέτρωμα χαρακτηρίζονται τα ιζηματογενή πετρώματα, με περιεκτικότητα σε $\text{P}_2\text{O}_5 > 7,5\%$ (Μελιδώνης, 1992).

Τα ιζηματογενή φωσφορούχα κοιτάσματα συμμετέχουν με ποσοστό περίπου 80% στην παραγωγή φωσφορούχου μεταλλεύματος και τα υπόλοιπα προέρχονται κυρίως από πυριγενή φωσφορούχα κοιτάσματα. Η παγκόσμια παραγωγή φωσφο-ρούχων μεταλλευμάτων παρουσιάζει σταθερή αυξητική τάση. Στον Ελληνικό χώρο, τα φωσφορούχα ιζηματογενή πετρώματα εντοπίστηκαν για πρώτη φορά το 1976 στην Ήπειρο από το Ι.Γ.Μ.Ε. παράρτημα Πρέβεζας, και αναπτύσσονται από τα Αλ-βανικά σύνορα μέχρι την Αιτωλοακαρνανία (νομός Πρεβέζης) (από Χάλεντ, 1998).

1.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Τα μεγαλύτερα και εκμεταλλεύσιμα αποθέματα φωσφορικών πετρωμάτων, γνωστά ως φωσφορίτες βρίσκονται σήμερα στο Μαρόκο, στις Η.Π.Α., στην Κίνα, στην Ιορδανία και στη Νότια Αφρική. Μάλιστα οι τρεις πρώρες χώρες συνεισφέρουν περίπου κατά τα 2/3 των απαιτήσεων του φωσφόρου παγκοσμίως.

Η διεθνής βιβλιογραφία, από οικονομικής άποψης, διαχωρίζει σε μη απολήψιμα στρώματα φωσφόρου, με $P_2O_5 < 10\%$, και σε απολήψιμα με $P_2O_5 > 30\%$. Ωστόσο ένα χαλαρό επιφανειακό κοίτασμα με $P_2O_5 > 12\%$ είναι εκμεταλλεύσιμο αν προσυγκεντρώνεται με επίπλευση flotation (φθηνή μέθοδος κατεργασίας). Παρόλα αυτά σήμερα στη Φλόριντα (Η.Π.Α.) εξορύσσεται κοίτασμα με περίπου 4,5% P_2O_5 . Το ελάχιστο απόθεμα εξαρτάται από τη χρήση και τις οικονομικές επενδύσεις. Για παράδειγμα ένα εργοστάσιο λιπασμάτων υψηλής περιεκτικότητας κοστίζει εκατομμύρια δολάρια θα πρέπει και τα αποθέματα να είναι εκατομμύρια τόνοι. Αντίθετα ένα εργοστάσιο λειοτρίβησης για άμεση χρήση απαιτεί μικρές επενδύσεις. Σ' αυτή την περίπτωση η παραγωγή μπορεί να είναι τόσο χαμηλή από λίγες δεκάδες χιλιάδες τόνους το χρόνο, και τα ολικά αποθέματα εκατοντάδες χιλιάδες τόνοι (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

Οι εμφανίσεις φωσφοριτών που εντοπίστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. στην περιοχή της Ηπείρου αποτέλεσαν αντικείμενο πολλών ερευνών. Θεωρήθηκαν πολύ σημαντικά διότι βρίσκονται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, γεγονός που τους προσδίδει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους εξόρυξης. Ωστόσο το μειονέκτημα της χαμηλής περιεκτικότητας σε P_2O_5 και το πρόβλημα διαχωρισμού του χρήσιμου ορυκτού (φρανκολίτης) από το στείρο στην προσπάθεια να ληφθεί εμπορεύσιμο προϊόν δεν απέδωσε.

Ο Αναστασάκης (1989) μελέτησε τις δυνατότητες εμπλουτισμού των μη εξαλωμένων φωσφορούχων πετρωμάτων της Ηπείρου με απώτερο στόχο την αξιοποίησή τους. Το ένα δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ελήφθη από τις περιοχές Κοσμηράς και Κολλωνιάτο των Ιωαννίνων με περιεκτικότητα σε P_2O_5 12%.

Από τις μεθόδους εμπλουτισμού που εφαρμόστηκαν φάνηκε η δυνατότητα να ληφθεί ένα προϊόν με αυξημένη περιεκτικότητα σε P_2O_5 που χαρακτηρίζεται συμπύ-

κνωμα όμως σε όλες διαπιστώθηκε αδυναμία διαχωρισμού των ορυκτών από τα στείρα.

1.8 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Το 95% της παγκόσμιας παραγωγής φωσφόρου χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία λιπασμάτων και το υπόλοιπο 5% από τη χημική βιομηχανία. Επομένως το μέλλον της παραγωγής φωσφόρου σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή φωσφορούχων λιπασμάτων (Χρηστίδης, 2009).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοιτασμάτων φωσφόρου που προορίζονται για βιομηχανική παραγωγή, από τους οποίους ο κυριότερος αναπτύσσεται σε λεκάνες και σε περιοχές ανάπτυξης ιζηματογενών σειρών. Αυτού του είδους τα κοιτάσματα μπορούν να διαιρεθούν σε υποκατηγορίες μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται τα κοιτάσματα φωσφοριτών που έχουν συχνά ωολιθική υφή και απαντούν σε ασβεστόλιθους πτυχωμένων σχηματισμών π.χ. περιοχή Karatan (Ρωσία) και Idaho (Η.Π.Α.). Επίσης οικονομικά κοιτάσματα αυτού του τύπου απαντούν και σαν στρώματα κροκάλων τα οποία προκύπτουν από υπολειμματικούς και επανατοποθετημένους φωσφορίτες (Φλόριντα Η.Π.Α.) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

Τα φωσφορικά άλατα χρησιμοποιούνται επίσης και στην επεξεργασία μεταλλικών επιφανειών, ως επιβραδυντικά φλόγας, στα απορρυπαντικά, στις οδοντόκρεμες. Επίσης βρίσκουν εφαρμογή στα φαρμακευτικά προϊόντα, στα βιοϋλικά, στα πυροτεχνήματα, στην επεξεργασία του νερού καθώς επίσης και στην παραγωγή κεραμικών. Παρά την τόσο ευρεία χρήση όμως αυτές οι βιομηχανικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν μόνο το 3-4% της συνολικής κατανάλωσης (Αναστασάκης, 1989).

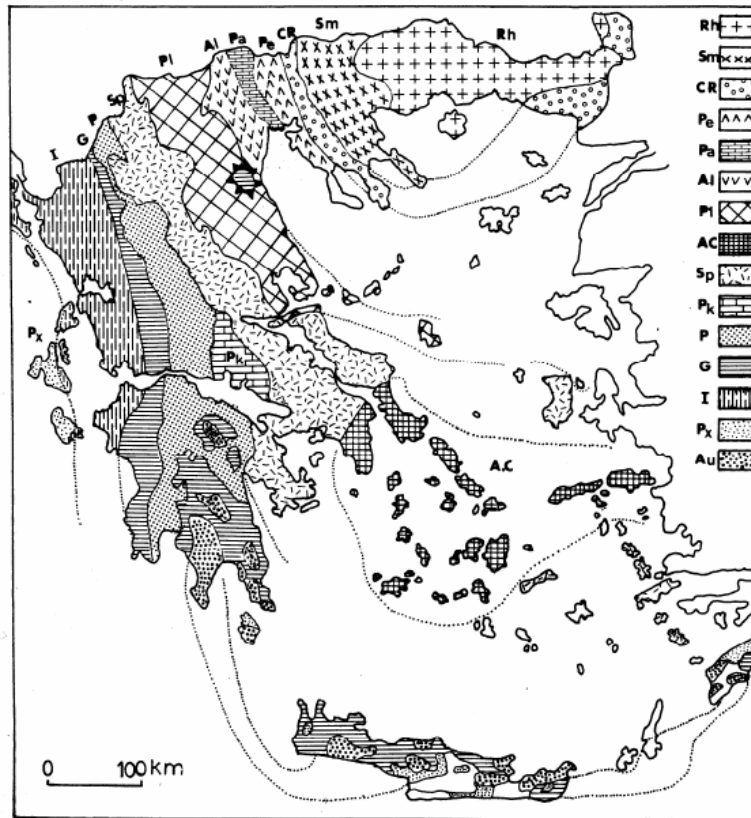
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ ΟΡΟΣΕΙΡΕΣ

Οι Ελληνίδες οροσειρές ως τμήμα του ευρύτερου Αλπικού χώρου οφείλουν τη γένεση τους στη σύγκρουση των ηπείρων της Αφρικής και της Ευρασίας με ταυτόχρονη καταβύθιση του ωκεανού της Τηθύος. Η σύγκλιση των δύο πλακών ξεκίνησε περίπου στις αρχές του Ιουρασικού ως αποτέλεσμα της καταβύθισης του ωκεάνειου φλοιού της δυτικής Τυθής που διαχώριζε κατά την περίοδο εκείνη τα δύο ηπειρωτικά τεμάχια.

Οι Ελληνίδες οροσειρές διαχωρίζονται σε δύο δομικές περιοχές τις Εσωτερικές και τις Εξωτερικές Ελληνίδες. Ο διαχωρισμός έγινε με βάση τις ηλικίες παραμόρφωσης ή μεταμόρφωσης των πετρωμάτων, τα πετρογραφικά-πετρολογικά χαρακτηριστικά καθώς και τη γεωμετρία και κινηματική των τεκτονικών δομών. Οι Εσωτερικές ζώνες αποτελούν δομικές περιοχές πολυσύνθετων τεκτονικά κρυσταλλικών πετρωμάτων Κρητιδικής-Παλαιοκαινικής ηλικίας. Τα παραπάνω συνήθως περιλαμβάνουν υλικά από τον ωκεάνιο φλοιό της Τηθύος, ενώ τοπικά εμφανίζονται μεταμορφωμένα κάτω από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων (Μουντράκης, 1985).

Ο όρος εξωτερικές Ελληνίδες χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Brunh (1956). Οι εξωτερικές Ελληνίδες από τα δυτικά προς τα ανατολικά αποτελούνται από τις ισοπικές ζώνες της Προαπούλιας, της Ιονίου, της Γαβρόβου και της Πίνδου (Σχήμα 2.1). Η Προαπούλια ζώνη ή ζώνη Παξών χαρακτηρίζεται από μια συνεχή ανθρακική ιζηματογένεση και από την απουσία των αποθέσεων του φλύσχη, ο οποίος και παρατηρείται στις υπόλοιπες ισοπικές ζώνες. Η Ιόνιος ζώνη ή Αδριατικοϊόνια ζώνη με βάση τις παλαιότερες αντιλήψεις αποτελούσε μια υποθαλάσσια αύλακα και ένα μειογεωσύγκλινο. Η ζώνη της Γαβρόβου ή Γαβρόβου – Τριπόλεως αποτελούσε ένα ύβωμα, το οποίο χώριζε τις αύλακες της Ιονίου και της Πίνδου. Η ζώνη της Πίνδου ή Ωλονού – Πίνδου, όπως και η Ιόνιος ζώνη, ήταν μια αύλακα (βαθύτερη από την Ιόνιο) και χαρακτηρίζεται ως ένα ευγεωσύγκλινο.



Σχήμα 2. 1: Γεωτεκτονική διάταξη των Ελληνίδων ζωνών Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμπανίας, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού -Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου -Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα πλακωδών ασβεστολίθων (Plattencalk) (Μουντράκης, 1985)

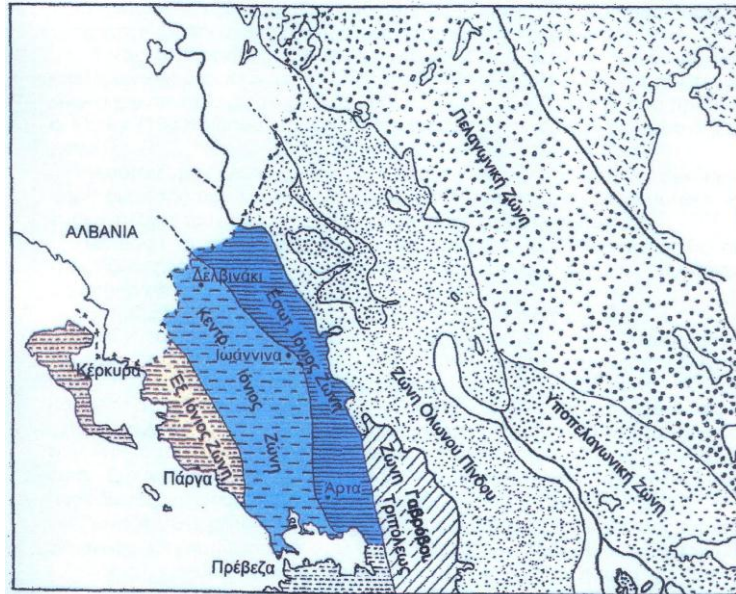
Σύμφωνα με τις νέες αντιλήψεις της παγκόσμιας τεκτονικής η Ιόνιος και η Γάβροβος αποτέλεσαν τη λεκάνη προχώρας της Πίνδου από το Ανώτερο Ηώκαινο έως το Ανώτερο Ολιγόκαινο, η δημιουργία της οποίας ήταν το αποτέλεσμα της φόρτισης της από το βάρος των επωθημένων στρωμάτων, κατά τη διάρκεια της Νοτιοδυτικής μετανάστευσης των Εξωτερικών Ελληνίδων. Η μετανάστευση αυτή των ισοπικών ζωνών συνοδεύτηκε και από ταυτόχρονη μετανάστευση του υπόκεντρου της λεκάνης προχώρας. Η προχώρα αναπτυσσόταν δυτικά της επωθήσεως της Πίνδου, ως συνέπεια της λειτουργίας της επώθησης, κατά το Ανώτερο Ηώκαινο – Κατώτερο Ολιγόκαινο. Το υλικό, με το οποίο τροφοδοτήθηκε η προχώρα, προήλθε από τα ανατολικά, από το μέτωπο της επώθησης της Πίνδου (από Μπάτσαλα, 2006).

2.2 ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

Η Ήπειρος και συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης ανήκει στην Ιόνιο ζώνη των Εξωτερικών Ελληνίδων και γι' αυτόν το λόγο η Ιόνιος ζώνη θα αναπτυχθεί περισσότερο. Η Ιόνιος ζώνη αναπτύσσεται στα ανατολικά τμήματα των νησιών του Ιονίου πελάγους, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο καθώς και στα νησιά της Δωδεκανήσου Κάρπαθο, Ρόδο και Κρήτη. Επίσης αναπτύσσεται στην Ήπειρο, στην Αιτωλοακαρνανία, στη Βορειοδυτική Πελοπόννησο (Σχήμα 2.1) και στο νοτιοδυτικό τμήμα της Αλβανίας.

Η Ιόνιος ζώνη αποτελούσε μια υποθαλάσσια αύλακα, που παρεμβαλλόταν ανάμεσα στο υποθαλάσσιο ύψωμα της Απούλιας ζώνης (δυτικά) και στο ύψωμα της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης (ανατολικά). Η αύλακα αυτή δεν ήταν συνεχής, αλλά διακοπτόταν από υβώματα, τα οποία άλλοτε προκαλούσαν μείωση του πάχους των ιζημάτων και άλλοτε στρωματογραφικά κενά δημιουργώντας ασυμφωνίες. Τα υβώματα αυτά αντιστοιχούν στις σημερινές θέσεις των αντικλίνων.

Η Ιόνιος ζώνη στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας, με βάση τις διαφορές τις οποίες παρουσιάζει στη στρωματογραφική της επαλληλία στην αξονική περιοχή και στις περιοχές, των παρυφών της, διακρίθηκε, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, στις τρεις επί μέρους ζώνες : α) την Εξωτερική Ιόνιο ζώνη, β) την Κεντρική Ιόνιο ζώνη και γ) την Ανατολική Ιόνιο ζώνη (Κατσικάτσος 1992)(Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2. 2: Γεωτεκτονικές ζώνες της ΒΔ Ελλάδας και η υποδιαίρεση της Ιονίου Ζώνης σε επιμέρους υποζώνες (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

Η ιζηματογένεση στο χώρο της Ιονίου αύλακας ήταν συνεχής από το Τριαδικό έως το Ανώτερο Ηώκαινο με εξαίρεση κάποιες θέσεις, όπου διαπιστώνονται διακοπές στην ιζηματογένεση με ασυμφωνίες κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού σε περιοχές της Ηπείρου και της δυτικής Στερεάς Ελλάδας (I.F.P./I.G.S.R., 1966).

Η ανθρακική ιζηματογένεση στη ζώνη αυτή τελειώνει στο Ανώτερο Ηώκαινο, όπου την περίοδο αυτή λαμβάνει χώρα η μετάβαση από την ανθρακική στην κλαστική ιζηματογένεση με το ξεκίνημα της απόθεσης του φλύσχη. Οι φλυσχικές αποθέσεις στο μεγαλύτερο τμήμα της Ιονίου ζώνης κάθονται σύμφωνα πάνω στους Ηωκαινικούς ασβεστόλιθους, ενώ έχουν αναφερθεί και θέσεις, όπου οι δύο αυτοί σχηματισμοί βρίσκονται σε ασυμφωνία (I.G.S.R. & I.F.P., 1966; B.P., 1971; Jenkins, 1972).

Τα ιζήματα της Ιονίου ζώνης σύμφωνα με νεότερες απόψεις διαχωρίζονται σε τρεις βασικές ακολουθίες οι οποίες αντιστοιχούν σε τρία στάδια εξέλιξης τα οποία είναι τα εξής:

1. στάδιο προ της ταφρογένεσης (pro-rift)
2. στάδιο σύγχρονο με την ταφρογένεση (syn-rift) και
3. στάδιο μετά την ταφρογένεση (post-rift).

1. Στάδιο προ της ταφρογένεσης

Το στάδιο αυτό αντιπροσωπεύεται από τους νηριτικούς κάτω Ιουρασικούς ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα. Οι νηριτικοί αυτοί ασβεστόλιθοι υπέρκεινται, μέσω των Ασβεστολίθων Φουσταπήδημα (Μέσο – Άνω Τριαδικό) επί των εβαποριτών Κάτω – Μέσο Τριαδικής ηλικίας, των οποίων το πάχος ξεπερνά τα 3.000m. Το υπό-εβαποριτικό υπόβαθρο της Ιονίου ζώνης δεν έχει αποκαλυφθεί (Μουντράκης, 1985).

2. Στάδιο σύγχρονο με την ταφρογένεση

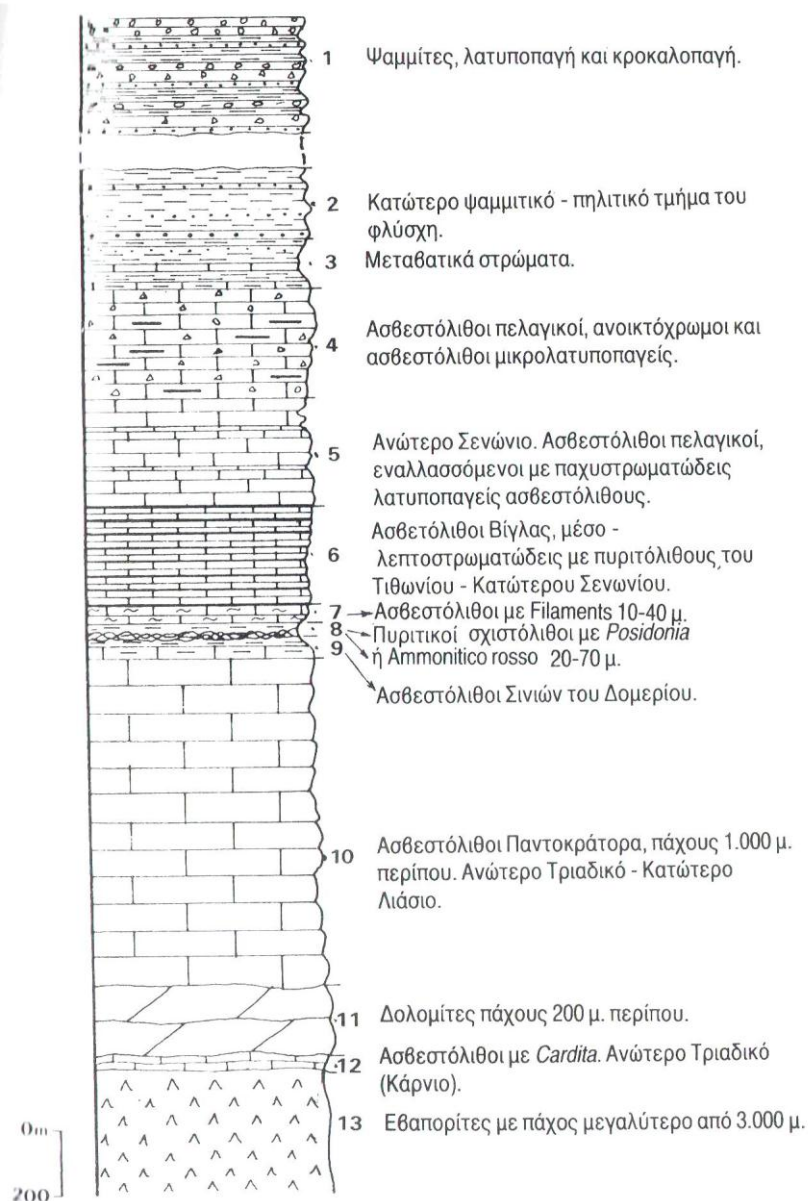
Το στάδιο αυτό ξεκινά με την απόθεση των Ασβεστολίθων του Λούρου οι οποίοι αποτέθηκαν στο Κατώτερο Ιουρασικό. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί σηματοδοτούν την έναρξη της καταβύθισης της περιοχής η οποία εκφράζεται από συναποθετικά ιζηματογενή πρίσματα όπως του *Ammonitico rosso*, των Ασβεστολίθων με *Filaments* και σχιστόλιθων με Ποσειδώνιες στο Μέσο και Ανώτερο Ιουρασικό. Ασυμφωνίες είναι πολύ συχνές στα ανώτερα τμήματα των πρισμάτων, ενώ παρατηρούνται και μεγάλες διαφορές στο στρωματογραφικό πάχος των αποθέσεων κατά μήκος της λεκάνης (Μουντράκης, 1985).

3. Στάδιο μετά την ταφρογένεση

Το στάδιο αυτό καθορίζεται από την ασυμφωνία στη βάση των πελαγικών Ασβεστολίθων της Βίγλας στο κατώτερο Βεριάσσιο (Κατ. Κρητιδικό). Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι λεπτοπλακώδεις με παρενστρώσεις πυριτόλιθων. Η ιζηματογένεση των ασβεστολίθων την περίοδο αυτή είναι σύγχρονη σε όλη την Ιόνιο ζώνη. Οι διαφορές στο πάχος των Ασβεστολίθων της Βίγλας φανερώνουν τη συνέχιση της κίνησης του εβαποριτικού υπόβαθρου. Από το Ανώτερο Σενώνιο έως το Ανώτερο Ηώκαινο συνεχίζεται η πελαγική ιζηματογένεση οπότε αποτίθενται πελαγικοί ασβεστόλιθοι κατά θέσεις μικρολατυποπαγείς. Στο Μέσο Ηώκαινο – Κατώτερο Ολιγόκαινο ξεκινά η ιζηματογένεση του φλύσχη (Μουντράκης, 1985).

Αναλυτικότερα, οι σχηματισμοί που παίρνουν μέρος στη στρωματογραφική επαλληλία της Ιονίου ζώνης, στην περιοχή της Ηπείρου - Ακαρνανίας, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, είναι οι παρακάτω (Σχήμα 2.3) :

- Εβαπορίτες (ανυδρίτης γύψου και ορυκτό αλάτι) προκαρνικής ηλικίας, που πολλές φορές συνοδεύονται από ασβεστολιθικά λατυποπαγή. Τα κατώτερα όρια των εβαποριτών δεν είναι γνωστά, γι' αυτό δεν αποκλείεται να συμμετέχουν σ' αυτούς και εβαπορίτες του Ανώτερου Περμίου. Οι εβαπορίτες αυτοί, σύμφωνα με γεωτρήσεις που έγιναν σε διάφορες περιοχές της Ιονίου ζώνης για την ανεύρεση πετρελαίου, έχουν μεγάλο πάχος.
- Το Ανώτερο Τριαδικό αντιπροσωπεύεται από μαύρους υπολιθογραφικούς ασβεστόλιθους, που επίκεινται στην κύρια μάζα των εβαποριτών, τους οποίους ο C.Renz ονόμασε *Ασβεστόλιθους Φουσταπήδημα*.
- Προς τα πάνω ακολουθούν άστρωτοι δολομίτες, χωρίς απολιθώματα, με πάχος μερικές φορές αρκετές εκατοντάδες μέτρα, οι οποίοι θεωρήθηκαν ισότιμοι με τους δολομίτες των Ανατολικών Άλπεων, που εντάσσονται στο Κατώτερο Νόριο.
- Ακολουθούν νηριτικοί ασβεστόλιθοι, μερικώς δολομιτωμένοι, κυρίως άστρωτοι στους οποίους ο C. Renz έδωσε το όνομα *ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα*. Έχουν συνολικό πάχος έως και 1500m περίπου και καλύπτουν το στρωματογραφικό εύρος Ανώτερο Τριαδικό-Κατώτερο Λιάσιο.



Σχήμα 2. 3: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης (Κατσικάτσος, 1992)

- Το μέσο Λιάσιο αντιπροσωπεύεται από τους Ασβεστόλιθους Σινιών, που είναι καλά στρωμένοι και φέρνουν πυριτόλιθους.
- Το Ανώτερο Λιάσιο και το Κατώτερο Δογγέριο παρουσιάζεται με δύο φάσεις. Στις επί μέρους αύλακες που είχε πραγματοποιηθεί απόθεση πυριτικών ιζημάτων όπου πρόκειται για πυριτιόλιθους, ποικίλου χρώματος γνωστοί και ως Κατώτεροι πυριτικοί σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες, πάχους έως 100m. Στα επί μέρους επιμήκη υβώματα και στις παρυφές τους εμφανίζονται ερυθροϊώδεις κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με Αμμωνίτες

(Ammonitico Rosso), με ενστρώσεις μαργών πολλές φορές, που έχουν την ίδια ηλικία με τους σχηματισμούς του προηγούμενου στρωματογραφικού ορίζοντα και το πάχος τους φτάνει τα 35m.

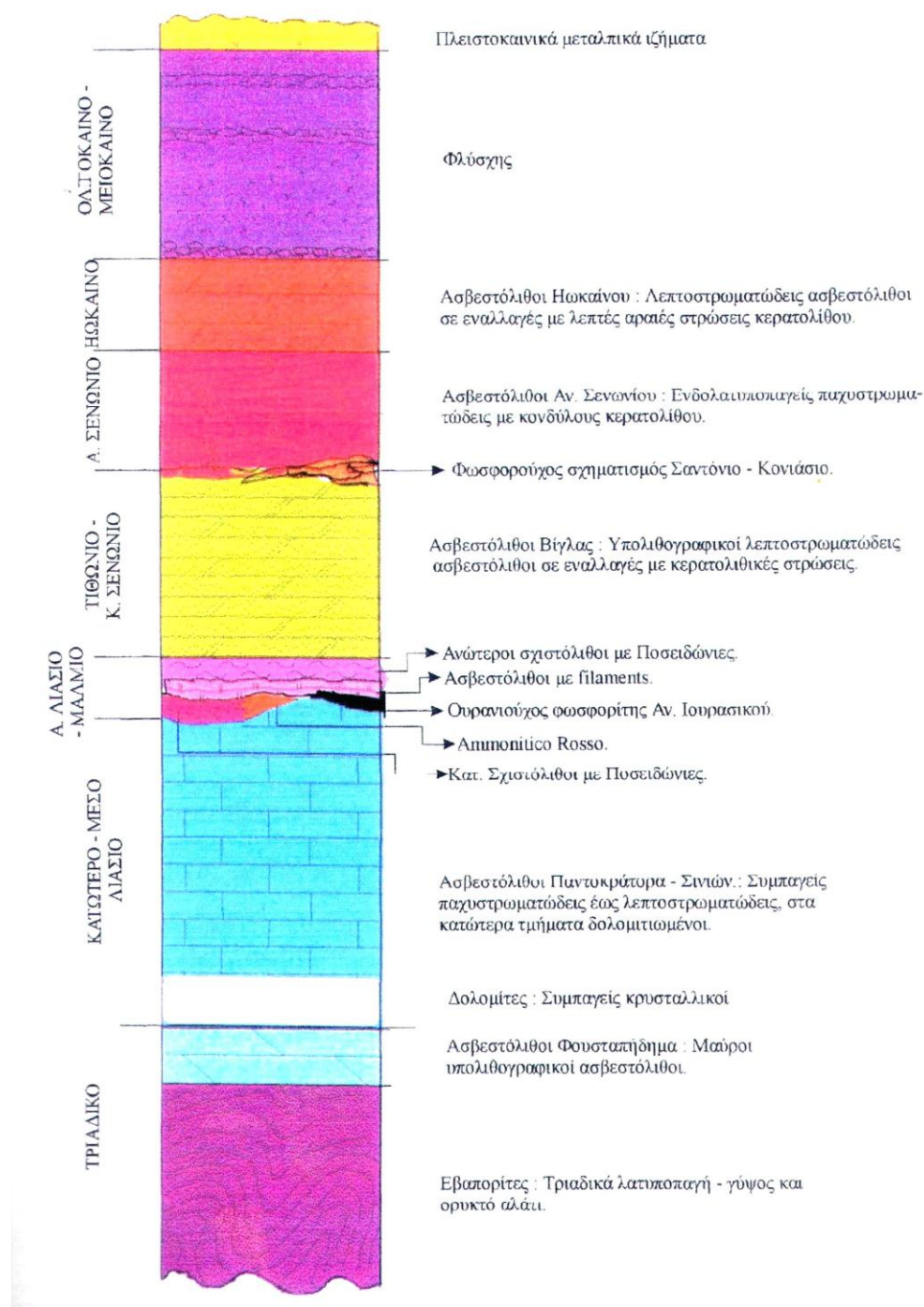
- Στη συνέχεια, προς τα πάνω, απαντάται ένας χαρακτηριστικός ορίζοντας από λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους, που μοιάζουν με το Ammonitico Rosso και περιέχουν Filaments, Ακτινόζωα και Αμμωνίτες. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί αναφέρονται ως *Ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι με Filaments*.
- Στο Ανώτερο Δογγέριο απαντώνται πυριτικά στρώματα πάχους έως και 60m, που είναι γνωστά ως *Ανώτεροι πυριτικοί σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες*. Πολλές φορές οι 'σχιστόλιθοι' αυτοί αποτελούν με τους 'Κατώτερους σχιστόλιθους' έναν ενιαίο ορίζοντα, με πολύ μικρό πάχος ή με καθολική απουσία των Ενδιάμεσων ασβεστολίθων με Filaments.
- Πάνω στα στρώματα του Ανώτερου Δογγερίου αναπτύσσονται σ' όλη την έκταση της Ιονίου ζώνης οι *ασβεστόλιθοι Βίγλας*, που είναι λεπτοπλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι, γκρίζου χρώματος και μερικές φορές κόκκινου. Το πάχος τους κυμαίνεται μέχρι 700m.
- Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας συνεχίζονται προς τα πάνω με πελαγικούς ασβεστόλιθους του Ανώτερου Σενωνίου. Το πάχος των ασβεστολίθων αυτών κυμαίνεται από 50-500m.
- Με ομοφωνία στρώσης πάνω στον προηγούμενο ορίζοντα αναπτύσσονται ασβεστόλιθοι του Παλαιοκαίνου-Ανωτέρου Ηωκαίνου, που έχουν πάχος από 100-500m και δεν παρουσιάζουν διαφορές με τους ανωσενώνιους ασβεστόλιθους. Είναι και αυτοί πελαγικοί και έχουν παρεμβολές λατυποπαγών ασβεστολίθων ή εναλλάσσονται με αυτούς.
- Η έναρξη της απόθεσης του φλύσχη στην Ιόνιο ζώνη γίνεται στο Ανώτερο Ηώκαινο. Από λιθοφασική άποψη, το κατώτερο τμήμα του φλύσχη είναι ψαμμιτομαργαϊκό με παρεμβολές μαργαϊκών και οργανογενών ασβεστολίθων ενώ το ανώτερο τμήμα του είναι με περισσότερα μαργαϊκά και αργιλικά στρώματα (Κατσικάτσος, 1992).

2.3 ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Η έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε. «Μελέτη και αποτίμηση δυναμικού ορυκτών και ενεργειακών πρώτων υλών, (Ουρανιούχοι Φωσφορίτες)» ακολουθώντας μια σειρά από πετρολογικές και γεωλογικές αναγνώσεις, τομές δειγματοληψίας και μετρήσεις ραδιενέργειας είχε σαν αποτέλεσμα τον εντοπισμό, σε πρώτη φάση, του φωσφορικού σχηματισμού Κρητιδικής ηλικίας και σε δεύτερο στάδιο, πάντα στα πλαίσια γενικών αναγνώσεων, τον ουρανιούχο σχηματισμό Ιουρασικής ηλικίας (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

2.3.1 Άνω Κρητιδικής ηλικίας φωσφορίτες

Εμφανίζονται στην Κεντρική Ιόνιο υποζώνη. Η στρωματογραφική του θέση τοποθετείται στην οροφή του σχηματισμού των Ασβεστολίθων Βίγλας λίγα μέτρα χαμηλότερα από τους ενδολατυποπαγείς ασβεστόλιθους του ανώτερου Σενωνίου (Σχήμα 2.4). Ο φωσφορούχος σχηματισμός αναπτύσσεται σε μήκος 150km σε διεύθυνση Βορράς Νότος. Αρχίζει νότια από τη λίμνη Αμβρακίας και βόρεια καταλήγει στα Ελληνοαλβανικά σύνορα, στην περιοχή Πωγωνίου. Ενώ στην ίδια στρωματογραφική θέση εντοπίζεται και στο εσωτερικό της Αλβανίας.



Σχήμα 2. 4: Λιθοστρωματογραφική παράσταση των σχηματισμών της Ιονίου ζώνης με τη θέση των φωσφορικών οριζόντων (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

Ο άνω Κρητιδικής ηλικίας φωσφορούχος σχηματισμός έχει τύχει εκτεταμένης και μακρόχρονης έρευνας, τόσο για τον προσδιορισμό της στρωματογραφικής του θέσης, της ιζηματολογικής του ανάλυσης, τις συνθήκες γένεσής του, όσο και για τον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών του χαρακτηριστικών, καθώς και πληθώρα άλλων εργασιών.

Συνοπτικά από την έρευνα που έχει γίνει προκύπτει ότι:

- Η εναπόθεση του φωσφορικού υλικού έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια μικρής χρονικής περιόδου, ~5Ma, από το Κονιάσιο μέχρι το Σαντώνιο.
- Εξάπλωση κατά μήκος στενής ζώνης, μέσου πλάτους 10-20km και μήκους πέραν των 150km.
- Το φωσφορικό ίζημα εμφανίζεται κυρίως σε μορφή παράλληλων χιλιοστομετρικών ταινιών και εναλλάσσεται με πελαγικά ανθρακικά και πελαγικά στρώματα.
- Το μέσο πάχος του είναι 10m με διακυμάνσεις από 2 μέχρι 30m.
- Η μέση περιεκτικότητα σε P_2O_5 είναι της τάξης του 10-12% με διακυμάνσεις μεταξύ του 2 και 30%. Παρατηρείται πάντως μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση του πάχους και της περιεκτικότητας σε P_2O_5 .
- Η περιεκτικότητα του U είναι της τάξης των 40 μέχρι 60ppm χωρίς αξιόλογες μεταβολές.
- Στις περιοχές που το φωσφορικό υλικό έχει υποστεί φυσικό εμπλουτισμό λόγω επιφανειακής εξαλλοίωσης η περιεκτικότητα του παρουσιάζεται σημαντικά υψηλότερη.
- Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας το φωσφορικό υλικό δεν είναι επιδεκτικό, με τα σημερινά τεχνικά δεδομένα, βιομηχανικής αξιοποίησής του.

Ο άνω Κρητιδικός φωσφορούχος σχηματισμός της Ιονίου ζώνης σύμφωνα με τον Πομώνη (1994), ανήκει στο σύμπλεγμα των άνω Κρητιδικών-Ηωκαινικών φωσφορούχων σχηματισμών της Τηθύος, που καταλαμβάνουν περιοχή του Μειογεωσυγκλίνου της, όπου η μικρή ταχύτητα ιζηματογένεσης και η δημιουργία δυναμικού συστήματος ανοδικών θαλάσσιων ρευμάτων παράλληλων προς το επίπεδο του Ισημερινού και διεύθυνση Α – Δ, ευνόησαν τη φωσφορογένεση.

Κατά τον ίδιο ερευνητή στο χώρο αυτό δημιουργήθηκαν περιοχές υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας που στη συνέχεια εξελίχθηκαν σε περιοχές φωσφορογένεσης (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

2.3.2 Ιουρασικής ηλικίας ουρανιούχοι φωσφορίτες

Η στρωματογραφική θέση του ουράνιοφωσφορούχου σχηματισμού τοποθετείται μεταξύ των ανώτερων τμημάτων των Αβεστολίθων Παντοκράτορα-Σινιών και του ανώτερου ορίζοντα των σχιστολίθων με Ποσειδώνιες (Σχήμα 2.4). Εμφανίζεται σε περιοχές σε όλο το πλάτος της κεντρικής και εξωτερικής Ιόνιας υποζώνης καθώς και σε ένα τμήμα (αντίκλινο Μιτσικελίου) στο δυτικό περιθώριο της εσωτερικής Ιονίου ζώνης. **Η ανάπτυξη του από νότια προς τα βόρεια υπερβαίνει τα 150km**, δεδομένου ότι αρχίζει από τα περίχωρα της πόλης της Άρτας και καταλήγει στην περιοχή Δελβινακίου στα Ελληνοαλβανικά σύνορα. Ενώ, συνεχίζει στην ίδια ζώνη και στο εσωτερικό της Αλβανίας. Στο χάρτη (1) του Παραρτήματος παρουσιάζεται σε γεωλογική τομή η θέση των Ιουρασικών φωσφοριτών σε περιοχή της Αλβανίας.

Αποτελεί σταθερό στρωματογραφικό ορίζοντα, ο οποίος παρουσιάζει επιμέρους διαφοροποιήσεις ως προς την πετρολογική σύνθεση και τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Μακροσκοπικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι το τεφρό μέχρι μελανό χρώμα, η έντονη οσμή βιτουμενίων που αναδίδει κατά τη θραύση του και η χαρακτηριστική μορφή εμφάνισής του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην ύπαιθρο διακρίνεται στις δύο παρακάτω μορφές εμφάνισης :

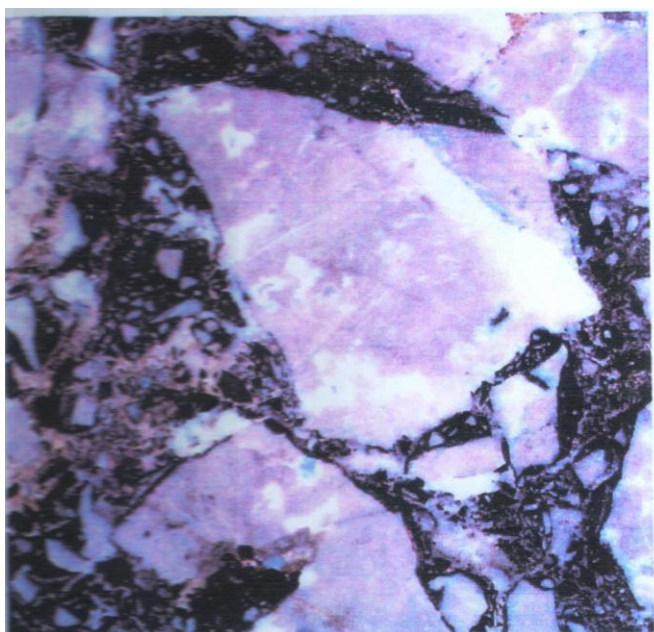
➤ **Με τη μορφή ιζηματογενών φλεβών (φλεβική μορφή)**

Η φλεβική μορφή είναι η χαρακτηριστικότερη και η πλέον διαδεδομένη μορφή εμφάνισης των ουρανιούχων φωσφοριτών. Οι φλέβες αυτές είναι σχετικά πυκνές με πάχος λίγων δεκάδων εκατοστών που κατά τόπους απαντούν με τη μορφή Stockwork. Η κύριες διευθύνσεις των πληρωμένων ρωγμών είναι η B30 και η B320 ενώ σε λιγότερο ποσοστό είναι αυτές με διεύθυνση B-N. Εμφανίζονται σε πυκνή ανάπτυξη στα ανώτερα στρώματα των Αβεστολίθων Παντοκράτορα-Σινιών και η ανάπτυξή τους φθάνει και μέχρι 120m.

Τα τοιχώματα των φλεβών δεν έχουν έντονα τα χαρακτηριστικά της καρστικής διάβρωσης παρ' όλο που στα ανώτερα τμήματα παρουσιάζονται ίχνη καρστικοποίησης.

Το υλικό πλήρωσης αποτελείται από γωνιώδεις λατύπες Ασβεστολίθων του Παντοκράτορα-Σινιών, διαστάσεων από 0,5-4cm οι οποίες κολυμπούν σε μια λεπτή μάζα ουρανιούχου φωσφορίτη, τεφρού έως μελανού χρώματος, δίνοντας την εντύπωση ενός μωσαϊκού (Σχήμα 2.5). Συχνή επίσης είναι η παρουσία φλεβών στις οποίες το υλικό πλήρωσης αποτελείται από γωνιώδεις λατύπες Ασβεστολίθων Παντοκράτορα-Σινιών και γωνιώδεις λατύπες συμπαγούς φωσφορικού υλικού. Σ αυτή την περίπτωση οι λατύπες αυτές πλέουν μέσα σε μια μάζα ξανθοκίτρινου χρώματος, που αποτελείται από ανθρακομαργαϊκό υλικό και μικρότερων διαστάσεων λατύπες φωσφορικού υλικού.

Ενίοτε οι παραπλήσιες σε αυτές ιζηματογενείς φλέβες έχουν πληρωθεί από κρυσταλλικό ανθρακομαργαϊκό υλικό ξανθοκίτρινου χρώματος, στο οποίο δεν υπάρχει φωσφορικό υλικό. Παρόμοιας σύνθεσης με το υλικό αυτό εντοπίζεται συχνά σε φακοειδείς συγκεντρώσεις διαστάσεων 2*5 μέτρων στην οροφή του φωσφορούχου σχηματισμού (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).



Σχήμα 2. 5: Φλεβικός τύπος ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

➤ **Με τη στρωματοειδή μορφή στρωμάτων (συμπαγής μορφή).**

Στη στρωματοειδή του μορφή ο ουρανιούχος φωσφορίτης αναπτύσσεται επί των Ασβεστολίθων Παντοκράτορα-Σινιών και εμφανίζεται σε συνέχεια της φλεβικής μορφής σαν υλικό πλήρωσης μικρών (καρστικών) εγκοίλων διαστάσεων το πολύ 100*200m. Το χρώμα του είναι γκρι σκούρο έως μελανό και έχει έντονη οσμή βιτουμενίων (Σχήμα 2.6). Το πάχος του κυμαίνεται από 1 έως 6m και πλευρικά αποσφηνώνεται στους κατώτερους ορίζοντες των σχιστόλιθων με Ποσειδώνιες ή στους ασβεστόλιθους με *Filaments*.

Σ' αυτόν τον τύπο εντάσσονται και οι λεπτές εναλλαγές στρώσεων φωσφορικού υλικού πάχους 0,5-50cm με ασβεστολιθικές στρώσεις μικρού πάχους οι οποίες φέρουν απολιθώματα στρωματολίθων-φυκών. Οι εναλλαγές αυτές καλύπτονται ή αποσφηνώνονται πλευρικά σε λεπτοστρωσιγενείς ασβεστόλιθους με *Filaments*. Σημειώνεται πάντως ότι ο διαχωρισμός αυτού του τύπου μεταλλοφορίας από αυτό των ιζηματογενών φλεβών είναι δύσκολος και αυτό λόγω των απότομων πλευρικών αποσφηνώσεων που παρουσιάζει. Αρκεί όμως μια προσεκτική παρατήρηση στον ασβεστόλιθο που τον περιβάλλει για τον ακριβή προσδιορισμό του (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).



Σχήμα 2. 6: Συμπαγής τύπος ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα ήταν το Δελβινάκι. Πρόκειται για μια ορεινή περιοχή Β ΒΔ της Ιόνιας ζώνης σε απόσταση 100 περίπου km από την πόλη των Ιωαννίνων με υψηλότερες κορυφές τη Ρονίτσα και το Κουτσόκρανο που φθάνουν τα 1100 και 1300m αντίστοιχα. Ενδιάμεσα αναπτύσσονται περιορισμένης έκτασης ήπιοι λοφίσκοι, με μέσο υψόμετρο 600-800m, στα πρηνή των οποίων υπάρχουν περιορισμένες εκτάσεις καλλιεργήσιμης έκτασης. Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονα ορεινό και είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής δράσης και της επακόλουθης φυσικοχημικής διάβρωσης των πετρωμάτων.

Γεωλογικά το πεδίο μελέτης ανήκει στην κεντρική Ιόνιο υποζώνη. Η λιθοστρωματογραφία στην περιοχή της έρευνας προέκυψε από τη γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε από μία ομάδα γεωλόγων του Ι.Γ.Μ.Ε. στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, που πραγματοποιήθηκε σε κλίμακες 1:20000, 1:1.300 και 1:2000 (Χάρτες 2,3 & 4 Παράρτημα).

Στην περιοχή του Δελβινακίου εμφανίζονται από κάτω προς τα άνω οι ακόλουθοι πετρολογικοί σχηματισμοί (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ - ΣΙΝΙΩΝ

Οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα και Σινιών, καταλαμβάνουν σημαντική έκταση κυρίως στο νότιο μέρος της περιοχής έρευνας. Στα κατώτερα τμήματα, πλησίον της επαφής τους με τα υποκείμενα Τριαδικά λατυποπαγή, παρουσιάζονται έντονα κατακερματισμένοι και διαβρωμένοι. Ο κατακερματισμός αυτός είναι συνέπεια της τεκτονικής που έχει διαταράξει την περιοχή και έχει σαν αποτέλεσμα το πέτρωμα να αποκτήσει τη μορφή τεκτονικού λατυποπαγούς έως και χαλαρής άμμου. Στα ανώτερα τμήματα οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζονται συμπαγείς άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις και φέρουν αραιούς φακούς κερατολίθου. Το χρώμα τους είναι υπόλευκο προς το γκρίζο.

Στην περιοχή που έγινε η έρευνα οι ασβεστόλιθοι Σινιών εμφανίζονται λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις. Είναι συμπαγείς, υπολιθογραφικοί, με κελυφοειδή θραύση. Το χρώμα τους είναι τεφρό προς το υπόλευκο και κατά τόπους παρουσιάζει κόκκινες αποχρώσεις σε μορφή κηλίδων. Στα ανώτερα τμήματα εντός των ασβεστολιθικών στρώσεων εντοπίζονται, σε αραιές εμφανίσεις, φακοί κερατολιθικού

υλικού, καφετί έως μελανού χρώματος, οι οποίοι κατά θέσεις εξελίσσονται σε λεπτές και μικρής ανάπτυξης στρώσεις

Οι δύο τύποι ασβεστολίθων, στη γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε, εξετάστηκαν σαν ενιαίος πετρολογικός ορίζοντας με την ονομασία ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα, γιατί αυτό εξυπηρετούσε καλύτερα την κοιτασματολογική έρευνα. Άλλωστε σταδιακά στα ανώτερα τμήματα των ασβεστολίθων εντός των ρωγμών και των διακλάσεων εμφανίζονται οι πρώτες συγκεντρώσεις του ουρανιούχου φωσφορίτη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΟΥΡΑΝΙΟΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ

Στην περιοχή Δελβινακίου εμφανίζονται και οι δύο μορφές μεταλλοφορίας οι οποίες ερευνήθηκαν σε λεπτομερή στάδια έρευνας στις θέσεις, ΠΕΔΙΟ 1 και ΠΕΔΙΟ 2 (γεωλογικός χάρτης 3&4 Παράρτημα).

Η φλεβική μορφή εντοπίζεται σε μια ζώνη μεγάλης έκτασης σε πάχος 20 έως 30m. Έχει πληρώσει τις ρωγμές και τις διακλάσεις που υπάρχουν στο ανώτερο τμήμα των Ασβεστολίθων Παντοκράτορα Σινιών.

Συνέχεια της φλεβικής μορφής, σε ομαλή εξέλιξη προς τα πάνω, ακολουθεί η μεταλλοφορία στη συμπαγή της μορφή. Το μέσο πάχος είναι της τάξης των 3-4m το οποίο προς την περιφέρεια της περιοχής μειώνεται δραστικά στα 0,30-0,50cm. Το μέγιστο πάχος της μεταλλοφορίας, (6m), εντοπίζεται κατά μήκος μιας τεκτονικής δομής με ΒΔ διεύθυνση και έχει πληρώσει ένα μικρών διαστάσεων καρστικό έγκοιλο.

Επίσης η ουράνιοφωσφορούχος μεταλλοφορία εντοπίζεται και στους υπερκείμενους της συμπαγούς μορφής γκριζωπού χρώματος ασβεστόλιθους με *Filaments*. Σε αυτή την περίπτωση ο ουρανιούχος φωσφορίτης, εμφανίζεται με τη μορφή κονδύλων ή με τη μορφή εμποτισμών στη μάζα του ασβεστόλιθου.

Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι στην περιοχή που ερευνήθηκε το συνολικό πάχος των πετρωμάτων που φέρουν ουράνιοφωσφορούχο μεταλλοφορία κυμαίνεται μεταξύ των 25 και των 30m και η φωσφορογένεση παρακολουθείται από τα ανώτερα

τμήματα των Ασβεστολίθων Παντοκράτορα Σινιών μέχρι τους ασβεστόλιθους με *Filaments* (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ FILAMENTS

Εμφανίζονται σ' όλη την έκταση της περιοχής έρευνας. Όμως ο ερπυσμός των υπερκείμενων σχιστολίθων με Ποσειδώνιες επί των κατώτερων πετρωμάτων, καθιστά δύσκολο τον εντοπισμό τους και την ακριβή οριοθέτησή τους.

*Το πάχος τους παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Κυμαίνεται μεταξύ των 2 μέχρι 10m αν και παρουσιάζει σημαντικές κατά τόπους αυξομειώσεις. Εμφανίζεται σε στρώσεις πάχους 10-20cm. Φέρει αραιούς φακούς κερατολίθων που ενίοτε εξελίσσονται σε λεπτές στρώσεις. Πρόκειται για ασβεστόλιθο με υπόλευκο έως μπεζ-ξανθό χρώμα, το οποίο κατά θέσεις αποκτά και κόκκινες αποχρώσεις. Από τη μικροσκοπική περιγραφή το πέτρωμα χαρακτηρίζεται βιομικρίτης, ο οποίος φέρει άφθονα απολιθώματα *Filaments* και ραδιολαρίτες.*

Συχνά στα κατώτερα τμήματα εμφανίζεται σε στρώσεις γριζωπού ασβεστόλιθου με ζαχαροειδή υφή και απολιθώματα στρωματολίθων. Εντός των στρώσεων αυτών εντοπίζονται μικροκόνδυλοι φωσφορικού υλικού, το οποίο συχνά εμποτίζει και την ασβεστολιθική μάζα. Η παρουσία αυτών των κονδύλων είναι αραιή και συνδέεται με την παρουσία των στρωματολίθων (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΕΣ

Στην περιοχή της έρευνας εμφανίζεται μόνο ο ανώτερος ορίζοντας των σχιστολίθων με Ποσειδώνιες. Το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ των 20 και 40m. Όμως και στην ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει αυξομειώσεις κατά την πλευρική τους ανάπτυξη.

Αποτελείται από εναλλαγές κερατολιθικών και ασβεστολιθικών στρώσεων, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται λεπτές στρώσεις αργιλοπηριτικού υλικού ξανθού και κατά τόπους κοκκινωπού χρώματος. Φέρουν άφθονα απολιθώματα ποσειδώνιων

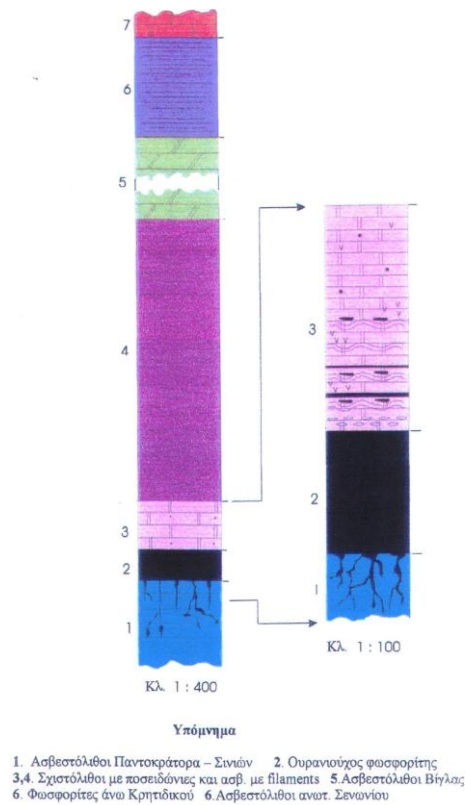
τα οποία εντοπίζονται στις κατώτερες αργιλοπυριτικές στρώσεις, πολύ εύκολα, σε πολύ καλά διατηρημένα εκμαγεία (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ

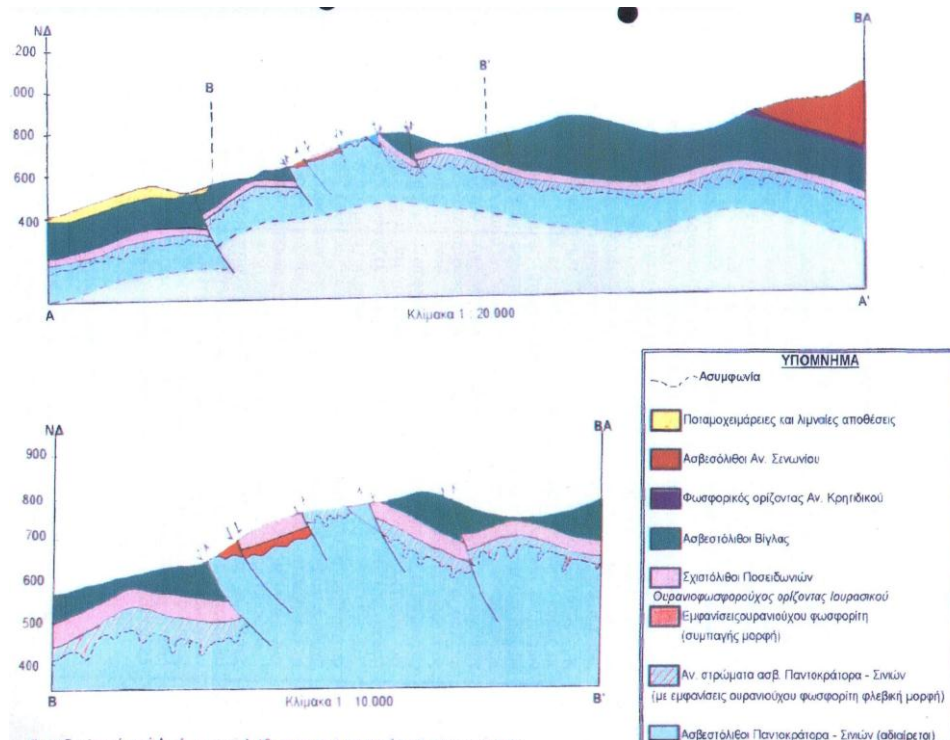
Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται αποκλειστικά από πελαγικά ιζήματα και η εναπόθεση τους χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης. Το πάχος του σχηματισμού παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και εξαρτάται από τον διαμορφωμένο κατά την Άνω Ιουρασική περίοδο βυθό της λεκάνης. Αποτελείται από εναλλαγές λεπτοπλακωδών υπολιθογραφικών ασβεστολίθων πλούσιων σε πλανκτονικούς οργανισμούς, *Calpionelles-Globotruncanes* και κερατολιθικών στρώσεων σε κονδύλους ή φακούς. Η συχνότητα των κερατολίθων αυξάνει σημαντικά στα ανώτερα στρώματα, όπου είναι αισθητή και η παρουσία αργιλομαργαικών στρώσεων (Βέκιος κ.ά. 1976).

Στα ανώτερα τμήματα (20-30m) των Ασβεστολίθων Βίγλας στην κεντρική Ιόνιο ζώνη εμφανίζεται σε σταθερό στρωματογραφικό ορίζοντα ο γνωστός φωσφορούχος σχηματισμός του άνω Κρητιδικού. Το κατώτερο όριο των Ασβεστολίθων Βίγλας αποτέθηκε μετά το μέσω Τιθώνιο και πιθανά κατά το διάστημα τέλος Τιθωνίου-ανωτ. Βερριασίου (Karakitsios 1988).

Στη λιθολογική στήλη ο κάθε λιθολογικός ορίζοντας αναφέρεται σε συγκεκριμένο τύπο πετρώματος (Σχήμα 2.7). Περιλαμβάνει όλες τις πετρολογικές μεταβολές και διαφοροποιήσεις τόσο κατά την κάθετη όσο και κατά την πλευρική του ανάπτυξη. Το πάχος του πετρώματος σε κάθε ορίζοντα, αντιστοιχεί στο μέσο πάχος. Επίσης στη γεωλογική τομή του σχήματος 2.8 φαίνεται η θέση και τον δύο φωσφορικών οριζόντων στην ευρύτερη περιοχή (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).



Σχήμα 2. 7: Λιθολογική στήλη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)



Σχήμα 2. 8: Γεωλογική τομή περιοχής Δελβινακίου από το γεωλογικό χάρτη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

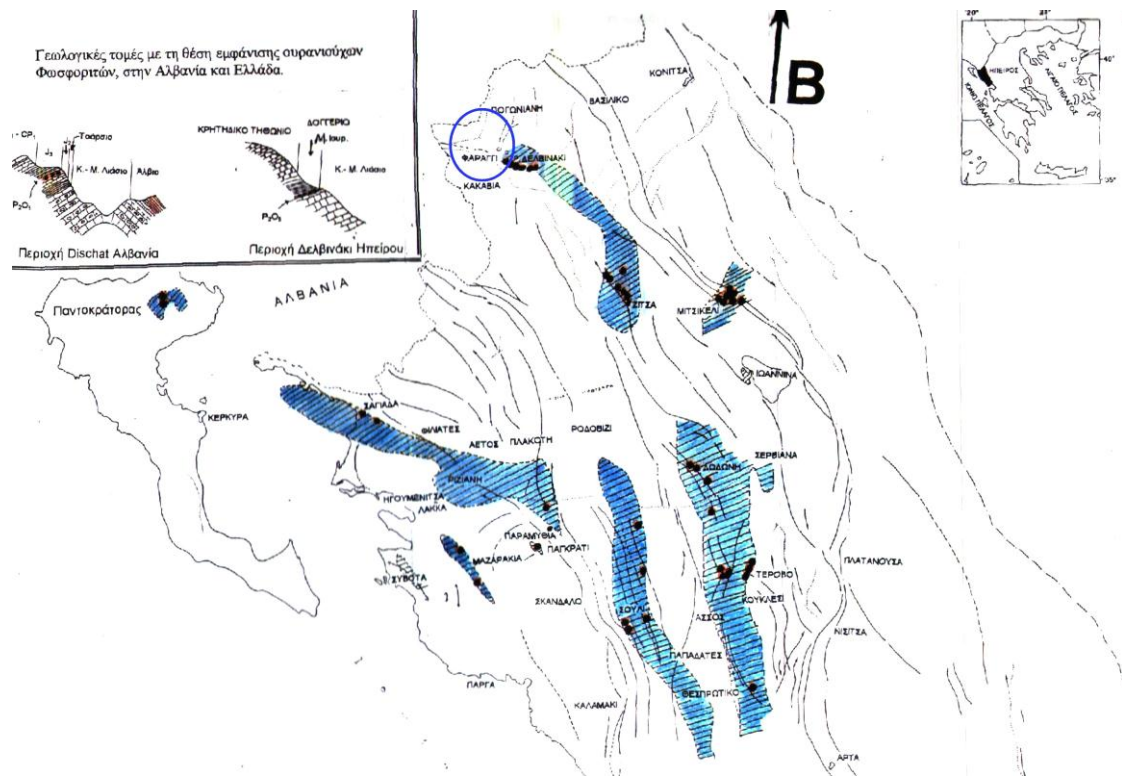
Η τεκτονική στην περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από ρήγματα διάφορων διευθύνσεων.

- I. Ρήγματα με ΒΔ διεύθυνση. Είναι ρήγματα κανονικής μετάπτωσης μεγάλου μήκους με κλίση 60-70° προς τα Δυτικά. Τα ρήγματα αυτά έχουν συντελέσει στην πολλαπλή εμφάνιση των πετρολογικών σχηματισμών, κάτι που ευνοεί την παρακολούθηση της ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας σε πολλές θέσεις.*
- II. Ρήγματα διάφορων διευθύνσεων με κυριότερα αυτά που έχουν ΒΑ διεύθυνση. Τα ρήγματα αυτά έχουν συντελέσει στον έντονο διαμελισμό των πετρωμάτων και έχουν επηρεάσει στη διαμόρφωση του σημερινού τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.*

Οι συγκεντρώσεις της μεταλλοφορίας, όπως προκύπτει από την έρευνα, ελέγχονται κυρίως από την τεκτονική με ΒΔ διεύθυνση και σε μικρότερο βαθμό από εκείνη με ΒΑ (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

Οι ουρανιούχες εμφανίσεις αποτέλεσαν αντικείμενο πολλών μελετών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τα λιθοστρωματογραφικά στοιχεία που προέκυψαν από 28 γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από μια ομάδα του Ι.Γ.Μ.Ε. τη χρονική περίοδο 1975-1999 με τίτλο «Μελέτη και αποτίμηση δυναμικού ορυκτών και ενεργειακών πρώτων υλών (Ουρανιούχοι Φωσφορίτες)».

Εξετάσθηκε ο Ιουρασικής ηλικίας ουράνιοφωσφορούχος σχηματισμός, ο οποίος εμφανίζεται στην κεντρική και εξωτερική Ιόνια υποζώνη, σε διάφορες θέσεις της κεντρικής και δυτικής Ηπείρου καθώς και στην βόρεια πλευρά της νήσου Κερκύρας (σχήμα 2.9 και χάρτης 1 Παράρτημα) όμως το μεγαλύτερο μέρος τους ερευνήθηκε στην περιοχή Δελβινάκιου, όπου η έρευνα προχώρησε μέχρι τα τελευταία στάδια.



Σχήμα 2. 9: Θέσεις εμφανίσεων ουρανιούχων φωσφοριτών στην Ιόνιο ζώνη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

Η έρευνα έλαβε χώρα στο Δελβινάκι στη θέση «Φαράγγι». Οι γεωτρητικές εργασίες στην περιοχή ξεκίνησαν το 1983 και τελείωσαν το Φεβρουάριο του 1987. Στην πρώτη φάση, την Άνοιξη 1983 και μέχρι το Καλοκαίρι 1985 οι γεωτρήσεις εκτελέστηκαν στη θέση «Φαράγγι» ΠΕΔΙΟ 1. Ενώ στη δεύτερη περίοδο η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη θέση «Φαράγγι» ΠΕΔΙΟ 2, από το Φθινόπωρο 1985 μέχρι το χειμώνα 1987 (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ

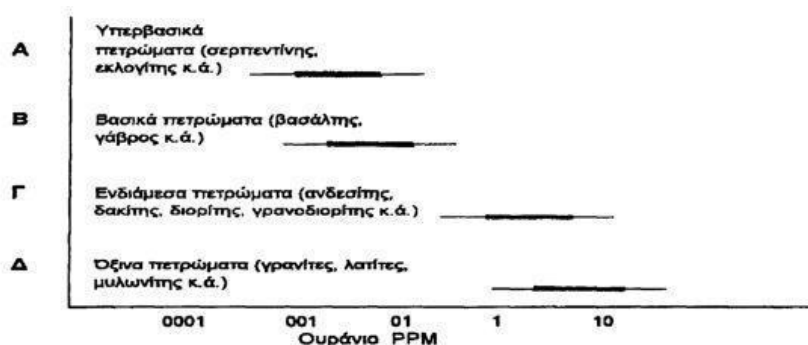
ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑ ΤΟ ΟΥΡΑΝΙΟ

Το ουράνιο είναι μεταλλικό στοιχείο το οποίο είναι ευρύτατα διαδεδομένο στην λιθόσφαιρα. Έχει ατομικό αριθμό 92 και μαζί με άλλα 14 στοιχεία, από το Ακτίνιο μέχρι το Λορέντσιο σχηματίζει την σειρά των Ακτινιδίων. Το ατομικό του βάρος είναι 238,07 και το ειδικό του βάρος 18.48 gr/cm^3 . Το ουράνιο όπως το θόριο, το ράδιο και το κάλιο λέγονται ραδιενεργά στοιχεία γιατί έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν ιδιαίτερες ακτινοβολίες.

Το φυσικό ουράνιο αποτελείται από ένα μείγμα τριών "ισοτόπων" δηλαδή στοιχείων που έχουν ίδια χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά αλλά διαφορετικό ατομικό βάρος. Τα τρία ισότοπα είναι το ^{238}U , ^{235}U και ^{234}U με αναλογία 94,273%, 0,7204% και 0,007% αντίστοιχα. Το ^{235}U ως σχάσιμο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας.

Η μέση περιεκτικότητα του ουρανίου στον γήινο φλοιό είναι της τάξης των 2 ppm. Στο θαλάσσιο νερό κυμαίνεται μεταξύ των 1-4 ppb, ενώ στα επίγεια και υπόγεια νερά η περιεκτικότητά τους εξαρτάται από τα πετρώματα με τα οποία αυτά έρχονται σε επαφή. Στα βασικής σύστασης μαγματικά πετρώματα π.χ. βασάλτες, περιδοτίτες, η περιεκτικότητα είναι της τάξης των 1-2 ppm. Αντίθετα η μέση περιεκτικότητα στα όξινα πετρώματα όπως π.χ. γρανίτες, πηγματίτες, κ.α. κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5 ppm. Σε αρκετούς μάλιστα γρανίτες της Αμερικής, Ρωσίας και Γαλλίας η περιεκτικότητά μπορεί να φθάσει και στα 15ppm. Το σχήμα 3.1 δείχνει τις περιεκτικότητες ουρανίου σε διάφορες οικογένειες κρυσταλλικών πετρωμάτων (από Βέκιο, 1999).



Σχήμα 3. 1: Εύρος περιεκτικότητας ουρανίου σε διάφορες οικογένειες κρυσταλλικών πετρωμάτων (Βέκιος, 1999)

3.2 ΟΡΥΚΤΟΓΕΝΕΣΗ- ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ

Το ουράνιο ως λιθόφιλο στοιχείο, οξειδώνεται με μεγάλη ευκολία όταν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και ενυδατώνεται επίσης πάρα πολύ εύκολα. Οι ιδιότητες του αυτές καθιστούν δύσκολο τον εντοπισμό του στη φύση στην γενετική του μορφή. Ωστόσο ενώνεται ευχερώς με άλλα στοιχεία και μπορεί να δώσει πολλές χημικές ενώσεις από τις οποίες προκύπτουν διάφορα ορυκτά, τα οποία ξεπερνούν τα 200. Όταν τα ορυκτά αυτά απαντούν σε επαρκείς συγκεντρώσεις μπορεί να τύχουν εκμετάλλευσης για βιομηχανική χρήση.

Η ορυκτογένεση του ουρανίου συνδέεται άμεσα με τις επικρατούσες οξειδοαναγωγικές συνθήκες οι οποίες επιδρούν ανάλογα και με το σθένος του ουρανίου. Σε περιβάλλον αναγωγικών συνθηκών επικρατεί η ορυκτογένεση των ορυκτών του στα οποία το ουράνιο εμφανίζεται σαν τετρασθενές (U^{4+}). Σε συνθήκες οξειδωτικού περιβάλλοντος επικρατεί η κατηγορία που περιλαμβάνει την μεγάλη οικογένεια των ορυκτών του ουρανίου στην εξασθενή του μορφή U^{+6} .

Στα υδατικά διαλύματα η ύπαρξη του ουρανίου στην τετρασθενή του κατάσταση εκδηλώνεται με το ιόν U^{4+} το οποίο είναι εξαιρετικά δυσδιάλυτο. Η εξασθενής του κατάσταση εκδηλώνεται με το ιόν UO_2^{++} που είναι αρκετά ευδιάλυτο. Στις οξειδωτικές συνθήκες το ιόν U^{4+} μετατρέπεται σε ιόν UO_2^{++} με αποτέλεσμα την μετατόπιση της ισορροπίας προς τον σχηματισμό εξασθενών προϊόντων του ουρανίου. Οι αναγωγικές συνθήκες παράγουν ακριβώς το αντίθετο αποτέλεσμα που είναι η ορυκτογένεση των ορυκτών του τετρασθενούς ουρανίου.

Στο ενδογενές περιβάλλον, το ουράνιο συγκεντρώνεται στα μαγματικά ρευστά μέχρι τα πιο διαφοροποιημένα στάδια. Τα αίτια αυτού του φαινομένου είναι ότι το στοιχείο αυτό στο μαγματικό περιβάλλον παρουσιάζεται στην αναγωγική τετρασθενή μορφή του. Το ιόν U^{4+} έχει ακτίνα 0,97 Å και με αυτό το δεδομένο, δεν μπορεί να αντικαταστήσει εύκολα στο κρυσταλλικό πλέγμα παρά μόνο το ασβέστιο ή το νάτριο. Τα διαφορετικά, όμως, φορτία ιόντος περιορίζουν σημαντικά αυτή την αντικατάσταση. Το αντίθετο συμβαίνει με τα ιόντα που παρουσιάζουν ισοδύναμα φορτία, όπως αυτά των ζirkονίου, βολφραμίου και μολυβδαινίου αλλά αυτά τα στοιχεία έχουν ακτίνα ιόντος πολύ μικρή σε σύγκριση με αυτή του ουρανίου. Παρ' όλα αυτά θα βρεθεί πάντα μια ποσότητα ουρανίου στους κόλπους των ορυκτών, όπως είναι ο απατίτης, ο φθορίτης, ζirkόνιο και ο μοναζίτης. Επίσης η ακτίνα του U^{4+} προσομοιάζει με αυτή του τετρασθενούς θορίου καθώς και άλλων σπάνιων γαιών και αυτό εξηγεί την συχνή συνύπαρξη του ουρανίου με σπάνιες γαίες σε πολλές ουρανιούχες αποθέσεις. Όταν οι συγκεντρώσεις σε ουράνιο είναι επαρκείς, μπορεί να δημιουργηθεί η κρυστάλλωση τυπικών ουρανιούχων φάσεων, όπως είναι ο ουραννίτης. Εάν οι τυπικές ουρανιούχες φάσεις δεν μπορούν να σχηματισθούν, τα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων συλλέγουν το ουράνιο δηλαδή ο χαλαζίας, τα πλαγιόκλαστα, οι μαρμαρυγίες και άλλα. Ο πίνακας 3.1 δείχνει την περιεκτικότητα του ουρανίου σε μερικά κύρια και σύνδρομα ορυκτά.

Κύρια Ορυκτά		ppm
Παριδευμένα ιόντα και εγκλείσματα ουρανίου	Χαλαζίας	0,1-10
	Αστρίος	0,1-10
	Μοσχοβίτης	2-8
	Βιοτίτης	1-60
	Κεροσίλβη	0,2-60
	Πυρόξενος	0,01-50
	Ολιβίνης	≈ 0,05
Σύνδρομα Ορυκτά		
Αντικατάσταση εντός του πλέγματος	Αλλανίτης	30-1000
	Απατίτης	5-150
	Επίδοτο	20-200
	Γρανάτης	6-30
	Ιλμενίτης	1-50
	Μαγνητίτης	1-30
	Μοναζίτης	500-3000
	Τιτανίτης	16-700
	Ξενότυπος	300-35000
	Ζirkόνιο	100-6000

Πίνακας 3. 1: Περιεχόμενο ουράνιο σε μερικά ορυκτά σύμφωνα με τον De Voto (Βέκιος, 1999)

Από τα κοινότερα ορυκτά της σειράς του τετρασθενούς ουρανίου, τα οποία ονομάζονται και πρωτογενή ορυκτά είναι ο ουραννίτης και τα ορυκτά των ενώσεων του ουρανίου με σπάνιες γαίες καθώς και με άλλα ορυκτά της σειράς των Ακτινιδίων.

Από τα τελευταία τα νιοβιούχα, τα τανταλιούχα, και τα τιτανιούχα ορυκτά είναι τα πλέον διαδεδομένα. Τα πρωτογενή ορυκτά χαρακτηρίζονται για το σκούρο, καφέ μέχρι μαύρο χρώμα τους και γι' αυτό αποκαλούνται και μαύρα ορυκτά.

Καθοριστικός παράγοντας για την είσοδο του ουρανίου στο υπεργενές περιβάλλον είναι η οξειδωσή του στην εξασθενή του μορφή. Τα ορυκτά του εξασθενούς ουρανίου, που είναι προϊόντα οξειδωτικών συνθηκών και αποκαλούνται και δευτερογενή ορυκτά, χαρακτηρίζονται για τους έντονους κιτρινοκοκκινο-πράσινους και πορτοκαλί χρωματισμούς. Εναποτίθενται ακριβώς στην ζώνη οξειδωσης αλλά συχνά μεταφέρονται με διαλύματα σε μεγάλες αποστάσεις πριν την αναπόθεσή τους.

Στην μεγάλη κατηγορία των ορυκτών αυτών περιλαμβάνονται τα ορυκτά που προέρχονται απ' ευθείας από την εξαλλοίωση των πρωτογενών ορυκτών του ουρανίου στην ζώνη οξειδωσης. Αυτά απαντούν συνήθως σαν ένυδρα οξείδια εξασθενούς ουρανίου και από τα πλέον γνωστά είναι εκείνα της σειράς του "Γκουμίτη".

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία ένυδρων οξειδίων του εξασθενούς ουρανίου είναι οι ουρανιούχες ενώσεις των αλκαλικών και αλκαλικών γαιών, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται τα ορυκτά του K^{+1} , του Ba^{+2} , του Ca^{+2} , του Pb^{+2} κ.ά..

Πολυπληθέστατα είναι επίσης τα οξείδια του ουρανίου που ταξινομούνται σε μεγάλες ομάδες όπως αυτές των πυριτικών, των φωσφορικών, των αρσενικών, των βαναδικών, των θειικών, των μολυβδαινικών και των ανθρακικών.

Όλη αυτή η διαδικασία της δράσης των γεωχημικών παραγόντων που ελέγχουν τις συγκεντρώσεις των ουρανιούχων ορυκτών είναι σημαντικά πολύπλοκη και εξαρτάται κυρίως από το περιβάλλον απόθεσης του ουρανίου. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική συμπεριφορά της ύλης, σε μοριακή κατάσταση σε ένα περιβάλλον ιζηματογένεσης, απ' ότι στο περιβάλλον των κρυσταλλικών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Είναι γνωστό ότι σημαντικές συγκεντρώσεις ουρανίου φιλοξενούνται τόσο σε κρυσταλλικά όσο και σε ιζηματογενή πετρώματα από τον Αρχαϊκό μέχρι τον πρόσφατο Καινοζωικό αιώνα. Ο συνδυασμός των δυο γεγονότων: α) της ορογένεσης που συνοδεύεται από πλουτώνιους γρανίτες και ανατηκτικά φαινόμενα και β) της επιφανειακής αποσάθρωσης, έχει δώσει σημαντικές συγκεντρώσεις ουρανίου. Με την ορογένεση συνδέονται οι πρωτογενείς αποθέσεις ουρανίου, (ενδογενής κύκλος), που

απαντούν στα γρανιτικά-συηνητικά και τα συναφή τους ηφαιστειακά και πηγματητικά πετρώματα.

Με την επιφανειακή αποσάθρωση προϋπαρχόντων πετρωμάτων συνδέονται οι μεγάλες ομάδες των δευτερογενών κλαστικών και υδρογενών αποθέσεων (εξωγενής κύκλος) που μπορεί να είναι συναποθετικές, διαγενετικές έως επιγενετικές (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3. 2: Εξωγενής κύκλος του ουρανίου κατά Dongara (Βέκιος, 1999)

Οι επιγενετικές αποθέσεις του ουρανίου μπορεί να φαίνονται όμοιες των ιζηματογενών αποθέσεων καθ' ότι απαντούν σε ιζηματογενή πετρώματα και η ύπαρξή τους συνδέεται με την δράση εξωγενών παραγόντων. Διαφέρουν όμως καθώς τα ιζήματα έχουν προσχηματισθεί με την είσοδο του ουρανίου σε αυτά. Οι επιγενετικές αποθέσεις του ουρανίου σχηματίζονται από την καθίζησή του που μεταφέρεται σε διαλύματα τα οποία έχουν διαπεράσει προϋπάρχοντα ιζηματογενή ή κρυσταλλικά πετρώματα. Τα διαλύματα αυτά μπορεί να είναι υδροθερμικά, μετεωρικά, υπόγεια και επίγεια νερά. Με την αναγωγή που υφίσταται το ουράνιο εναποτίθεται στην οργανική ύλη, στους ψαμμίτες, στους ασβεστόλιθους, στους λιγνίτες και στα Crete πετρώματα (από Βέκιο, 1999).

3.3 ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

Το ουράνιο μπορεί εύκολα να αποτεθεί σε διάφορα επιφανειακά περιβάλλοντα όπως είναι τα ποτάμια, τα λιμναία, τα αιολικά, τα αργιλικής και οργανογενούς φύσης ιζήματα, τα λατερικά προϊόντα, τα calcrete. silcrete dolcrete πετρώματα καθώς και σε ζώνες εξαλλοίωσης των έντονα τεκτονισμένων γρανιτικών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων του υποβάθρου.

Τα εδαφικά και τα επίγεια νερά με μικρού ή μεγάλου βαθμού κινήσεις και κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις μπορούν να σχηματίσουν αξιόλογες εναποθέσεις ουρανίου σε επιφανειακά περιβάλλοντα.

Ο σχηματισμός αυτών των επιφανειακών αποθέσεων διέπεται από τις σχέσεις που υπάρχουν στα μητρικά και σε αυτά που φιλοξενούν το ουράνιο πετρώματα, από τον μηχανισμό μεταφοράς και το περιβάλλον εναπόθεσης από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες τα Eh-pH, καθώς επίσης και από την τεκτονική ιστορία και δομή των πετρωμάτων ξενιστών.

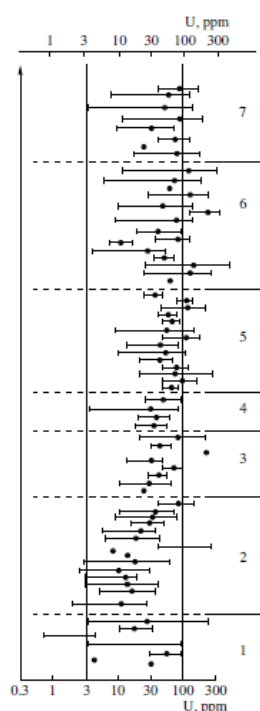
Η μορφολογία παίζει πάντα σημαντικό ρόλο στις επιφανειακές συγκεντρώσεις του ουρανίου. Οι ζώνες όπου τα πετρώματα της γης χαρακτηρίζονται από κάθετες κινήσεις των εδαφικών νερών και από διακυμάνσεις του υδροφόρου ορίζοντα λόγω έντονης τεκτονικής καταπόνησης, αποτελούν πάντα παγίδες εναπόθεσης του ουρανίου.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι την μεγαλύτερη πηγή τροφοδοσίας των επιφανειακών αποθέσεων αποτελούν οι γρανίτες και τα συναφή μ' αυτούς πετρώματα των οποίων όμως η μέση περιεκτικότητα πρέπει να υπερβαίνει τα 5ppm ουρανίου. Εκτός βέβαια του ουρανίου ένα σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό του ορυκτών του ασκεί η ύπαρξη και μετακίνηση διαφόρων κατιόντων όπως είναι το κάλιο το ασβέστιο, ο φώσφορος κ.ά. τα οποία πρέπει να υπάρχουν σε επάρκεια στο περιβάλλον εναπόθεσης.

Η ένταση και ο τύπος της εξαλλοίωσης του πετρώματος – πηγής, η κινητικότητα των στοιχείων προς εναπόθεση καθώς και η καθίζηση των στοιχείων στο πέτρωμα-ξενιστή ελέγχονται σημαντικά από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες. Τα ξηρά ερημικά περιβάλλοντα καθώς και ορισμένες υφάλμυρες λεκάνες θεωρούνται ευνοϊκά περιβάλλοντα για αξιόλογες συγκεντρώσεις ουρανίου. Επίσης και σε ψυχρά - εύκρατα κλίματα έχουν παρατηρηθεί σημαντικές εναποθέσεις ουρανίου. Γενικά οι τοπικές κλιματολογικές αλλαγές και οι ανώμαλες υδρολογικές συνθήκες συμβάλλουν ουσιαστικά στις επιφανειακές αποθέσεις του ουρανίου (από Βέκιο, 1999).

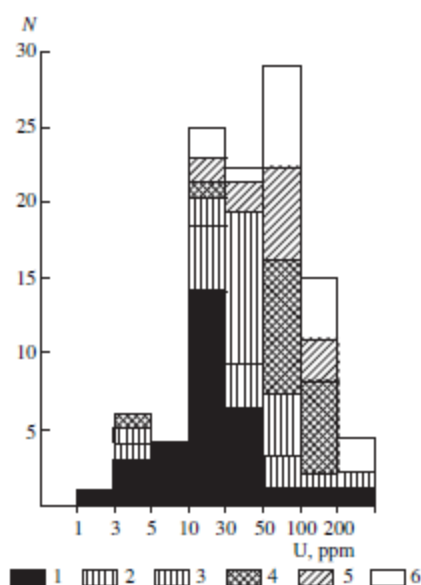
3.4 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΣΕ ΦΩΣΦΟΡΟΥΧΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Σύμφωνα με μελέτες η μέση συγκέντρωση του ουρανίου στους φωσφορίτες του Προκάμβριου είναι 27 ppm. Στα φωσφορικά πετρώματα του Κάμβριου οι τιμές του ποικίλουν από 16 ppm στην Ασία και την Αφρική έως 39 ppm στην Αυστραλία. Στον Παλαιοζωικό αιώνα κυμαίνεται από 35 ppm στους shelly φωσφορίτες μέχρι 98 ppm σε μικροκκοκώδεις και κονδυλώδεις ποικιλίες. Από το Ανώτερο Ιουρασικό μέχρι το Παλαιογενές στους κονδυλώδεις φωσφορίτες είναι ίση με 40 ppm ενώ από το Κατώτερο Κρητιδικό έως το Παλαιοκαίνο οι κοκκώδεις φωσφορίτες της Τηθύος έχουν 83 ppm. Στο Κρητιδικό η περιεκτικότητα φτάνει τα 29 ppm και στα αποθέματα του Μειόκαινου είναι ίση με 82 και 110 ppm, αντίστοιχα, σε κονδυλώδεις και κοκκώδεις εμφανίσεις. Και τέλος οι τιμές για τους φωσφορίτες του Πλειόκαινου είναι 63 ppm και του Ολόκαινου 93 ppm. Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται η κατανομή του ουρανίου σε ppm σε όλες τις ηλικίες της Γης. Εκτός από το Προκάμβριο και το Κάμβριο οι τιμές του ουρανίου παρουσιάζουν ομοιογένεια και κυμαίνονται από 10 ως 120 ppm.



Σχήμα 3. 3: Περιεκτικότητα του ουρανίου στους φωσφορίτες από το Προκάμβριο μέχρι το Ολόκαινο. Φωσφορίτες: (1)Προκάμβριο,(2)Κάμβριο,(3)Παλαιοζωικός,(4)Κάτω Ιουρασικό-Κρητιδικό,(5)Κρητιδικό-Παλαιογενές,(6)Νεογενές,(7)Πλειστόκαινο-Ολόκαινο (Baturin & Kochenov, 2000)

Το ιστόγραμμα του σχήματος 3.4 με τις μέσες περιεκτικότητες του ουρανίου δείχνει ότι οι μεγαλύτερης ηλικίας φωσφορίτες (Προκάμβριο και Κάμβριο) συνήθως χαρακτηρίζονται από συγκεντρώσεις 10 ως 30 ppm, ενώ τιμές των 5-10 ppm και μεγαλύτερες των 30 ppm είναι λιγότερο συχνές (Baturin & Kochenov, 2000).



Σχήμα 3. 4: Ιστόγραμμα με τη μέση περιεκτικότητα ουρανίου στους φωσφορίτες. Φωσφορίτες: (1)Προκάμβριο και Κάμβριο,(2)Παλαιοζωικός,(3)Κάτω Ιουρασικό-Κρητιδικό,(4)Κρητιδικό-Παλαιογενές,(5)Νεογενές,(6)Πλειστόκαινο-Ολόκαινο (Baturin & Kochenov, 2000)

Στους φωσφορίτες του Παλαιοζωικού αιώνα η συγκέντρωση του ουρανίου κυμαίνεται από 10 ως 30 ppm παρότι ενίοτε εμφανίζονται και υψηλότερες τιμές. Από το κατώτερο Ιουρασικό μέχρι το Παλαιογενές οι τιμές του ουρανίου στους φωσφορίτες βρίσκονται μεταξύ 30 και 50 ppm. Ένας μικρός αριθμός αναλύσεων σε μεγαλύτερες αποθέσεις για την συγκέντρωση του ουρανίου έδειξε ότι ποικίλλει από 50-100 μέχρι 100-150 ppm. Για τους φωσφορίτες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς οι περιεκτικότητες κυμαίνονται στα 30 με 150 ppm. Το παραπάνω ιστόγραμμα αποτελεί έναν πρόχειρο υπολογισμό της περιεκτικότητας του ουρανίου η οποία υπολογίστηκε με βάση ενός αριθμού αποθέσεων και όχι από τις συνολικές μάζες των φωσφοριτών οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετικές συγκεντρώσεις.

Τα αποτελέσματα των ερευνών απέδειξαν ότι τα αποθέματα των φωσφοριτών παγκοσμίως φτάνουν τους 2,49Gt μεταλλεύματος (ή 58,5Gt P_2O_5) και περιέχουν 18,76Mt ουρανίου. Ως εκ τούτου, η μέση συγκέντρωση ουρανίου στους φωσφορίτες είναι 75 ppm. Αυτή η τιμή αντικατοπτρίζει μία σχετικά υψηλή τιμή της περιεκτικότητας

του ουρανίου στα μεγαλύτερα αποθέματα φωσφοριτών του Περμίου, του Κρητιδικού και του Μειόκαινου και προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα δεδομένου ότι η συγκέντρωση του ουρανίου στο Δεβόνιο και σε νεότερης ηλικίας φωσφορίτες προσεγγίζει τα 100 ppm (Baturin & Kochenov, 2000).

Σύμφωνα με τους Βέκιο και Χατζηγιάννη τα φωσφορικά μεταλλεύματα στο μεγαλύτερο μέρος περιέχουν ουράνιο του οποίου η περιεκτικότητα κυμαίνεται μεταξύ των 40 και 200 ppm. Ενώ σπάνια μπορεί να ξεπεράσει και τα 200ppm.

Στον πίνακα 3.2 αναφέρεται ενδεικτικά η μέση περιεκτικότητα ουρανίου και φωσφόρου σε φωσφορούχους σχηματισμούς από διάφορα μέρη του κόσμου.

ΧΩΡΑ	U(ppm)	P ₂ O ₅ (%)
ΗΠΑ «phosphoria formation»	90	30,5
ΗΠΑ Φλόριντα	60-160	
Αίγυπτος	30-190	
Ιορδανία	14-156	5-34,3
Συρία	60-130	35
Ισραήλ	115-126	30-36
Τυνησία	50-75	27,32
Μαρόκο	130-250	36-30

Πίνακας 3. 2: Μέσος όρος περιεκτικότητας U ppm και P₂O₅ (%) σε φωσφορίτες από διάφορα μέρη του κόσμου (από Χατζηγιάννη & Βέκιο, 2001)

Το περιεχόμενο ουράνιο στους φωσφορίτες γενικά μεγαλώνει όσο η περιεκτικότητα σε φώσφορο αυξάνει. Αλλά κοιτάσματα ή στρώσεις πλούσιες σε φώσφορο δεν είναι αναγκαστικά και πλούσιες σε ουράνιο ή το αντίστροφο. Έτσι στο Ηωκαινικό κοίτασμα Bakouma (Κεντρική Αφρική) μετρήθηκαν σε στρώσεις φωσφορούχου πετρώματος περιεκτικότητας σε U της τάξεως των 1660 - 5600 ppm ενώ αυτές του φωσφόρου ήταν 8,75 - 33,58 %. Επίσης στο κοίτασμα Mussoonia (Ινδία) Ιουρασικής ηλικίας η περιεκτικότητα σε ουράνιο κυμαίνεται μεταξύ των 25 και 831 ppm και αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα P₂O₅ 7,19 - 23,62%. Με λίγες εξαιρέσεις πάντως τιμές ουρανίου μεγαλύτερες των 1000 ppm δεν βρίσκονται σε πετρώματα που περιέχουν λιγότερο από 25 % P₂O₅.

Όλες οι νέες μελέτες αποδίδουν στον απατίτη το ουράνιο που βρίσκεται στους φωσφορίτες εκτός βέβαια ορισμένων περιπτώσεων που αφορούν την εξαλλοίωση αυτού του ορυκτού και τον σχηματισμό δευτερογενών προϊόντων όπως είναι τα βαναδιούχα, ο ωτουνίτης κ. α. (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

Ο ωτουνίτης $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{-}12 \text{ H}_2\text{O}$, ανήκει στην οικογένεια των ουρανιούχων φωσφορικών αλάτων και κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό σύστημα. Χάνει την υγρασία του σχετικά εύκολα για να προκύψει μια φάση μεταωτουνιτική με $6\text{H}_2\text{O}$, η οποία κρυσταλλώνεται επίσης στο τετραγωνικό σύστημα. Εντοπίζεται συνήθως σε καθαρούς πεπλατυσμένου σχήματος κρυστάλλους με τετραγωνικό ή οκταγωνικό περίγραμμα. Το χρώμα του είναι απαλό πράσινο και στην μεταωτουνιτική φάση τείνει προς το πρασινοκίτρινο. Έχει την ιδιότητα να φθορίζει προς το έντονα φωτεινό πράσινο χρώμα υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας βραχέως μήκους κύματος (Βέκιος, 1999).

Μελέτες έχουν δείξει πως το ουράνιο στους φωσφορίτες συνδέεται με τον ιζηματογενή απατίτη σε δυο σχήματα: Κατά ένα μέρος το U^{4+} αντικαθιστά εν μέρει το Ca^{2+} εντός του πλέγματος και αυτό χάρις στην ακτίνα ιόντος τους που παρουσιάζει σχεδόν τις ίδιες διαστάσεις (0,79 και 0,99 Å αντίστοιχα). Από την άλλη πλευρά το U^{6+} λόγω διαστάσεων δεν εισέρχεται στο πλέγμα αλλά απορροφάται στην επιφάνεια του κρυστάλλου. Ο σχηματισμός του U^{6+} ευνοείται από την οξειδωση και γι' αυτό το λόγο η ανάπτυξη του γίνεται σε μεταγενέστερα στάδια.

Όπως συμβαίνει και στους μαύρους σχιστόλιθους το περισσότερο ουράνιο στους φωσφορίτες προέρχεται από το θαλάσσιο νερό στο οποίο το ουράνιο βρίσκεται με το σχήμα U^{6+} και συνδέεται με ανθρακικά σύμπλοκα. Στις ζώνες εναπόθεσης του φωσφόρου τα ιζήματα του βυθού είναι πλούσια σε οργανική ύλη, η οποία έχει την ικανότητα να συγκεντρώσει μεγάλη ποσότητα U^{6+} και να ανάγει ένα μέρος σε U^{4+} το οποίο μπορεί να κρυσταλλώσει σε ανθρακούχο φθόριο-απατίτη. Ενώ το μέρος του U^{6+} που μένει ελεύθερο απορροφάται στην συνέχεια στην επιφάνεια των κρυστάλλων του απατίτη. Η διαδικασία αυτή βέβαια εξαρτάται από πολλούς φυσικοχημικούς παράγοντες. Όσο περισσότερη είναι η οργανική ύλη, τόσο περισσότερο θα είναι το ουράνιο στα νερά των πόρων και κατ' επέκταση το διαθέσιμο U^{4+} για να εισέλθει στο πλέγμα του απατίτη. Επιπλέον σύμφωνα με έρευνες, η αφθονία της οργανικής ύλης περιορίζει την ανάπτυξη των κρυστάλλων του απατίτη, τα οποία κατ' αυτόν τον τρόπο θα είναι πολυπληθέστερα και κατ' ακολουθία και το ουράνιο περισσότερο.

Από την στιγμή που οι φωσφορίτες υπόκεινται σε επιφανειακή εξαλλοίωση λόγω πεδογένεσης ή λόγω κυκλοφορίας επιφανειακών ή υποεπιφανειακών νερών είναι δυνατόν το ουράνιο να διαλυθεί, και ελεύθερο να μεταφερθεί μέσω διαλυμάτων προς τα χαμηλότερα μέρη του σχηματισμού. Σ' αυτή την περίπτωση είναι δυνατόν να υπάρξουν τοπικές αυξήσεις στην περιεκτικότητα του ουρανίου. Το φαινόμενο έχει περιγραφεί από τον Altschulet στους φωσφορίτες της Καρολίνας όπου το ουράνιο από μέσο όρο 50 ppm έφθασε 750 ppm περιεκτικότητα (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της τρισδιάστατης οπτικοποίησης αναφέρεται στην αναπαράσταση τρισδιάστατων αντικειμένων και επιφανειών. Για αρκετά χρόνια η τρίτη διάσταση, ως κεντρικό και μεταβαλλόμενο φαινόμενο, χρησιμοποιήθηκε από πολλά συστήματα οπτικοποίησης χωρίς όμως να παρατηρείται διάκριση του πότε και του πώς μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά.

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. Η ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών έδωσε ώθηση στην εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD – Computer Aided Design) (από Παναγόπουλο, 2007).

Η τρισδιάστατη οπτικοποίηση κρίνεται αναγκαία για πολλούς λόγους. Ένας από τους βασικούς λόγους είναι ότι ο παρατηρητής μπορεί να παρατηρήσει το μοντέλο από διαφορετικές οπτικές γωνίες και να δει ένα αντικείμενο ή μια περιοχή τρισδιάστατα. Αυτό συνδέεται με τη φυσική ικανότητα του ανθρώπου να βλέπει τρισδιάστατα με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανόηση της πολυπλοκότητας των επιφανειών και της γεωμετρίας τους.

Επίσης, μέσω της τρισδιάστατης οπτικοποίησης καθίσταται δυνατή η αλληλεπίδραση του παρατηρητή με τις τρεις διαστάσεις, ενώ ταυτόχρονα οι προβληματικές περιοχές (αδύναμα σημεία) πολύπλοκων κατασκευών μπορούν να αναπαρασταθούν ευκολότερα τρισδιάστατα. Επιπρόσθετα, η τρισδιάστατη οπτικοποίηση επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων ενώ οι έννοιες και οι ιδέες στη διαδικασία του σχεδιασμού μπορούν να αποδοθούν ευκολότερα (από Καραλή, 2009).

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, μο-

ντελοποίηση 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 (από Παναγόπουλο, 2007).

4.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση μιας γεωλογικής δομής μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό μοντέλο. 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) (από Παναγόπουλο, 2007).

- Καλύτερη αξιολόγηση του μοντέλου, οπότε απαιτούνται λιγότερα πρωτότυπα για τη ανάπτυξή του.
- Περισσότερη πληροφόρηση για τα χαρακτηριστικά του μοντέλου κατά τη φάση της σχεδίασης.
- Καλύτερη οπτικοποίηση του μοντέλου, οπότε περιορισμός σχεδιαστικών λαθών, καλύτερη ποιότητα προϊόντος και μείωση του χρόνου εισαγωγής του μοντέλου στην αγορά.
- Καλύτερη ανταπόκριση του μοντέλου στις ανάγκες της αγοράς.
- Ο σχεδιασμός γίνεται πιο γρήγορα, δεν απαιτούνται πολλές όψεις (από Πετούση, 2003)

- 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.
- Γίνεται δυνατή η εύκολη και ακριβής ποσοτικοποίηση της γεωλογικής πληροφορίας (όγκοι, πάχη, άλμα ρηγμάτων, κλπ.) και η αντίστοιχη παρουσίαση (π.χ. χάρτες ισοπαχών, ομαδοποίηση, ή γενεές ρηγμάτων).
- Γίνεται εύκολη η ενσωμάτωση ψηφιακών εικόνων και στοιχείων από τηλεπισκοπικούς δορυφόρους, ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα, μοντέρνα τοπογραφικά όργανα, και δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS) (από Παναγόπουλο, 2007).

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των εργασιών είναι το γεωμετρικό μοντέλο, που αποτελεί τη βάση για την εκτίμηση των ιδιοτήτων του.

4.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS

Το σύνολο των εργασιών για τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου RockWorks 15. Το λογισμικό Rockworks δημιουργήθηκε το 1985 και εξελίσσεται από την εταιρία Rockware Incorporated με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από τη μεταλλευτική και την πετρελαϊκή βιομηχανία καθώς και για περιβαλλοντικές μελέτες, για την υπεδάφια οπτικοποίηση γεωλογικών δεδομένων και τη διαχείριση των βάσεων δεδομένων τους για τη δημιουργία πλεγματικών και στερεών μοντέλων καθώς και τον υπολογισμό των όγκων τους. Το πρόγραμμα αποτελεί μια ολοκληρωμένη συλλογή γεωλογικών εφαρμογών. Η παρούσα έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η πιο πρόσφατη έκδοση 15, που είναι ενημερωμένη με όλα τα σύγχρονα γεωλογικά υπολογιστικά εργαλεία.

Τα κύρια εργαλεία λειτουργίας του λογισμικού είναι οι υποσελίδες Borehole data manager και Rock Ware Utilities οι οποίες θα περιγραφούν αναλυτικότερα στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας (από Παναγόπουλο, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία εργασίας η οποία περιελάμβανε τρία κύρια στάδια. Το πρώτο στάδιο περιελάμβανε τη συγκέντρωση των αρχικών τοπογραφικών δεδομένων και των δεδομένων των γεωτρήσεων. Οι τοπογραφικοί χάρτες ήταν ψηφιοποιημένοι και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Στο δεύτερο στάδιο αναπτύχθηκε η χωροθέτηση των γεωτρητικών δεδομένων που υπήρχαν διαθέσιμα με τη βοήθεια του λογισμικού ROCKWORKS 15.

Και τέλος στο τρίτο στάδιο οι γεωτρήσεις, σε συνδυασμό με τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου, χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων. Στη συνέχεια, περιγράφεται κάθε στάδιο ξεχωριστά.

5.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Η γεωτρητική έρευνα πραγματοποιήθηκε σε βάθος στην περιοχή Δελβινακίου θέσης «Φαράγγι» σε δύο θέσεις, «Φαράγγι» ΠΕΔΙΟ 1 και ΠΕΔΙΟ 2.

Οι γεωτρητικές εργασίες στην περιοχή άρχισαν το (1983) και περατώθηκαν το Φεβρουάριο του 1987. Χωρίζονται σε δυο περιόδους. Στην πρώτη περίοδο, την Άνοιξη 1983 και μέχρι το Καλοκαίρι 1985 οι γεωτρήσεις εκτελέστηκαν στη θέση «Φαράγγι» ΠΕΔΙΟ 1. Στο χάρτη 5 (Παράρτημα) φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων. Ενώ στην δεύτερη περίοδο η έρευνα εκτελέστηκε στη θέση «Φαράγγι» ΠΕΔΙΟ 2, από το Φθινόπωρο 1985 μέχρι το χειμώνα 1987. Στο χάρτη 5 (Παράρτημα) φαίνονται επίσης οι θέσεις ορισμένων από αυτές τις γεωτρήσεις.

Στο ΠΕΔΙΟ 1 εκτελέστηκαν (19) ερευνητικές γεωτρήσεις και διατρήθηκαν σε μήκος 3000m, με βαθύτερη την γεώτρηση την F14 (120m). Οι θέσεις των γεωτρήσεων καθορίστηκαν με τοπογραφικό πλέγμα (400*200)m και η απόσταση τους ήταν κατά μέσο όρο 50m. Οι γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στο μεγαλύτερο τους μέρος ήταν πυρηνοληπτικές (17) συγκεκριμένων διαμετρημάτων και οι υπόλοιπες (2) εκτε-

λέστηκαν με την μέθοδο *Down the hole*. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός ήταν του ΙΓΜΕ. Κατά την διάτρηση έγινε προσπάθεια στο δυνατόν για την αποφυγή απωλειών του πυρήνα κυρίως στο τμήμα της μεταλλοφορίας και στον υποκείμενο ασβεστόλιθο. Επίσης είναι ευνόητο ότι οι γεωτρήσεις με την μέθοδο *Down the hole* έφθασαν σε μεγαλύτερα βάθη.

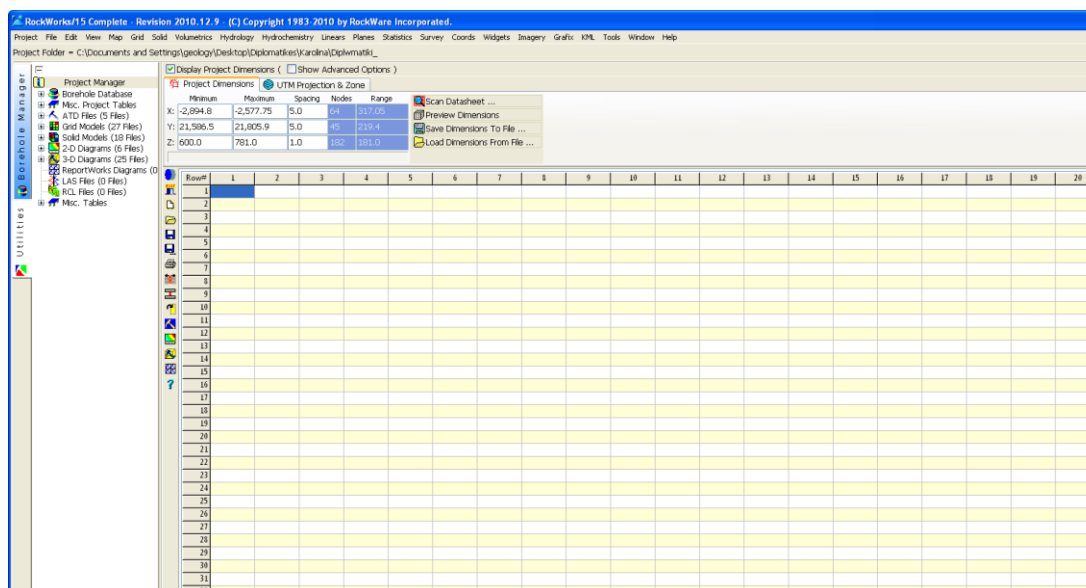
Στο ΠΕΔΙΟ 2 εκτελέστηκαν (9) αναγνωριστικές γεωτρήσεις, οι θέσεις των οποίων επιλέχθηκαν με γεωλογικά κριτήρια επιφάνειας. Η διάτρηση έγινε με την τεχνική *Down the hole* η οποία επιλέχθηκε για οικονομία χρόνου δεδομένου ότι τα πετρώματα στην περιοχή ήταν γνωστά, και αυτό που ενδιέφερε την έρευνα ήταν η διαπίστωση ύπαρξης ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας στρωσιγενούς τύπου σ' αυτή την θέση. Διατρήθηκαν συνολικά 1211m με βαθύτερη την γεώτρηση X4 (162m) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001).

5.3 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η χωροθέτηση των γεωτρητικών δεδομένων έγινε με τη χρήση του λογισμικού RockWorks 15. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα διαχείρισης γεωλογικών δεδομένων το οποίο δίνει την δυνατότητα οπτικοποίησης των δεδομένων, κατασκευής λιθολογικών και στρωματογραφικών μοντέλων σε δύο ή τρεις διαστάσεις, ογκομετρήσεων σχηματισμών, γεωστατιστικών υπολογισμών και πολλών άλλων. Αποτελείται από δύο κύρια παράθυρα εργασίας, την υποσελίδα Rockware Utilities και την υποσελίδα Borehole Manager. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εργαστήκαμε και με τις δυο υποσελίδες και η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων αναλύεται παρακάτω.

5.4 Η ΥΠΟΣΕΛΙΔΑ ROCKWARE UTILITIES

Η υποσελίδα Rockware Utilities είναι το πρώτο από τα κύρια εργαλεία εισαγωγής δεδομένων του λογισμικού RockWorks 15. Έχει παρόμοια μορφή και χρήση με ένα φύλλο εργασίας του Excel και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων διαφόρων τύπων.



Σχήμα 5. 1: Το κύριο παράθυρο εργασίας της υποσελίδας Rockware Utilities

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

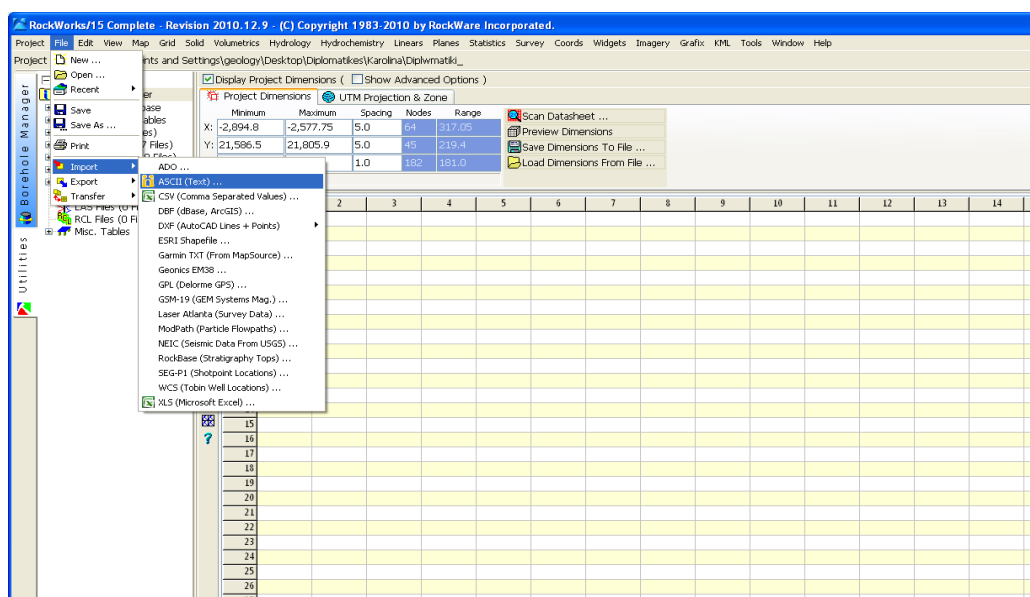
5.4.1 Δημιουργία χαρτών και τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους

Μέσα από την υποσελίδα Rockware Utilities έχουμε την δυνατότητα να απεικονίσουμε τα δεδομένα που έχουμε εισάγει σε αυτήν με διάφορες μορφές, ανάλογα πάντα τον τύπο δεδομένων αυτών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της εντολής Map η οποία βρίσκεται στη κεντρική γραμμή εντολών.

Για την δημιουργία χαρτών πρέπει να εισάγουμε όπως προαναφέρθηκε τα δεδομένα στο φύλλο εργασίας της υποσελίδας Rockware Utilities. Το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε δεδομένα από μια πληθώρα πηγών όπως είναι αρχεία τύπου ASCII, DXF (AutoCAD), XLS και άλλα. Για την δημιουργία απλών τοπογραφικών χαρτών χρησιμοποιήσαμε αρχεία ASCII . Πιο συγκεκριμένα εισήχθησαν οι ψηφιοποιημένοι γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. (χάρτες 3&4 Παράρτημα).

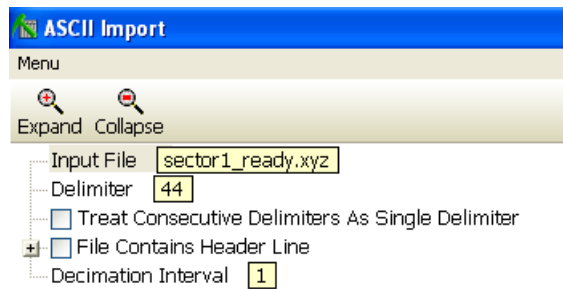
Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων στο πρόγραμμα και οι ρυθμίσεις που χρειάζονται για την δημιουργία του χάρτη.

- I Έχοντας ανοιχτή την υποσελίδα του Rockware Utilities επιλέγουμε στο κεντρικό μενού την εντολή File. Στη συνέχεια επιλεγούμε διαδοχικά την εντολή Import / ASCII(Text) όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.



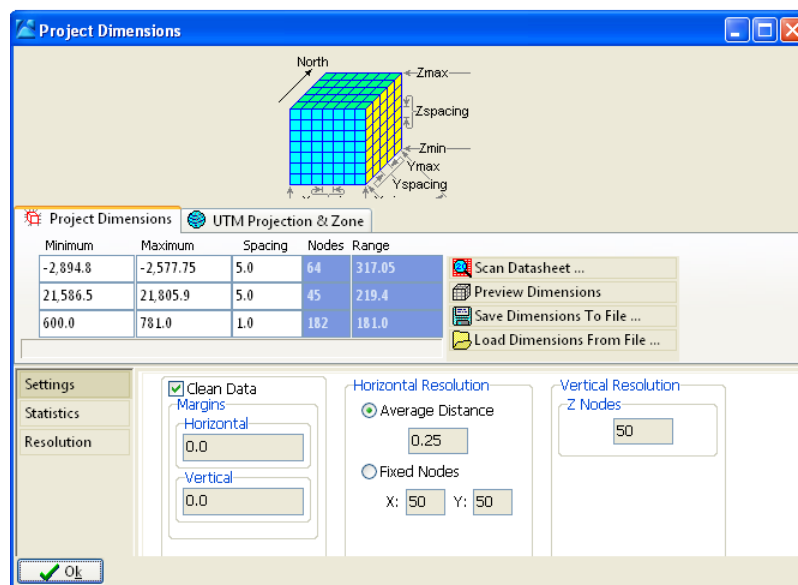
Σχήμα 5. 2: Παράθυρο εισαγωγής αρχείου

Στη συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου όπως αυτό του σχήματος 5.3 από το οποίο αναζητούμε το αρχείο .xyz που θέλουμε να εισάγουμε. Επίσης δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε και από ποια σειρά του φύλλου εργασίας θα αρχίσουν να εισάγονται τα δεδομένα σε περίπτωση που στην πρώτη σειρά έχουμε υπόμνημα ή τίτλο για τα δεδομένα της κάθε στήλης.



Σχήμα 5. 3: Παράθυρο εισαγωγής αρχείου ASCII

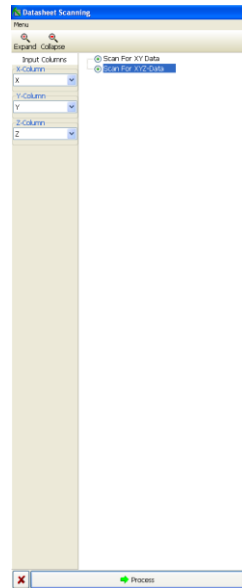
- II Μετά το πρόγραμμα μας ρωτάει αν θέλουμε να ενημερώσουμε τις διαστάσεις του χάρτη. Επιλέγουμε OK και ανοίγει το παράθυρο διαλόγου του σχήματος 5.4 στο οποίο φαίνονται οι τρέχουσες διαστάσεις του χάρτη.



Σχήμα 5. 4: Παράθυρο εισαγωγής διαστάσεων χάρτη

Επιλέγουμε το κουμπί Scan Datasheet και ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο διαλόγου (Σχήμα 5.5) από το οποίο επιλέγουμε εάν θέλουμε να υπολογίσει τα όρια των δια-

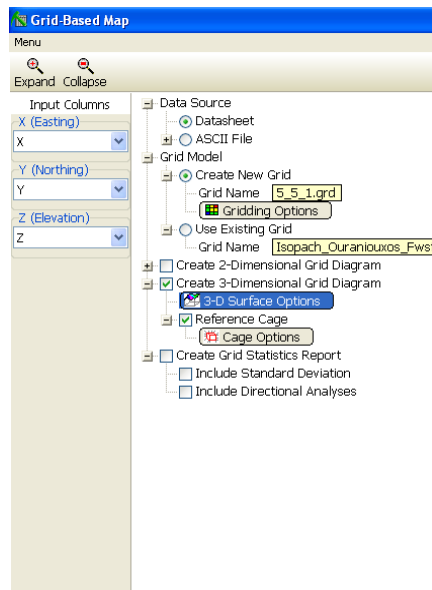
στάσεων κατά του άξονες των X (Easting), Y (Northing) και Z (Elevation) και να καθορίσουμε τις αντίστοιχες στήλες τις οποίες θα ανιχνεύσει.



Σχήμα 5. 5: Παράθυρο αυτόματου υπολογισμού διαστάσεων

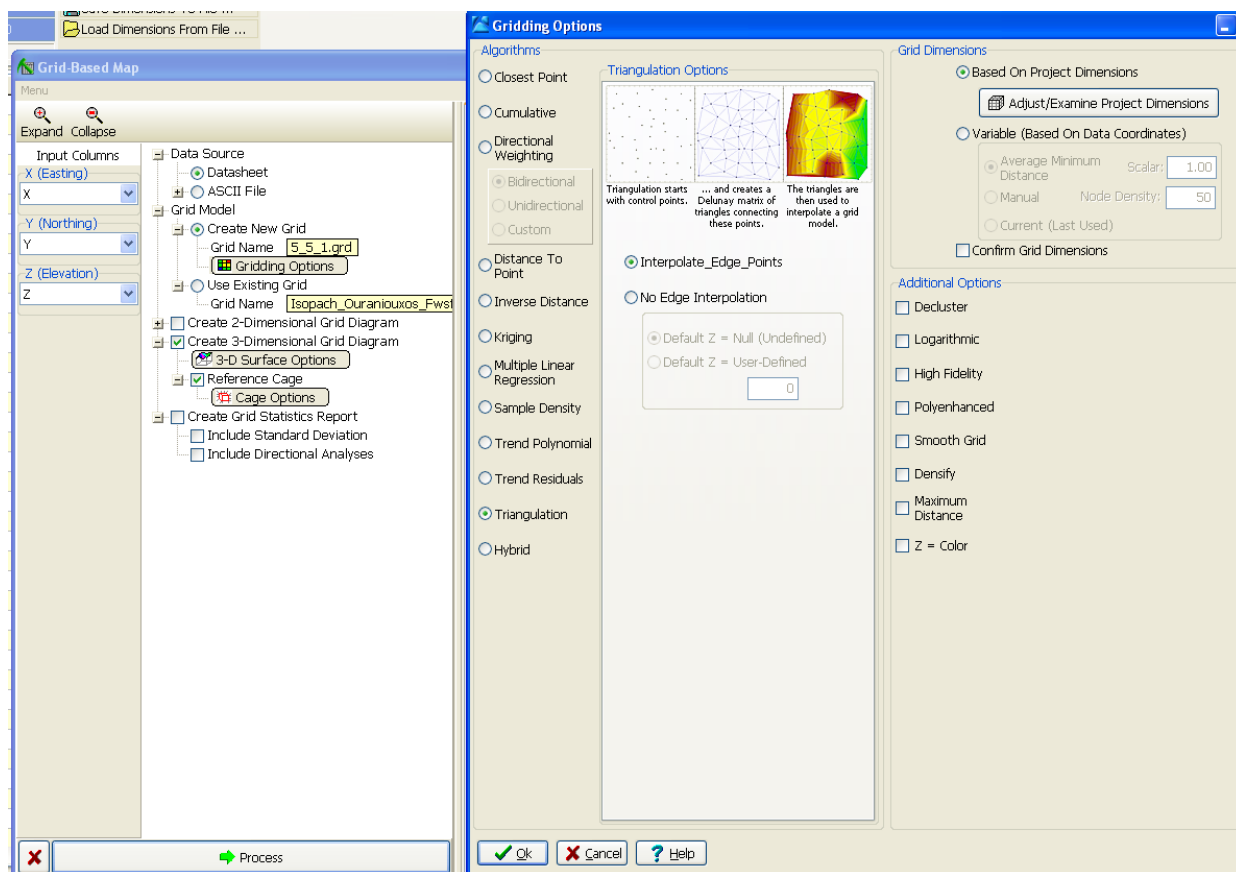
Πατάμε Process και το πρόγραμμα υπολογίζει τις διαστάσεις του χάρτη από τα δεδομένα που επιλέξαμε. Αν οι διαστάσεις είναι γνωστές τότε μπορούν να εισαχθούν και χειροκίνητα στα αντίστοιχα πεδία.

- III Αφού ορίσουμε τις διαστάσεις του χάρτη στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή Map από το κεντρικό μενού εντολών και στην συνέχεια επιλέγουμε την εντολή Grid - Based Map (χάρτης πλέγματος). Με την εντολή αυτή μπορούμε να δημιουργήσουμε δισδιάστατους χάρτες καθώς και τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Terrain Models – DTM). Επιλέγοντας την εντολή Grid – Based Map ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.6 από το οποίο καθορίζουμε τις παραμέτρους του χάρτη.



Σχήμα 5. 6: Παράθυρο ρύθμισης παραμέτρων της εντολής Grid – Based Map

IV Στη συνέχεια θα περιγραφεί η διαδικασία επιλογής των παραμέτρων για τη δημιουργία χαρτών. Σε πρώτη φάση επιλέγουμε από που θα εισάγουμε δεδομένα (Data Source). Επιλέγουμε Datasheet αν έχουμε εισάγει τα δεδομένα από την υποσελίδα Rockware Utilities ή ASCII File εάν έχουμε κάποιο άλλο εξωτερικό αρχείο δεδομένων. Η συνήθης πρακτική είναι να εισάγουμε τα δεδομένα από το Rockware Utilities για να ορίζονται αυτόματα (με τον τρόπο που περιγράφηκε στο προηγούμενο βήμα) και τα όρια του χάρτη. Στη συνέχεια επιλέγουμε αν θέλουμε να δημιουργήσουμε νέο μοντέλο πλέγματος (Create New Grid). Στο σχήμα 5.7 φαίνεται αναπτυγμένη η επιλογή Create New Grid.



Σχήμα 5. 7: Ρυθμίσεις Μοντέλου Πλέγματος

Πατώντας στην επιλογή Grid Name ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου για να δώσουμε όνομα στο μοντέλο πλέγματος που θα δημιουργήσουμε καθώς επίσης και σε ποιο φάκελο θα αποθηκευτεί αυτό. Τα αρχεία πλέγματος έχουν πάντα κατάληξη .grd.

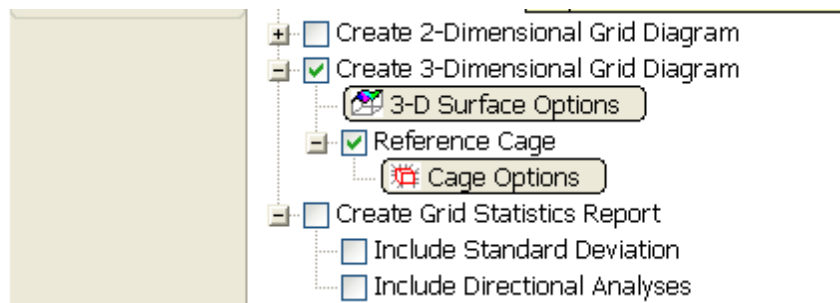
Η επιλογή **Gridding Options** περιέχει τα menu :

- **Algorithms:** Επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου που θα χρησιμοποιηθεί για την παρεμβολή.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος του τριγωνισμού (Triangulation) για τη δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Ανοίγοντας τις επιπλέον ρυθμίσεις του συγκεκριμένου αλγορίθμου μας δίνεται η επιλογή αν θέλουμε το πρόγραμμα να υπολογίσει μόνο του τα οριακά σημεία του μοντέλου στα οποία δεν έχουμε μετρήσεις υψομέτρου (επιλογή Interpolate Edge Points).

- **Grid Dimensions:** Προσδιορισμός του μεγέθους και της απόστασης των κόμβων του μοντέλου πλέγματος (grid) (ουσιαστικά προσδιορισμός των διαστάσεων, project dimensions). Στην επιλογή Grid Dimensions επιλέγουμε Based on Project Dimensions ούτως ώστε το μοντέλο που θα δημιουργηθεί να έχει τις διαστάσεις που ορίστηκαν από το πεδίο Project Dimensions.

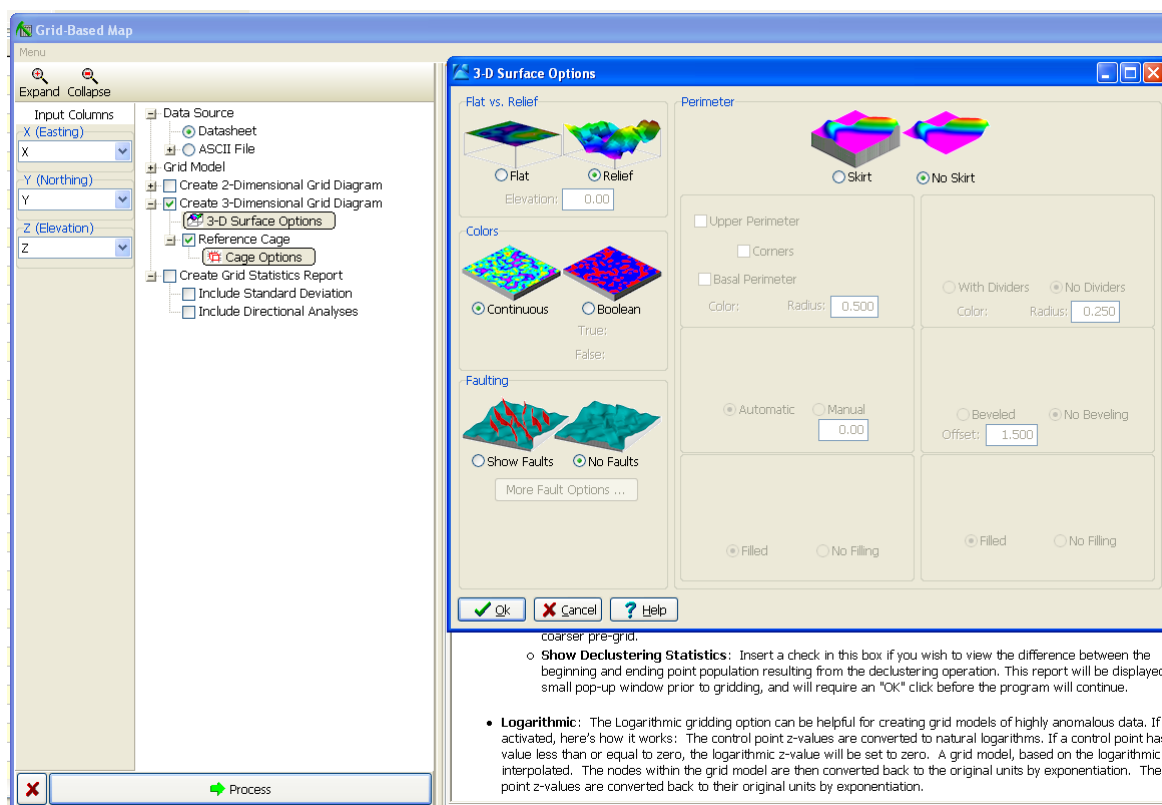
Το επόμενο βήμα στη διαδικασία δημιουργίας χαρτών πλέγματος είναι να επιλέξουμε τον τύπο του χάρτη που θα δημιουργηθεί, αν θα είναι δισδιάστατος ή τρισδιάστατος (Σχήμα 5.8).



Σχήμα 5. 8: Επιλογή Δισδιάστατου ή τρισδιάστατου χάρτη πλέγματος

Οι επιλογές αυτής της εντολής είναι οι εξής :

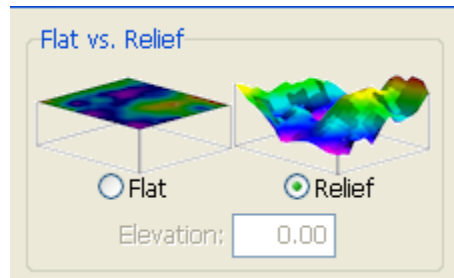
- **3D Surface Options:** Οι ρυθμίσεις της τρισδιάστατης επιφάνειας εδάφους (Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5. 9: Μενού παραμέτρων τρισδιάστατου χάρτη

➤ Flat vs Relief

Επιλέγεται η εντολή **Flat** για επίπεδη απεικόνιση της επιφάνειας και συμπληρώνεται το **Elevation** με το επιθυμητό υψόμετρο όπου θα απεικονίζεται η επιφάνεια (Σχήμα 5.10) ενώ με την εντολή **Relief** κατασκευάζεται τρισδιάστατα.

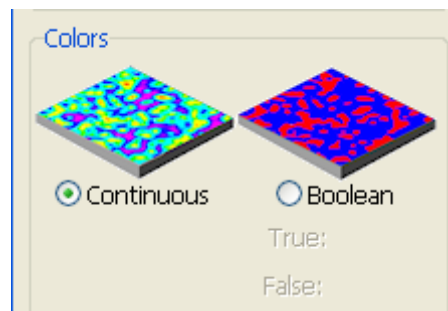


Σχήμα 5. 10: Η επιλογή Flat vs Relief

➤ Colors

Επιλέγεται η εντολή **Continuous** εάν το πλέγμα (grid) περιέχει ένα εύρος τιμών Z και θέλουμε να αναπαρασταθεί από ένα εύρος χρωμάτων.

Επιλέγεται η εντολή **Boolean** εάν το πλέγμα (grid) αναπαρίσταται από διάγραμμα Boolean "true/false" μοντέλο grid. Σε αυτά τα μοντέλα υπάρχουν δύο τιμές : 0 (for "false") and 1 (for "true") (Σχήμα 5.11).

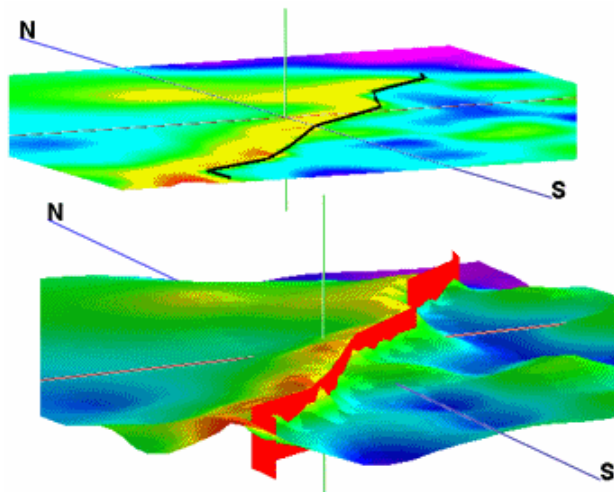


Σχήμα 5. 11: Η επιλογή Colors

➤ Faulting

Επιλέγεται η εντολή **No Faults** όταν υπάρχουν ρήγματα στο πλέγμα (grid) και δεν επιθυμούμε να εμφανιστούν στην τρισδιάστατη απεικόνιση.

Επιλέγεται η εντολή **Show Faults** εάν το πλέγμα (grid) είναι ρηγματώδες και επιθυμούμε να απεικονίζονται στην τρισδιάστατη αναπαράσταση (Σχήμα 5.12).

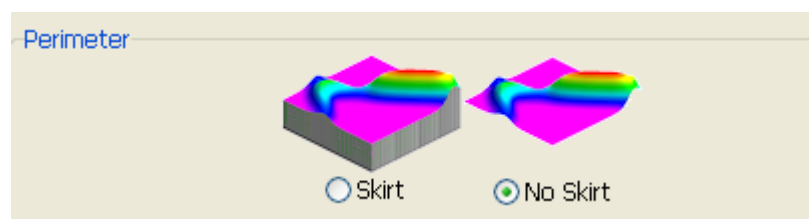


Σχήμα 5. 12: Η εντολή Faulting

➤ Perimeter

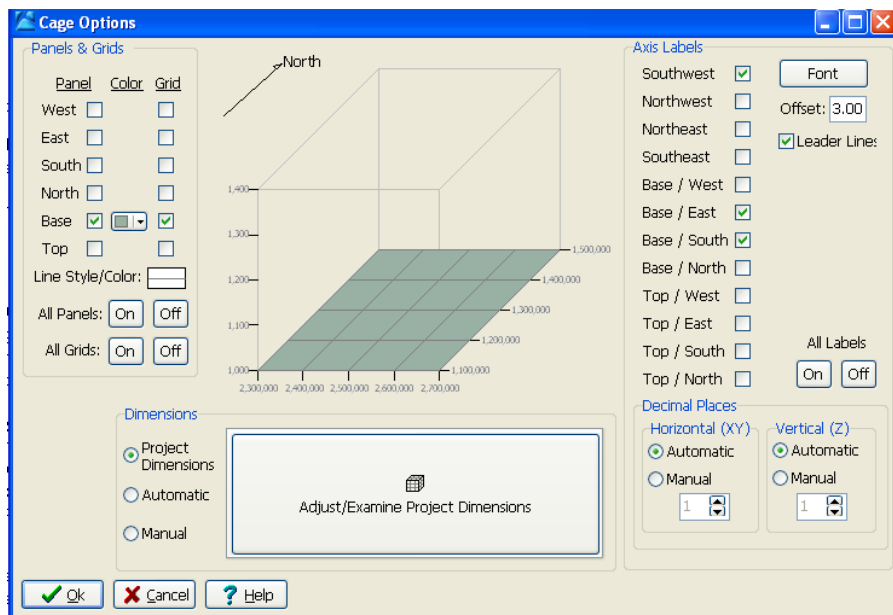
Επιλέγεται η εντολή No Skirt για την απεικόνιση του τρισδιάστατου grid model χωρίς περίμετρο.

Επιλέγεται η εντολή Skirt για την απεικόνιση του τρισδιάστατου grid model με περίμετρο (Σχήμα 5.13).



Σχήμα 5. 13: Η εντολή Perimeter

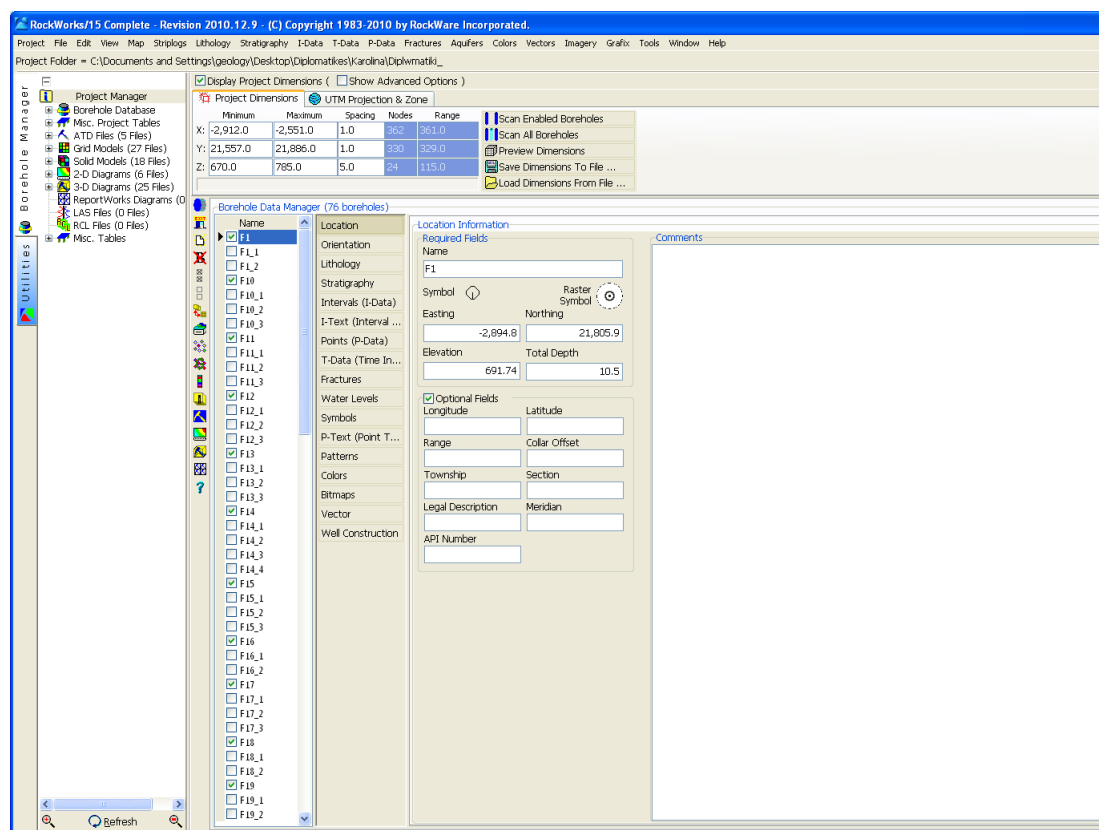
- Η επιλογή **Reference Cage** σχεδιάζει γύρω από το μοντέλο ένα κελί αναφοράς στο οποίο αναγράφονται οι διευθύνσεις Βορράς, Νότος, Ανατολή, Δύση καθώς και το Άνω και Κάτω όριο. Στην εντολή αυτή μπορούμε να ρυθμίσουμε τις διαστάσεις του κελιού αναφοράς από το πεδίο Dimensions. Μπορούμε να επιλέξουμε να χρησιμοποιηθούν οι διαστάσεις του χάρτη σαν όρια ή να ορίσουμε εμείς νέες διαστάσεις για το κελί (Σχήμα 5.14).



Σχήμα 5. 14: Επιλογές ρυθμίσεων Reference Cage

5.5 Η ΥΠΟΣΕΛΙΔΑ BOREHOLE MANAGER

Η υποσελίδα με το όνομα “**Borehole Manager**” αποτελεί μια από τις δύο υποσελίδες που υπάρχουν στην αριστερή πλευρά της οθόνης. Σε αυτήν εισάγονται τα δεδομένα των γεωτρήσεων ή σημειακών μετρήσεων. Κάθε γεώτρηση που εισάγεται εμφανίζεται στο αριστερό τμήμα αυτής της υποσελίδας, όπου υπάρχει μια λίστα με τις ονομασίες των γεωτρήσεων (Σχήμα 5.15). Με τη χρήση του κέρσορα δίνεται η δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης κάθε γεώτρησης (επιλεγμένο ή όχι, αντίστοιχα). Αφού εισαχθεί μια καινούρια γεώτρηση, ακολουθεί η εισαγωγή των επιμέρους στοιχείων της. Συγκεκριμένα, στην επιφάνεια εργασίας του **Borehole Manager** υπάρχουν διαφορετικές καρτέλες, κάθε μια από τις οποίες φιλοξενεί τα αντίστοιχα δεδομένα της εκάστοτε ενεργοποιημένης γεώτρησης.



Σχήμα 5. 15: Υποσελίδα Borehole Manager

- Πεδίο **Location**:

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε γεώτρησης, το υψόμετρο και το συνολικό βάθος.

- Πεδίο **Orientation**:

Ο προσανατολισμός - κλίση της γεώτρησης.

- Πεδίο **Lithology**:

Η λιθολογική περιγραφή κάθε γεώτρησης.

- Πεδίο **Stratigraphy**:

Η στρωματογραφική περιγραφή κάθε γεώτρησης.

- Πεδίο **Intervals (I-data)**:

Δεδομένα (π.χ. γεωχημικές αναλύσεις) που αντιστοιχούν σε κάθε διάστημα (Interval) της γεώτρησης.

- Πεδίο **I-text(interval Text)**: Πληροφορίες για το κάθε διάστημα (Interval) της γεώτρησης.

- Πεδίο **P-data**:

Δεδομένα (π.χ. γεωφυσικές καταγραφές γεωτρήσεων, well logging) που αντιστοιχούν σε σημεία (Point) της γεώτρησης.

- Πεδίο **T-data (Time Intervals)**:

Καταχώρηση του χρόνου που σχετίζονται με τα I-data.

- Πεδίο **Fractures**:

Τα στοιχεία προσανατολισμού ρηγμάτων.

- Πεδίο **Aquifers**:

Στοιχεία για τους υδροφόρους της περιοχής μελέτης

- Πεδία **Symbols, Patterns, Colors, Bitmaps**:

Αναφέρονται στον τρόπο με τον οποίο παριστάνονται οι γεωτρήσεις.

- Πεδίο **Vector**:

Καταχώρηση του βάθους των σημείων, της κατεύθυνσης του αζιμούθιου, την κλίση, το χρώμα και το μέγεθός του.

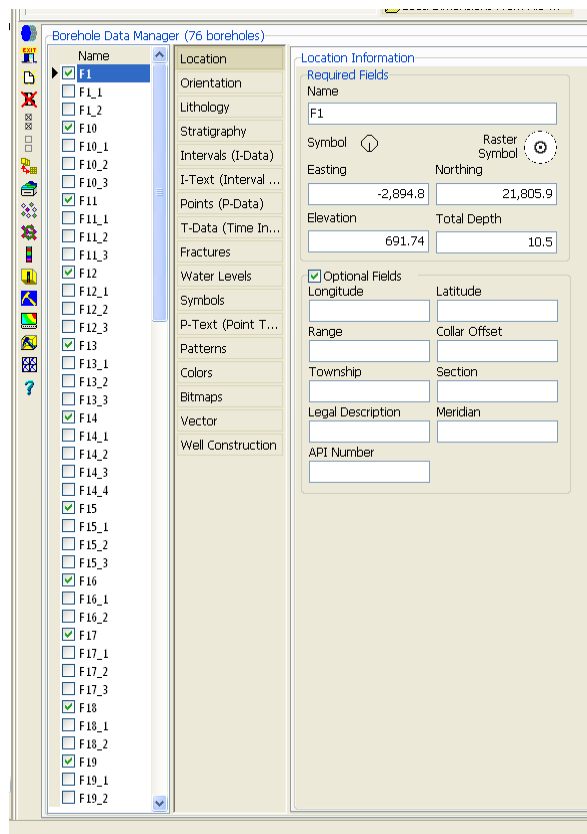
- Πεδίο **Well Construction**:

Καταχώρηση των εσωτερικών και εξωτερικών διαμέτρων, των αντισταθμίσεων, των υλικών κατασκευής καθώς επίσης και επεξηγηματικών κειμένων για τις εξερχόμενες εικόνες.

Από τα παραπάνω πεδία αναγκαία είναι η συμπλήρωση του πρώτου, ενώ τα υπόλοιπα συμπληρώνονται κατά περίπτωση ανάλογα της φύσης των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση των γεωτρητικών στηλών, την δημιουργία επάλληλων ή μη τομών, σε δύο και τρεις διαστάσεις, καθώς και για τη δημιουργία τρισδιάστατων στερεών μοντέλων (3D solid modeling).

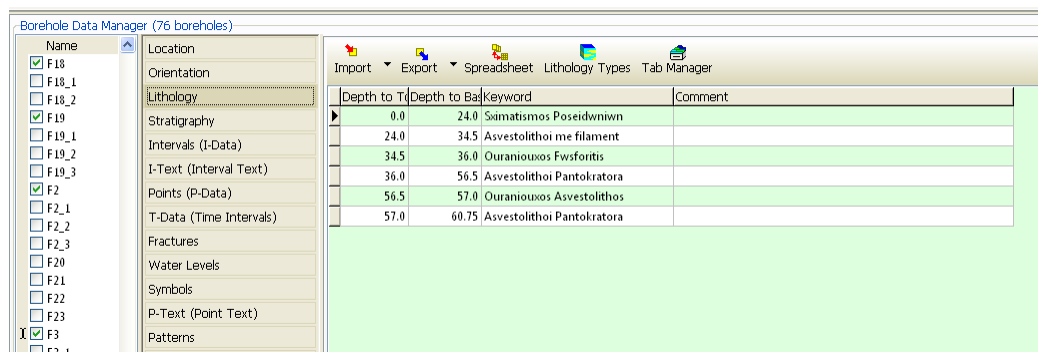
Αξίζει να σημειωθεί οι απενεργοποιημένες γεωτρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψη κατά την διαδικασία επεξεργασίας. Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μπορεί να γίνει και από τα δύο μικρά παράθυρα ακριβώς δίπλα από τις γεωτρήσεις. Στο ίδιο σημείο υπάρχουν και άλλα παράθυρα που επιτρέπουν τη δημιουργία νέας γεώτρησης, τη διαγραφή μιας ήδη υπάρχουσας καθώς επίσης και άλλες λειτουργίες

Τα δεδομένα των γεωτρήσεων εισάγονται ως εξής. Στη καρτέλα Locations εισάγονται οι συντεταγμένες X και Y του κολάρου της γεώτρησης στα πεδία Easting και Northing αντίστοιχα. Στο πεδίο Elevation εισάγεται η τιμή του υψομέτρου που βρίσκεται το κολάρο της γεώτρησης ενώ στο πεδίο Total Depth εισάγεται το βάθος της γεώτρησης (σχήμα 5.16).

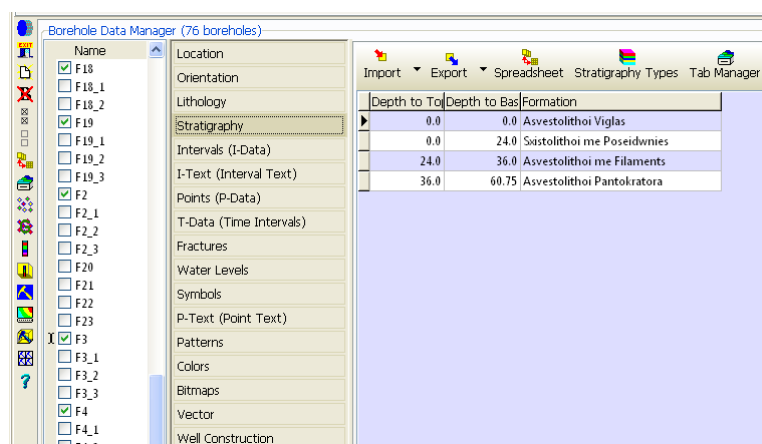


Σχήμα 5. 16: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των στοιχείων στην καρτέλα Locations

Στο πεδίο Depth to top εισάγεται το βάθος της αρχής του σχηματισμού ενώ στο πεδίο Depth to Base εισάγεται το βάθος που τελειώνει ο σχηματισμός. Ακριβώς από κάτω εισάγονται στα πεδία Lithology και Stratigraphy η περιγραφές των σχηματισμών (σχήμα 5.17 και 5.18) η δημιουργία των οποίων είναι απαραίτητη και προαπαιτούμενη. Επιλέγοντας στο menu lithology ή stratigraphy την εντολή types, ορίζονται τα στρώματα που θα αποτελούν το μοντέλο. Επιπλέον επιλέγεται το ιδιαίτερο σχέδιο (pattern), που θα χαρακτηρίζει κάθε στρώμα καθώς και η πυκνότητα (density) που χρησιμεύει στον υπολογισμό της μάζας κάθε στρώματος.



Σχήμα 5. 17: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των στοιχείων στην καρτέλα Lithology



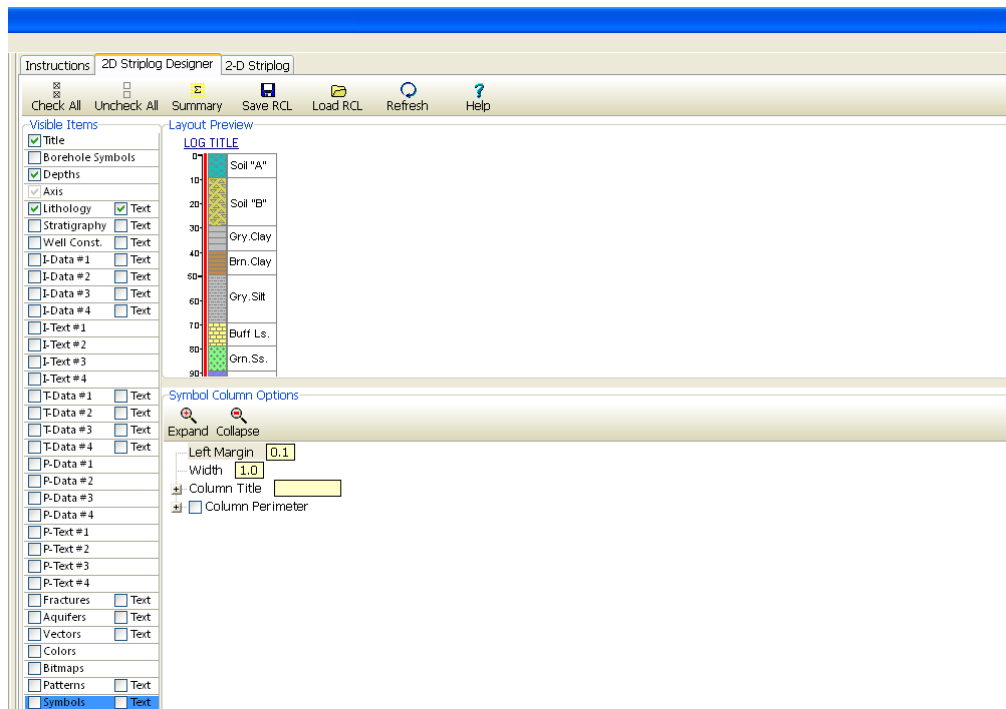
Σχήμα 5. 18: Επιλογή των γεωτρήσεων που θα απεικονιστούν, και έλεγχος της πληρότητας των στοιχείων στην καρτέλα Stratigraphy

5.5.1 Μενού Striplogs

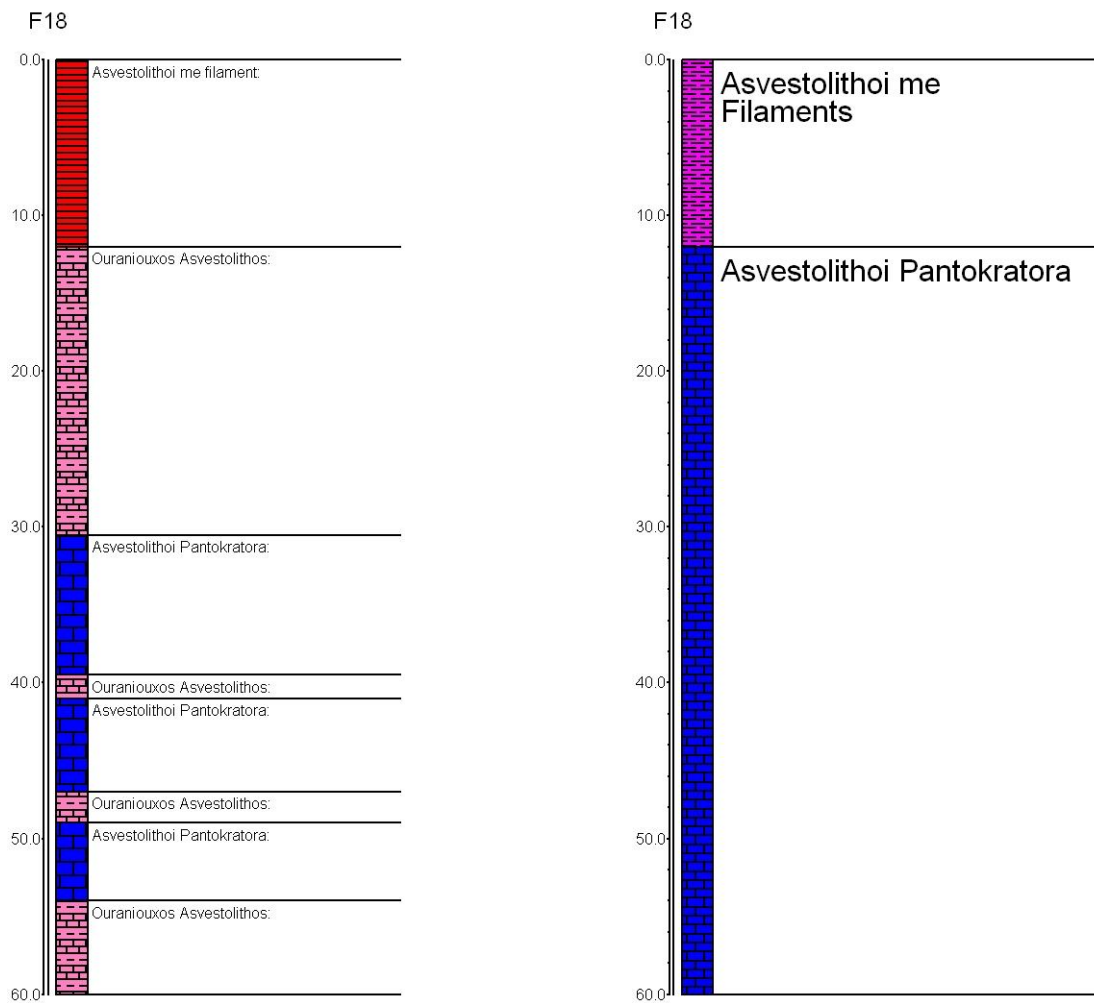
Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας και στρωματογραφίας γεωτρήσεων

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

Απ' τη κεντρική μπάρα εργαλείων, επιλέγουμε στο μενού Striplogs → Single Log. Εμφανίζεται το υπομενού ρυθμίσεων και ενεργοποιούμε τις επιλογές Title, Depths, Lithology ή Stratigraphy-ανάλογα με το τι θέλουμε να απεικονιστεί- και Text δεξιά των επιλογών (σχήμα 5.19). Πατώντας Continue θα προκύψει η παρακάτω απεικόνιση του σχήματος 5.20.



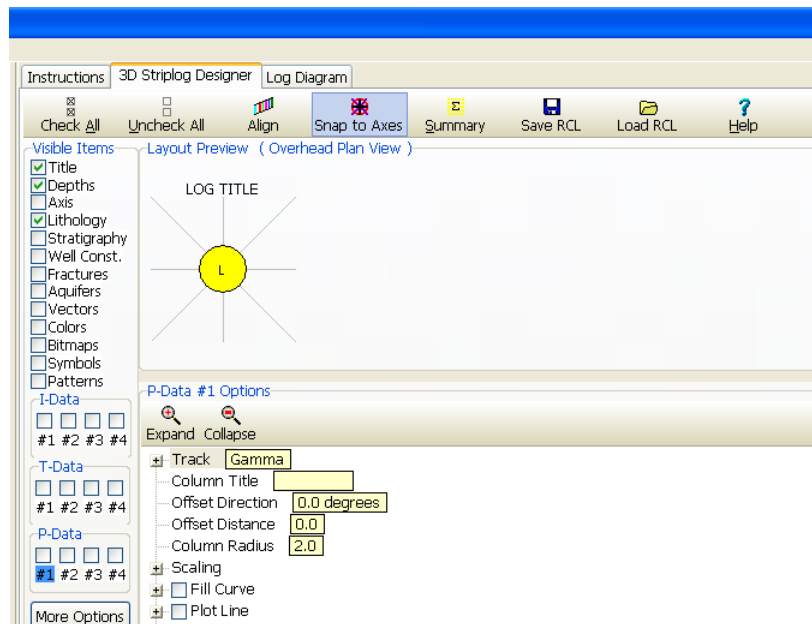
Σχήμα 5. 19: Παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής 2D – Striplog



Σχήμα 5. 20: Η λιθολογική και η στρωματογραφική στήλη που προκύπτει για μία γεώτρηση

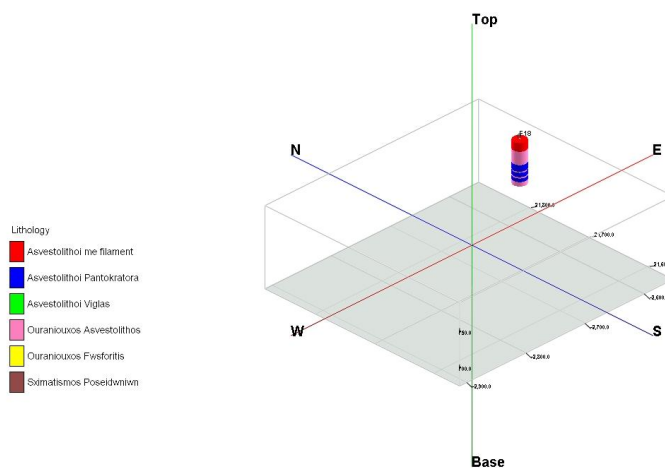
Τρισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας και στρωματογραφίας γεωτρήσεων

Για να απεικονίσουμε μια γεώτρηση στις τρεις διαστάσεις επιλέγουμε διαδοχικά από το μενού εντολών τις ακόλουθες εντολές Striplog → Single Log (3D). Ανοίγει το παράθυρο ρύθμισης παραμέτρων του σχήματος 5.21 στο οποίο ενεργοποιούμε τις επιλογές Lithology ή Stratigraphy, Title και Depth.

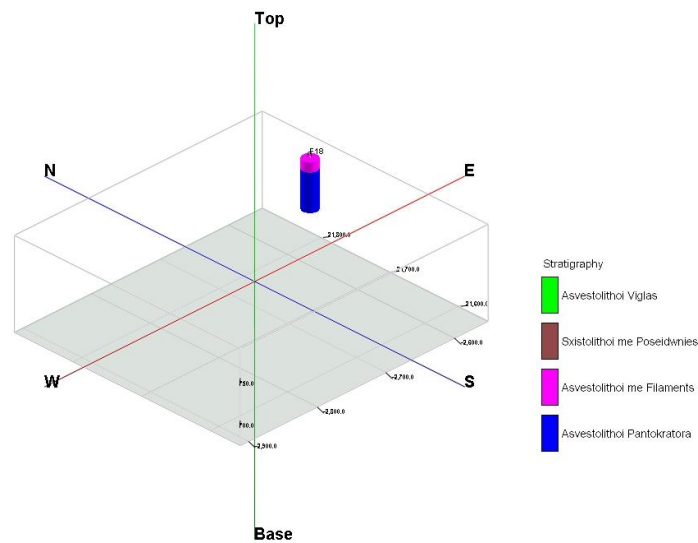


Σχήμα 5. 21: Το παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής Single Log 3D

Πατώντας Continue σχεδιάζονται οι γεωτρήσεις με την λιθολογία ή την στρωματογραφία και απεικονίζονται σε παράθυρα του υποπρογράμματος RockPlot3D15 (σχήμα 5.22 & 5.23).



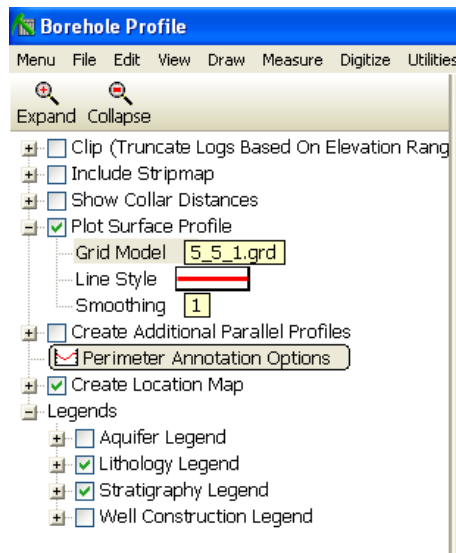
Σχήμα 5. 22: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας μίας γεώτρησης με το υπόμνημά της



Σχήμα 5. 23: Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφίας μίας γεώτρησης με το υπόμνημά της

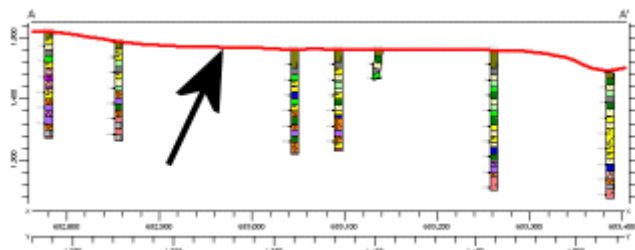
Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας και στρωματογραφίας πολλαπλών γεωτρήσεων

Από τη γραμμή εργαλείων επιλέγεται διαδοχικά **Striplogs** → **Multilog Profile** για να απεικονιστεί η λιθολογία και η στρωματογραφία πολλαπλών επιλεγμένων γεωτρήσεων κατά μήκος μίας ευθείας γραμμής μελέτης, που ορίζεται από τον χειριστή. Η τελική απεικόνιση θα συμπεριλάβει μόνο τις γεωτρήσεις από τις οποίες περνά η ορισθείσα ευθεία γραμμή μελέτης. Στην περίπτωση που θέλουμε να συμπεριληφθούν και γεωτρήσεις παρακείμενες της ευθείας γραμμής μελέτης, η συγκεκριμένη εντολή δίνει την δυνατότητα ρύθμισης του πλάτους της γραμμής. Ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα συμπεριληφθούν εξαρτάται απ' το πλάτος της γραμμής μελέτης θα οριστεί. Επιλέγοντας την εντολή Multilog Profile ανοίγει το παράθυρο ρυθμίσεων του σχήματος 5.24.



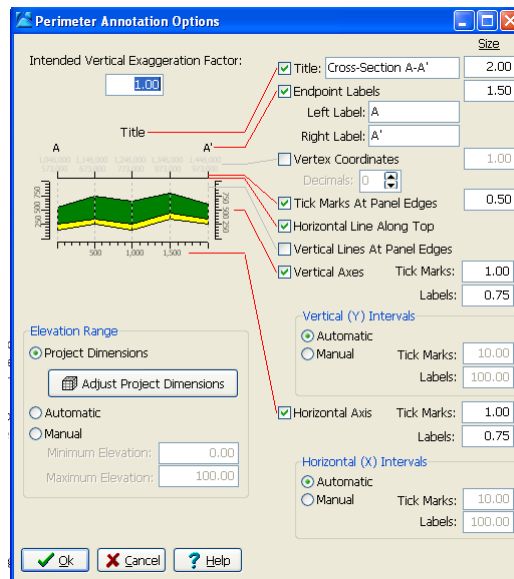
Σχήμα 5. 24: Οι ρυθμίσεις απεικόνισης της εντολής Multilog Profile

Η επιλογή **Plot Surface Profile** σχεδιάζει στο προφίλ που θα δημιουργηθεί, μια γραμμή που θα αντιπροσωπεύει την τοπογραφία πάνω στη γραμμή του προφίλ. Επιλέγουμε τον χάρτη πλέγματος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια που θέλουμε να προβληθεί (πεδίο Grid Model) (Σχήμα 5.25).



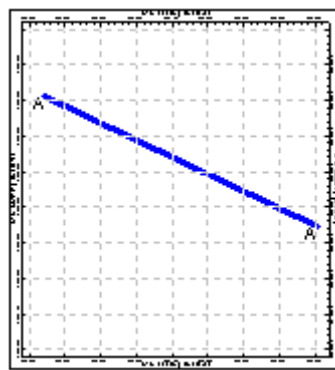
Σχήμα 5. 25: Η επιλογή Plot Surface Profile

Το μενού **Perimeter Annotation Options** ανοίγει τις ρυθμίσεις του σχήματος 5.26 για την παραμετροποίηση προφίλ μεμονωμένης γεώτρησης, εάν θέλουμε να κάνουμε κάποια αλλαγή στις ρυθμίσεις αυτές. Επιλέγουμε project Dimensions.



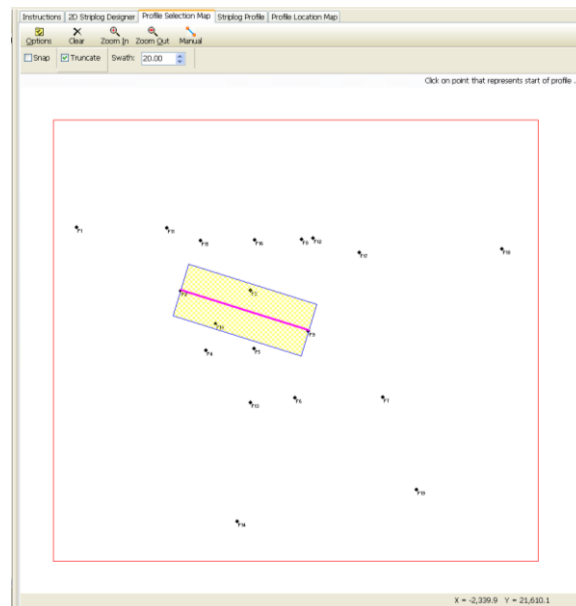
Σχήμα 5. 26: Το μενού Perimeter Annotation Options

Η επόμενη ρύθμιση που κάνουμε είναι η ενεργοποίηση του πεδίου **Create Location Map**. Με αυτή την επιλογή δημιουργείται ένας χάρτης με την θέση των γεωτρήσεων στον οποίο φαίνεται η γραμμή που επιλέξαμε για την δημιουργία του προφίλ καθώς και το εύρος της (Σχήμα 5.27).



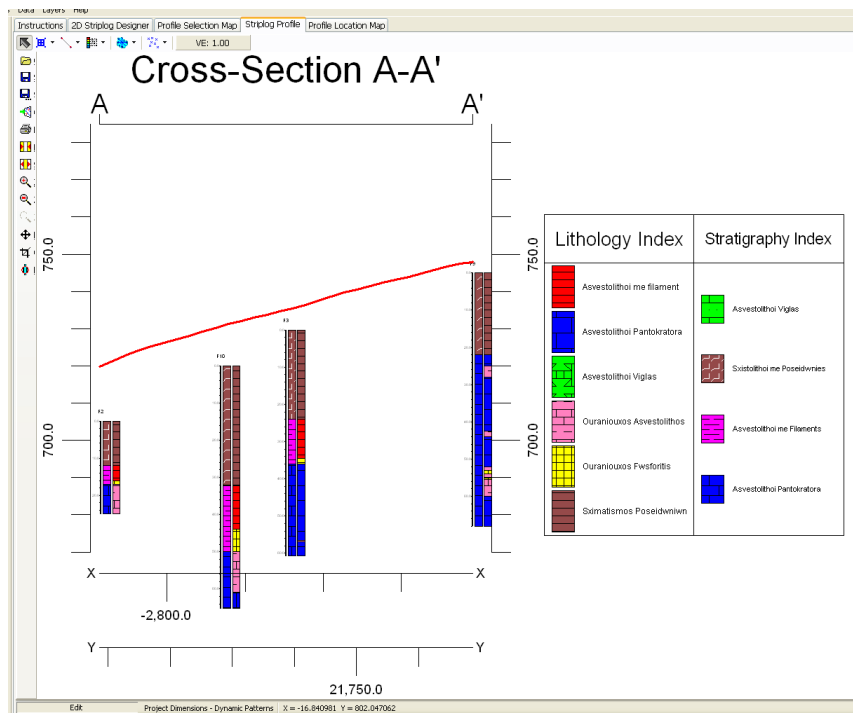
Σχήμα 5. 27: Η επιλογή Create Location Map

Τέλος ενεργοποιούμε το πεδίο Lithology Legend και Stratigraphy Legend για την εισαγωγή του υπομνήματος με τους λιθολογικούς και στρωματογραφικούς τύπους. Επιλέγουμε OK και ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.28.



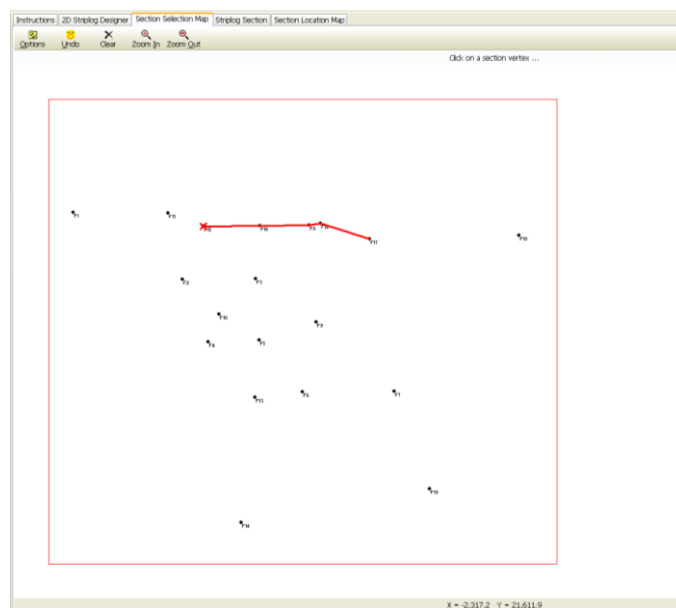
Σχήμα 5. 28: Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού προφίλ

Επιλέγουμε μια γραμμή μελέτης όπως φαίνεται στην εικόνα η οποία περιλαμβάνει τις γεωτρήσεις F2, F10, F3 και F9. Πατώντας OK σχεδιάζεται το προφίλ μαζί με το χάρτη που παρουσιάζει την παραπάνω γραμμή που ορίσαμε (σχήμα 5.29).



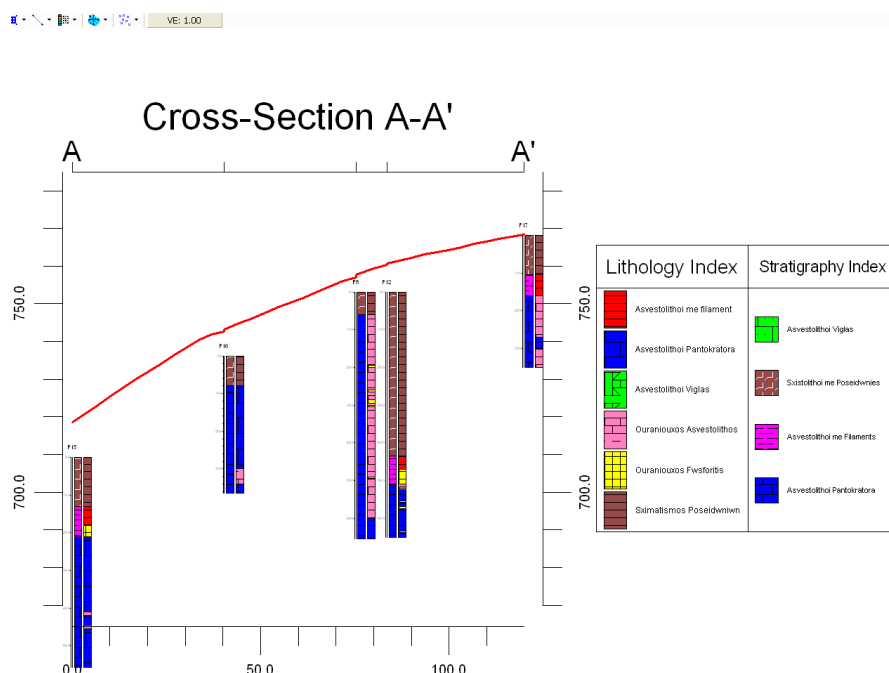
Σχήμα 5. 29: Λιθολογικό με στρωματογραφικό προφίλ με την εντολή Multi-Log Profile

Αν παρόλα αυτά, η δυνατότητα επιλογής μιας μόνο ευθείας γραμμής μελέτης δεν είναι ικανοποιητική, τότε το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει γεωτρήσεις που δεν βρίσκονται στην ίδια ευθεία, με επιλογή τεθλασμένης γραμμής μελέτης για την δημιουργία λιθολογικού μοντέλου. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση της εντολής **Striplogs → Multi - Log Section**. Το παράθυρο ρυθμίσεων που ανοίγει είναι το ίδιο με αυτό της προηγούμενης εντολής και οι ρυθμίσεις οι ίδιες. Στο παράθυρο όπου φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων ο χρήστης επιλέγει τις γεωτρήσεις που επιθυμεί. Η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 5.30 Σημειώνεται ότι στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα καθορισμού ζώνης γύρω από την τεθλασμένη γραμμή για την απεικόνιση γεωτρήσεων παρακείμενων της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 5. 30: Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού προφίλ με την εντολή Multilog Section

Το προφίλ που προκύπτει παρατίθεται στην επόμενη εικόνα.

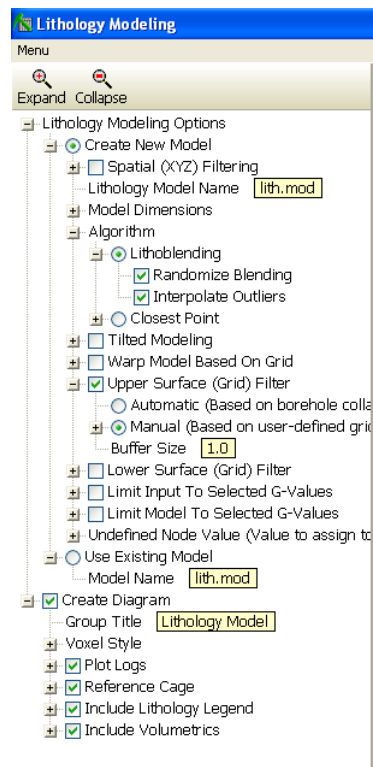


Σχήμα 5. 31: Λιθολογικό με στρωματογραφικό προφίλ με την εντολή Multi-Log Section

5.5.2 Μενού Lithology

Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου

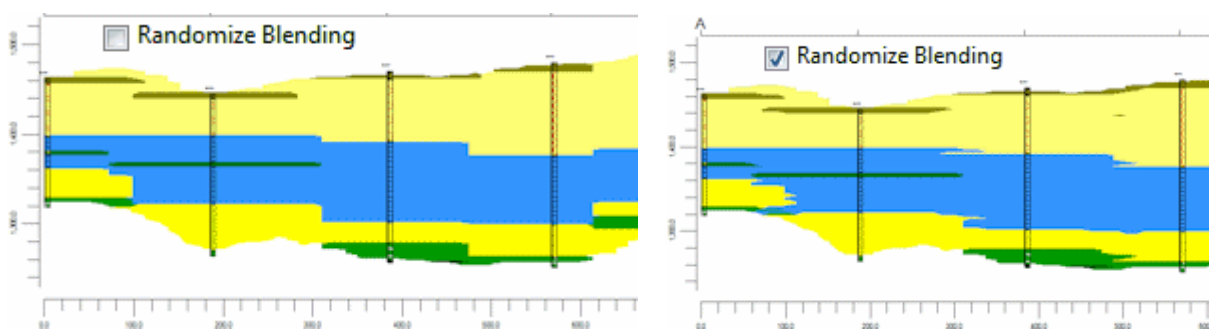
Το λογισμικό Rockworks 15 έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα από τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν ορισθεί μέσω της υποσελίδας Borehole Manager, με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου. Για την δημιουργία του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου επιλέγουμε από το μενού εντολών διαδοχικά **Lithology → Model**. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.32 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου.



Σχήμα 5. 32: Το παράθυρο ρυθμίσεων για την δημιουργία τρισδιάστατων λιθολογικών μοντέλων

- I. **Lithology Modeling Options:** Ορίζονται οι παράμετροι του λιθολογικού μοντέλου.
 - **Create new model:** Επιλέγεται για τη δημιουργία νέου μοντέλου και δίνει πρόσβαση στις ακόλουθες μετρήσεις.

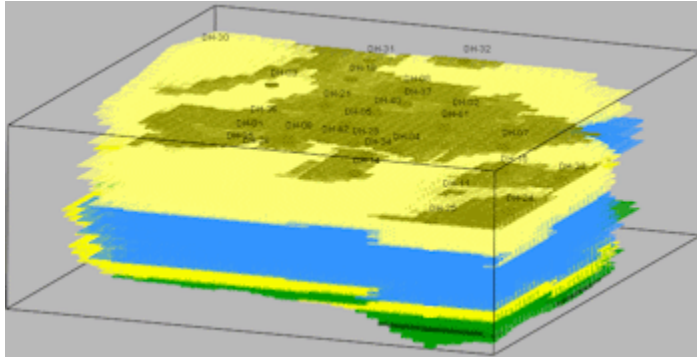
- **Lithology model name:** Στο πεδίο αυτό εισάγεται ένα όνομα για το λιθολογικό μοντέλο. Τα λιθολογικά μοντέλα έχουν πάντα κατάληξη .mod.
- **Model Dimensions:** Από αυτό το πεδίο ορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου. Καθορίζουν τα όριά του καθώς και τον αριθμό των κόμβων για το στερεό μοντέλο. Με την επιλογή Hardwire Project Dimensions ως διαστάσεις του μοντέλου ορίζονται οι διαστάσεις που υπάρχουν στο μενού Project Dimensions. Με την επιλογή Variable (data specific) Dimensions, εισάγονται χειροκίνητα οι διαστάσεις του μοντέλου. Εισάγοντας και την επιλογή Confirm Dimensions θα εμφανιστεί παράθυρο διαλόγου πριν αρχίσει η μοντελοποίηση, για πιθανές αλλαγές στις διαστάσεις του μοντέλου.
- **Algorithm:** Επιλέγεται ο αλγόριθμος κατασκευής του μοντέλου. Τελικά χρησιμοποιείται η μέθοδος **Lithoblending** με τις εξής επιλογές.
 - **Randomize Blending:** Επιλέγεται η εντολή αυτή για την ελαχιστοποίηση των ασυνεχειών. Αν ενεργοποιηθεί, η μέγιστη ακτίνα αναζήτησης σε όλες τις γεωτρήσεις θα διαφέρει ελαφρώς από το βάθος (Σχήμα 5.33).



Σχήμα 5. 33: Η εντολή Randomize Blending

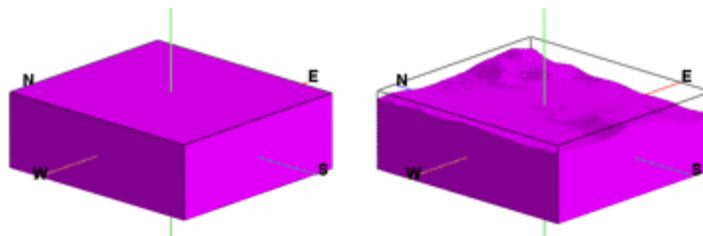
- **Interpolate Outliers:** Η επιλογή αυτή εάν ενεργοποιηθεί το πρόγραμμα θα καταχωρήσει σε όλες τις κυψελίδες (voxels) των λιθολογικών μοντέλων μία τιμή G. Αν απενεργοποιηθεί, σε όλες τις οριακές κυψελίδες, οι οποίες τοποθετούνται πέρα από μια απόσταση αποκοπής, θα οριστεί ένα μηδενικό,

έτσι ώστε να είναι αόρατες στο τελικό λιθολογικό μοντέλο. Ως απόσταση αποκοπής (cutoff distance) ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών γεωτρήσεων (Σχήμα 5.34)



Σχήμα 5. 34: Η εντολή Interpolate outliers

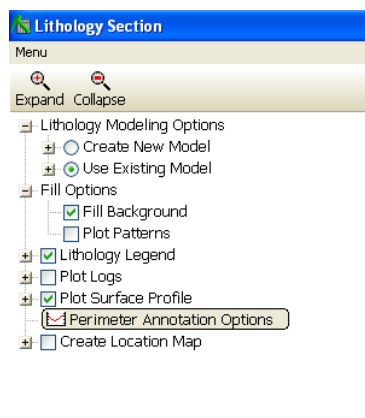
- **Upper Surface (Grid) Filter:** Η εντολή αυτή τοποθετεί, χειροκίνητα μιας και έχει επιλεγθεί **Manual**, ως ανώτερη επιφάνεια του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου την τοπογραφία ή οποιοδήποτε grid αρχείο μιας επιφάνειας που αντιπροσωπεύει ανώτερο όριο (π.χ. πιεζομετρική επιφάνεια, μορφολογία εξόφλησης λατομείου κ.α.) (Σχήμα 5.35).



Σχήμα 5. 35: Η εντολή Upper Surface (Grid) Filter

- II **Create diagram:** Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό δημιουργείται ένα τετραγωνισμένο/φραγμένο διάγραμμα στο προς κατασκευή μοντέλο.
 - **Reference Cage:** Με την επιλογή αυτή εισάγονται οι τρεις άξονες, XYZ στο τρισδιάστατο διάγραμμα.
 - **Include Lithology Cage:** Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό εισάγεται στο προφίλ υπόμνημα που περιλαμβάνει τους λιθολογικούς τύπους με τα σχέδια και το χρωματισμό τους ακριβώς όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.

-

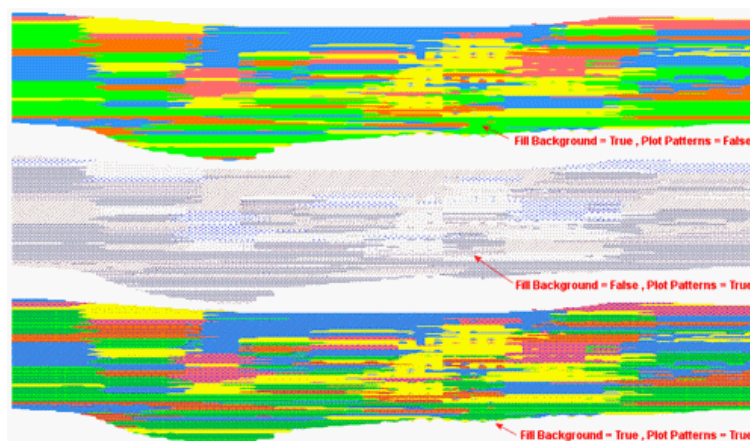


I. **Lithology Modeling Options:** Ορίζονται οι παράμετροι του λιθολογικού μοντέλου.

- **Use Existing Model:** Επιλέγεται ένα προϋπάρχον μοντέλο, στην περίπτωση μας εκείνο που κατασκευάστηκε στην παράγραφο «*Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου*».

II. **Fill options:** Η επιλογή δίνει την δυνατότητα συμπλήρωσης των λιθολογικών στρωμάτων.

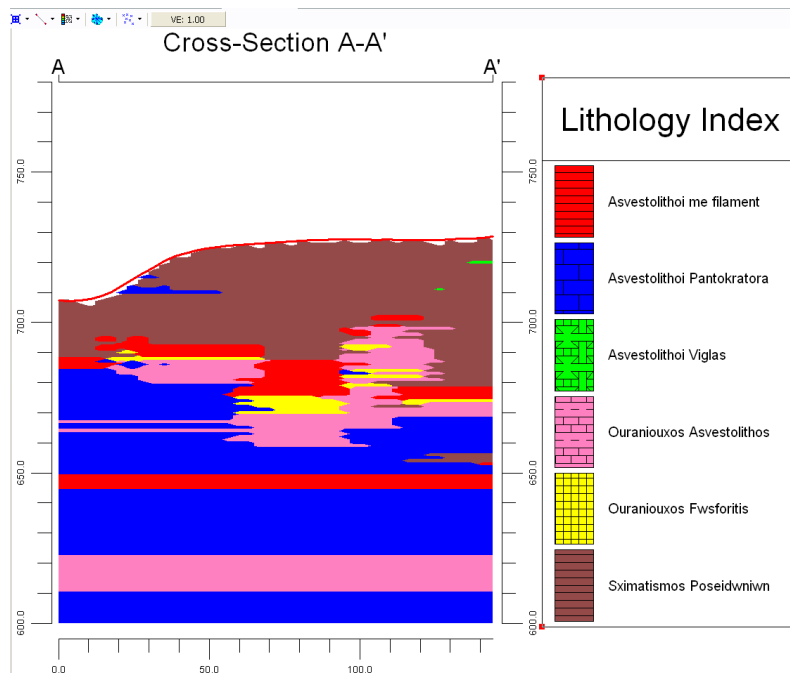
- **Fill background:** Επιλέγοντας την εντολή αυτή το πρόγραμμα 'γεμίζει' όπου υπάρχει κενό στα δεδομένα, τα λιθολογικά στρώματα με το χρώμα που ήδη έχει επιλεγεί για το κάθε ένα (Σχήμα 5.38).



Σχήμα 5. 38: Η εντολή Fill options

III. **Lithology Legend:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη του Lithology Model.

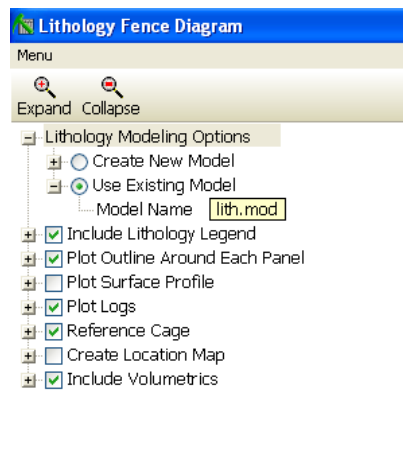
IV. **Plot Surface Profile:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «*Δισδιάστατη απεικόνιση λιθολογίας και στρωματογραφίας πολλαπλών γεωτρήσεων*».



Σχήμα 5. 39: Λιθολογικό Προφίλ τύπου «Section»

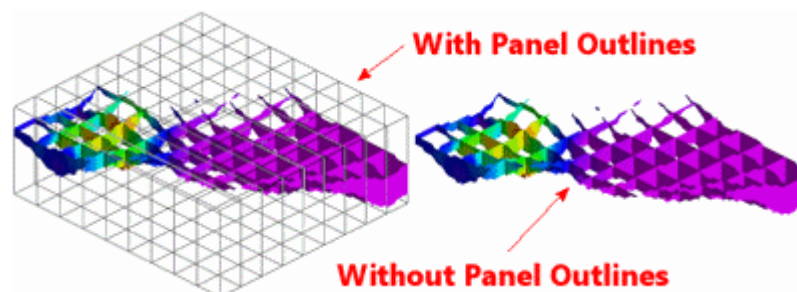
Δημιουργία λιθολογικού προφίλ τύπου «Fence»

Τα διαγράμματα τύπου «**Fence**» διαφέρουν από τα προηγούμενα σε δύο σημεία. Με αυτήν την εντολή κατασκευάζονται πολλαπλά προφίλ που οι γραμμές μπορούν να τέμνονται μεταξύ τους και προβάλλεται σε τρεις διαστάσεις από το παράθυρο του υποπρογράμματος RockPlot 3D. Τα διαγράμματα τύπου «Fence» δημιουργούνται από το μενού **Lithology**→ **Fence**. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.40 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις εξής παραμέτρους.



Σχήμα 5. 40: Ρυθμίσεις της εντολής Fence

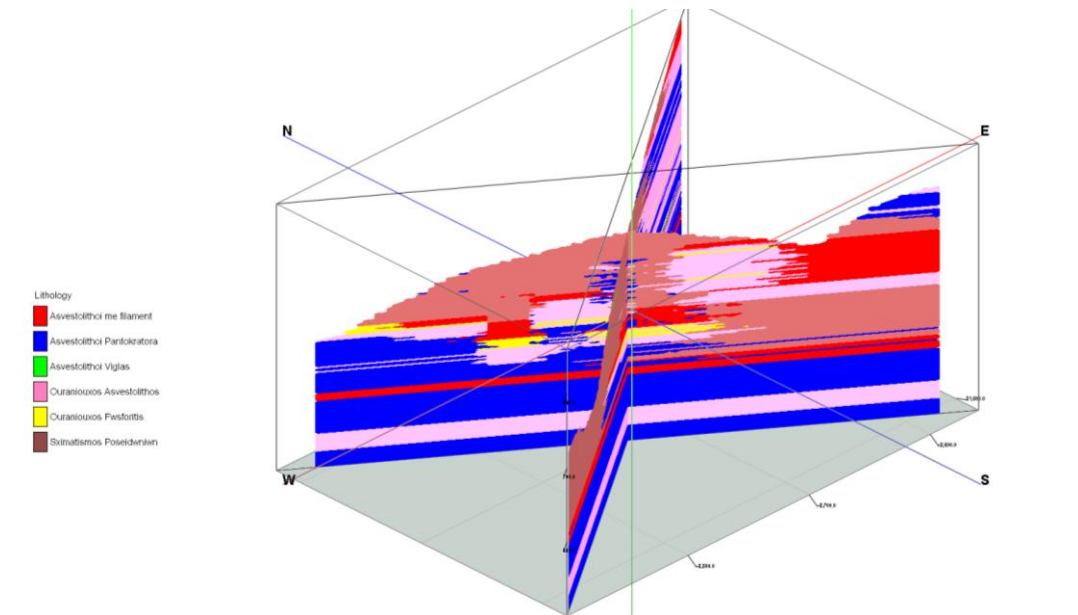
- I. **Lithology Modeling Options:** Ορίζονται οι παράμετροι του λιθολογικού μοντέλου.
 - **Use Existing Model:** Επιλέγεται ένα προϋπάρχον μοντέλο, στην περίπτωση μας εκείνο που κατασκευάστηκε στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου».
- II. **Include Lithology Legend:** Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό εισάγεται στο προφίλ υπόμνημα που περιλαμβάνει τους λιθολογικούς τύπους με τα σχέδια και το χρωματισμό τους ακριβώς όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.
- III. **Plot Outline Around Each Panel:** Η εντολή αυτή επιλέγεται για να δημιουργηθεί περιμετρικά του προφίλ Fence ένα τρισδιάστατο πλέγμα (Σχήμα 5.41).



Σχήμα 5. 41: Η εντολή Plot Outline Around Each Panel

IV. **Reference Cage:** Οι ρυθμίσεις και οι επεξηγήσεις έχουν αναφερθεί παραπάνω στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου».

V. **Include Volumetrics:** Οι ρυθμίσεις και οι επεξηγήσεις έχουν αναφερθεί παραπάνω στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου».

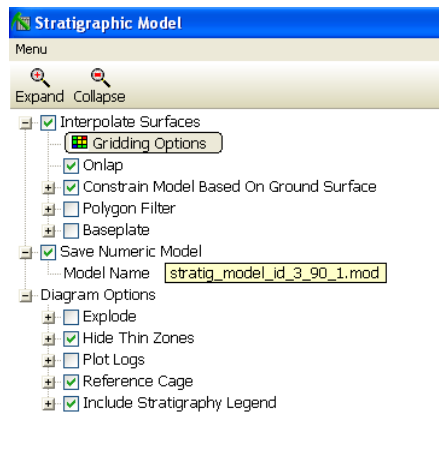


Σχήμα 5. 42: Λιθολογικό Προφίλ τύπου «Fence»

5.5.3 Μενού Stratigraphy

Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου

Το λογισμικό Rockworks 15 εκτός από τα λιθολογικά μοντέλα έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα στρωματογραφικά μοντέλα από τα δεδομένα των γεωτρήσεων, με την προϋπόθεση ότι αυτά προηγουμένως έχουν ορισθεί μέσω του μενού Stratigraphy της υποσελίδας Borehole Manager, με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου. Για την δημιουργία του τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου επιλέγουμε από το μενού εντολών διαδοχικά **Stratigraphy → Model**. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.43 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου.



Σχήμα 5. 43: Το παράθυρο ρυθμίσεων για τη δημιουργία τρισδιάστατων στρωματογραφικών μοντέλων

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

- I. **Interpolate Surfaces:** Επιλέγεται για τη δημιουργία νέου μοντέλου και δίνει πρόσβαση στις ακόλουθες μετρήσεις.
 - **Gridding Options:** Μέσω αυτού του μενού επιλογών δημιουργείται το τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο. Οι παράμετροι είναι οι ίδιες όπως αναλύθηκαν στο υποκεφάλαιο *‘Δημιουργία χαρτών και τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους’*.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την κατασκευή του μοντέλου επιλέχθηκε ο αλγόριθμος Inverse Distance. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι παράμετροι του συγκεκριμένου αλγορίθμου:

Weighting Exponent: 3.0

Number of points: 8

Sector Angle: 90 Degrees (4 Sectors)

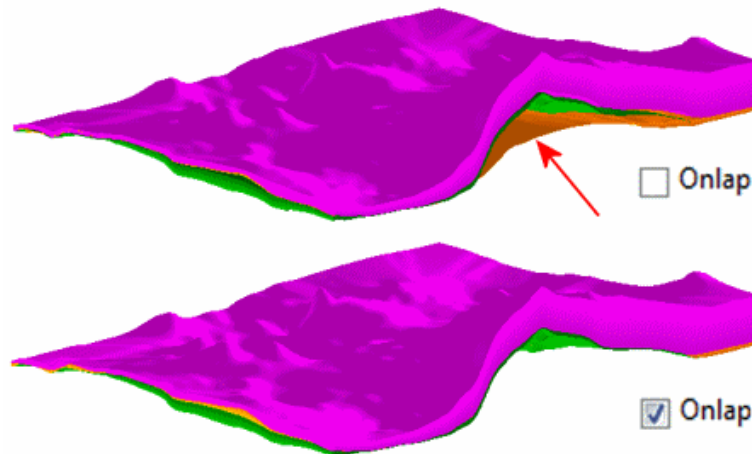
Map Units: 200

Points per Sector: 1

Faulted: No

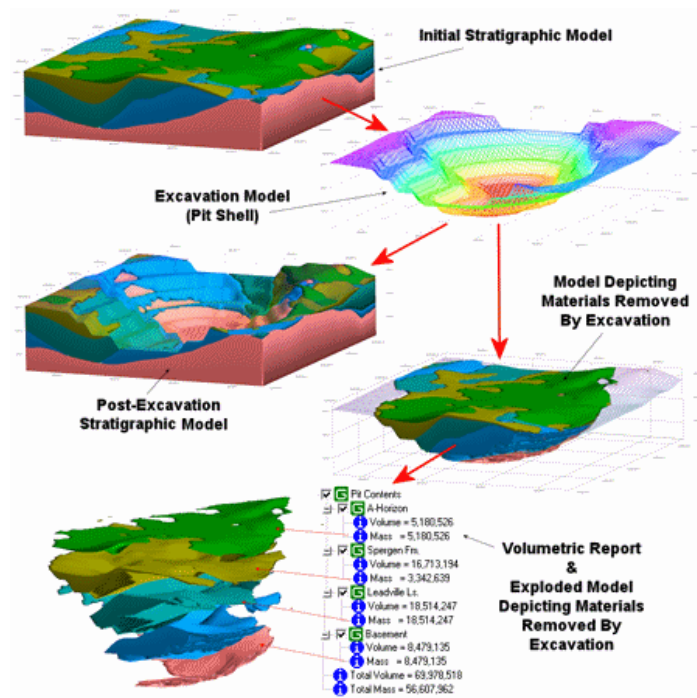
Εκτενέστερη αναφορά για τα χαρακτηριστικά του γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο.

- **Onlap:** Η εντολή αυτή, όταν ενεργοποιείται, διορθώνει στρωματογραφικά μοντέλα στα οποία τμήματα μιας ανώτερης στρωματογραφικά ενότητας εκτείνονται κάτω από τη βάση μιας χαμηλότερης ενότητας. Το πρόγραμμα δίνει προτεραιότητα στις χαμηλότερες ενότητες δημιουργώντας το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω (Σχήμα 5.44).



Σχήμα 5. 44: Η εντολή Onlap

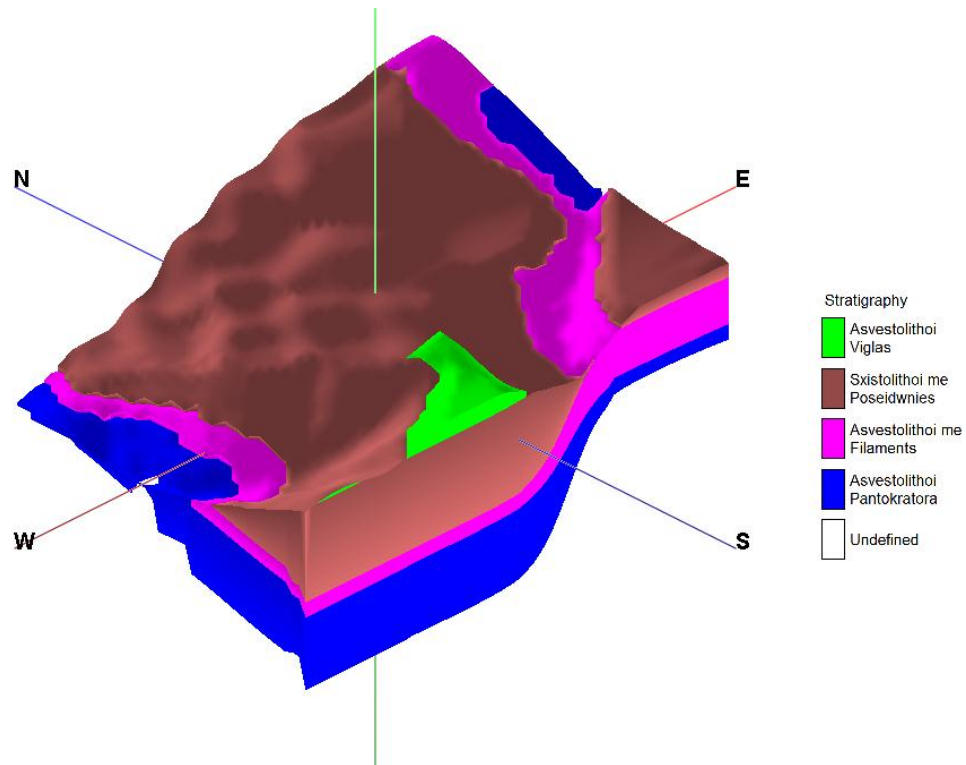
- **Constrain model based on ground surface:** η επιλογή αυτή ενεργοποιείται εάν το στρωματογραφικό μοντέλο επιθυμούμε να φιλτραριστεί από μία επιφάνεια όπου συνήθως πρόκειται για την επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 5.45).



Σχήμα 5. 45: Η εντολή Constrain model based on ground surface

- II. **Save Numeric Model:** Στο πεδίο αυτό εισάγεται ένα όνομα για το στρωματογραφικό μοντέλο. Τα στρωματογραφικά μοντέλα, όπως και τα λιθολογικά έχουν πάντα κατάληξη .mod.
- III. **Diagram Options:** Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό μπορούμε να εισάγουμε και να διαμορφώσουμε τις επιλογές του διαγράμματος του μοντέλου.
 - **Hide thin Zones:** Η επιλογή αυτή απομακρύνει τμήματα των στρωματογραφικών ενοτήτων που έχουν πάχος μικρότερο από κάποιο όριο (cutoff) που ορίζεται από το χρήστη. Η τιμή αυτή πρέπει να επιλεγεί ύστερα από δοκιμές ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις κατά τις οποίες όταν η τιμή είναι μεγάλη τότε δεν θα απεικονίζονται στρωματογραφικές ενότητες μικρού πάχους παρόλο που θα υφίστανται στην πραγματικότητα και αντιστρόφως.
 - **Reference Cage:** Με την επιλογή αυτή εισάγονται οι τρεις άξονες, XYZ στο τρισδιάστατο διάγραμμα.
 - **Include Stratigraphy Cage:** Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό εισάγεται στο προφίλ υπόμνημα που περιλαμβάνει τους στρωματογραφικούς τύπους με τα σχέδια και το χρωματισμό τους ακριβώς όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.

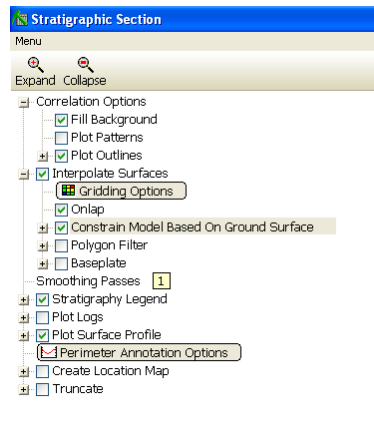
Ο συνδυασμός της υφιστάμενης τοπογραφίας, τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη συνδυάστηκαν με τα ανωτέρω δεδομένα που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις και εισήχθησαν στο Rockworks 15 για την κατασκευή του τελικού στρωματογραφικού μοντέλου της περιοχής μελέτης (Σχήμα 5.46).



Σχήμα 5. 46: Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφίας

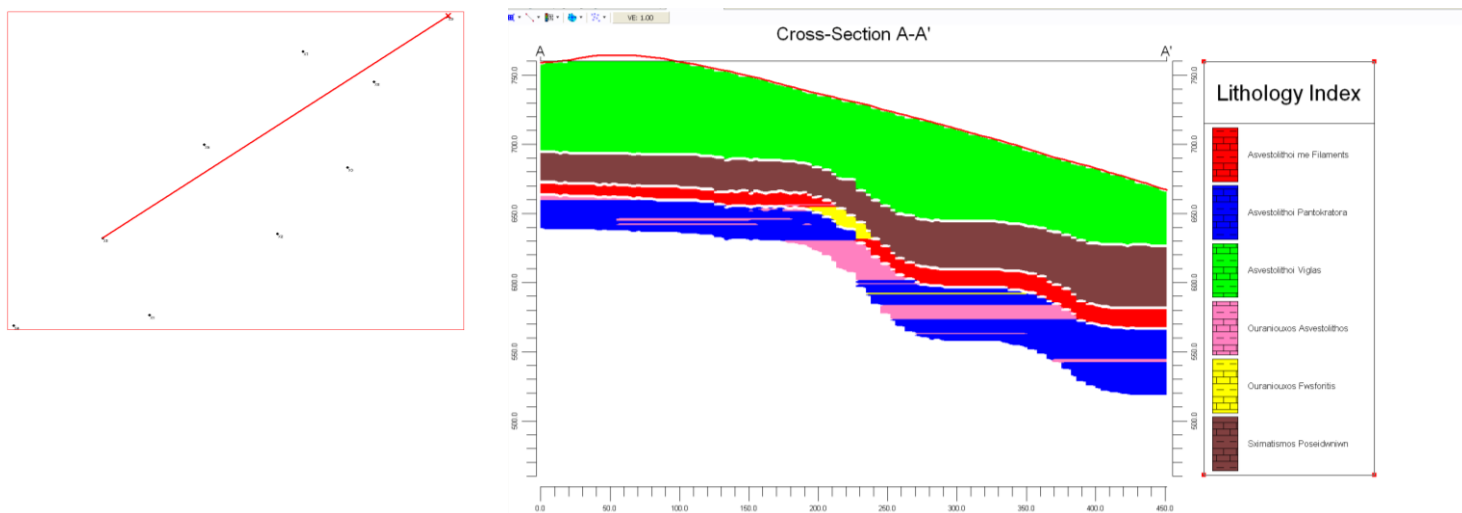
Δημιουργία συνεχούς στρωματογραφικού προφίλ τύπου «Section»

Τα προφίλ τύπου «**Section**» μπορούν να σχεδιαστούν κατά μήκος οποιασδήποτε διαδρομής στην περιοχή μελέτης. Όπως ακριβώς δηλαδή και στο λιθολογικό προφίλ αυτού του τύπου. Από το μενού εντολών επιλέγεται διαδοχικά **Stratigraphy → Section → Modeled (Interpolated Surface Models)**. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.47 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του προφίλ.



Σχήμα 5. 47: Ρυθμίσεις της εντολής Section

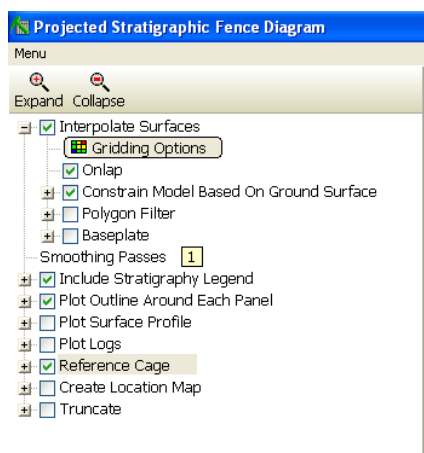
- I. **Correlation Options:** Η εντολή αυτή αφορά τις ρυθμίσεις της απεικόνισης των χρωμάτων και των μοτίβων των στρωμάτων.
- **Fill Background:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ τύπου Section».
- II. **Interpolate Surfaces:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου».
- III. **Include Stratigraphy Legend:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου».
- IV. **Plot Surface Profile:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία συνεχούς λιθολογικού προφίλ τύπου Section».



Σχήμα 5. 48: Στρωματογραφικό Προφίλ τύπου «Section»

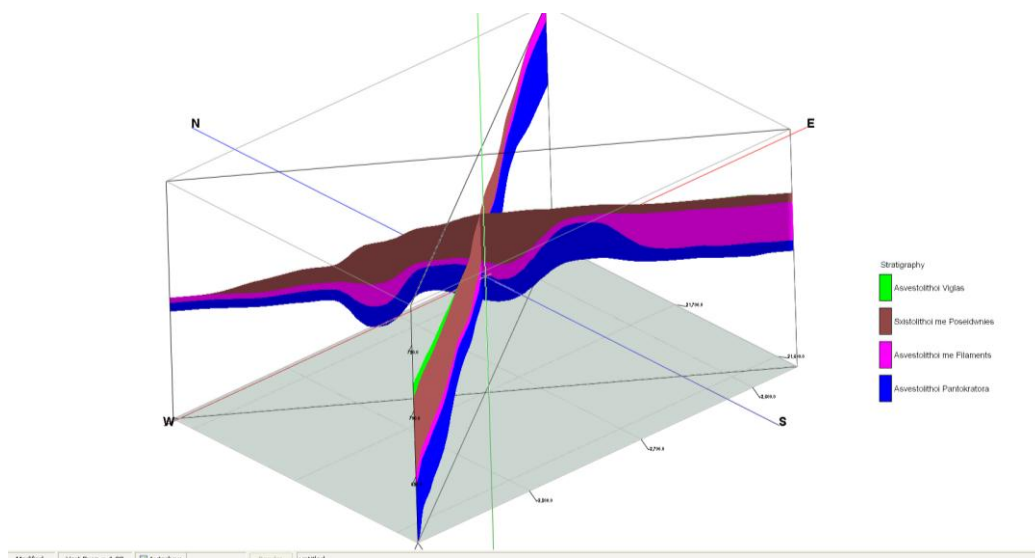
Δημιουργία στρωματογραφικού προφίλ τύπου «Fence»

Τα διαγράμματα τύπου «**Fence**» διαφέρουν από τα προηγούμενα σε δύο σημεία. Με αυτήν την εντολή κατασκευάζονται πολλαπλά προφίλ που οι γραμμές μπορούν να τέμνονται μεταξύ τους και προβάλλεται σε τρεις διαστάσεις από το παράθυρο του υποπρογράμματος RockPlot 3D. Όπως ακριβώς δηλαδή και στο λιθολογικό προφίλ αυτού του τύπου. Από το μενού εντολών επιλέγεται διαδοχικά **Stratigraphy** → **Fence** → **Modeled (Interpolated Surface Models)**. Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 5.49 το οποίο μας δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους κατασκευής και απεικόνισης του προφίλ.



Σχήμα 5. 49: Ρυθμίσεις της εντολής Fence

- I. **Interpolate Surfaces:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου».
- II. **Include Stratigraphy Legend:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου».
- III. **Plot Outline Around Each Panel:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία λιθολογικού προφίλ τύπου Fence».
- IV. **Reference Cage:** Η επιλογή αυτή είναι ακριβώς ίδια με εκείνη που περιγράφηκε στην παράγραφο «Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου».



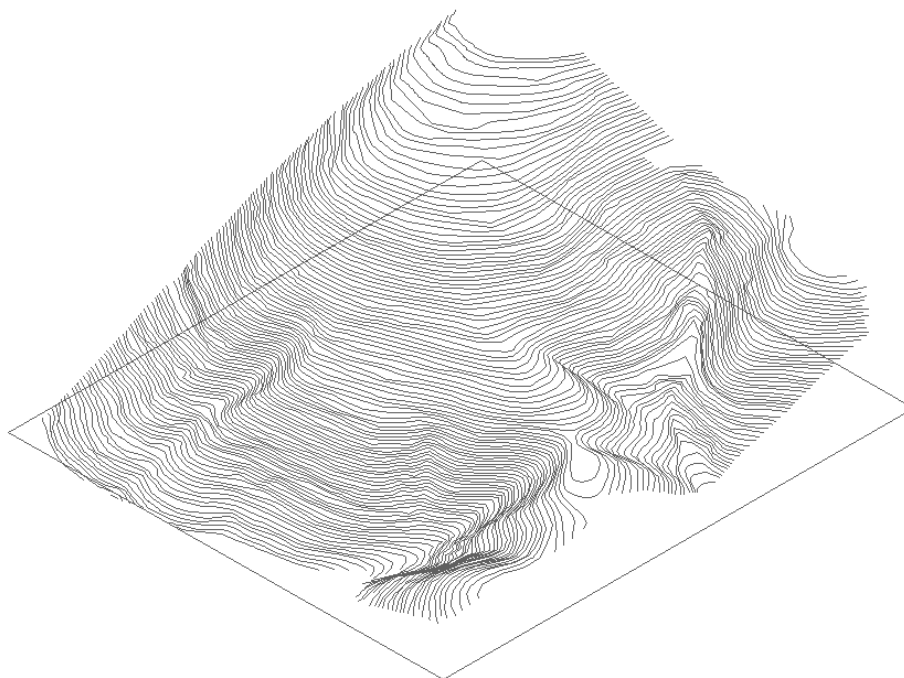
Σχήμα 5. 50: Στρωματογραφικό Προφίλ τύπου «Fence»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

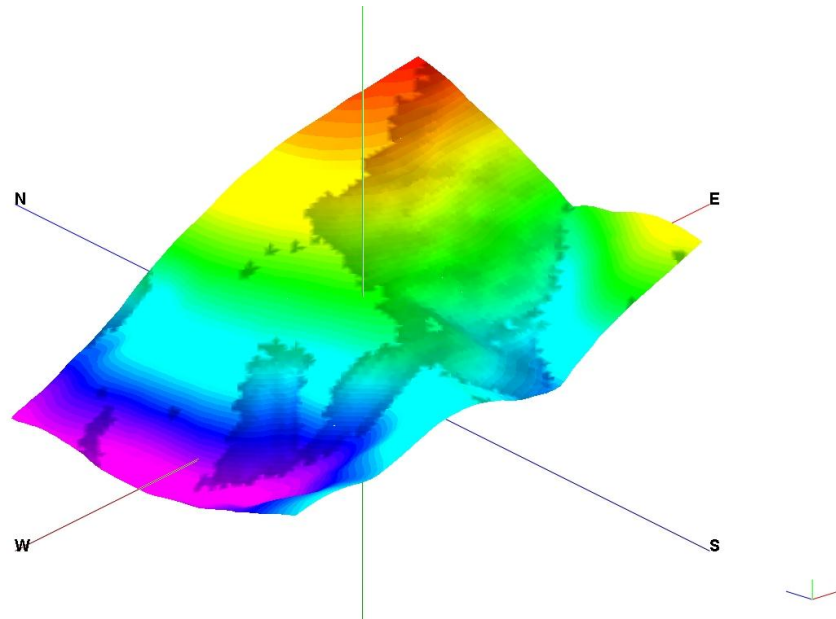
Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων με το λογισμικό RockWorks 15. Συνοδεύονται από την ερμηνεία και το σχολιασμό αυτών καθώς αναλύεται η πορεία για την επιλογή των αντιπροσωπευτικότερων λιθοστρωματογραφικών μοντέλων τα οποία και παρουσιάζονται.

6.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

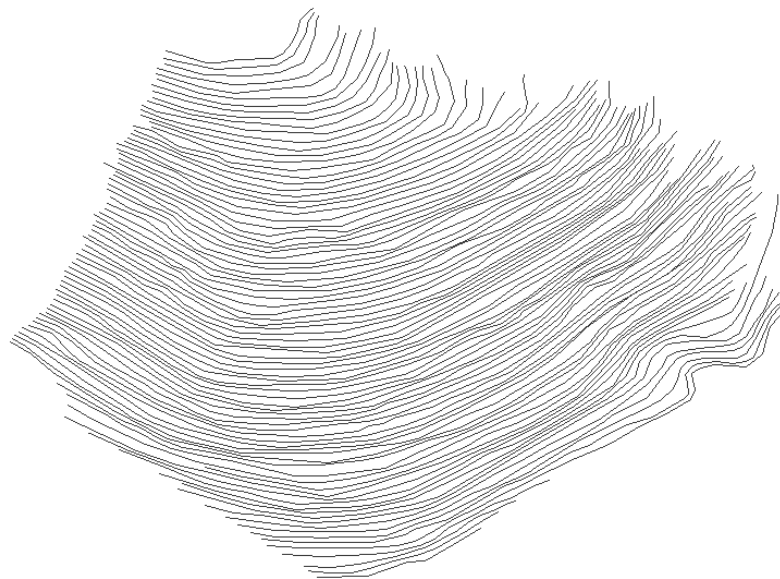
Όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μέσω μιας ακολουθίας εντολών στο λογισμικό RockWorks 15, έχουμε τη δυνατότητα να απεικονίσουμε τοπογραφικό ανάγλυφο σε τρεις διαστάσεις. Για το Πεδίο 1 τα αποτελέσματα που προκύπτουν φαίνονται στα σχήματα 6.1 και 6.2 . Ομοίως για το Πεδίο 2 στα σχήματα 6.3 και 6.4



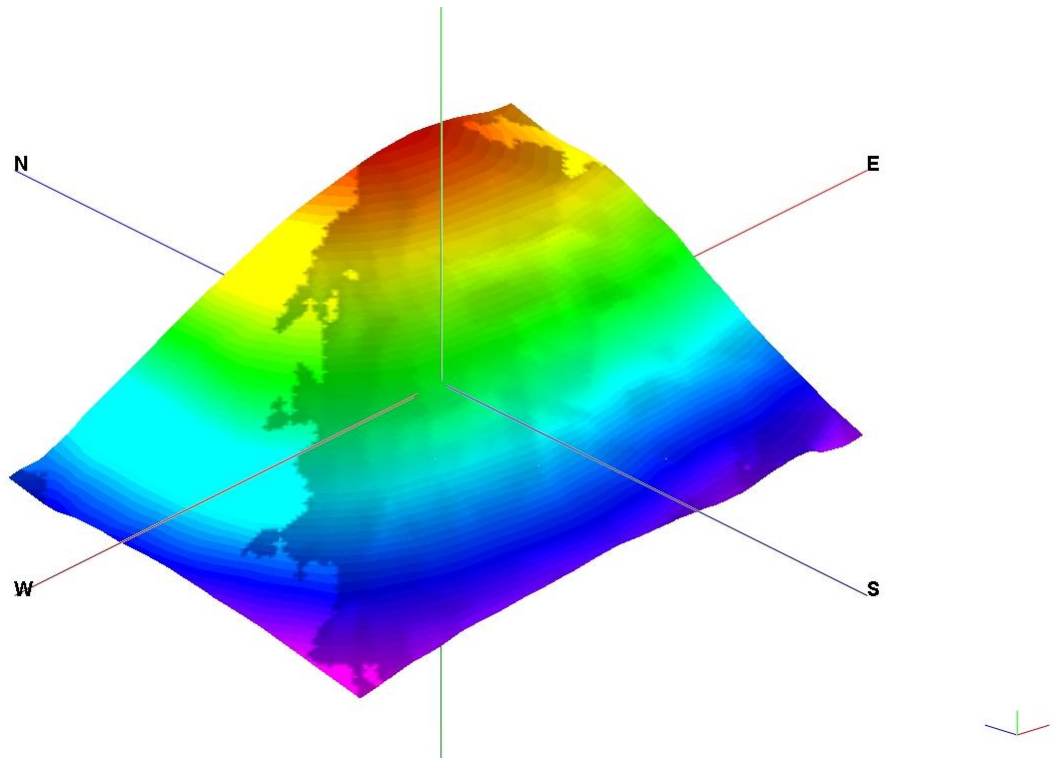
Σχήμα 6. 1: Απεικόνιση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών του Πεδίου 1



Σχήμα 6. 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση του τοπογραφικού ανάγλυφου του Πεδίου 1



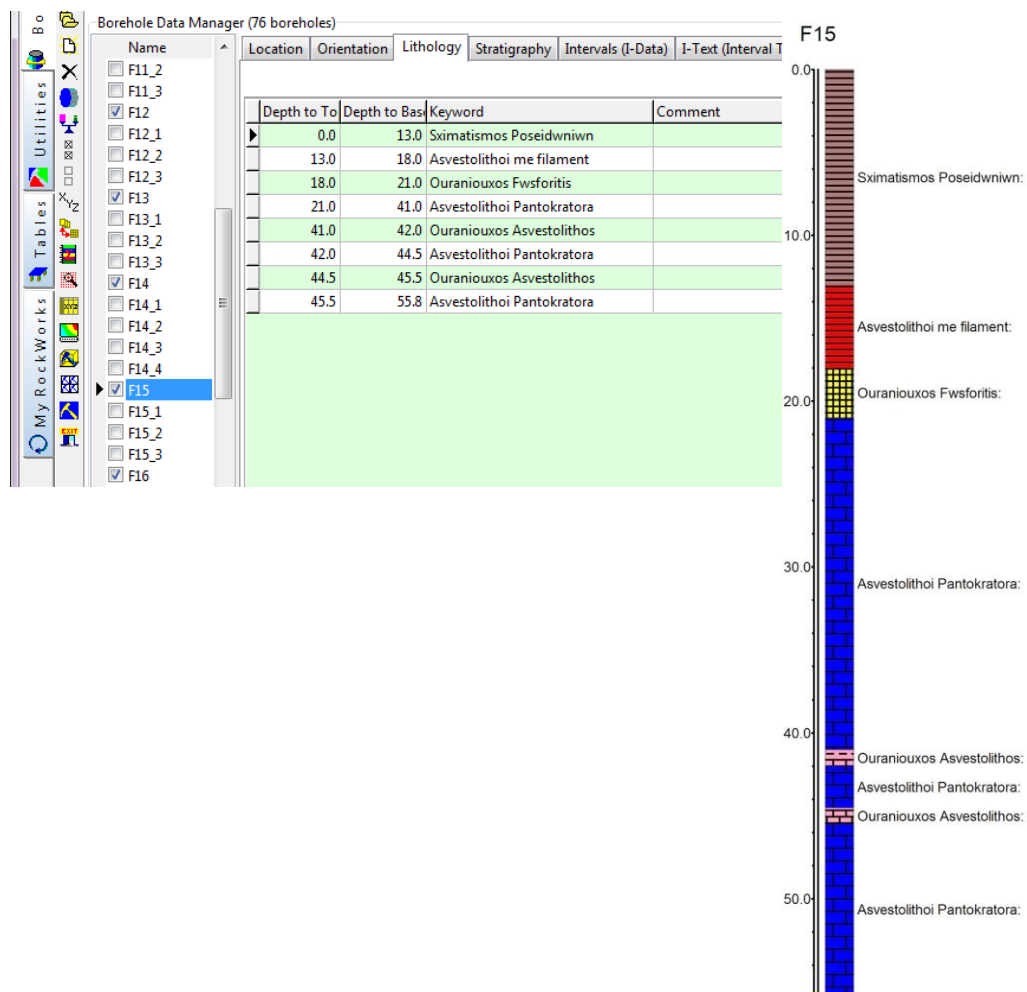
Σχήμα 6. 3: Απεικόνιση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών του Πεδίου 2



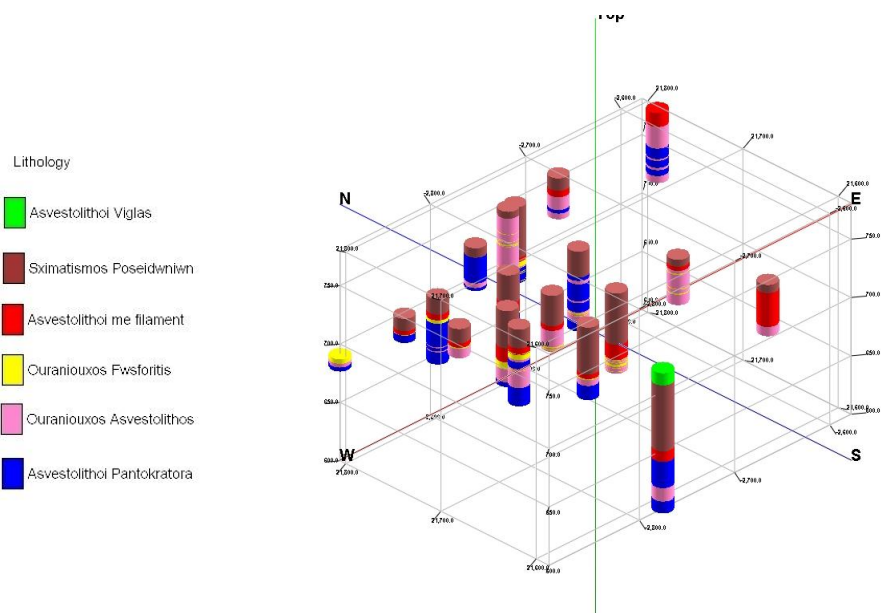
Σχήμα 6. 4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του τοπογραφικού ανάγλυφου του Πεδίου 2

6.2 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΙΘΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (striplogs)

Με τον παραπάνω τίτλο εννοείται η δισδιάστατη (σχήμα 6.5) και τρισδιάστατη (σχήμα 6.6) χωρική απεικόνιση της λιθολογίας των σχηματισμών όπως αυτή προκύπτει από τις πυρηνοληψίες των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν στο κάθε πεδίο. Η αναπαράσταση αυτή αποτελεί ένα γρήγορο έλεγχο της διαδικασίας εισαγωγής των δεδομένων από το χαρτί στο λογισμικό. με αυτόν τον τρόπο διαπιστώνονται ενδεχόμενα λάθη και ασυμβατότητες. Στην παρούσα εργασία πράγματι κατέστη πολύ σημαντική γιατί εντοπίστηκαν τυπογραφικά λάθη που είχε η τεχνική έκθεση του Ι.Γ.Μ.Ε. όσον αφορά το υψόμετρο γεωτρήσεων τα οποία και διορθώθηκαν.



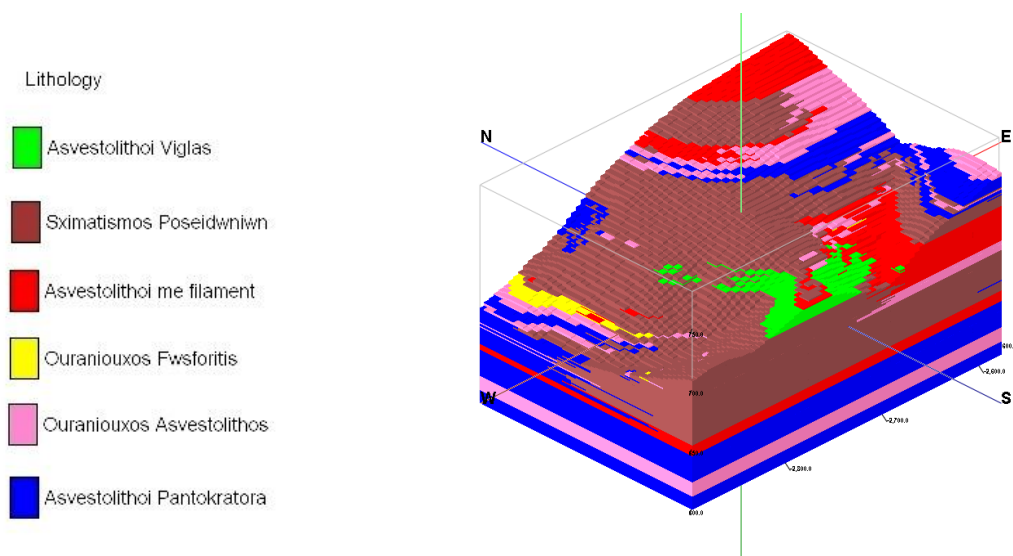
Σχήμα 6. 5: Δισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας της γεώτρησης F15 του ΠΕΔΙΟΥ 1



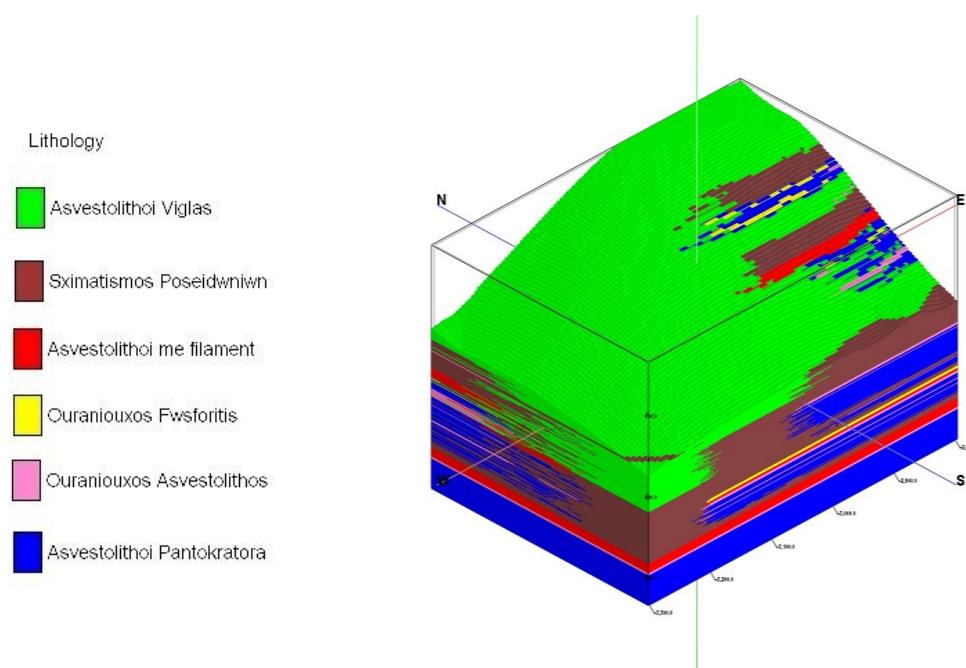
Σχήμα 6. 6: Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας όλων των γεωτρήσεων του ΠΕΔΙΟΥ 1

6.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Το λογισμικό Rockworks 15 έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να προβάλει τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα από τα δεδομένα των γεωτρήσεων με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα ΠΕΔΙΟ 1 και ΠΕΔΙΟ 2 παρουσιάζονται στα σχήματα 6.7 και 6.8 αντίστοιχα.



Σχήμα 6. 7: Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 1



Σχήμα 6. 8: Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 2

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΕΛΦΙΝΑΚΙΟΥ (ΓΕΩΔΙΟ 1)

ΚΑΙ 1 : 1500

(από συγκρίση 1 : 500)

ΥΠΟΜΗΝΗΜΑ

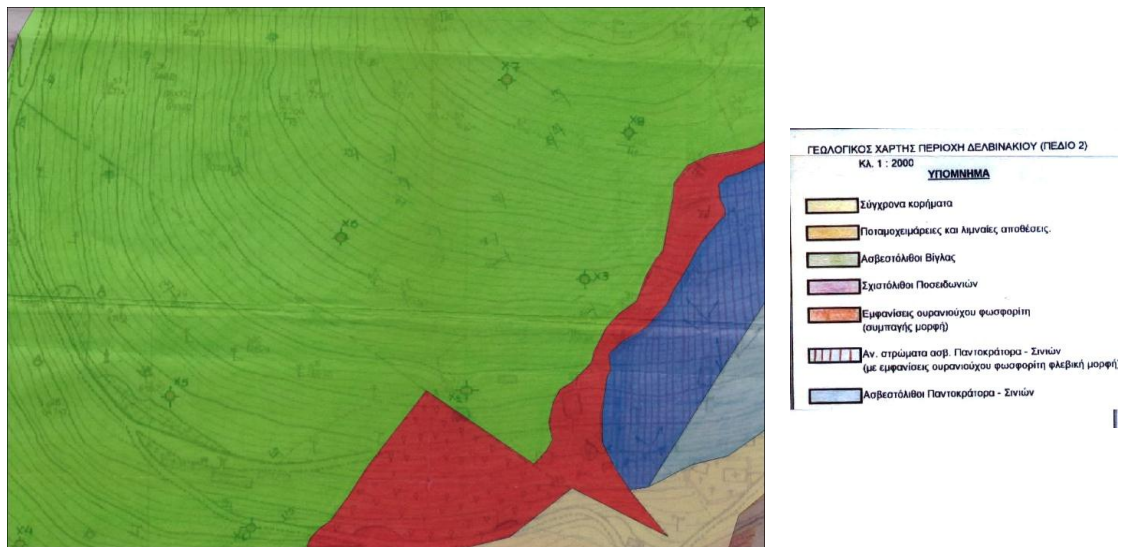
- Αρρεσιδικοί Βιόλοι
- Σχηματισμοί Πασιδωνίων
- Εμφανισμός ορεινού ομίλου φωσφορίτη (αυτογενής μορφή)
- Αν. στρώματα ασβ. Παντοκράτορα - Σινίων (με εμφανισμούς ορεινού ομίλου φωσφορίτη αυτογενής μορφή)
- Αρρεσιδικοί Παντοκράτορα - Σινίων
- Βέβαια και πιθανό άρρο σχηματισμών
- Βέβαια και πιθανό ρήγμα
- Κλίση παράταξη στρωμάτων
- Ερευνήσιμος γεωτρήσιμος
- Εκσκαφές διευκολύνσιμες
- Γεωλογική τομή T₂ : 2

ΕΚΤΕΛΕΣΗ Π. ΒΕΚΙΩΣ

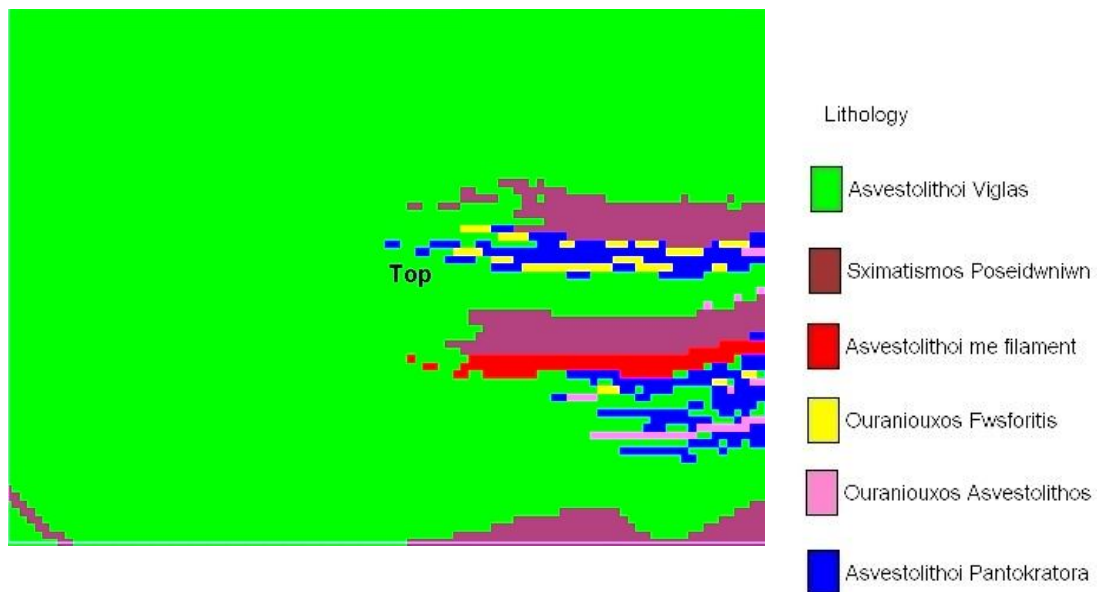
Lithology

- Asvestolithoi Viglas
- Sximatismos Poseidwniwn
- Asvestolithoi me filament
- Ouraniouxos Fwsforitis
- Ouraniouxos Asvestolithos
- Asvestolithoi Pantokratora

99



Σχήμα 6. 11: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (ΠΕΔΙΟ 2) (Χατζηγιάνης & Βέκιος, 2001)



Σχήμα 6. 12: Κάτοψη λιθολογικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 2

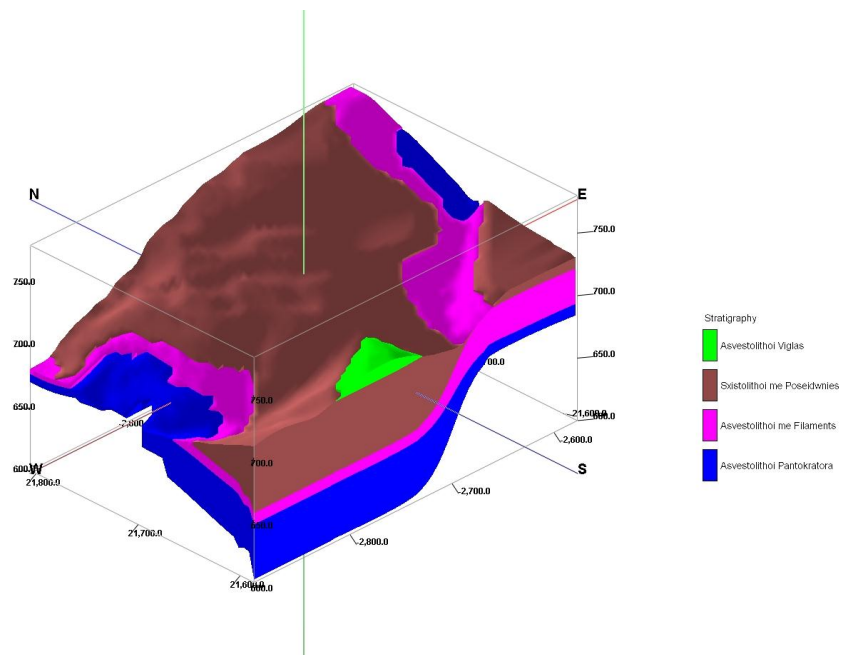
Επομένως παραθέτοντας τις τέσσερις προαναφερθείσες εικόνες γίνεται επι-
κτός ο εντοπισμός των διαφοροποιήσεων των λιθολογικών μοντέλων από την πραγ-
ματικότητα (γεωλογικός χάρτης).

Παρατηρώντας τα τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα και τις αντίστοιχες κατόψεις τους (Σχήμα 6.6 έως 6.12) διαπιστώνεται πως δεν τηρείται η αλληλουχία της στρωματογραφικής στήλης έτσι όπως αναμένεται στην Ιόνιο ζώνη. Συγκεκριμένα, οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα εμφανίζονται εκτός από τη βάση και σε ανώτερα επίπεδα. Μολονότι η βιβλιογραφία αναφέρει, πως επί των ασβεστολίθων Παντοκράτορα ακολουθεί η πυριτική σειρά των σχιστόλιθων με απολιθώματα ποσειδώνιων στη βάση των οποίων εντοπίζονται οι ασβεστόλιθοι με Filaments, και οι δύο λιθολογικές ενότητες εμφανίζονται χωρίς συνοχή σε ολόκληρη την έκταση του μοντέλου. Ομοίως η ουρανιοφωσφορούχος μεταλλοφορία ενώ θα έπρεπε να εμφανίζεται μεταξύ των ανώτερων στρωμάτων των ασβεστολίθων Παντοκράτορα και των ασβεστολίθων με Filaments, εντοπίζεται διαδοχικά σε όλες τις λιθολογικές ενότητες.

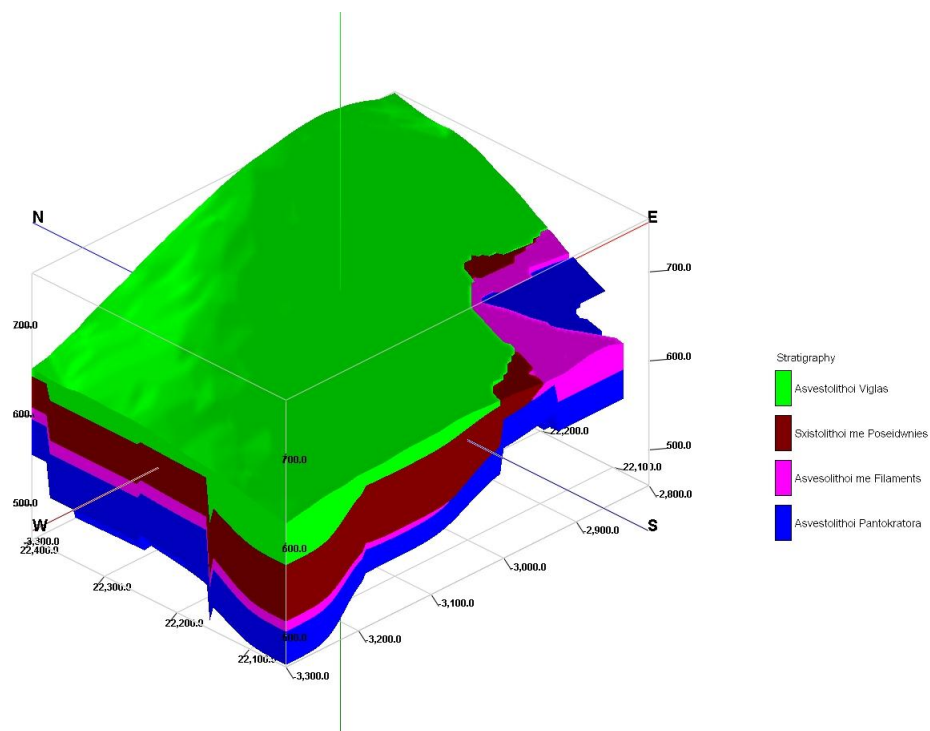
6.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Για να υπερβούμε το προαναφερθέν πρόβλημα και για την καλύτερη απεικόνιση της περιοχής κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία στρωματογραφικών μοντέλων. Με σκοπό να περιοριστούν χωρικά τα λιθολογικά δεδομένα ανάλογα με τη στρωματογραφική ενότητα στην οποία ανήκουν, ομαδοποιήθηκαν στις τέσσερις στρωματογραφικές ενότητες, οι οποίες αναλύθηκαν στο *Κεφάλαιο 2: Γεωλογική επισκόπηση της περιοχής μελέτης*. Η ομαδοποίηση έγινε ως εξής :

- Η στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Παντοκράτορα περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα και τους ουρανιούχους ασβεστόλιθους.
- Η στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων με Filaments περιλαμβάνει τους ουρανιούχους φωσφορίτες και τους ασβεστόλιθους με Filaments.
- Η στρωματογραφική ενότητα των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες περιλαμβάνει τους Σχιστόλιθους με ποσειδώνιες.
- Η στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Βίγλας περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους Βίγλας.



Σχήμα 6. 13: Τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 1



Σχήμα 6. 14: Τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 2

Για την κατασκευή των τρισδιάστατων στρωματογραφικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκε ως σύστημα παρεμβολής η Σταθμισμένη Αντίστροφη Απόσταση (Inverse-Distance Weighted, IDW), με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος (trial and error).

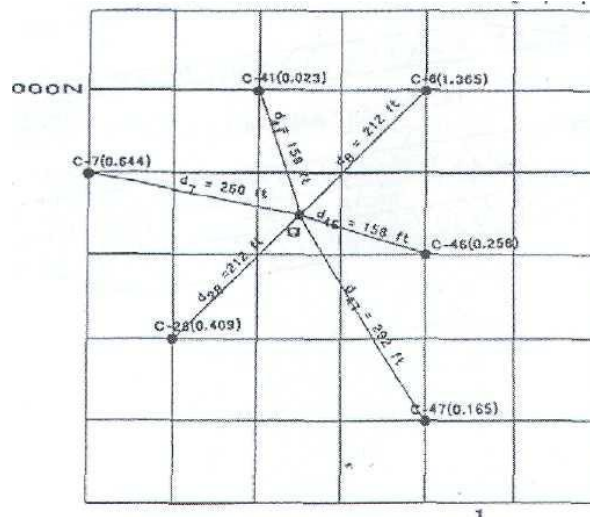
Η μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων είναι μια μέθοδος σταθμικού μέσου, όπου για τον υπολογισμό της τιμής ενός στοιχειώδους όγκου (block) του κοιτάσματος χρησιμοποιούνται τα κ πλησιέστερα δείγματα που περιέχονται εντός μιας προκαθορισμένης περιοχής που ορίζεται από μια σφαίρα ακτίνας R . Ο συντελεστής στάθμισης για κάθε δείγμα που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό, είναι το αντίστροφο της απόστασης του δείγματος από το κέντρο του στοιχειώδους όγκου υψωμένου σε μια δύναμη m .

Ο υπολογισμός με τη μέθοδο αυτή, που είναι εμπειρική, βασίζεται στην αρχή ότι όσο πλησιέστερα στο μπλοκ είναι ένα δείγμα τόσο περισσότερο πρέπει να αυξάνεται ο συντελεστής επιρροής του στη διαμόρφωση του σταθμικού μέσου του μπλοκ.

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας g_{block} του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα κ πλησιέστερα δείγματα, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$g_{block} = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} \left(\frac{1}{d_i}\right)^2 g_i}{\sum_{i=1}^{\kappa} \left(\frac{1}{d_i}\right)^2}$$

Όπου d_i , η απόσταση του δείγματος i από το κέντρο του μπλοκ και g_i , η περιεκτικότητα του δείγματος i .

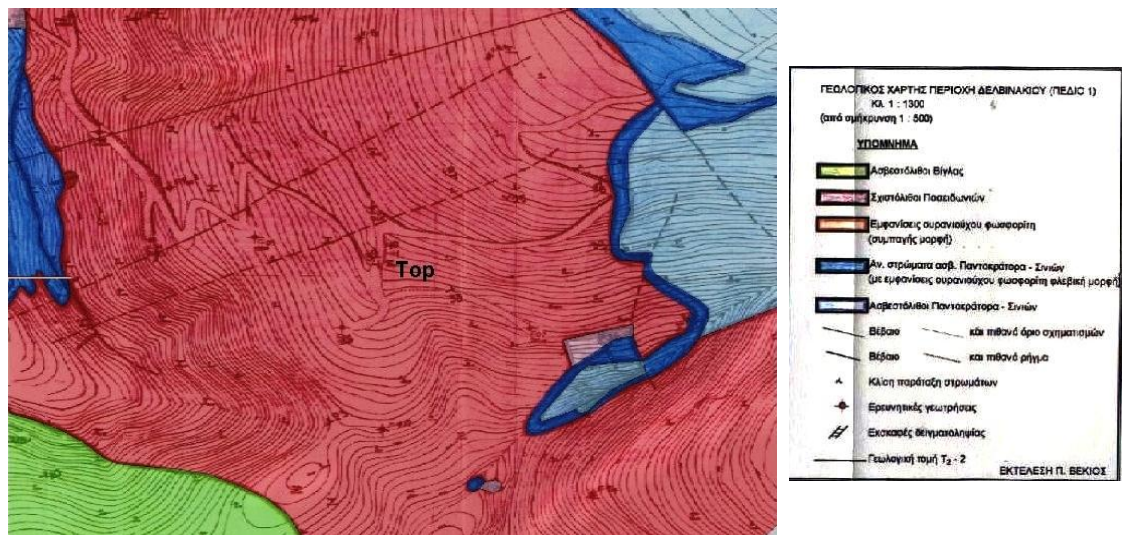


Σχήμα 6. 15: Υπολογισμός της περιεκτικότητας g_{block} του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα k πλησιέστερα δείγματα με τη μέθοδο IDS

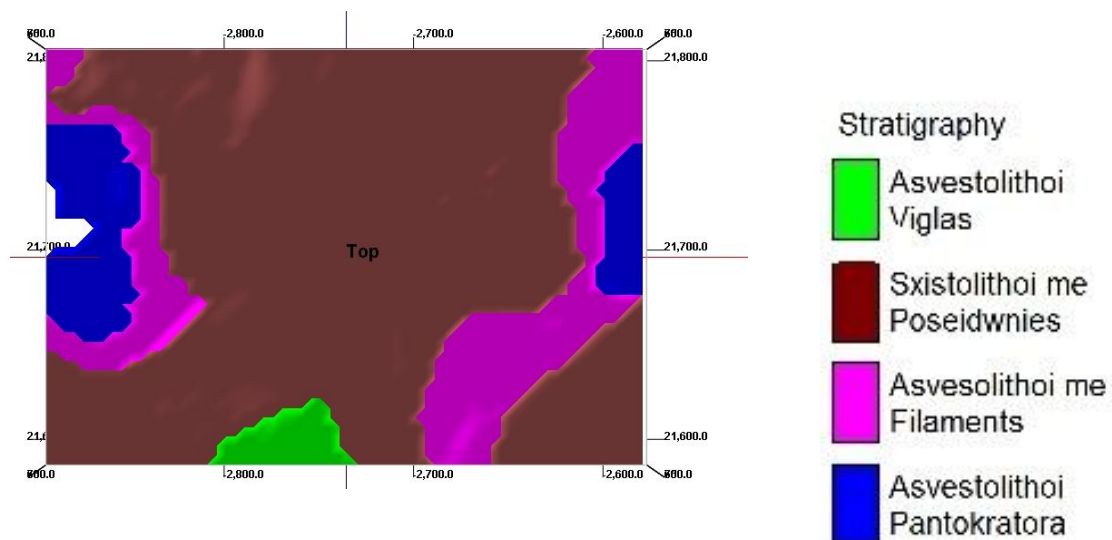
Για την επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου προηγήθηκε μία σειρά από πειραματισμούς όσον αφορά τις παραμέτρους που τον αποτελούν. Ο εκθέτης (weighting exponent) καθορίζει πόσο «τοπική» ή πόσο «γενικευμένη» θα είναι η εκτίμηση. Οι προτεινόμενες τιμές για τον εκθέτη είναι μεταξύ 2 και 3 και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνά το 5. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να υποδείξει στον αλγόριθμο να ψάξει σε συγκεκριμένους τομείς ορισμένου εύρους, για να βρει γειτονικές τιμές για τον υπολογισμό της άγνωστης τιμής. Αυτό γίνεται επιλέγοντας το πεδίο Sector-based searching. Το εύρος του τομέα ορίζεται από το χρήστη. Αυτό το είδος κατευθυντήριας έρευνας μπορεί να βελτιώσει την εκτίμηση της άγνωστης τιμής σε περιοχές που έχουμε συγκεντρώσεις γνωστών τιμών (Γαλετάκης, 2009).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα ΠΕΔΙΟ 1 και ΠΕΔΙΟ 2 παρουσιάζονται στα σχήματα 6.13 και 6.14 αντίστοιχα.

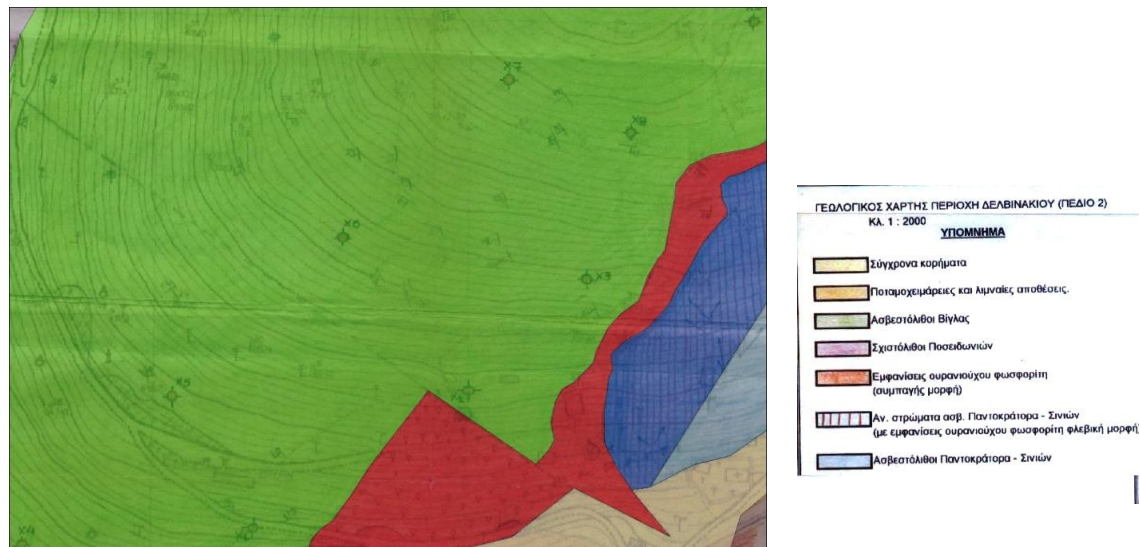
Εκ νέου η αξιοπιστία του αποτελέσματος της στρωματογραφικής προσομοίωσης για τα δύο ΠΕΔΙΑ (σχήματα 6.16 , 6.17, 6. 18, 6.19) ελέγχεται με τη σύγκριση των αντίστοιχων γεωλογικών χαρτών της τεχνικής έκθεσης του Ι.Γ.Μ.Ε. με τις κατόψεις των τρισδιάστατων στρωματογραφικών μοντέλων.



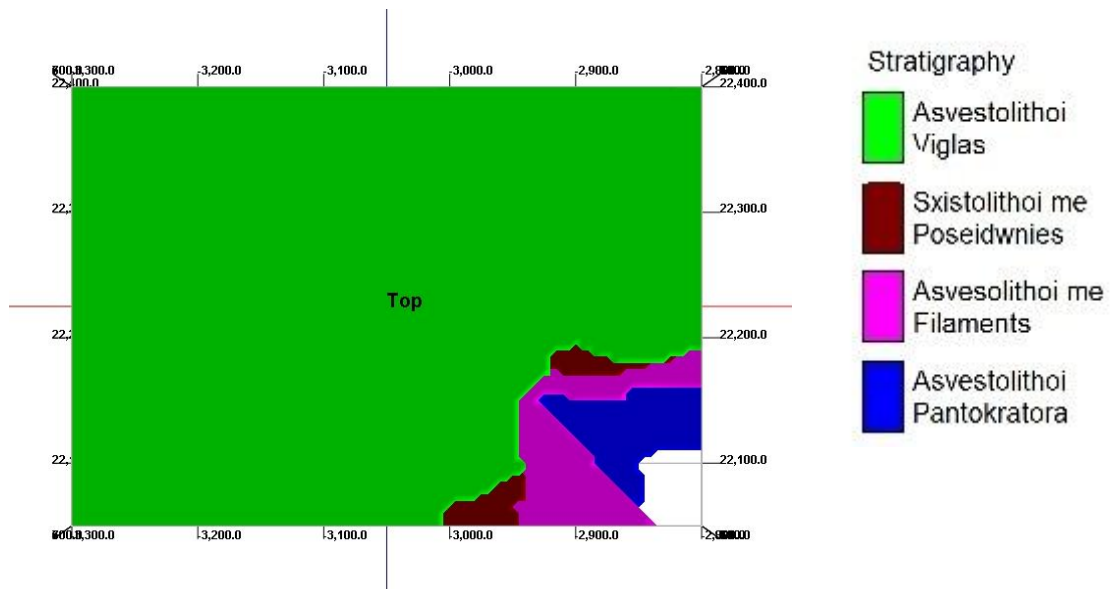
Σχήμα 6. 16: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινάκιου (ΠΕΔΙΟ 1) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)



Σχήμα 6. 17: Κάτοψη στρωματογραφικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 1



Σχήμα 6. 18: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (ΠΕΔΙΟ 2) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)



Σχήμα 6. 19: Κάτοψη στρωματογραφικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 2

Η στρωματογραφική απεικόνιση των δύο πεδίων προσεγγίζει εμφανώς ικανοποιητικότερα την πραγματικότητα από τη λιθολογική. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί πως λόγω της ‘ομαδοποίησης’ των λιθολογικών ενότητων η ουρανιοφωσφορούχος μεταλλοφορία, ο ουρανιούχος ασβεστόλιθος και ο ουρανιούχος φωσφορίτης, στα στρωματογραφικά μοντέλα δεν μπορεί να αποδοθεί ως ξεχωριστή μονάδα.

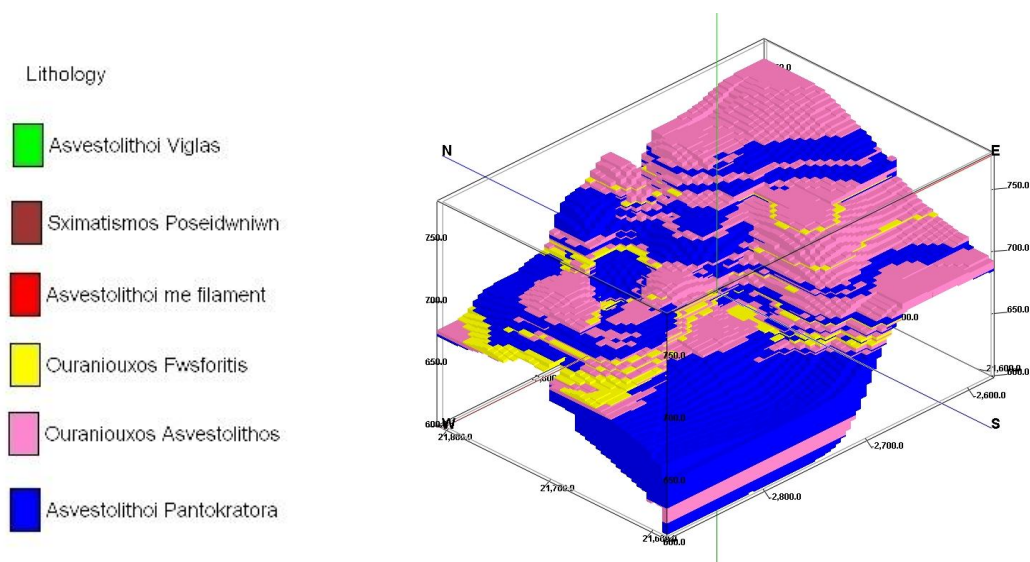
6.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ

ΜΟΝΤΕΛΩΝ

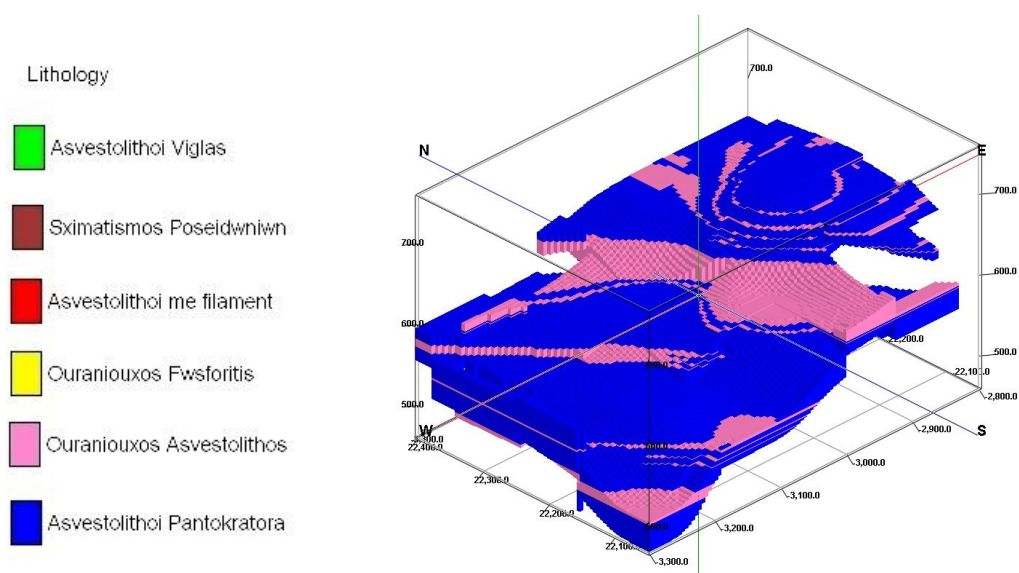
Εφόσον λοιπόν με τη δημιουργία των στρωματογραφικών μοντέλων ορίστηκαν χωρικά οι στρωματογραφικές ενότητες, εν συνεχεία θα αποτελέσουν τα όρια μιας ‘νέας’ λιθολογικής απεικόνισης. Αναλυτικότερα, για κάθε στρωματογραφική ενότητα θα πραγματοποιηθεί η λιθολογική προσομοίωση μόνο για τις λιθολογίες που απαντώνται μέσα σ’ αυτές.

Με άλλα λόγια θα κατασκευαστούν τέσσερα λιθολογικά μοντέλα για το κάθε Πεδίο, όπου μετά θα ενσωματωθούν σε ένα (Σχήμα 6. 28, 6. 29), με τις εξής ρυθμίσεις

- I. Τα λιθολογικά μοντέλα των ασβεστολίθων του Παντοκράτορα, στα οποία κατώτερο και ανώτερο όριο θα αποτελούν οι στρωματογραφικές ενότητες των ασβεστολίθων του Παντοκράτορα ενώ λιθολογικές ενότητες θα αποτελούν οι ασβεστολίθοι του Παντοκράτορα και ο ουρανιούχος ασβεστόλιθος (σχήμα 6.20, 6.21).

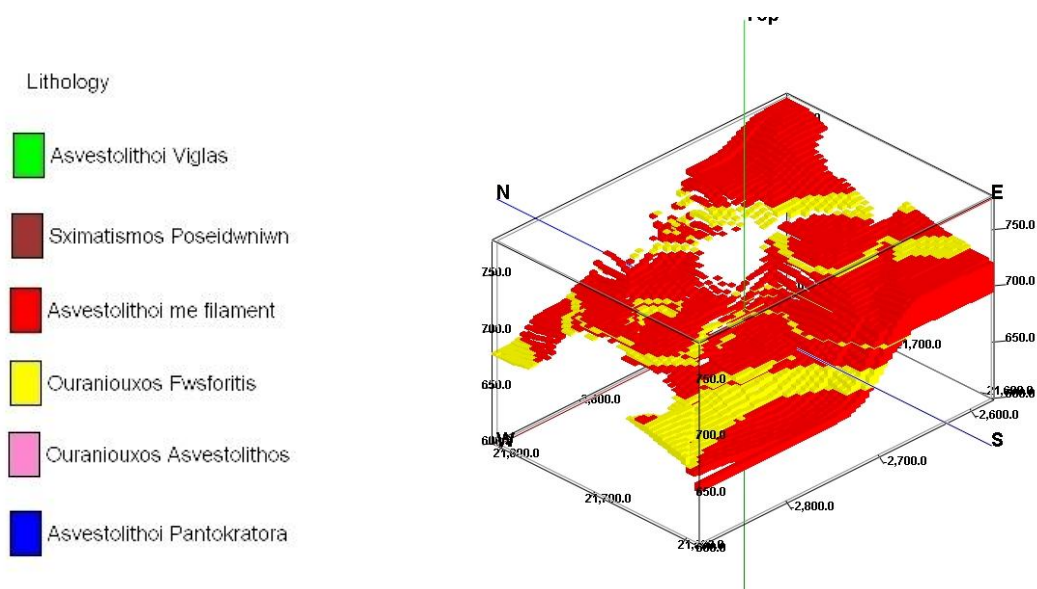


Σχήμα 6. 20: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Παντοκράτορα του ΠΕΔΙΟΥ 1

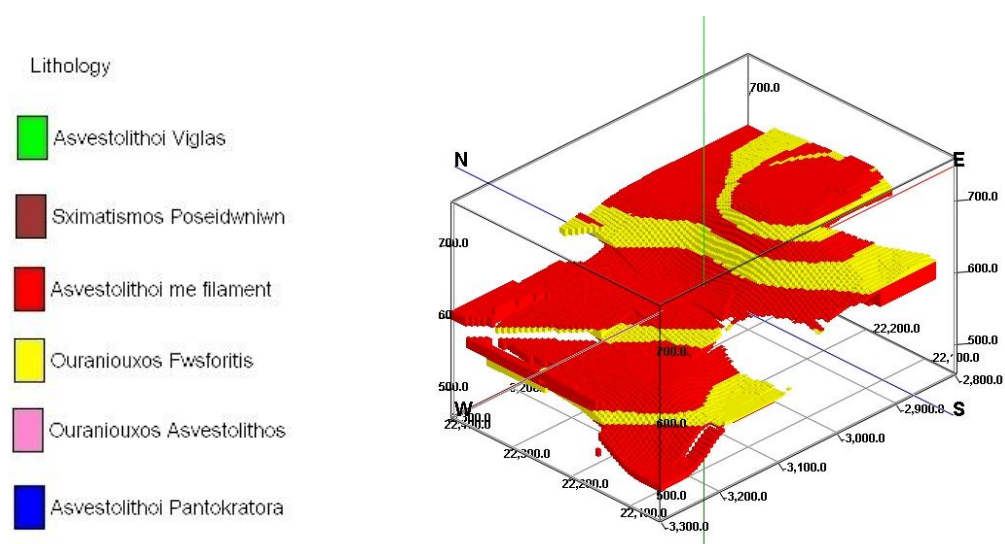


Σχήμα 6. 21: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Παντοκράτορα του ΠΕΔΙΟΥ 2

- II. Τα λιθολογικά μοντέλα των ασβεστολίθων με Filaments, στα οποία κατώτερο και ανώτερο όριο θα αποτελούν οι στρωματογραφικές ενότητες των ασβεστολίθων με Filaments ενώ λιθολογικές ενότητες θα αποτελούν οι ασβεστολίθοι με Filaments και ο ουρανιούχος φωσφορίτης (σχήμα 6.22, 6.23).

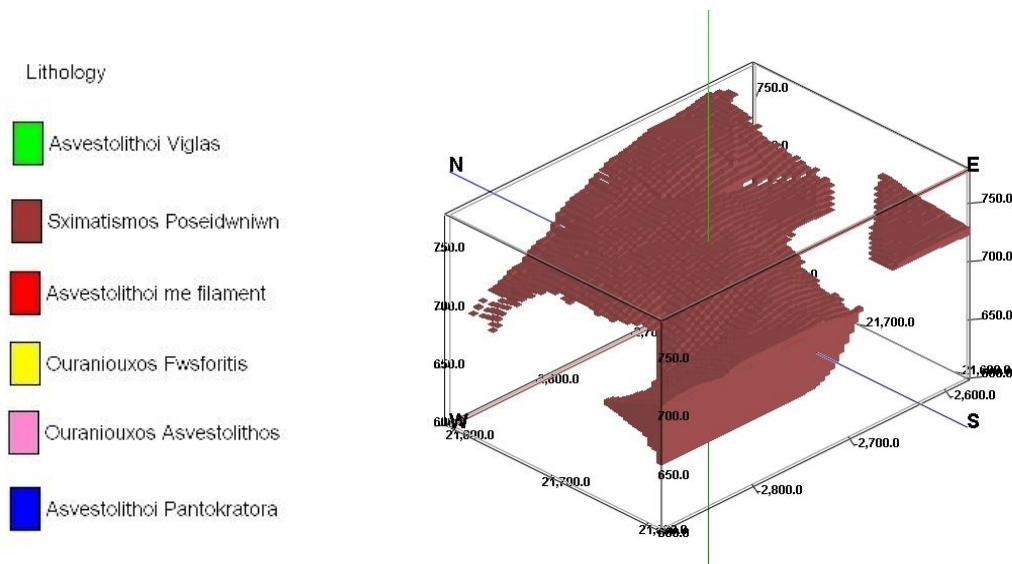


Σχήμα 6. 22: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων με Filaments του ΠΕΔΙΟΥ 1

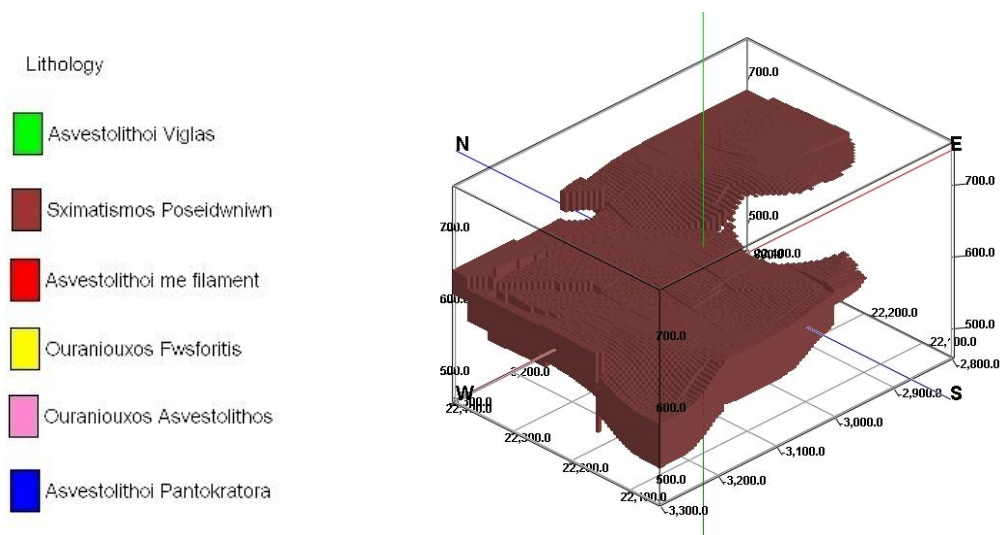


Σχήμα 6. 23: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων με Filaments του ΠΕΔΙΟΥ 2

III. Τα λιθολογικά μοντέλα των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες, στα οποία κατώτερο και ανώτερο όριο θα αποτελούν οι στρωματογραφικές ενότητες των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες ενώ τη λιθολογική ενότητα θα αποτελούν οι Σχιστόλιθοι με ποσειδώνιες (σχήμα 6.24, 6.25).

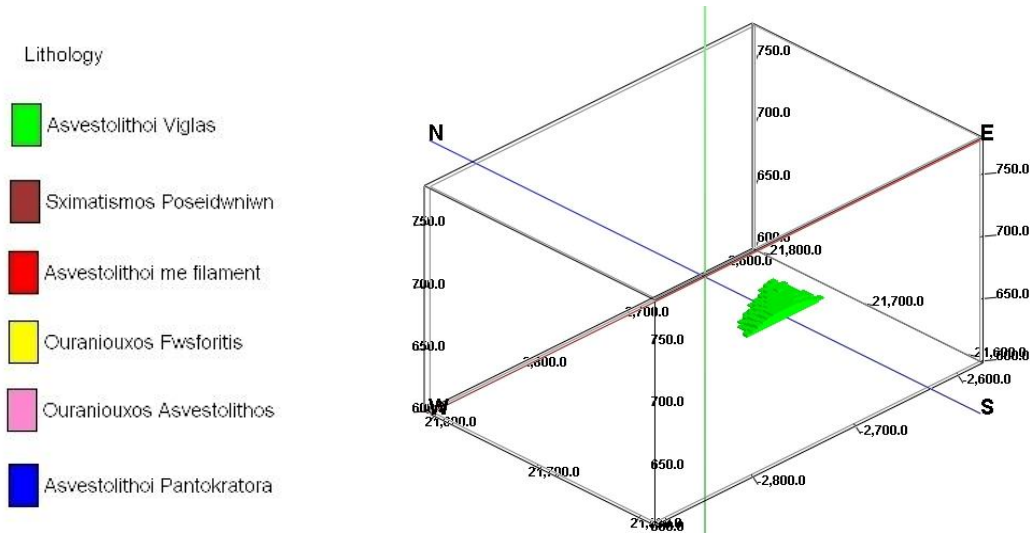


Σχήμα 6. 24: Στρωματογραφική ενότητα των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες του ΠΕΔΙΟΥ 1

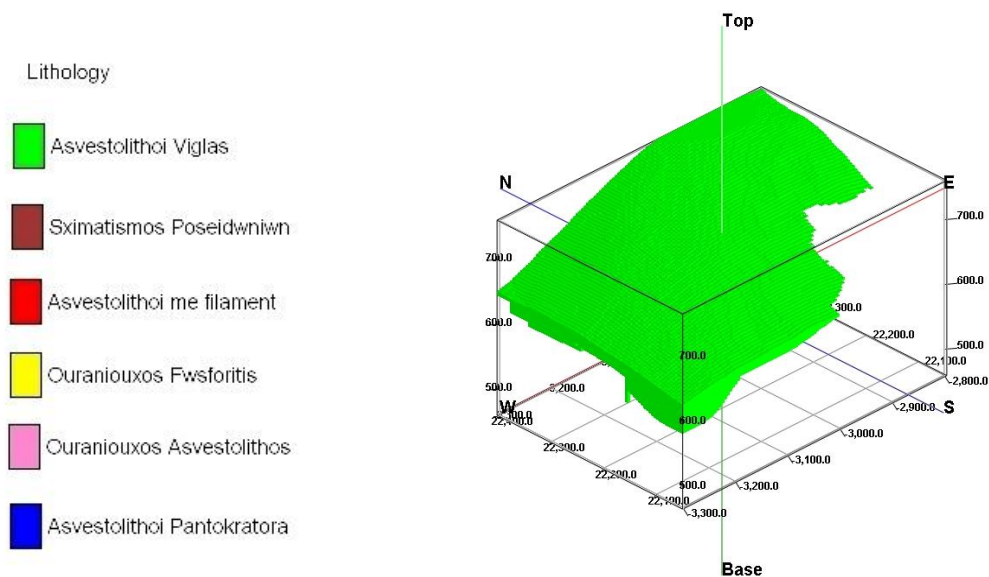


Σχήμα 6. 25: Στρωματογραφική ενότητα των Σχιστόλιθων με ποσειδώνιες του ΠΕΔΙΟΥ 2

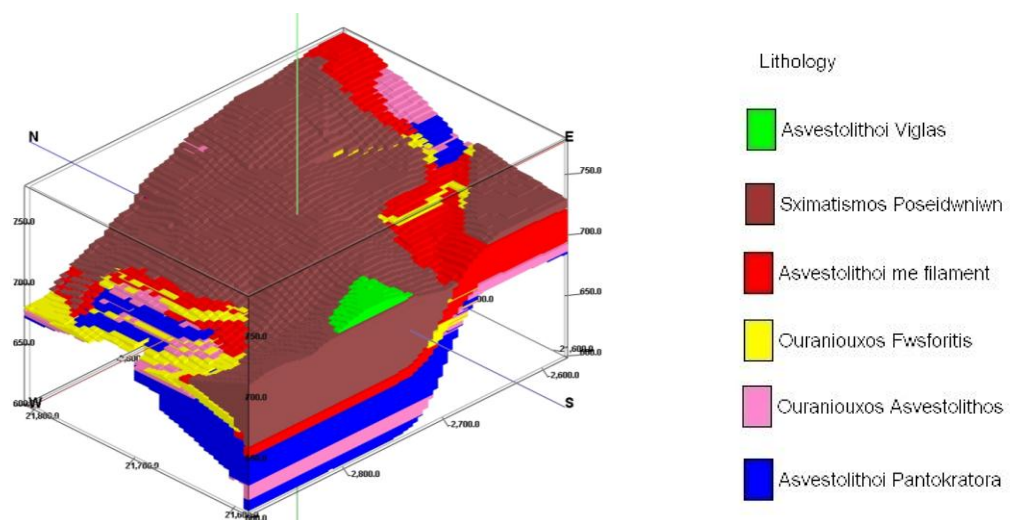
IV. Τα λιθολογικά μοντέλα των ασβεστολίθων Βίγλας, στα οποία κατώτερο και ανώτερο όριο θα αποτελούν οι στρωματογραφικές ενότητες των ασβεστολίθων Βίγλας ενώ τη λιθολογική ενότητα θα αποτελούν οι ασβεστόλιθοι Βίγλας (σχήμα 6.26, 6.27).



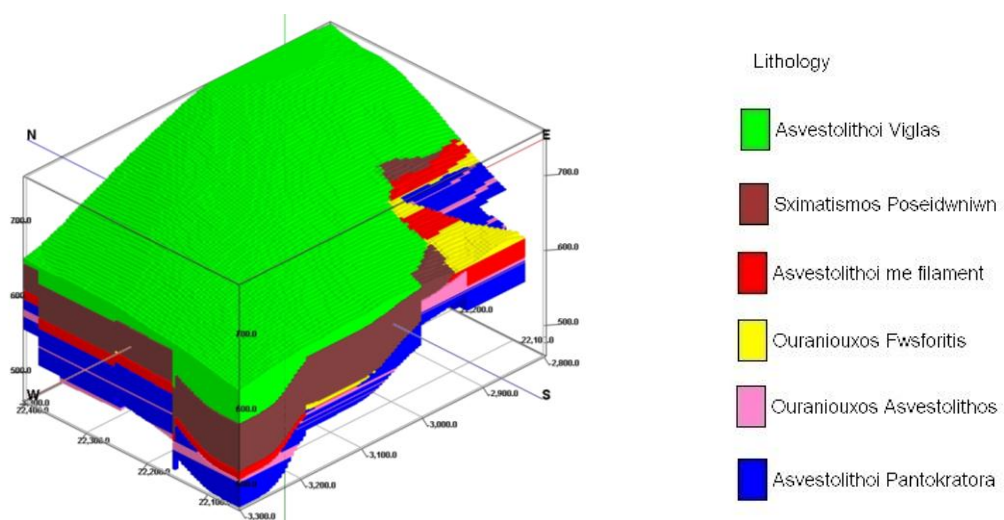
Σχήμα 6. 26: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Βίγλας του ΠΕΔΙΟΥ 1



Σχήμα 6. 27: Στρωματογραφική ενότητα των ασβεστολίθων Βίγλας του ΠΕΔΙΟΥ 2

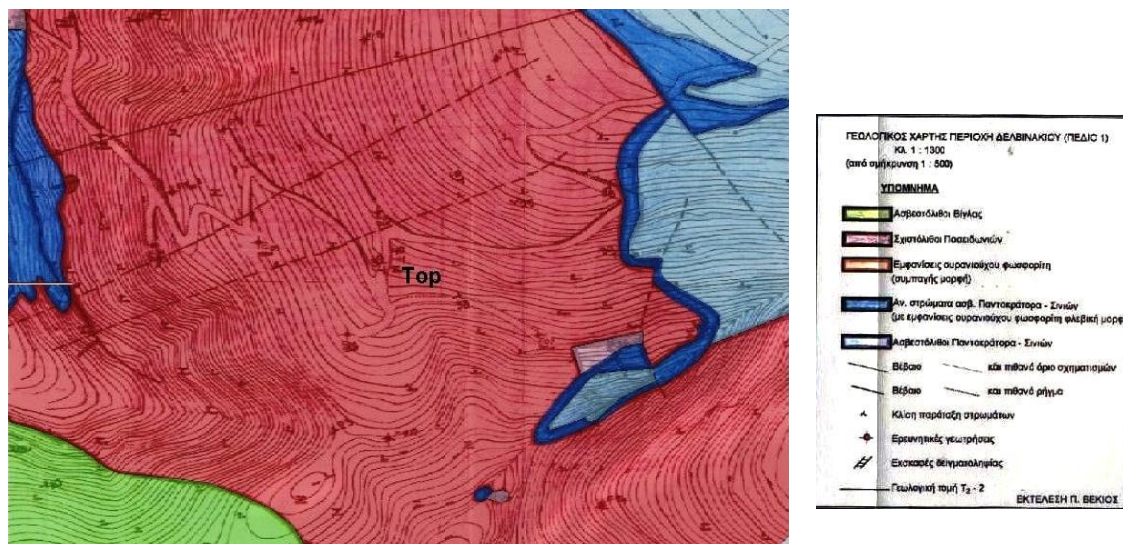


Σχήμα 6. 28: Τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 1

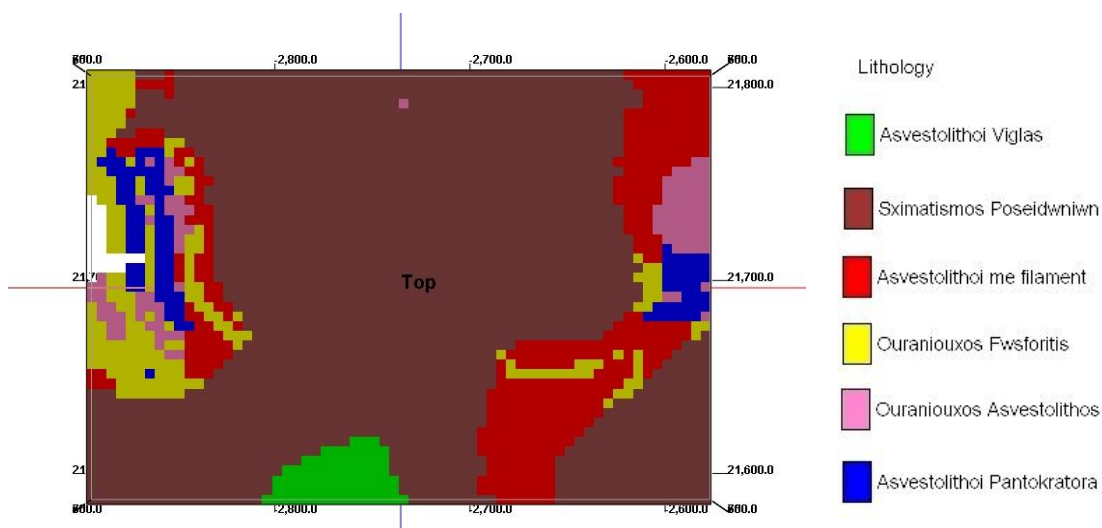


Σχήμα 6. 29: Τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο του ΠΕΔΙΟΥ 2

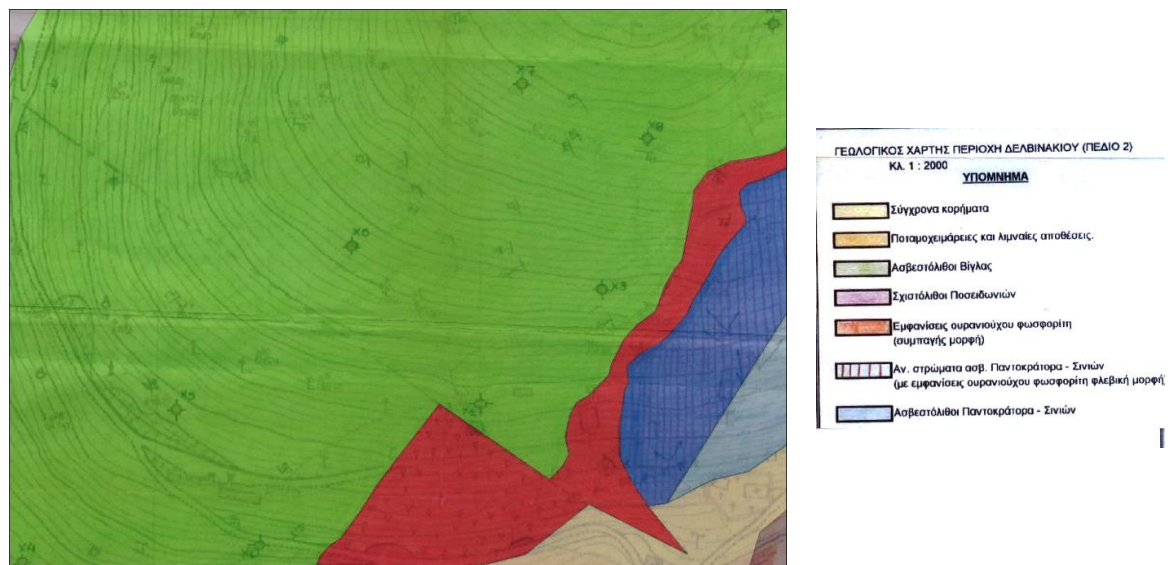
Και πάλι η αξιοπιστία του αποτελέσματος της λιθοστρωματογραφικής προσο-
μοίωσης για τα δύο ΠΕΔΙΑ (σχήματα 6.30 , 6.31, 6.32, 6.33) ελέγχεται με τη σύγκρι-
ση των αντίστοιχων γεωλογικών χαρτών της τεχνικής έκθεσης του Ι.Γ.Μ.Ε. με τις κα-
τόψεις των τρισδιάστατων λιθοστρωματογραφικών μοντέλων.



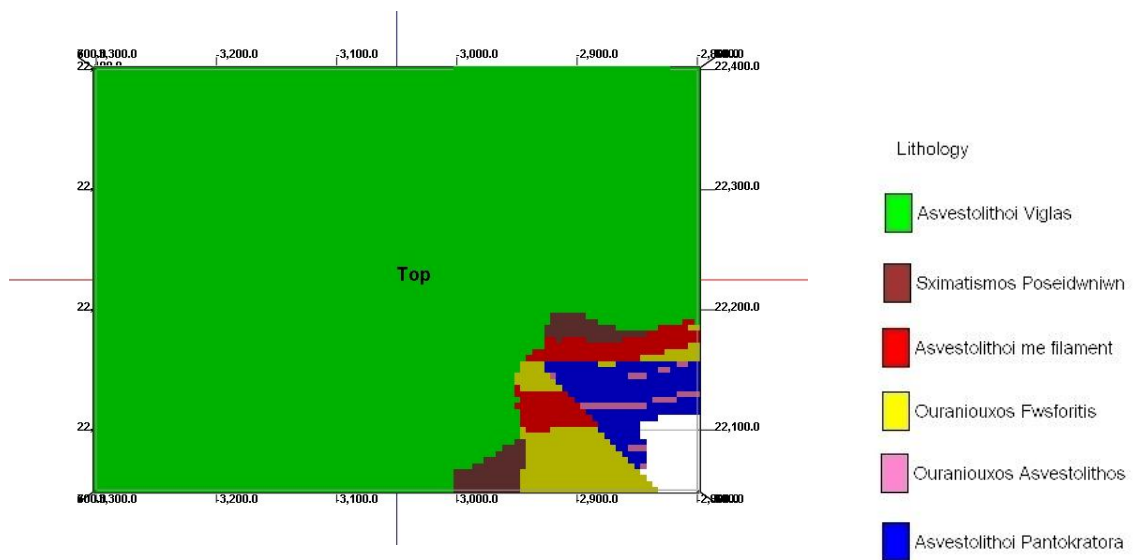
Σχήμα 6. 30: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινάκιου (ΠΕΔΙΟ 1) (Χατζηγιάνης & Βέκιος, 2001)



Σχήμα 6. 31: Κάτοψη λιθοστρωματογραφικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 1



Σχήμα 6. 32: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (ΠΕΔΙΟ 2) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

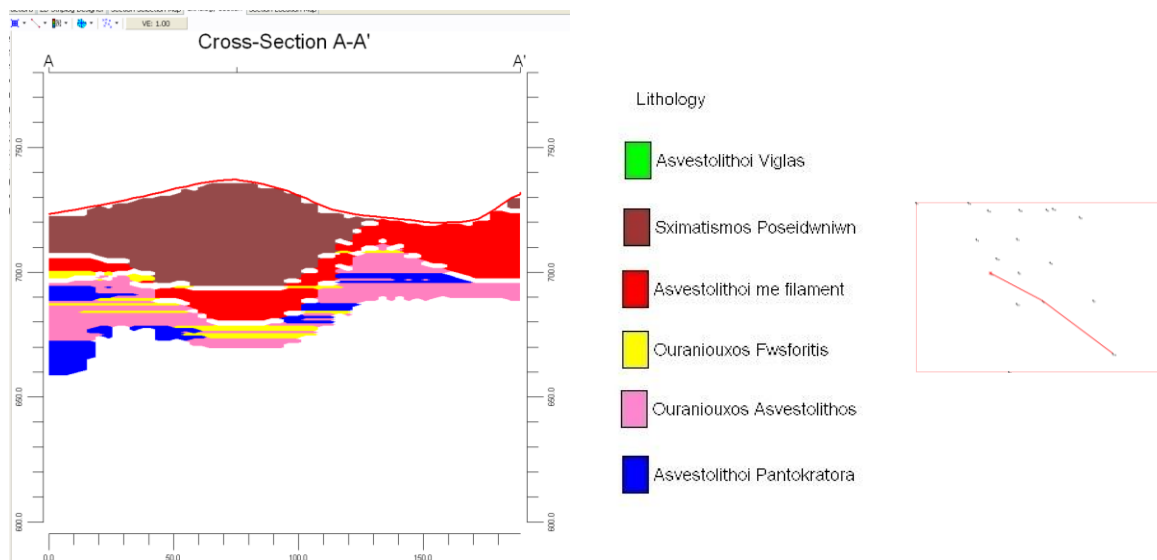


Σχήμα 6. 33: Κάτοψη λιθοστρωματογραφικού μοντέλου του ΠΕΔΙΟΥ 2

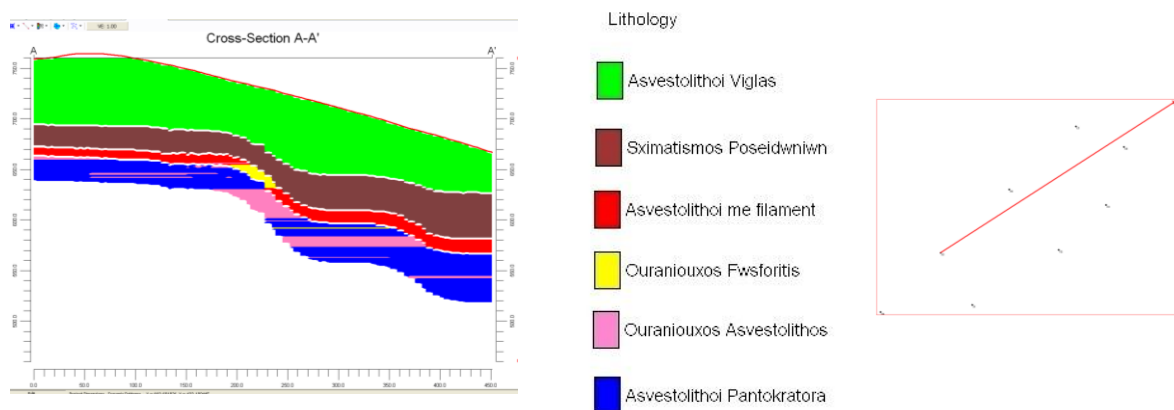
Η λιθοστρωματογραφική προσομοίωση για τα δύο Πεδία, όπως γίνεται εμφανές και από τη σύγκριση, είναι η πιο αντιπροσωπευτική απεικόνιση και ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στην πραγματικότητα.

6.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ (Sections) ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΤΟΜΩΝ (Fence diagrams) ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ ΙΣΟΠΑΧΩΝ

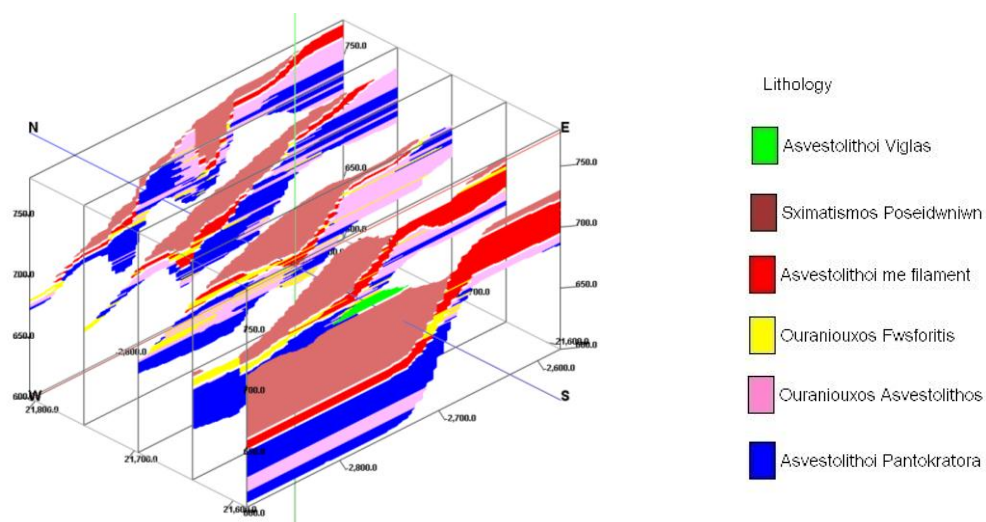
Αφού καταλήξαμε στα λιθοστρωματογραφικά μοντέλα, μας δίνεται η δυνατότητα να εξερευνήσουμε και το εσωτερικό του αντλώντας σημαντικές πληροφορίες.



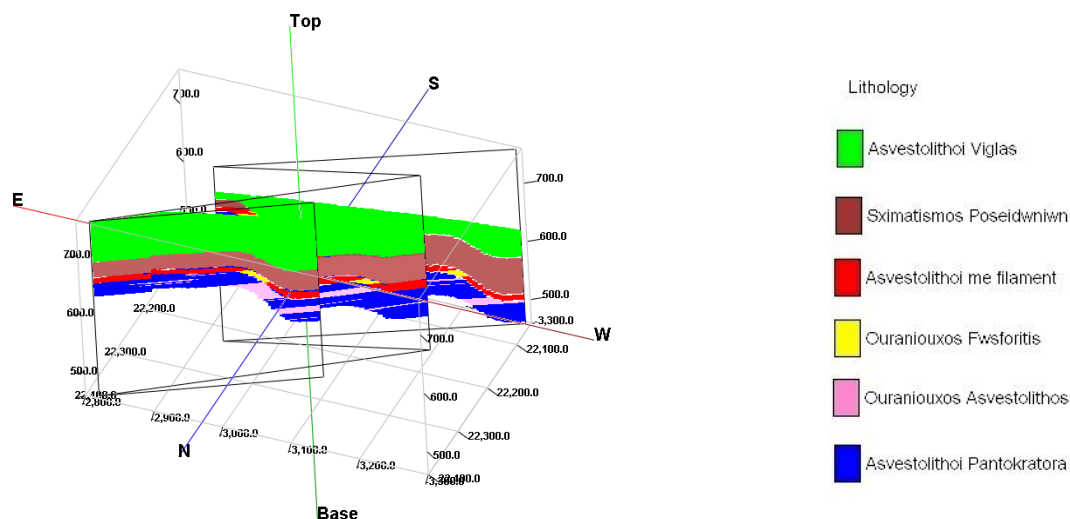
Σχήμα 6. 34: Διάγραμμα με το χάρτη των γεωτρήσεων όπου πάνω του υπάρχει σχεδιασμένη η τομή μελέτης και η απεικόνιση της επιλεγμένης δισδιάστατης τομής του Πεδίου 1



Σχήμα 6. 35: Διάγραμμα με το χάρτη των γεωτρήσεων όπου πάνω του πάρχει σχεδιασμένη η τομή μελέτης και η απεικόνιση της επιλεγμένης διαστάτης τομής του *Πεδίου 2*



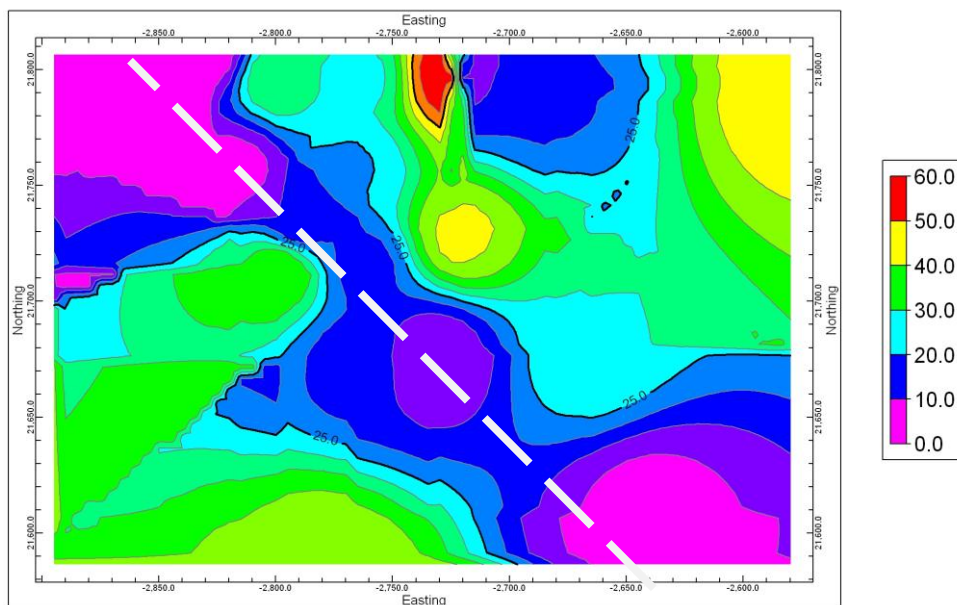
Σχήμα 6. 36: Τρισδιάστατες επάλληλες τομές στο στρωματογραφικό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα των 19 γεωτρήσεων του *Πεδίου 1*



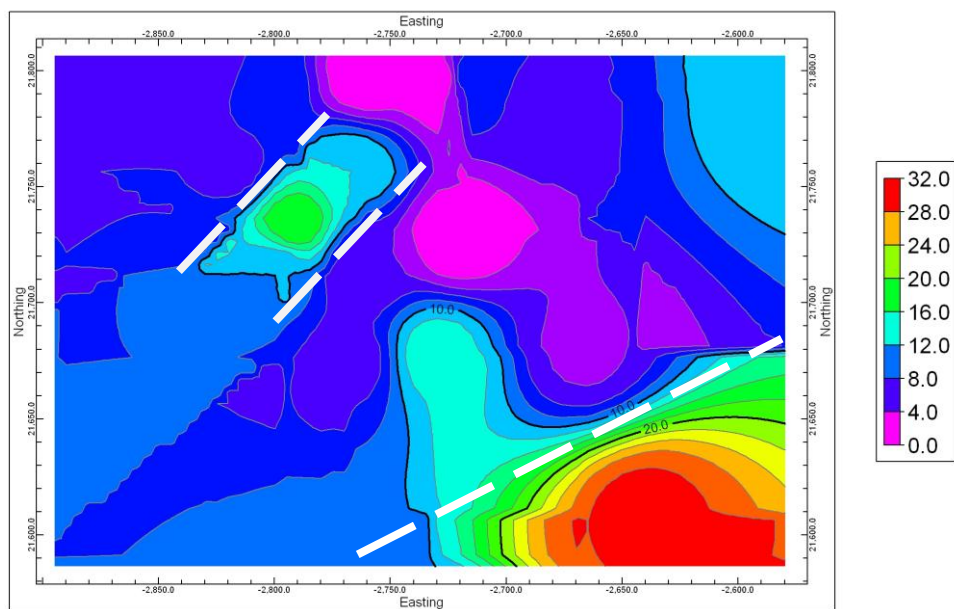
Σχήμα 6. 37: Τρισδιάστατες επάλληλες τομές στο στρωματογραφικό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα των 9 γεωτρήσεων του Πεδίου 2

Οι χάρτες ισοπαχών απεικονίζουν το πάχος κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο. Οι καμπύλες στους χάρτες αυτούς συνδέουν σημεία ίσου πάχους του σχηματισμού. Ένας χάρτης ισοπαχών απεικονίζει πρακτικά το μέγεθος και το σχήμα ενός δεδομένου ορίζοντα. Στη συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες ισοπαχών όλων των στρωματογραφικών ενοτήτων με το υπόμνημα να περιγράφει το πάχος της στρωματογραφικής ενότητας σε μέτρα. Παράλληλα εντοπίζονται οι περιοχές έντονης μεταβολής του πάχους και τα όρια τους παρουσιάζονται με λευκή διακεκομμένη γραμμή.

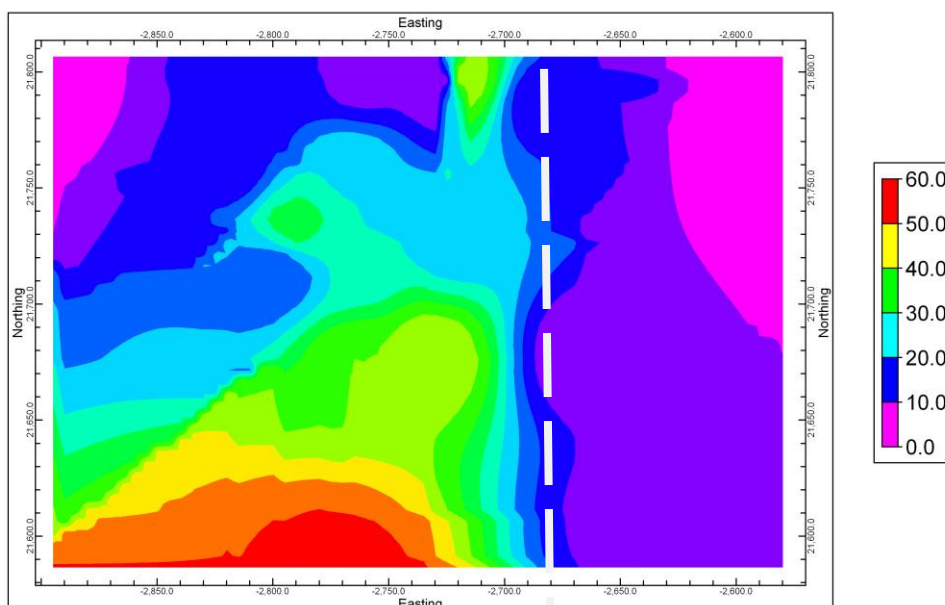
Οι απότομες αλλαγές που εμφανίζονται στους χάρτες ισοπαχών μπορούν να ερμηνευθούν σαν αποτέλεσμα πτύχωσης ή/και ρηγμάτωσης. Λόγω του γεγονότος ότι οι αλλαγές παρατηρούνται στις διευθύνσεις BBD – NNA και BBA – NND που είναι και οι κύριες διευθύνσεις ρηγμάτωσης που μετρήθηκαν στην επιφάνεια, οι αντίστοιχες διευθύνσεις απότομης μεταβολής του πάχους ερμηνεύτηκαν ως ρήγματα.



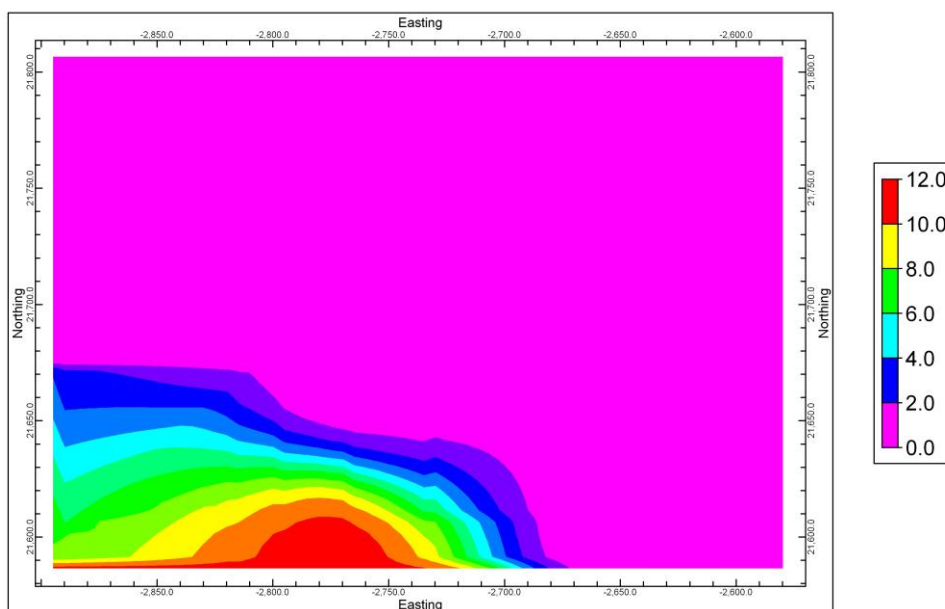
Σχήμα 6. 38: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθι Παντοκράτορα του *Πεδίου 1*, με πιθανό ρήγμα διεύθυνσης BBD - NNA



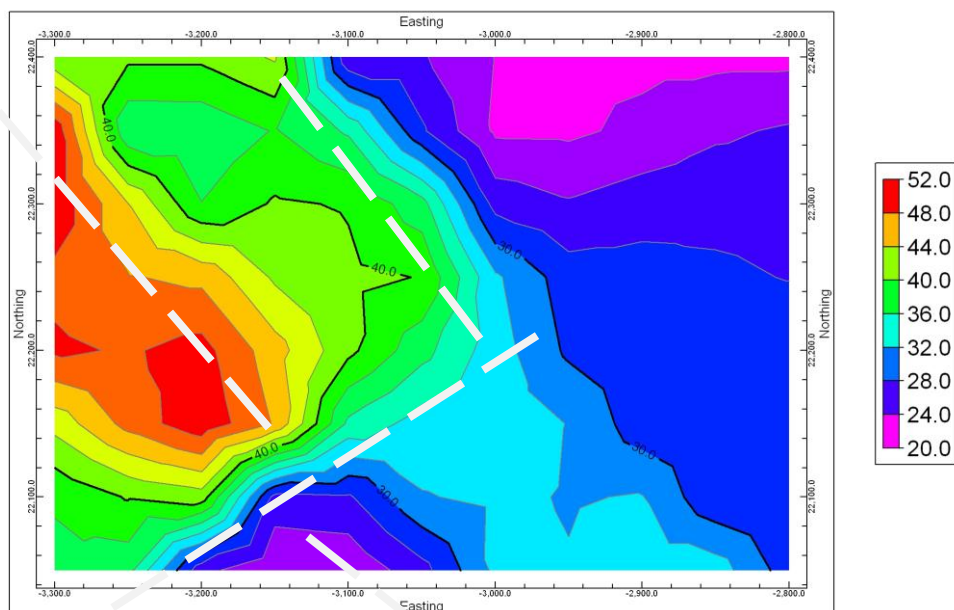
Σχήμα 6. 39: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθι με Filaments του *Πεδίου 1* με πιθανά ρήγματα διεύθυνσης BBA - NND



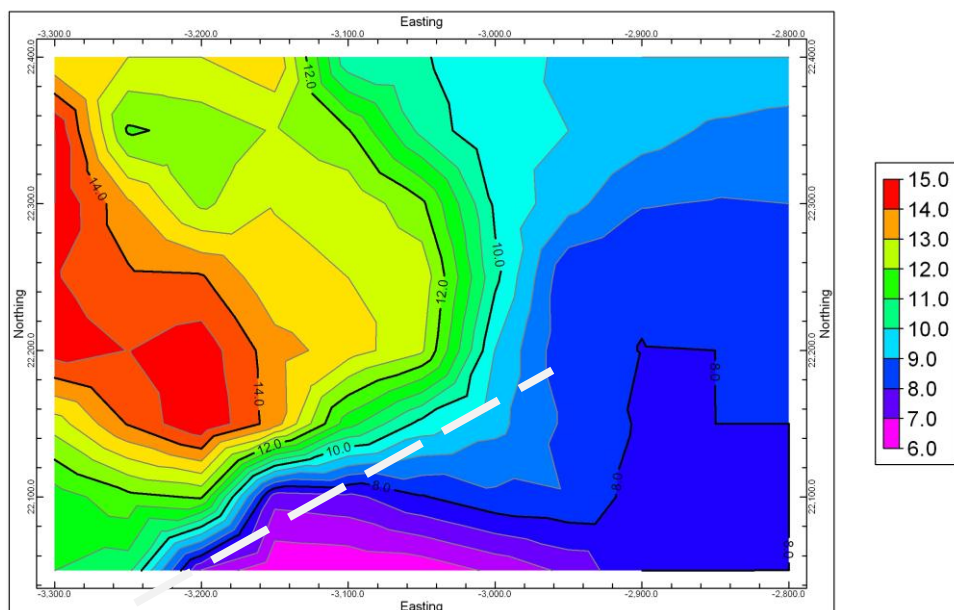
Σχήμα 6. 40: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του Πεδίου 1 με πιθανό ρήγμα διεύθυνσης B - N



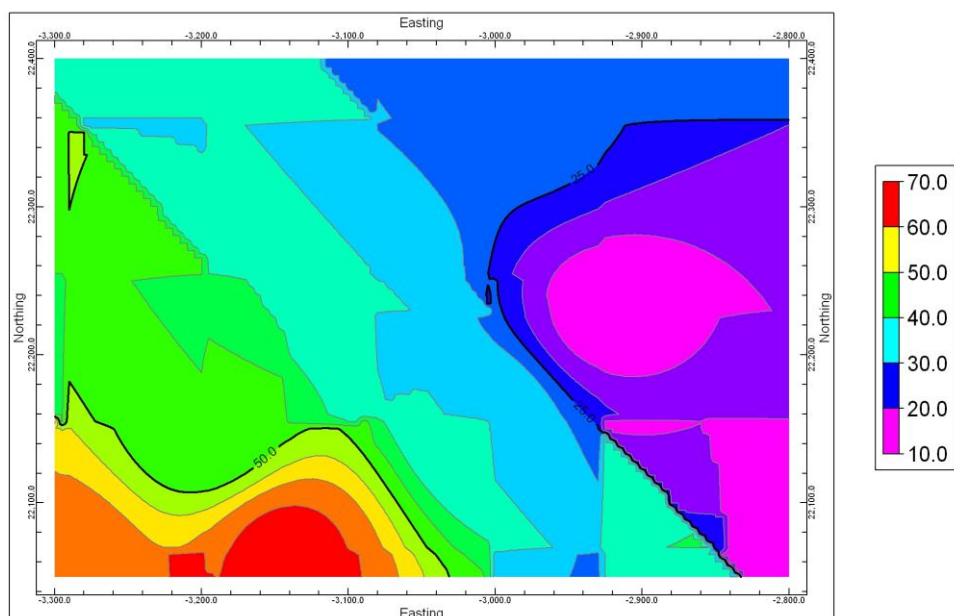
Σχήμα 6. 41: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι Βίγλας του Πεδίου 1



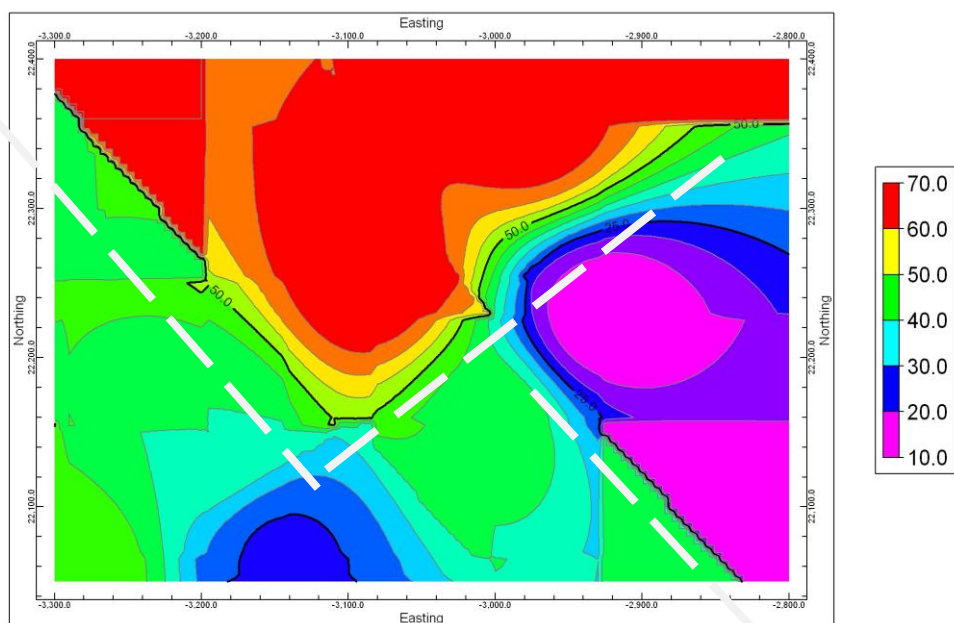
Σχήμα 6. 42: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθι Παντοκράτορα του Πεδίου 2 με πιθανά ρήγματα διεύθυνσης BBA – NNΔ και BBΔ - NNA



Σχήμα 6. 43: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθι με Filaments του Πεδίου 2 με πιθανό ρήγμα διεύθυνσης BBA - NNΔ



Σχήμα 6. 44: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του Πεδίου 2



Σχήμα 6. 45: Χάρτης ισοπαχών του στρώματος ασβεστόλιθοι Βίγλας του Πεδίου 2 με πιθανά ρήγματα διεύθυνσης BBA – NNΔ και BBD - NNA

6.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Η δυνατότητα ογκομέτρησης που παρείχε το λογισμικό Rockworks 15 οδήγησε στην εκτίμηση του όγκου των λιθοστρωματογραφικών ενότητων. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι όγκοι σε m^3 της κάθε ενότητας των δύο Πεδίων και η ποσοστιαία κατανομή τους.

		ΠΕΔΙΟ 1	ΠΕΔΙΟ 2
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ (m^3)	ΣΥΝΟΛΙΚΑ	1646,875 (50,5%)	5764,75 (29,3%)
	ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ (ΦΛΕΦΙΚΗ ΜΟΡΦΗ)	876,125 (27%)	1317,650 (6,8%)
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ FILAMENTS (m^3)	ΣΥΝΟΛΙΚΑ	544,25 (17%)	2074,95 (10,5%)
	ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΟΣ ΦΩΣΦΟΡΙΤΗΣ (ΣΥΜΠΑΓΗΣ ΜΟΡΦΗ)	114,400 (3,5%)	393,675(2%)
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΕΣ (m^3)		1051,175 (32,2%)	4986,325 (25,3%)
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ (m^3)		12,875 (0,4%)	6807,475 (34,6%)
ΣΥΝΟΛΟ		3255,175	19633,5

Πίνακας 6. 1: Αποθέματα των λιθοστρωματογραφικών ενότητων των δύο Πεδίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή που ανήκει γεωτεκτονικά στην Ιόνιο ζώνη, δομείται από τους Ιουρασικής ηλικίας ασβεστόλιθους Παντοκράτορα, τους ασβεστόλιθους με Filaments, τους σχιστόλιθους Ποσειδωνίων, και τους Κρητιδικής ηλικίας ασβεστόλιθους Βίγλας.

Η ουρανιοφωσφορούχος μεταλλοφορία εντοπίζεται μεταξύ των ανώτερων στρωμάτων των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα και των ασβεστόλιθων με Filaments. Αναπτύσσεται σε δυο μορφές μεταλλοφορίας. Στη φλεβική μορφή, που απαντά στις ρωγμές και διακλάσεις των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα με μέση περιεκτικότητα σε P_2O_5 10% και U 120 ppm και στη στρωματοειδή μορφή (συμπαγής τύπος) ,που εντοπίζεται κυρίως στο κατώτερο τμήμα της ενότητας των ασβεστολίθων με Filaments, με μέση περιεκτικότητα σε P_2O_5 15% και U 105 ppm. Ο συμπαγής τύπος μεταλλοφορίας αποτελεί την προς τα πάνω εξέλιξη του φλεβικού τύπου και το όριό τους βρίσκεται περίπου στη μετάβαση από τους ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα προς τους ασβεστόλιθους με Filaments, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί τον κανόνα χωρικού διαχωρισμού των δύο τύπων μεταλλοφορίας.

Η τεκτονική στην περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από ρήγματα διαφόρων διευθύνσεων με κυρίαρχη διεύθυνση τη ΒΔ και δευτερεύουσα τη ΒΑ. Οι διευθύνσεις αυτές αναγνωρίστηκαν και στους χάρτες ισοπαχών κάθε στρωματογραφικής ενότητας όπως αυτοί προέκυψαν από το λογισμικό Rockworks 15. Η αναγνώριση αυτή βασίστηκε στον εντοπισμό απότομων μεταβολών πάχους κάθε στρωματογραφικής ενότητας στους προαναφερθέντες χάρτες θεωρώντας ότι οι μεταβολές αυτές οφείλονται στην ύπαρξη πιθανών τεκτονικών δομών. Επιπλέον, τα τεκτονικά χαρακτηριστικά αποτυπώνονται και στα τρισδιάστατα λιθοστρωματογραφικά μοντέλα όπου γίνονται περισσότερο φανερές οι χωρικές μεταβολές κάθε λιθοστρωματογραφικού ορίζοντα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθήθηκε μία μεθοδολογία τρισδιάστατης γεωλογικής χωρικής προσομοίωσης πολύπλοκων πεδίων η οποία απέδωσε καλύτερα αποτελέσματα από την απλή λιθολογική τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Πιο συγκεκριμένα αφού κατασκευάστηκαν τα τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα διαπιστώθηκε πως δεν τηρείται η αλληλουχία της στρωματογραφικής στήλης έτσι όπως αναμένεται στην Ιόνιο ζώνη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος και για την καλύτερη απεικόνιση της περιοχής κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία στρωματογραφικού μοντέ-

λου. Η στρωματογραφική απεικόνιση των δύο πεδίων προσέγγισε εμφανώς ικανοποιητικότερα την πραγματικότητα από τη λιθολογική. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί πως λόγω της ομαδοποίησης των λιθολογικών ενότητων η ουρανιοφωσφορούχος μεταλλοφορία, ο ουρανιούχος ασβεστόλιθος και ο ουρανιούχος φωσφορίτης, στα στρωματογραφικά μοντέλα δεν ήταν δυνατό να αποδοθεί ως ξεχωριστή μονάδα. Εφόσον λοιπόν με τη δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου ορίστηκαν χωρικά οι στρωματογραφικές ενότητες, στη συνέχεια αποτέλεσαν τα όρια μιας νέας λιθολογικής απεικόνισης. Αναλυτικότερα, για κάθε στρωματογραφική ενότητα πραγματοποιήθηκε η λιθολογική προσομοίωση μόνο για τις λιθολογίες που απαντώνται μέσα σ' αυτές. Η λιθοστρωματογραφική προσομοίωση για τα δύο Πεδία, όπως αποδείχθηκε και από τη σύγκριση, είναι η πιο αντιπροσωπευτική απεικόνιση και ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στην πραγματικότητα.

Για την περιοχή του Δελβινακίου κατασκευάστηκαν δύο τρισδιάστατα λιθοστρωματογραφικά μοντέλα για τα Πεδία 1 και 2. Από τα μοντέλα αυτά προκύπτουν πληροφορίες που αφορούν στη χωρική κατανομή των λιθοστρωματογραφικών ενότητων που δομούν την περιοχή και ιδιαίτερα των σχηματισμών που φέρουν ουρανιούχο ασβεστόλιθο και ουρανιούχο φωσφορίτη. Η κατανομή αυτή αποτελεί μία αρχική προσέγγιση της μεταλλοφορίας στην περιοχή. Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι η ογκομέτρηση κάθε λιθοστρωματογραφικού ορίζοντα. Η δυνατότητα ογκομέτρησης που παρείχε το λογισμικό Rockworks 15 οδήγησε στην εκτίμηση του όγκου των ενότητων της ουρανιοφωσφορούχου μεταλλοφορίας που ανέρχονται σε $2193,775\text{m}^3$ μεταλλεύματος φλεβικής μορφής και $508,075\text{m}^3$ μεταλλεύματος συμπαγούς μορφής στις συγκεκριμένες δύο θέσεις της περιοχής όπου δημιουργήθηκαν με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα τα τρισδιάστατα γεωλογικά ομοιώματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Jenkins, D. (1972). Structural development of western Greece. *American Association of Petroleum Geologists*, 56, 128-149.
- Baturin, G., & Kochenov, A. (2000). *Uranium in Phosphorites*. Moscow: Lithology and Mineral Resources, Vol. 36, No. 4, 2001, pp. 303–321. Translated from *Litologiya i Poleznye Iskopaemye*, No. 4, 2001, pp. 353–373.
- British Petroleum Co. Ltd., (1971). *The geological results of petroleum exploration in western Greece*. Athens: Institute for Geology and Subsurface Research, Special report 10.
- Bushinskii, G. (1966). *The Origin of Marine Phosphorites, Lithology and Mineral Resources, Consultants Bureau, N. York., pp.292-311.*
- Cayeux , L. (1939). *Constitutions des phosphates senoniens de Syrie. C.R.Ac.Sc., t.200.*
- I.F.P./I.G.S.R. (1966). *Etude géologique de l'Epire (Grèce nord-occidentale)*, Paris.
- Karakitsios, V., Danelian, T., & De Wever, P. (1988). *Detations par les Radiolaires des Calcaires a Filaments, Scistes a Posidonies superieures et Calcaires de Vigla (zone ionienne, Epire, Grece) du Callovien au Tithonique terminal*. Paris: C.R.Acad. Sc.
- Kazakov, A. (1937). *The phosphorites and the genesis of phosphorites. Translation. Sci.Inst. Pertilizers and Insecto-Funicides, No142 Publ. for 17th Intern.Geol.Congr. Leningrand.*
- Mc Kelvey , V. (1959). *Relation of upwelling marine waters to phosphorite and oil. Bull. Geol.Soc. Am., 70., pp.1783.*
- McGechan, M., & Lewis, D. (2002). Sorption of phosphorus by soils. Part1:Principles, equation and model. *Biosystem Engineering*, 82(1), 1-24.
- Renz, C. (1957). *Die vorneogene Stratigraphie der normal sedimentaren formationen-Griechenlands I.G.R.S. pp.637.*
- Sheldon, R. (1964). *Palaeolatitudinal and paleographic distribution of phosphorite. U.S. Geol. Surv.Prof.Pap.,501-C., pp. 106-113.*
- Smirnov, A. (1956). *The problem of Phosphorite genesis. Akad. Sci. S.S.S.R. (Geoch.), 119., pp. 53-56.*
- Youssef , I. (1965). *Genesis of bedded phosphates. Econ.Geol., Vol. 60., pp. 590-600.*

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναστασάκης, Γ. (1989). *Συμβολή στον εμπλουτισμό του μη εξαλλοιωμένου φωσφορίτη Ηπείρου, Διδακτορική διατριβή*. Αθήνα: Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ).
- Βαρτή-Ματαράγκα, Μ., Παπασταύρου, Σ., Περδικάτσης, Β., Πετρίδου-Νάζου, Β., Πιτσίκας, Λ., Πομώνης-Παπαϊωάννου, Φ., και συν. (1988). *Μελέτη των συνθηκών γένεσης των φωσφορούχων σχηματισμών της Ιονίου ζώνης*. Αθήνα.
- Βέκιος, Π. (1999). *Ιζηματολογική και γεωχημική μελέτη των Silcrete σχηματισμών της νήσου Ικαρίας και η μετ' αυτών συνδεδεμένη ουρανιούχος μεταλλοφορία*. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα: Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ).
- Βλάχος, Ι., & Κολλάρος, Δ. (2010). *Οικολογία*. Ηράκλειο: Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργιών και Ανθοκομίας, ΤΕΙ Κρήτης.
- Γαλετάκης, Μ. (2009). *Σημειώσεις του μαθήματος Σχεδίαση εκμεταλλεύσεων ορυκτών πόρων με Η/Υ*. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Δημήρκου - Ιωάννου, Α. (1992). *Επίδραση ορισμένων εδαφικών συστατικών στην κινητική της προσρόφησης του φωσφόρου*, Διδακτορική διατριβή. Αθήνα: Τμήμα Εγγειων Βελτιώσεων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Καραλή, Ό. (2009). *Οπτικοποίηση ψηφιακού μοντέλου*, Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αθήνα: Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Καστρίτης, Α. (2007). *Κύκλοι αζώτου και φωσφόρου στο παράκτιο σύστημα του Μαλιακού κόλπου*, Διδακτορική διατριβή. Αθήνα: Σχολή Θετικών Επιστημών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ωκεανογραφίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ).
- Κατσικάτσος, Γ. Χ. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
- Κοφινά, Α.-Κ. (2006). *Ανάκτηση ανόργανων φωσφορικών από υδατικά διαλύματα*, Διδακτορική διατριβή. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Μελιδώνης, Ν. (1992). *Γενική Κοιτασματολογία*. Πάτρα: ΟΕΒΔ.
- Μουντράκης, Δ. Μ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Μπάτσας, Α. (2006). *Γεωλογικοί παράμετροι και συγκεντρώσεις προσχωματικού χρυσού σε ψαμμίτες του φλύσχη της Ιονίου ζώνης*, Μεταπτυχιακή διατριβή. Χανιά: Τομέας Μεταλλευτικής Τεχνολογίας, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

- Παναγόπουλος, Γ. (2007). *Προτάσεις γεωτρητικού προγράμματος σε ενεργό λατομικό χώρο με χρήση χωρικών γεωλογικών στοιχείων*, Μεταπτυχιακή διατριβή. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Πετούσης, Μ. (2003). *Σημειώσεις για το μάθημα "Cad" Ανάπτυξη Μηχανολογικών Εφαρμογών με τη Βοήθεια Η/Υ"*. Ηράκλειο: Τμήμα Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι. Κρήτης.
- Πομώνη-Παπαϊωάννου, Φ. (1994). *Λιθοστρωματογραφία-Ιζηματολογία των Άνω Κρητιδικών φωσφορούχων σχηματισμών της Ιονίου ζώνης: Μηχανισμός φωσφορογένεσης-παλαιοτεκτονικό πλαίσιο*. Βιβλ. Ι.Γ.Μ.Ε. σ.80.
- Σκουνάκης, Σ. (1979). *Συμβολή εις την μελέτην των συνθηκών γενέσεως των κοιτασμάτων φωσφόρου της Δυτικής Ελλάδας*, Διδακτορική διατριβή. Αθήνα: Σχολή Θετικών επιστημών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ).
- Τζωράκη, Ο. (2007). *Μοντελοποίηση υδρολογικών και γεωχημικών διεργασιών σε ποτάμιο σύστημα διαλείπουσας ροής*, Διδακτορική διατριβή. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Χάλεντ, Α. (1998). *Οι φωσφορικές εμφανίσεις των περιοχών Κολωνιάτο, Κοσμηρά και Δελβινάκι [Ηπείρου]*, Μεταπτυχιακή διατριβή. Αθήνα: Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Χατζηγιάννης, Γ., & Βέκιος, Π. (2001). *Μελέτη και αποτίμηση δυναμικού ορυκτών και ενεργειακών πρώτων υλών (ουρανιούχοι φωσφορίτες)*. Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.
- Χατζημπίρος, Κ. (2007). *Οικολογία-Οικοσυστήματα και προστασία περιβάλλοντος*. Αθήνα: ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ.
- Χρηστίδης, Γ. (2009). *Σημειώσεις του μαθήματος Αξιολόγηση Βιομηχανικών Ορυκτών*. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_5DJw8_pnhsJ:www.metal.ntua.gr/uploads/3472/432/10_fwsfata.ppt+%CF%86%CF%89%CF%83%CF%86%CE%B1%CF%84%CE%B1+%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%AC%CE%BA%CE%B7&cd=1&hl=el&ct=clnk&gl=gr&source=www.google.gr
- <http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/prole.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

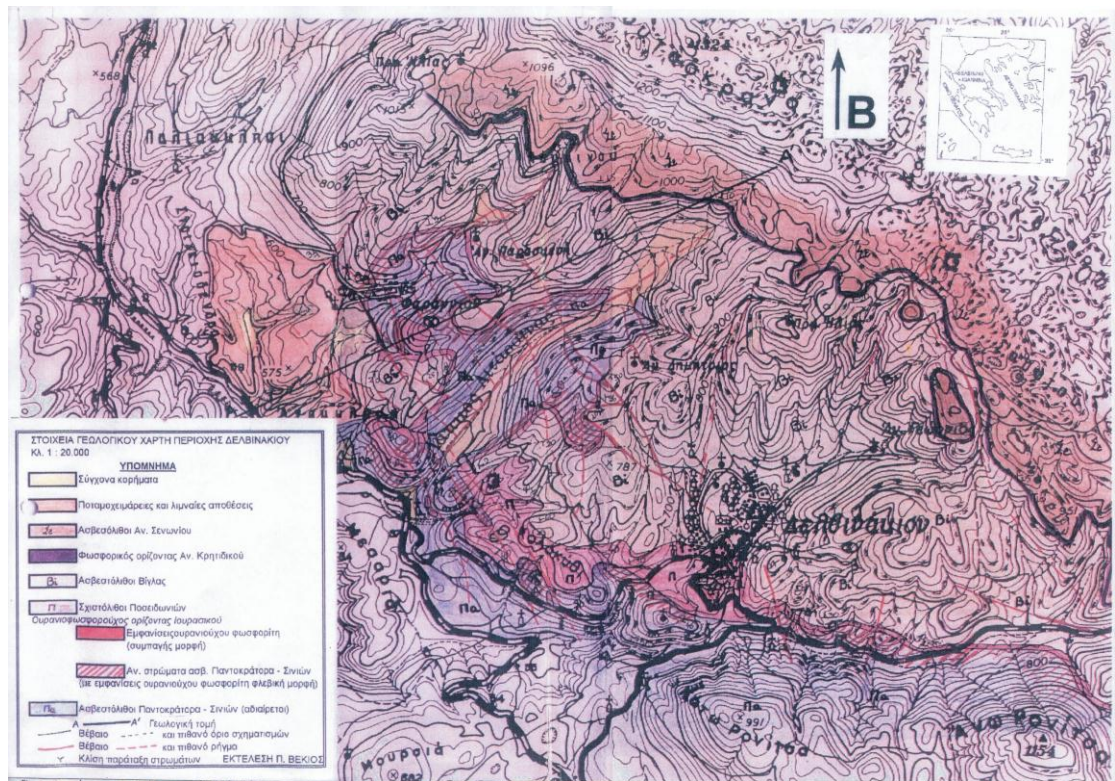
Χάρτης 1: Θέσεις εμφανίσεων ουρανιούχων φωσφοριτών στην Ιόνιο ζώνη (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

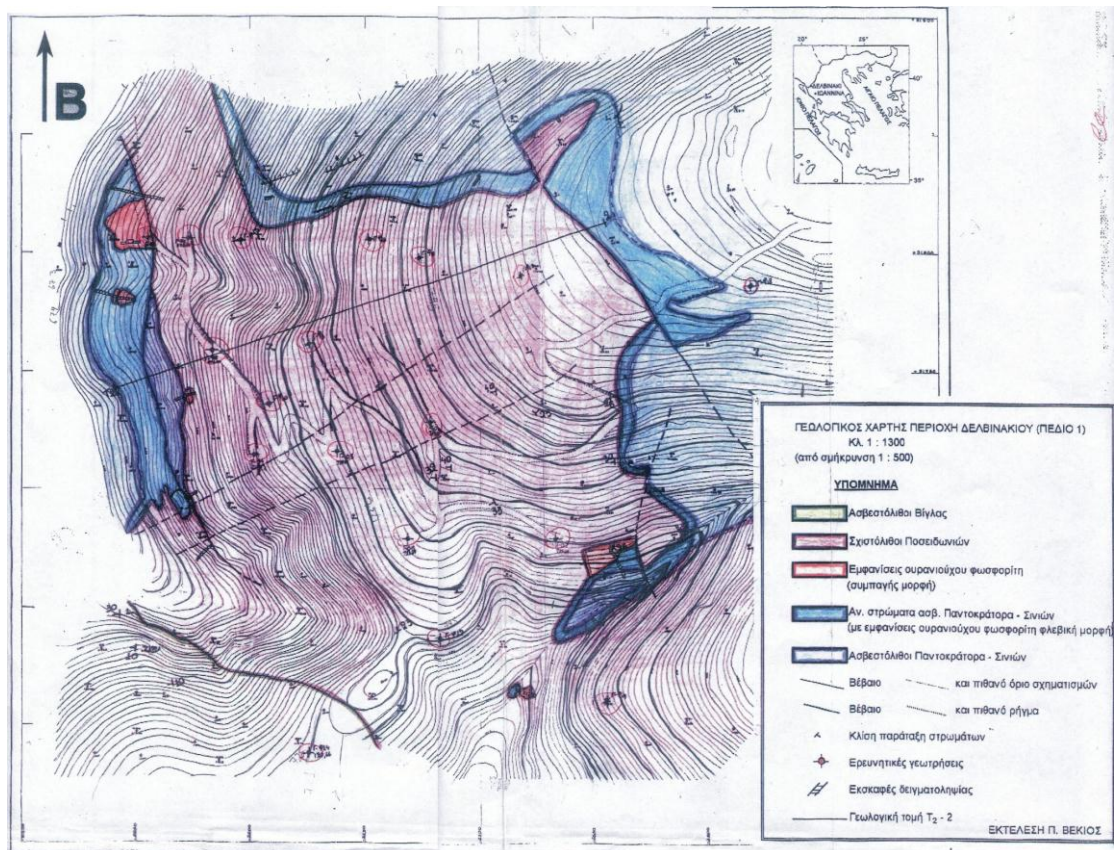
Χάρτης 2: Στοιχεία γεωλογικού χάρτη περιοχής Δελβινακίου (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

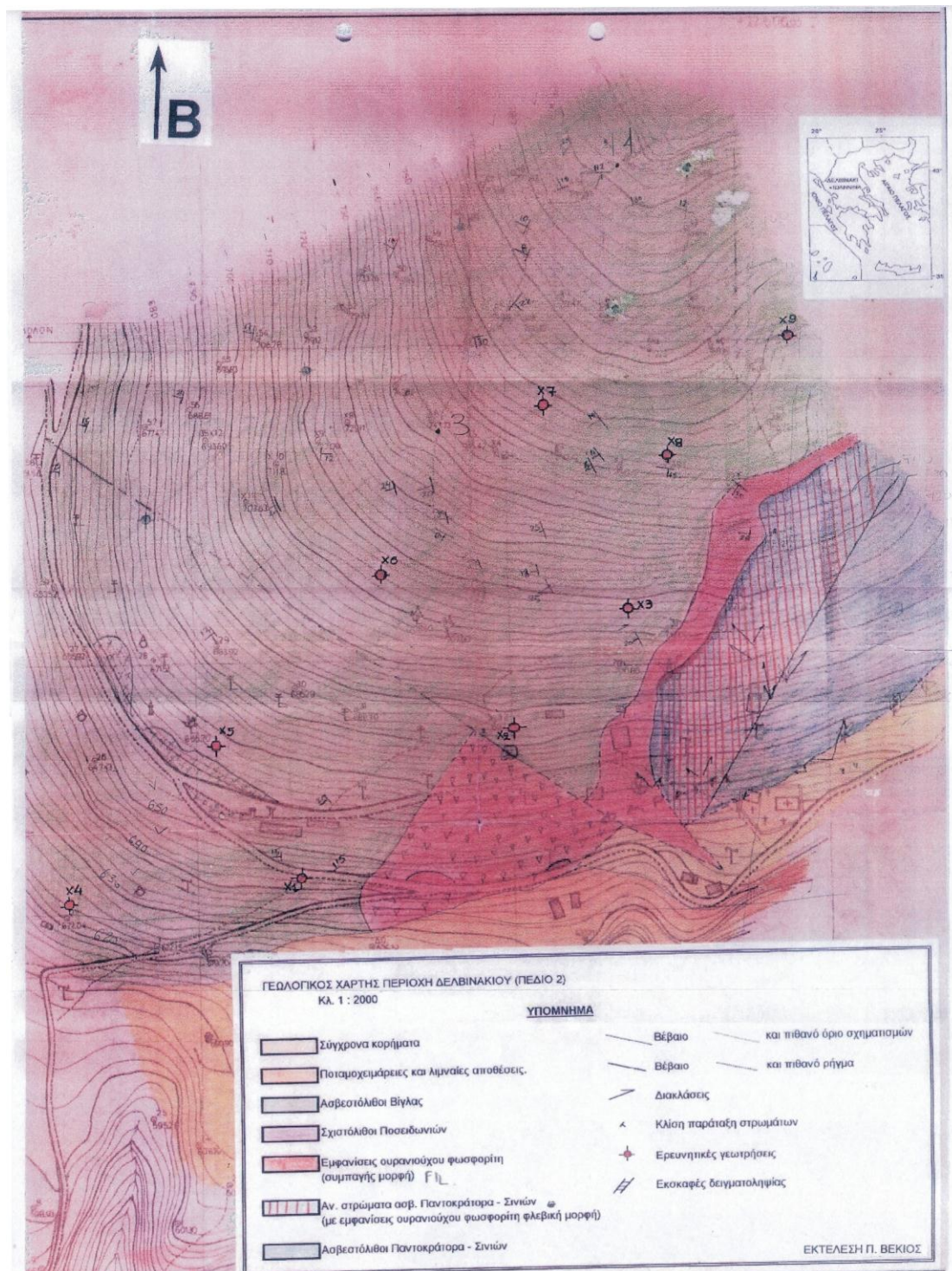
Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (Πεδίο 1) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

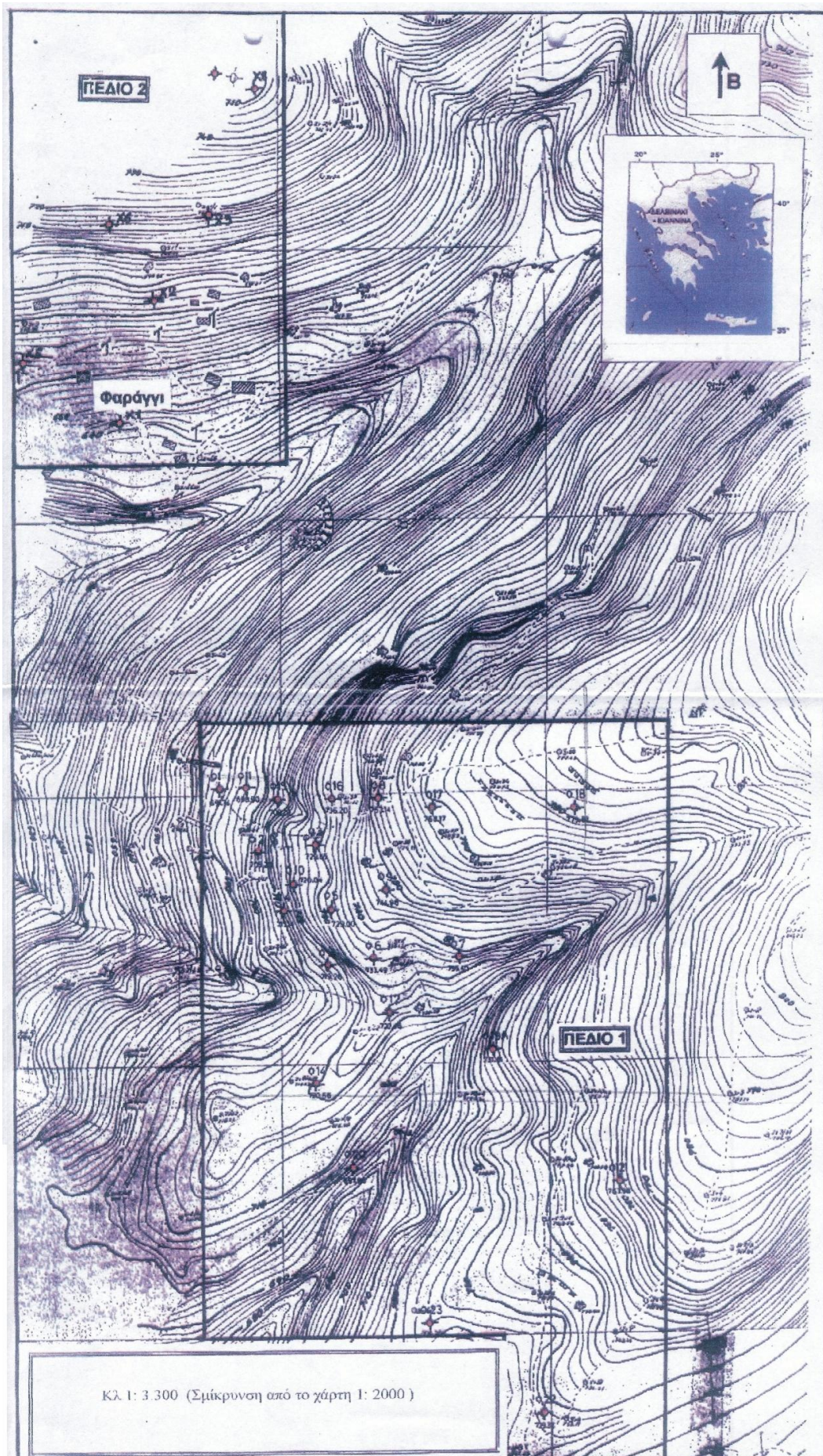
Χάρτης 4: Γεωλογικός χάρτης περιοχή Δελβινακίου (Πεδίο 2) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)

Χάρτης 5: Τοπογραφικό διάγραμμα με τις θέσεις των γεωτρήσεων στη θέση Δελβινάκι (Πεδίο 1,2) (Χατζηγιάννης & Βέκιος, 2001)









Κλ 1: 3 300 (Σμίκρυνση από το χάρτη 1: 2000)

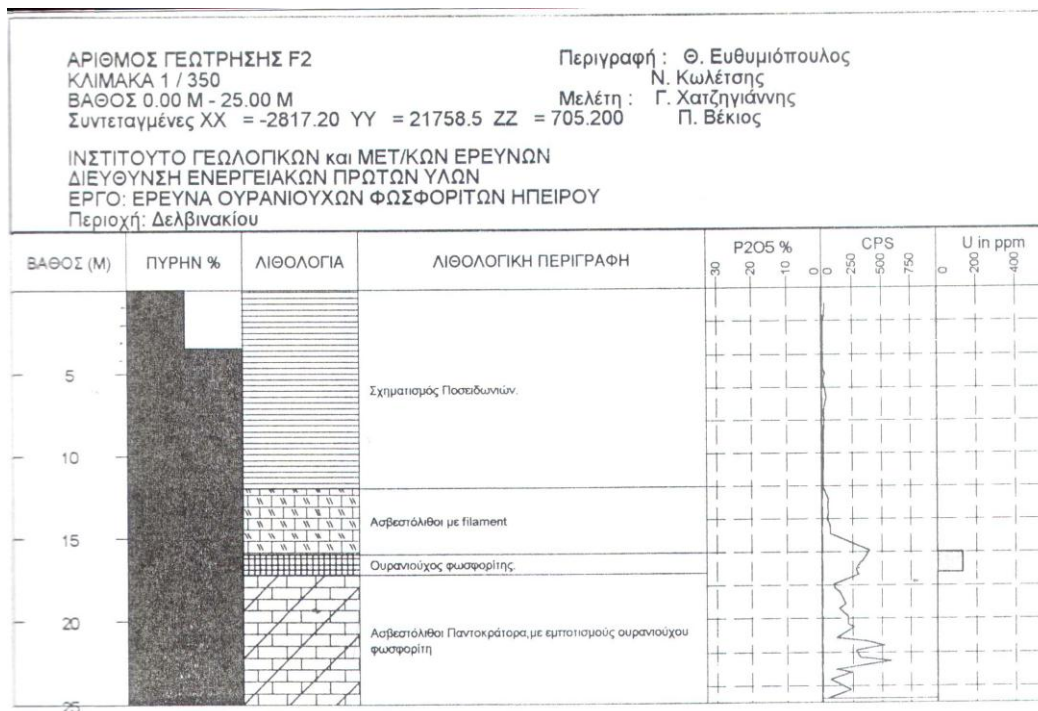
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Πίνακες περιγραφής γεωτρήσεων από την περιοχή Δελβινακίου

Πεδίο 1: F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19

Πεδίο 2: X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9

ΠΕΔΙΟ 1



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F3

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 60.75 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2765.00 ΥΥ = 21759.0 ΖΖ = 729.650

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

N. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

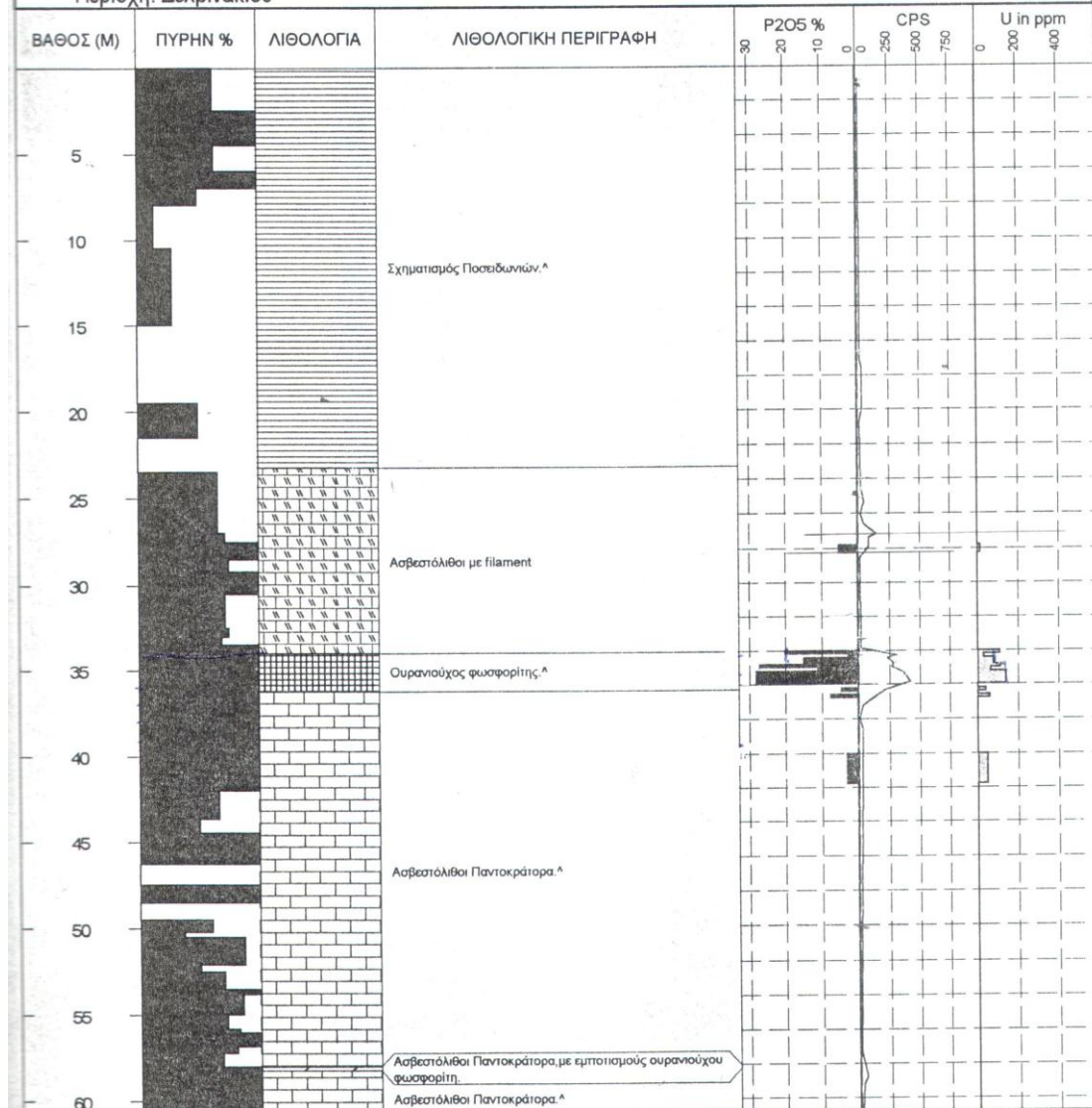
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F4

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 65.78 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2798.47 ΥΥ = 21714.3 ΖΖ = 715.140

Περιγραφή: Θ. Ευθυμιάδης

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη: Γ. Χατζηγιάνης

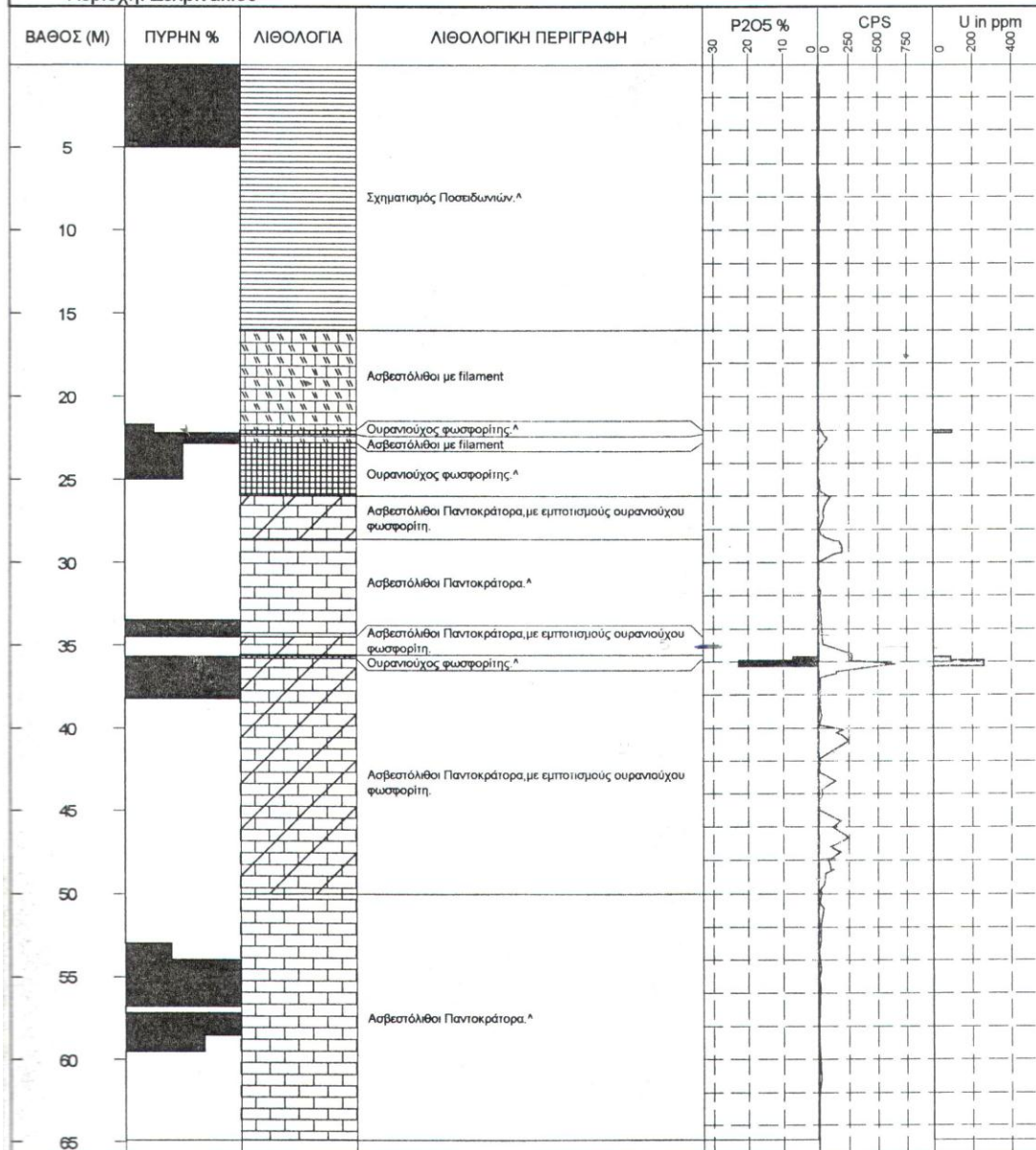
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

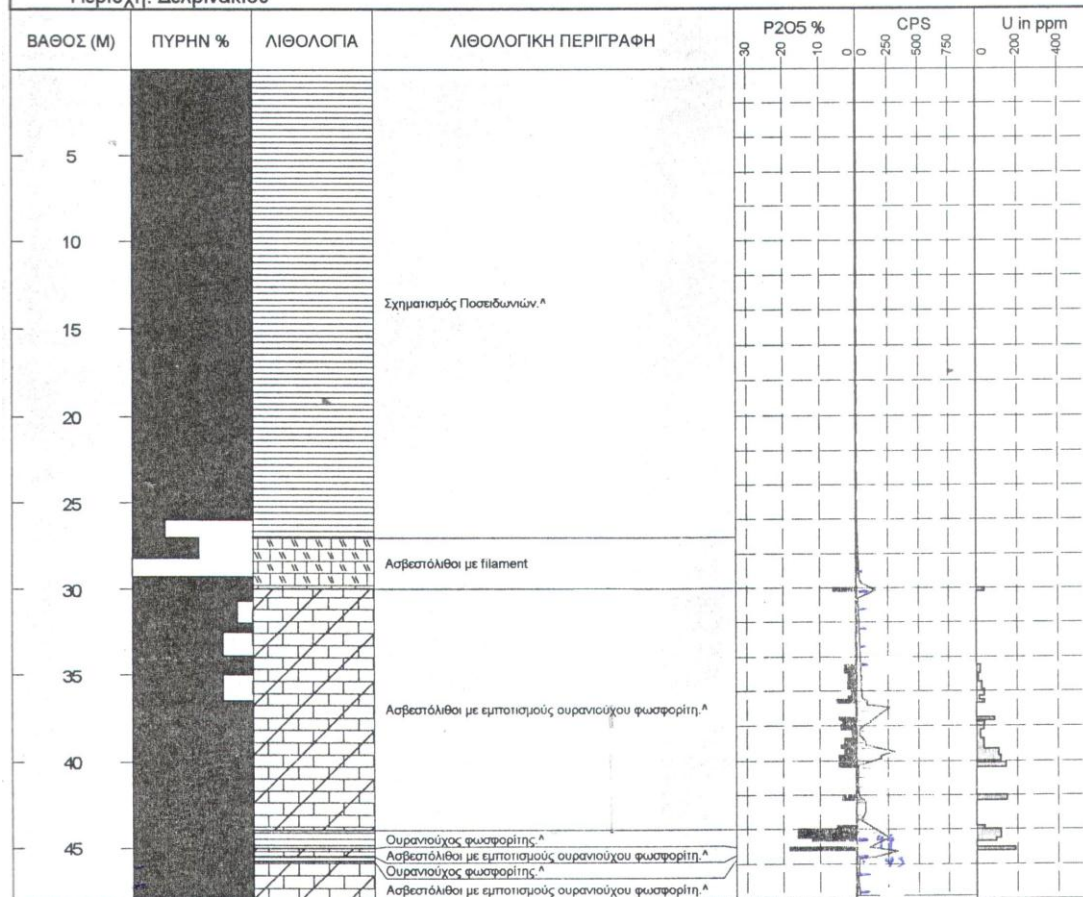
Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F5
ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350
ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 48.00 Μ
Συντεταγμένες ΧΧ = -2762.62 ΥΥ = 21715.4 ΖΖ = 729.000

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιάπουλος
Ν. Κωλέτσης
Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης
Π. Βέκιος

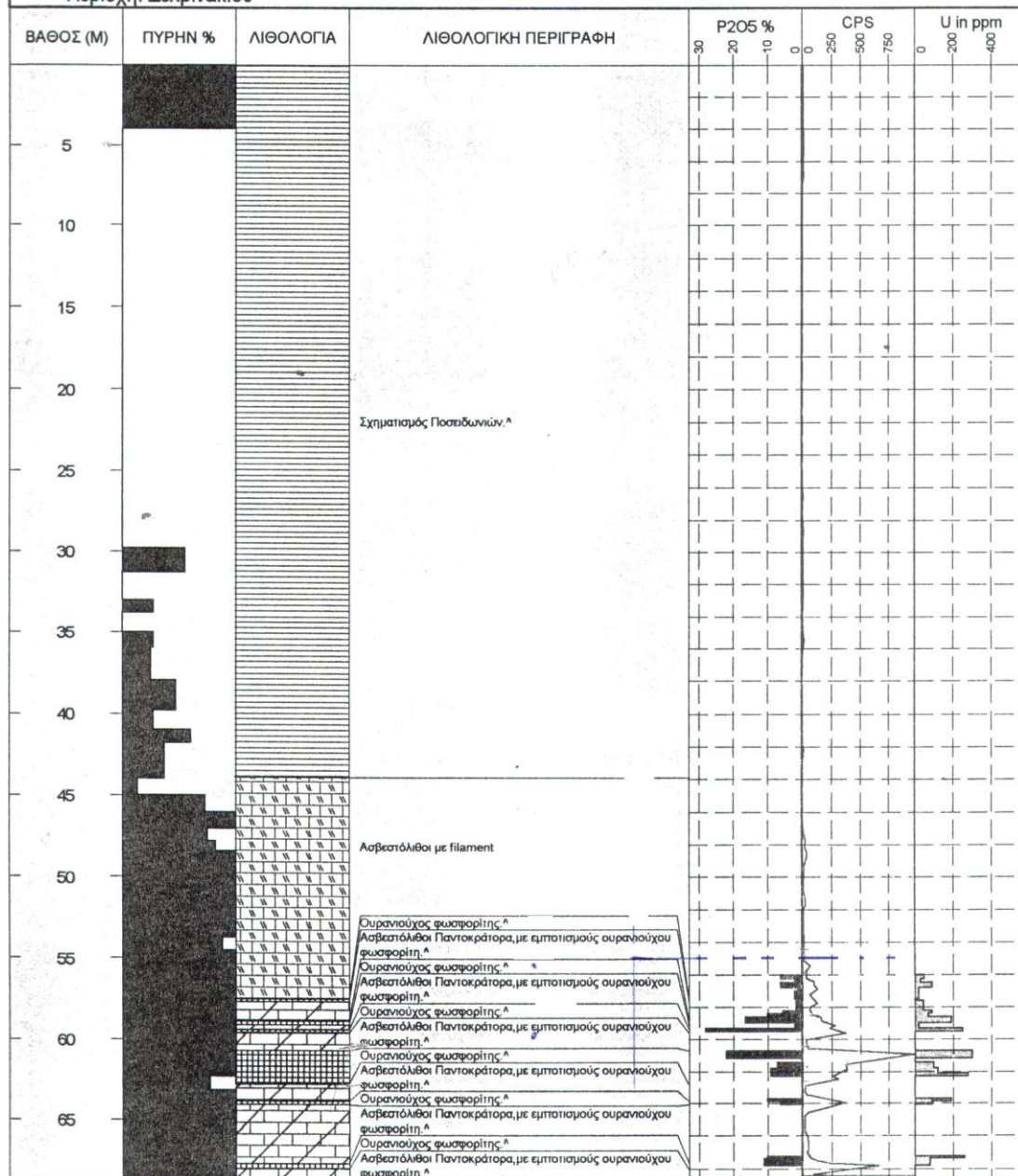
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ
ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ
Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F6
ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350
ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 68.70 Μ
Συντεταγμένες ΧΧ = -2731.91 ΥΥ = 21678.7 ΖΖ = 733.490

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιάδης
Ν. Κωλέτσης
Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ
ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ
Περιοχή: Δελβινάκιου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F7

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 38.90 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2666.52 ΥΥ = 21679.3 ΖΖ = 735.400

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιάδης

Ν. Κωλέτσης

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης

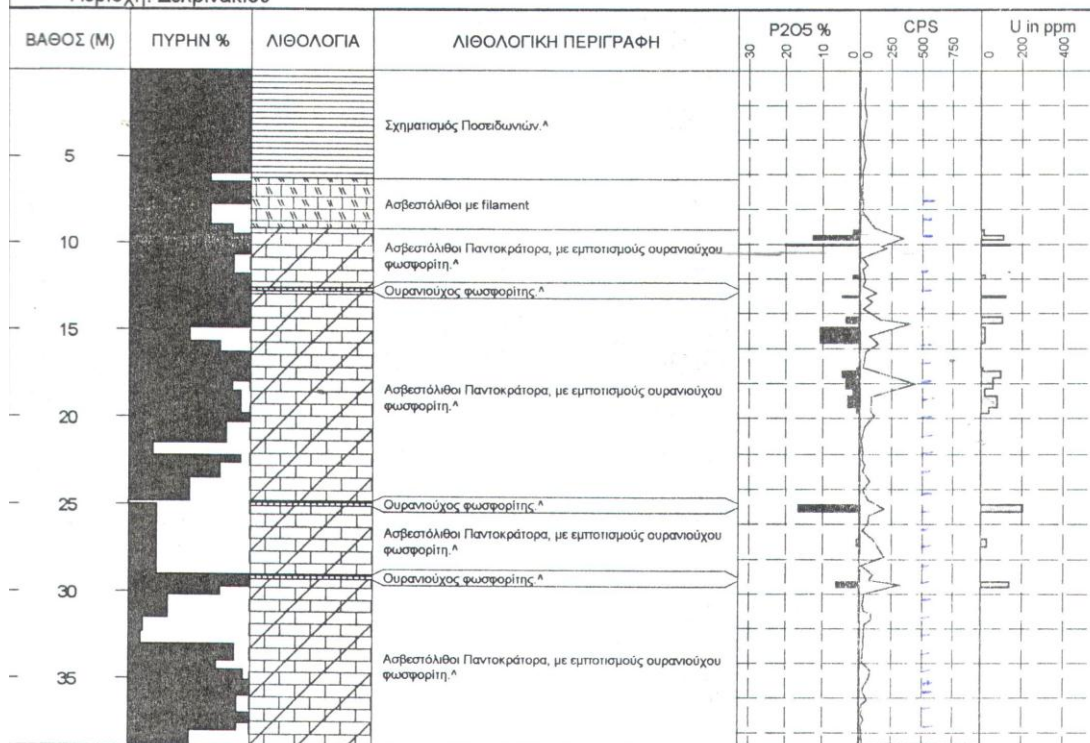
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F8

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 65.40 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2726.99 ΥΥ = 21797.1 ΖΖ = 753.140

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

N. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

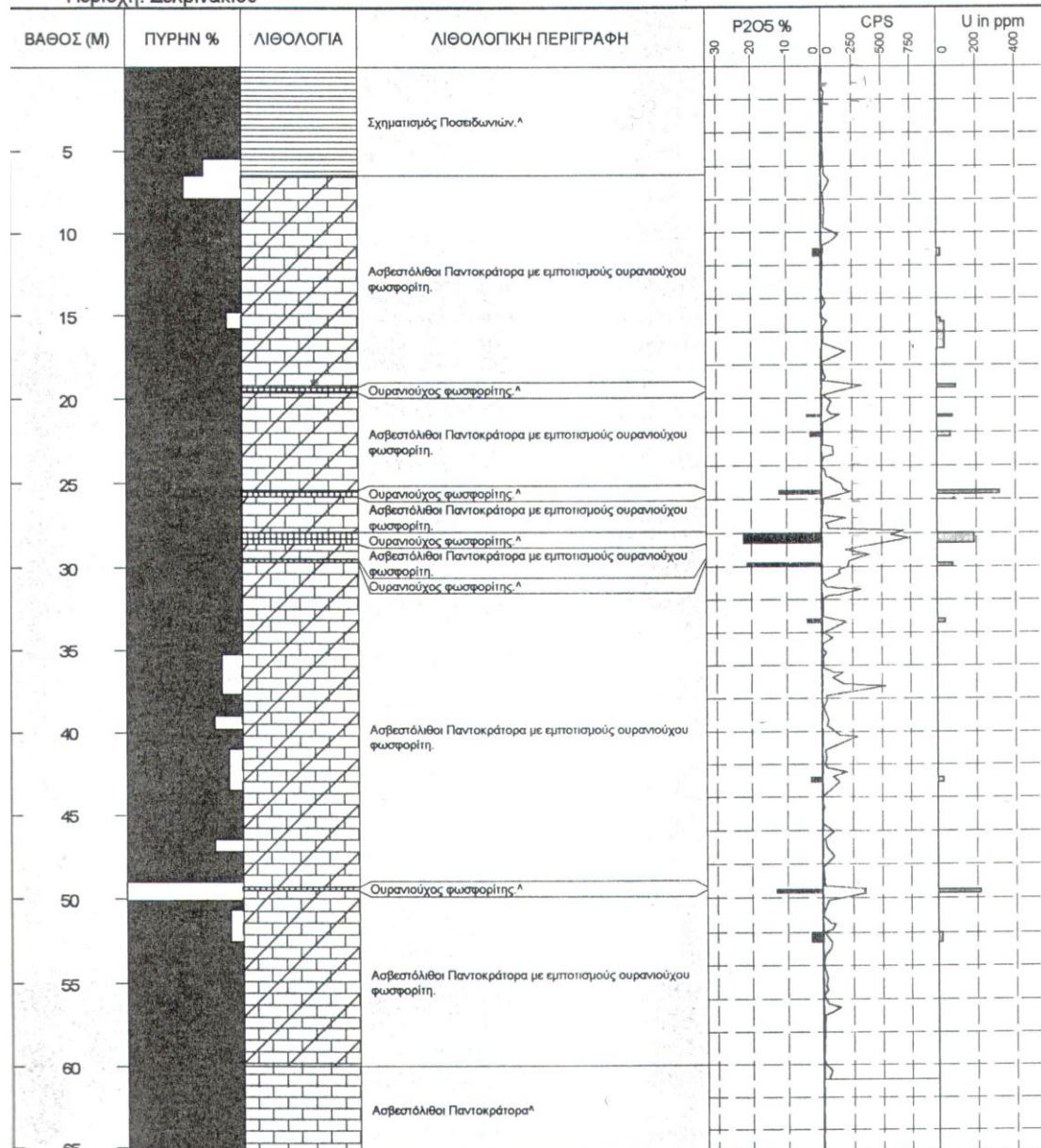
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F9

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 68.10 Μ

Συντεταγμένες ΧΧ = -2722.11 ΥΥ = 21728.4 ΖΖ = 744.960

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης

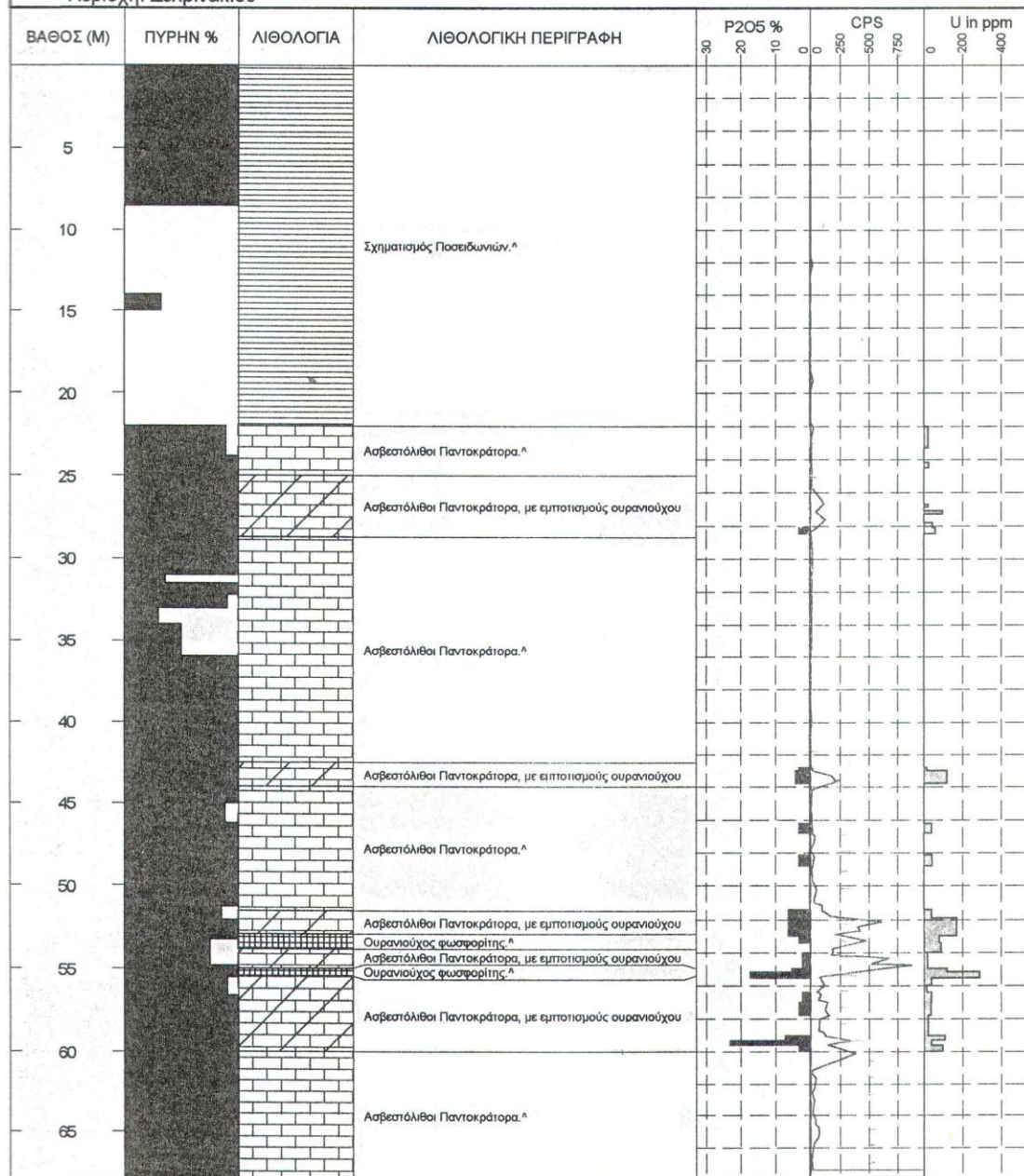
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F10

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 65.10 Μ

Συντεταγμένες ΧΧ = -2791.19 ΥΥ = 21733.9 ΖΖ = 720.040

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

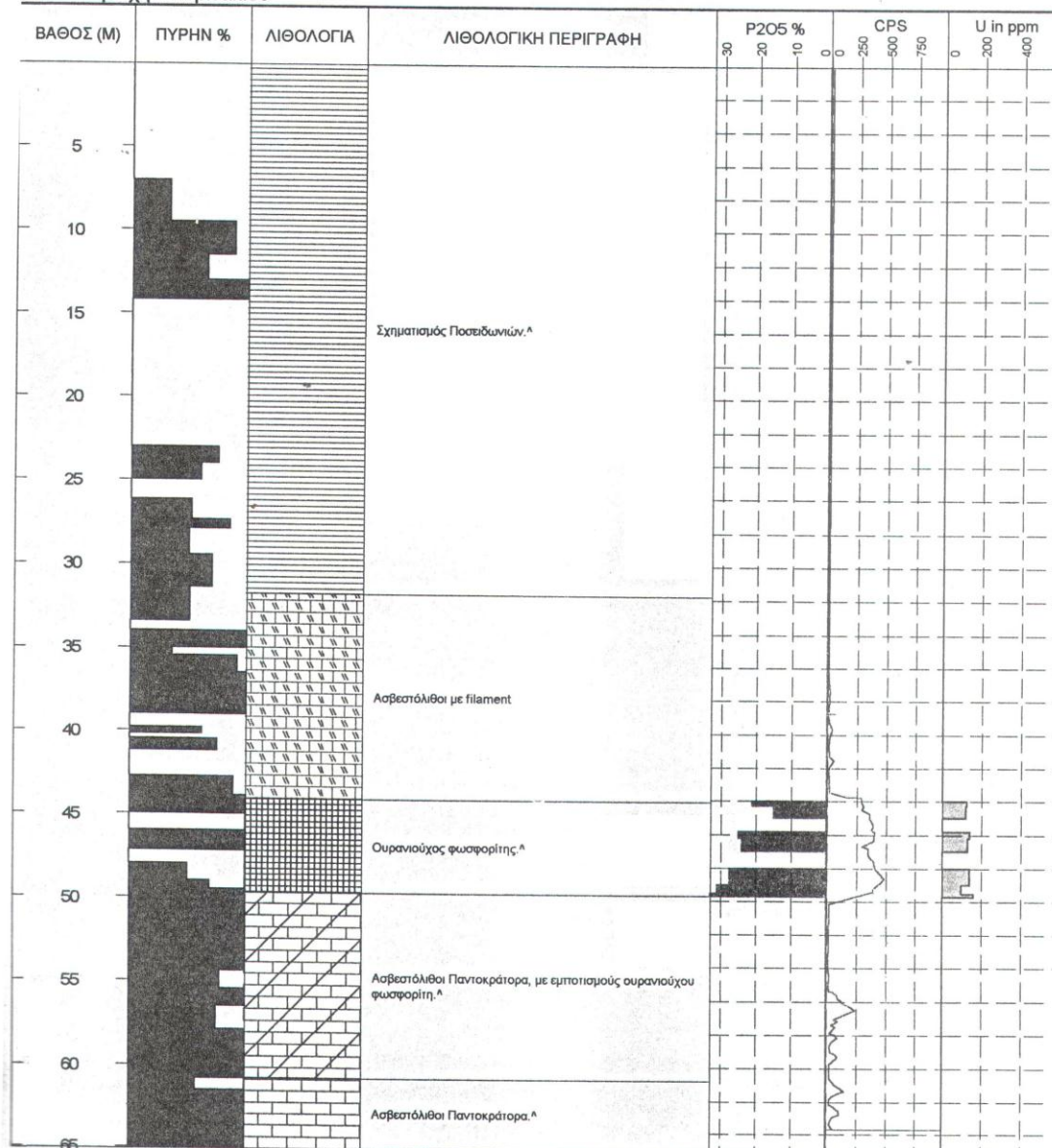
Π. Βέκιος

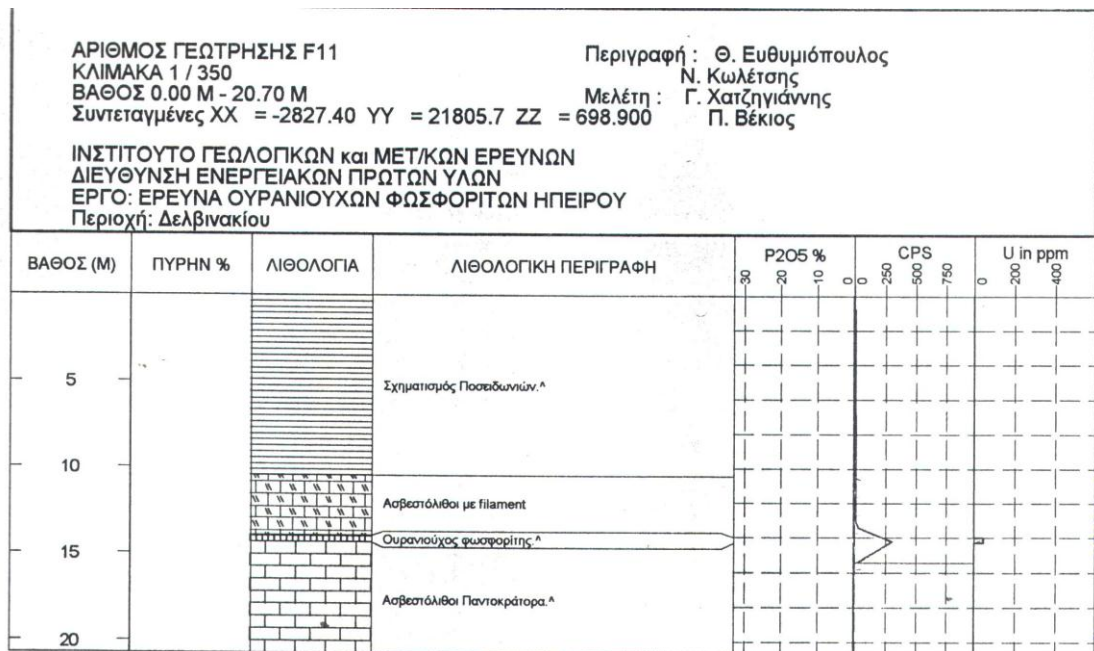
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου





ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F12

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 65.20 Μ

Συντεταγμένες ΧΧ = -2718.81 ΥΥ = 21798.1 ΖΖ = 753.140

Περιγραφή : Θ. Ευθυμίουπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

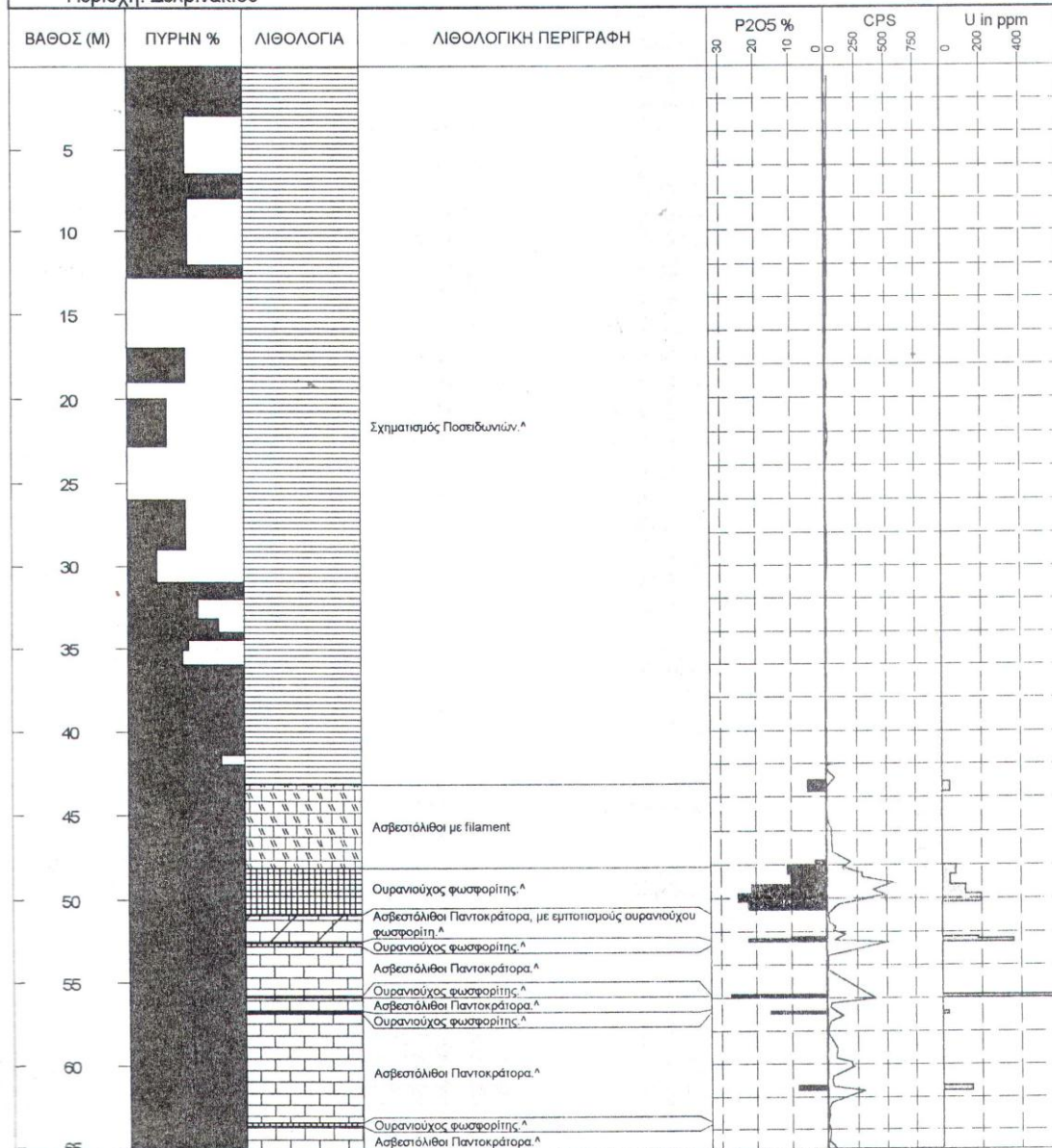
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινάκιου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F13

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 62.00 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2765.25 ΥΥ = 21675.1 ΖΖ = 719.260

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

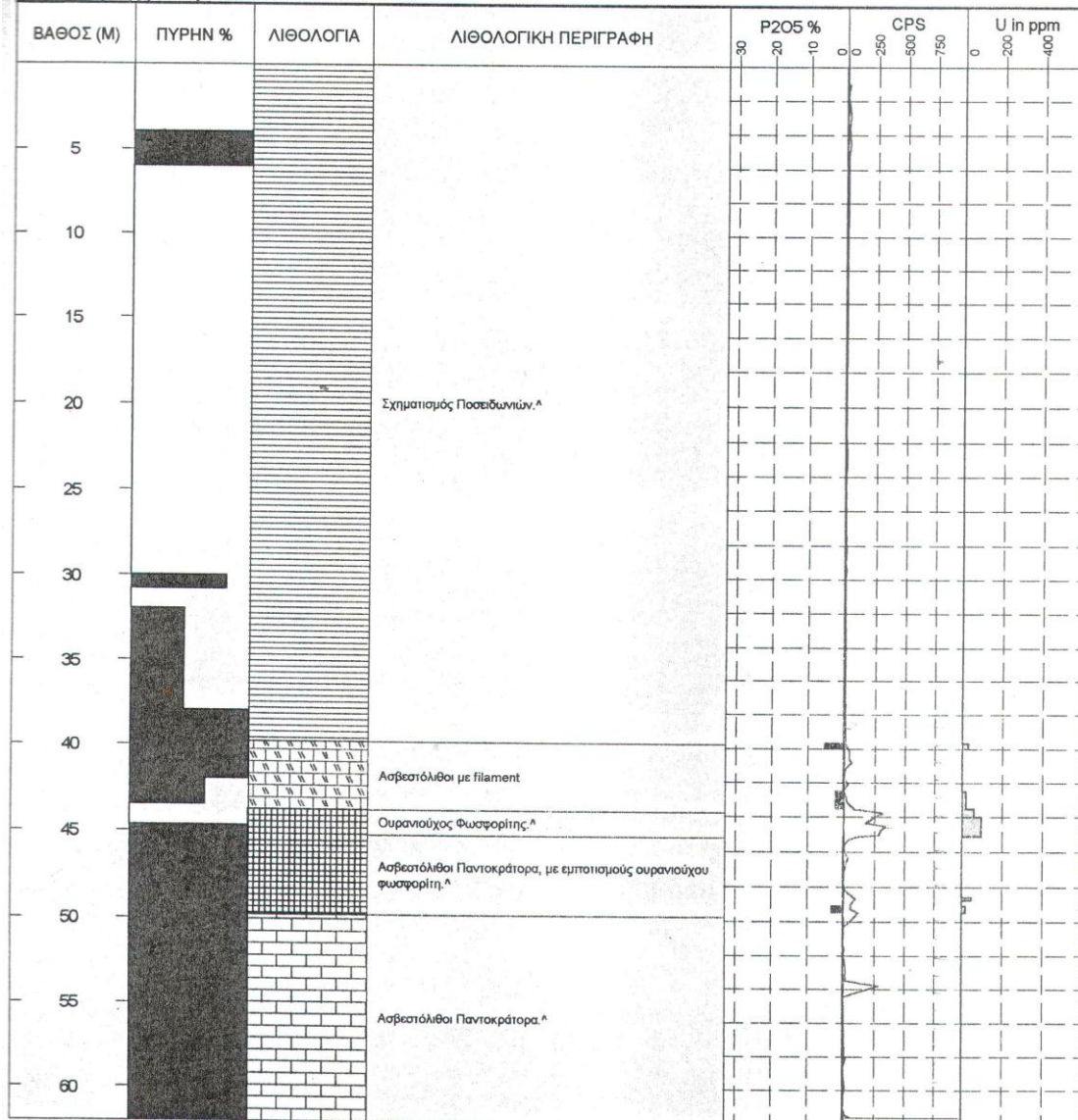
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

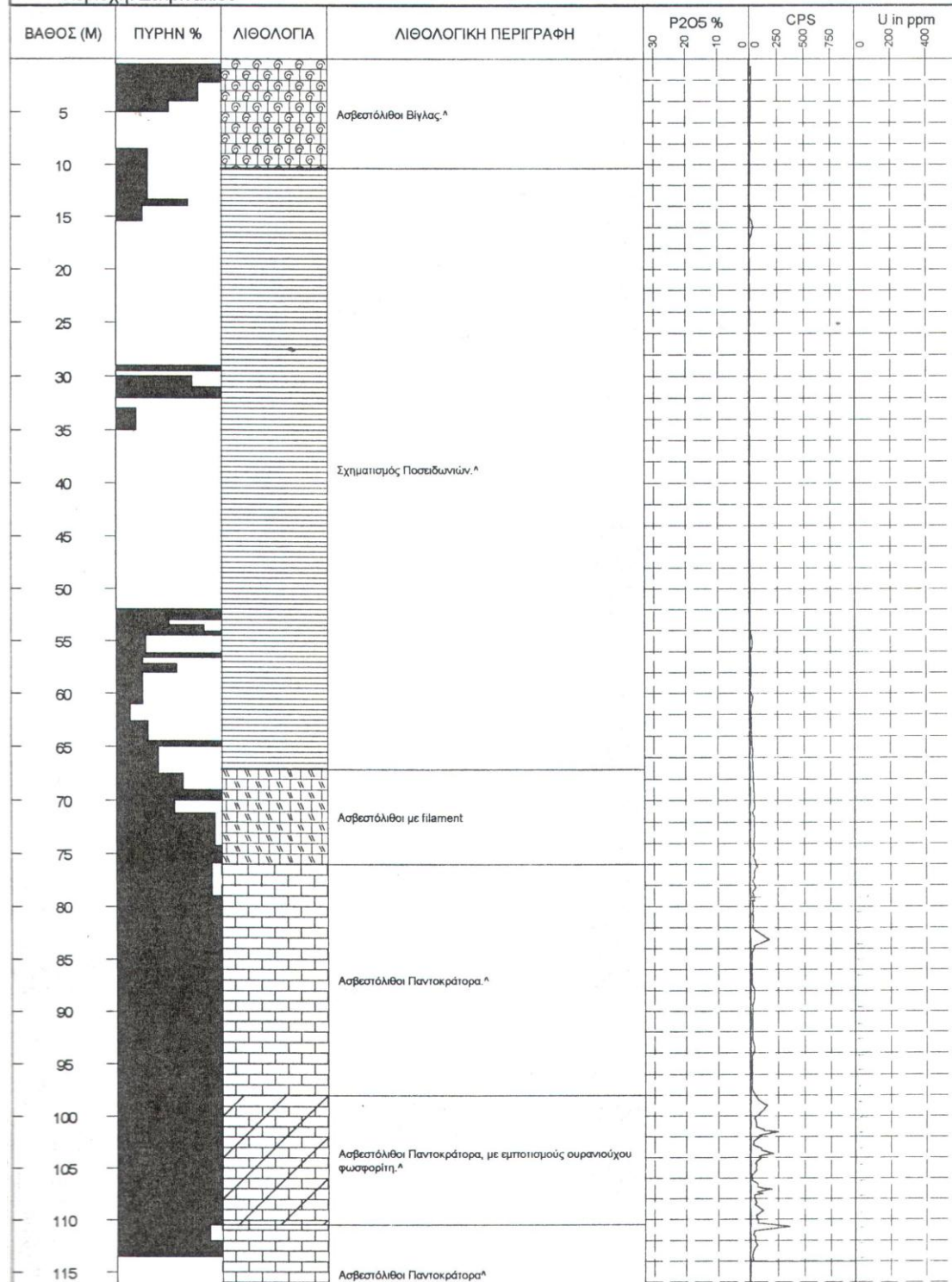
Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F14
ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 500
ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 120.00 M
Συντεταγμένες ΧΧ = -2775.20 ΥΥ = 21586.5 ΖΖ = 720.500

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος
Ν. Κωλέτσας
Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ
ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ
Περιοχή: Δελβινάκιου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F15

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 55.80 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2802.26 ΥΥ = 21796.6 ΖΖ = 709.290

Περιγραφή: Θ. Ευθυμιόπουλος

N. Κωλέτσης

Μελέτη: Γ. Χατζηγιάννης

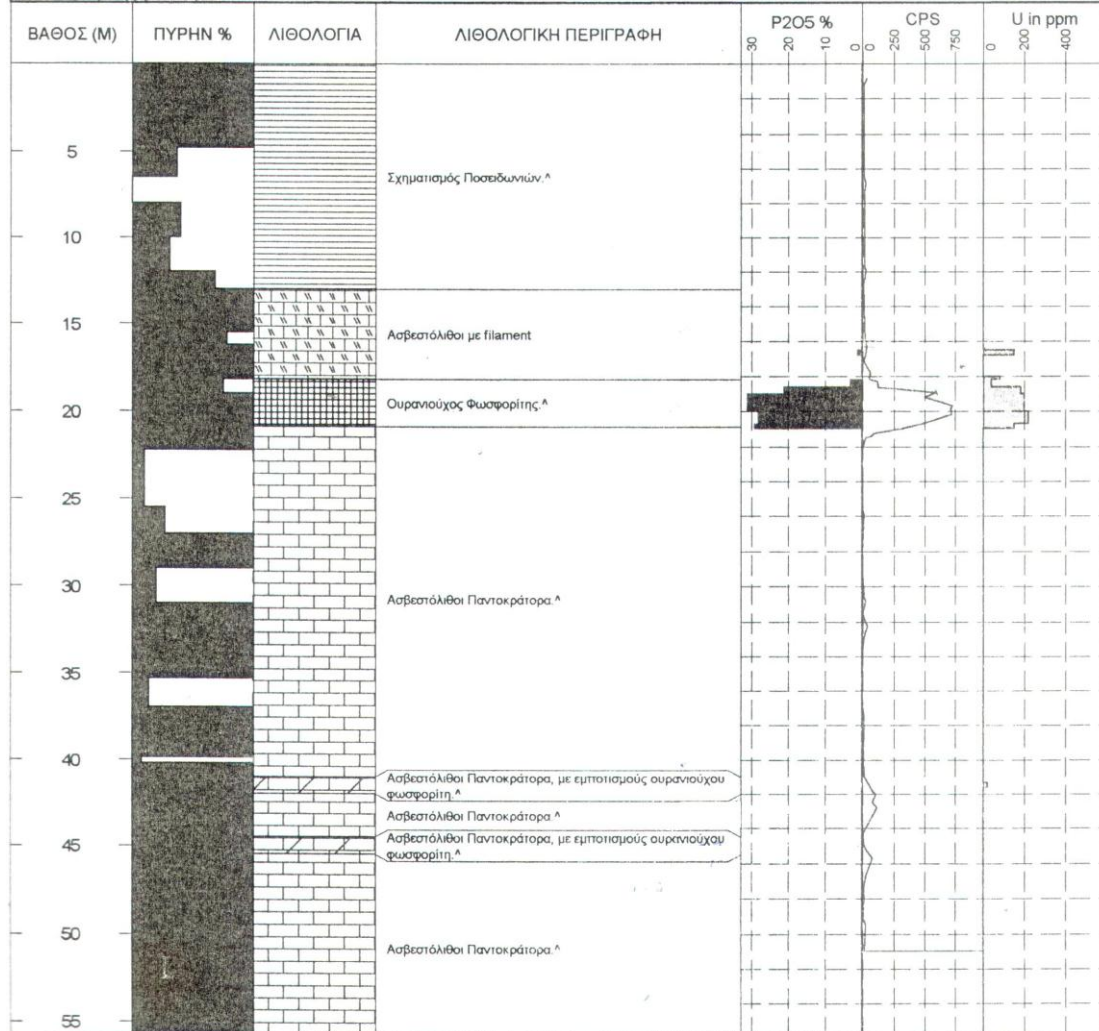
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F16

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 36.50 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2761.87 ΥΥ = 21796.6 ΖΖ = 736.200

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιάδης

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης

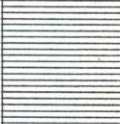
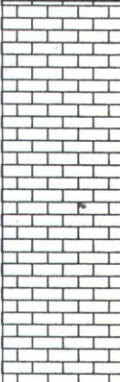
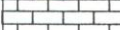
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου

ΒΑΘΟΣ (M)	ΠΥΡΗΝ %	ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	P2O5 %			CPS			U in ppm		
				30	20	10	250	500	750	0	200	400
5			Σχηματισμός Ποσειδωνίων.Λ									
10			Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα.Λ									
15												
20												
25												
30			Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα, με εμποτισμούς ουρανίουχου φωσφορίτη.Λ									
35			Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα.Λ									

ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F17

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 35.00 Μ

Συντεταγμένες ΧΧ = -2684.17 ΥΥ = 21787.3 ΖΖ = 768.170

Περιγραφή : Θ. Ευθυμίουπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

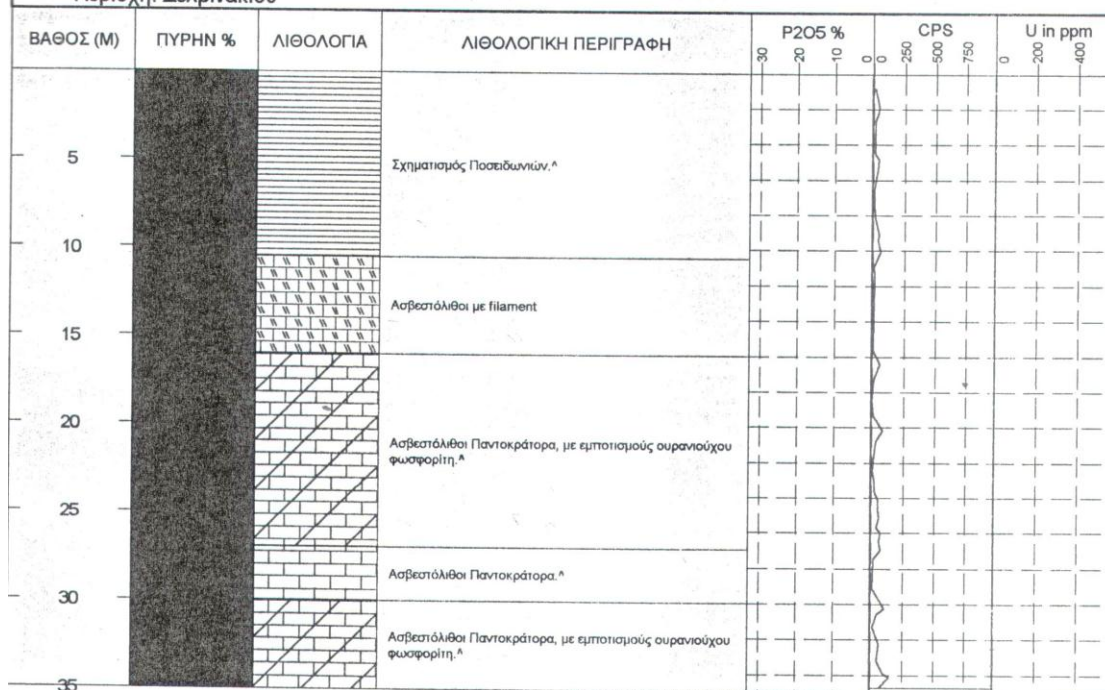
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινακίου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F18

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 350

ΒΑΘΟΣ 0.00 Μ - 60.00 Μ

Συντεταγμένες ΧΧ = -2577.75 ΥΥ = 21789.7 ΖΖ = 779.810

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάννης

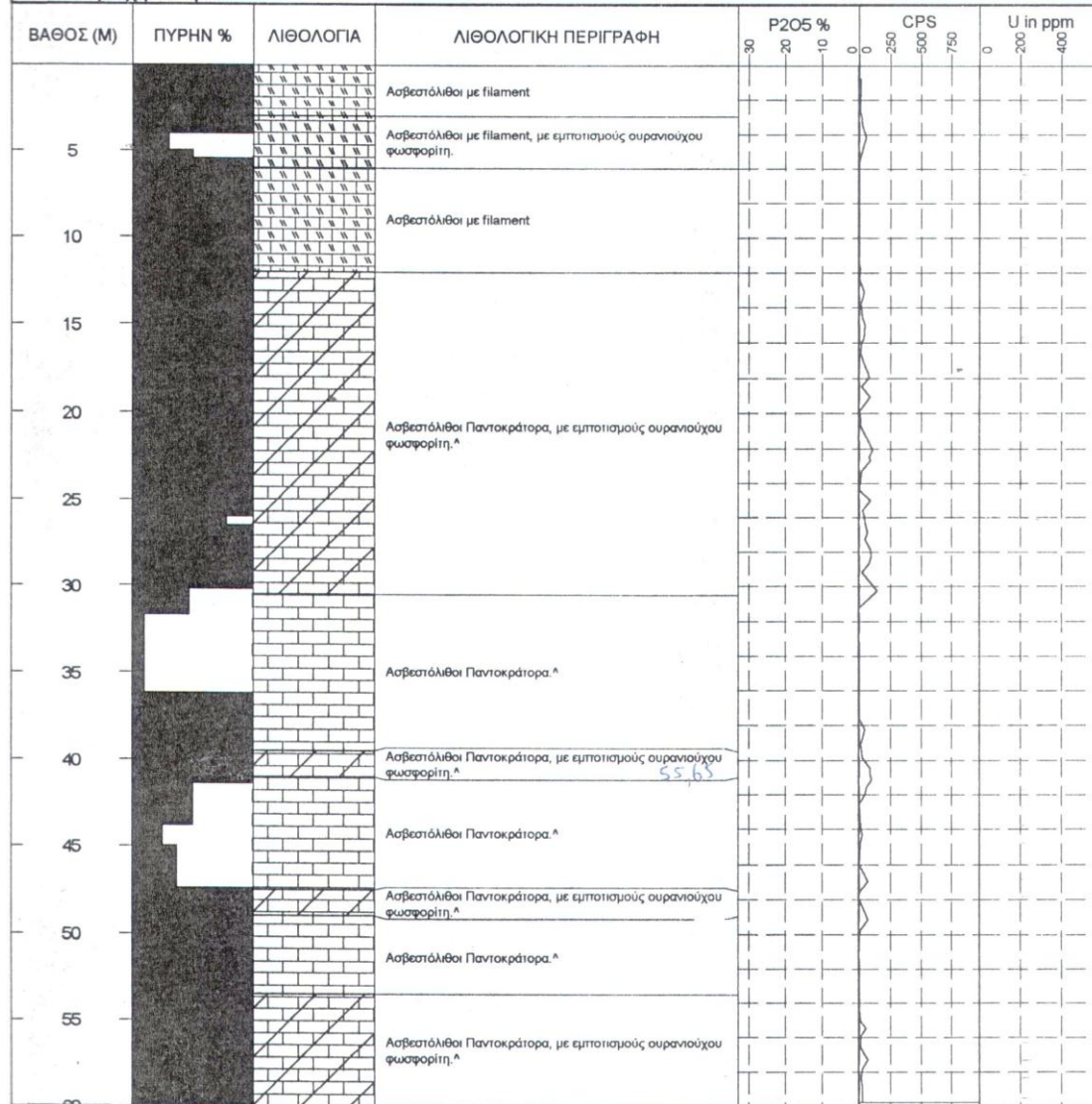
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινάκιου



ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F19

ΚΛΙΜΑΚΑ 1 / 500

ΒΑΘΟΣ 0.00 M - 121.39 M

Συντεταγμένες ΧΧ = -2641.42 ΥΥ = 21610.2 ΖΖ = 731.800

Περιγραφή : Θ. Ευθυμιόπουλος

Ν. Κωλέτσας

Μελέτη : Γ. Χατζηγιάνης

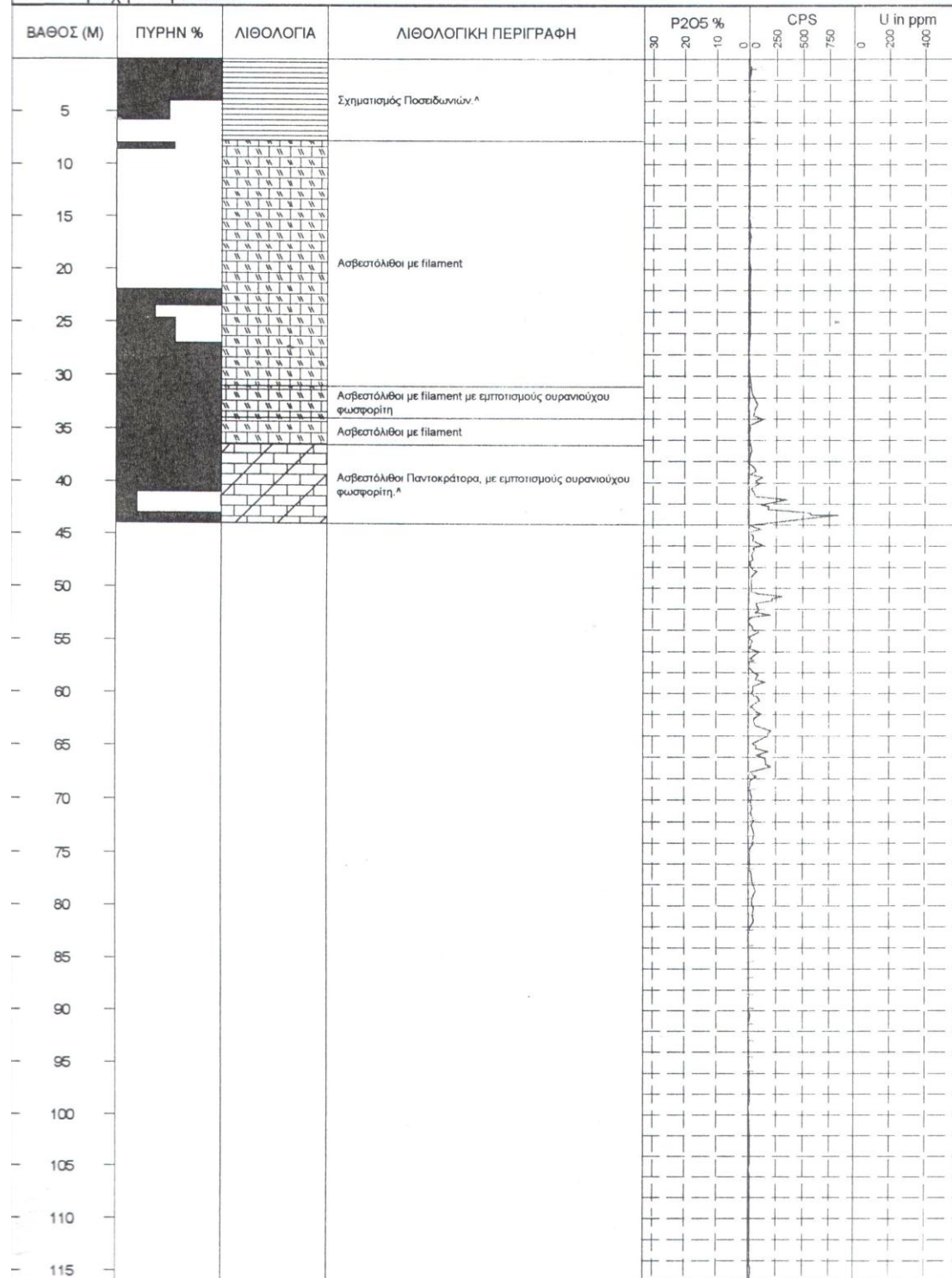
Π. Βέκιος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤ/ΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

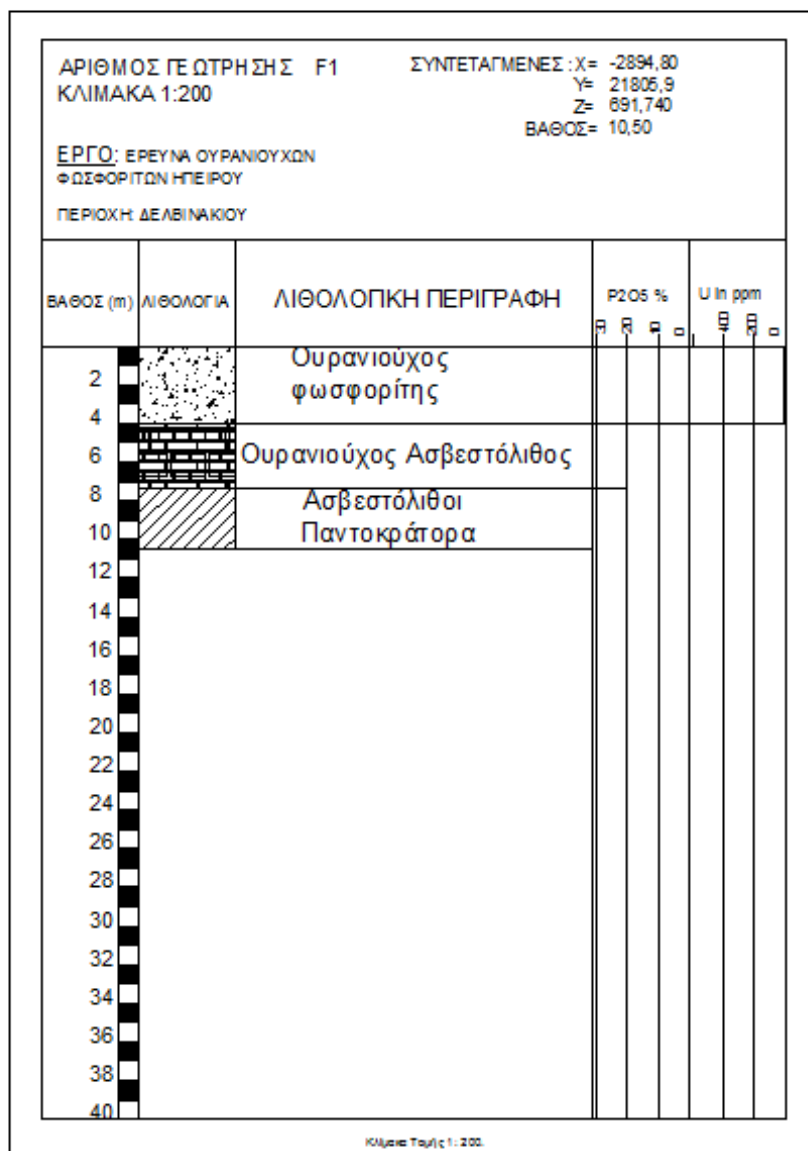
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

Περιοχή: Δελβινάκιου



ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ AUTOCAD

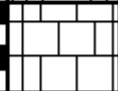
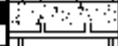


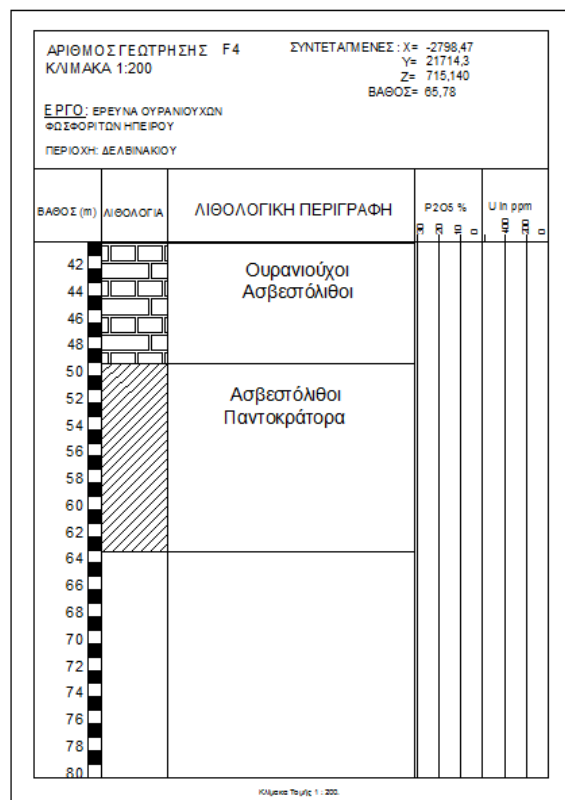
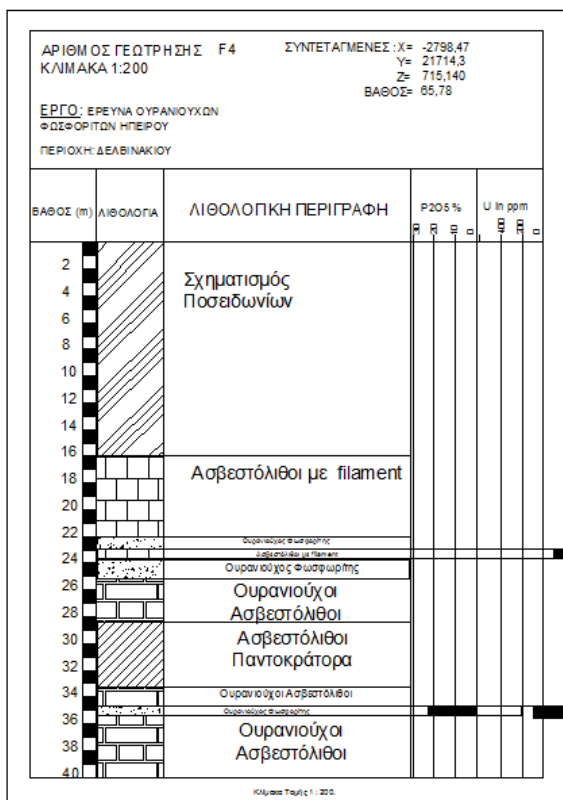
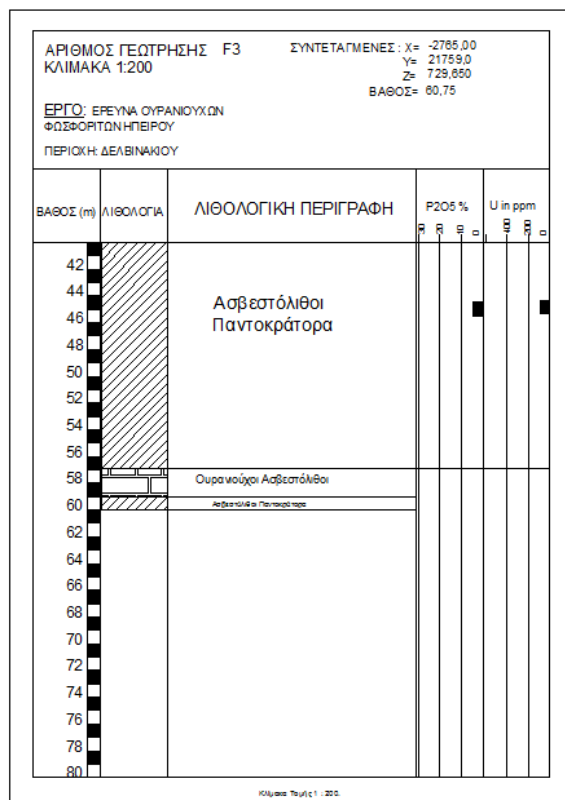
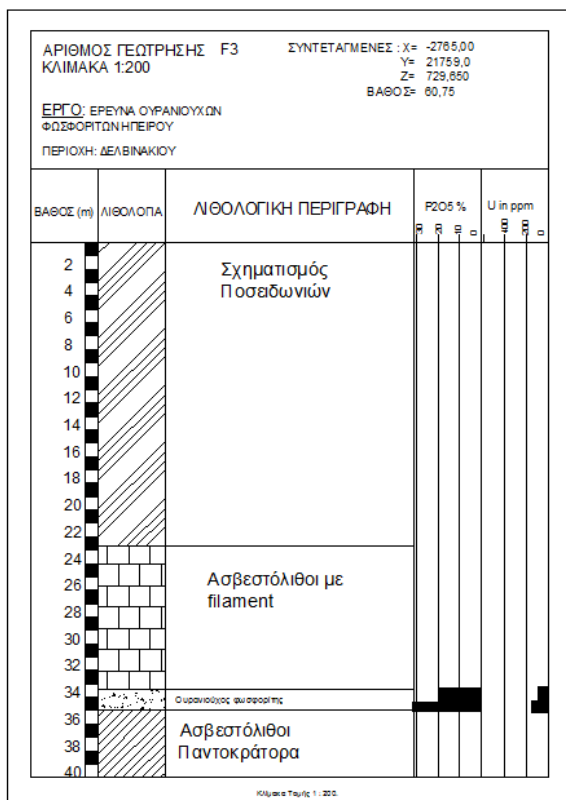
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ F2
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:200

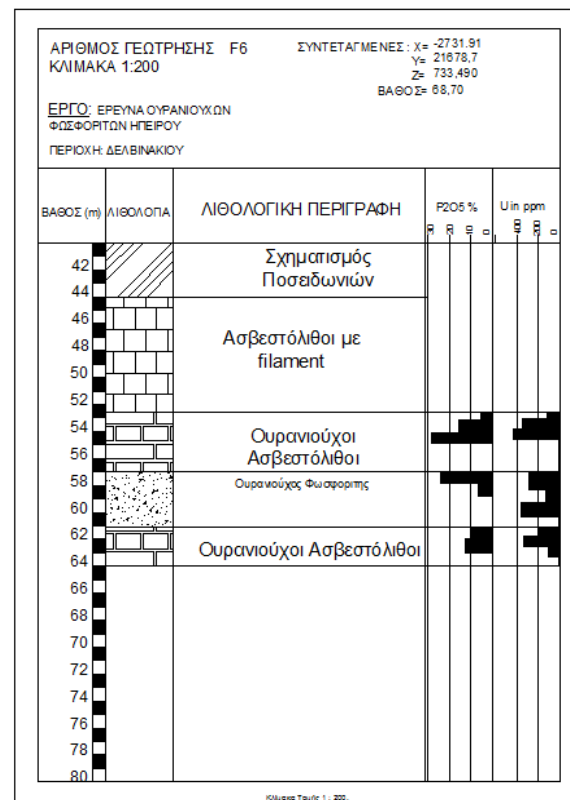
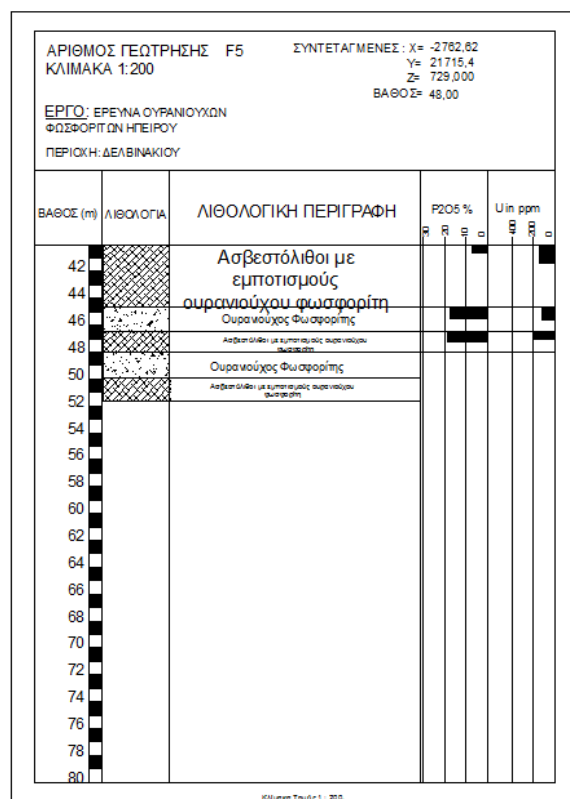
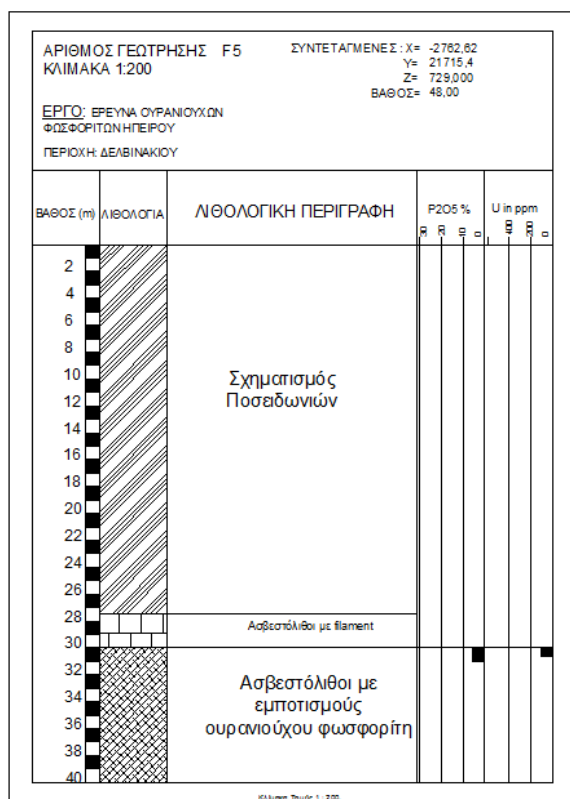
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ : Χ= -2817,20
Υ= 21758,5
Ζ= 705,200
ΒΑΘΟΣ= 25,00

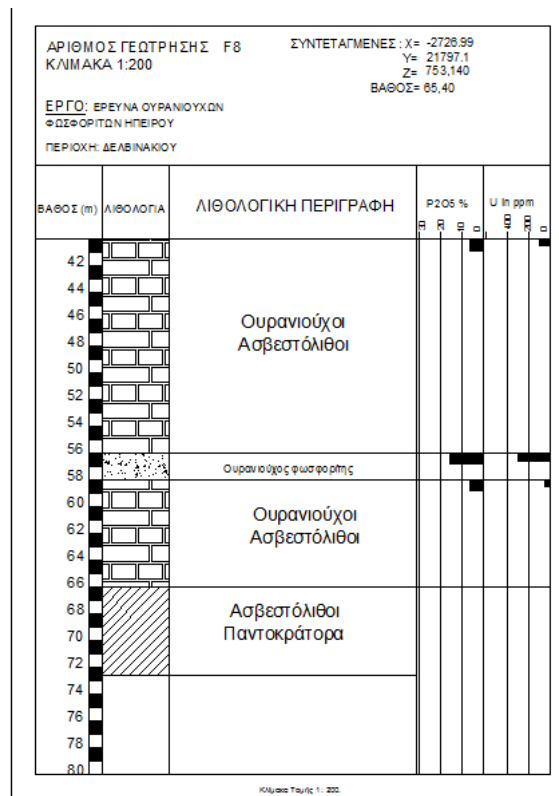
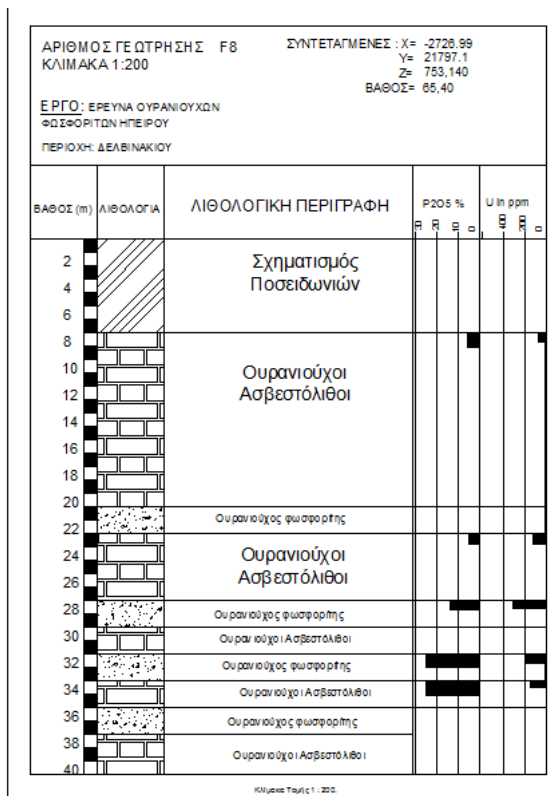
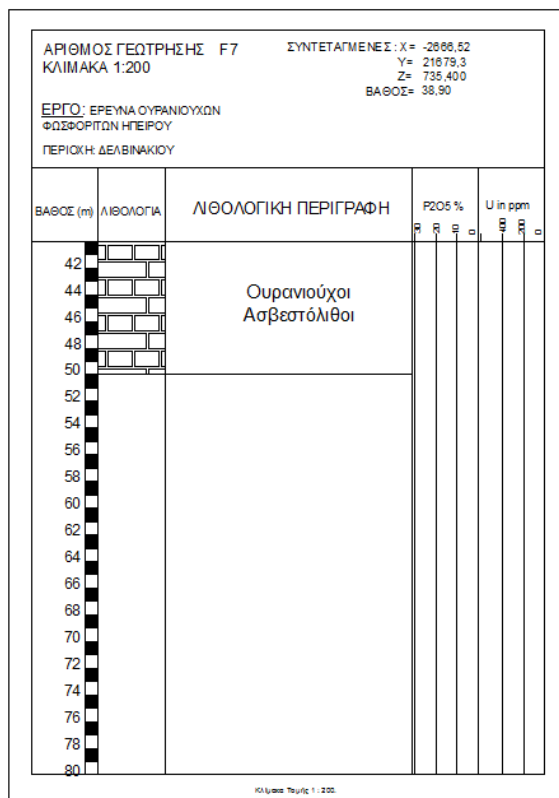
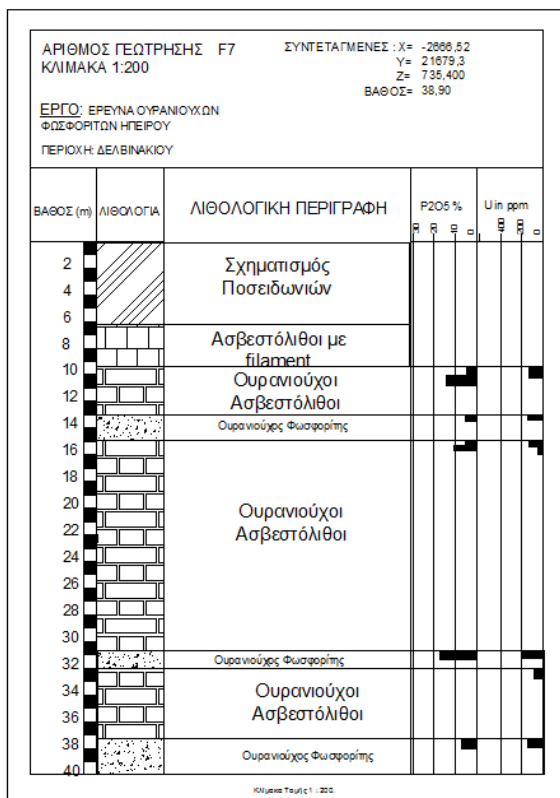
ΕΡΓΟ: ΕΡΕΥΝΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥΧΩΝ
ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ ΗΠΕΙΡΟΥ

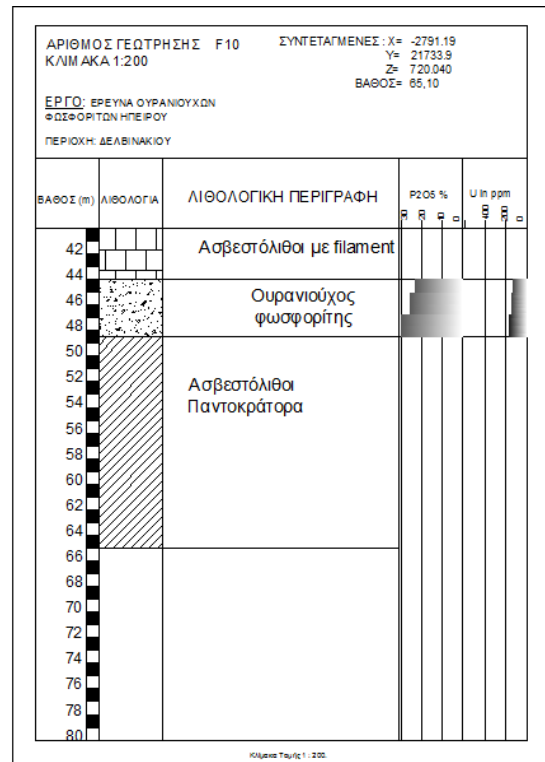
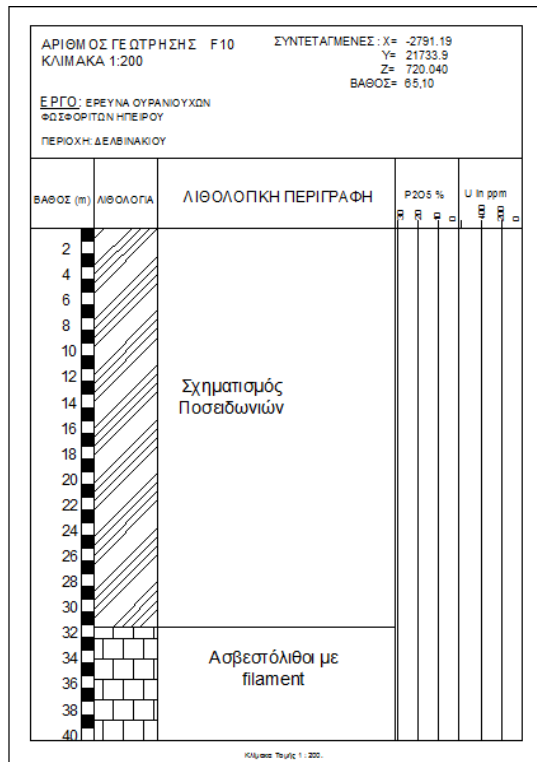
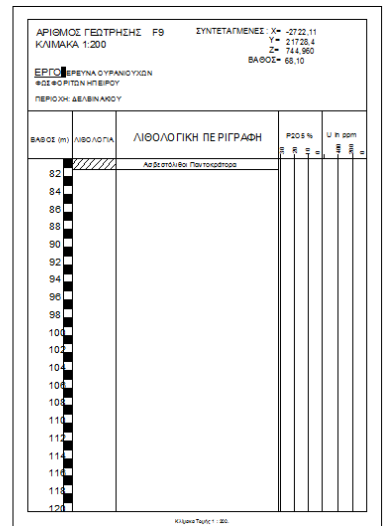
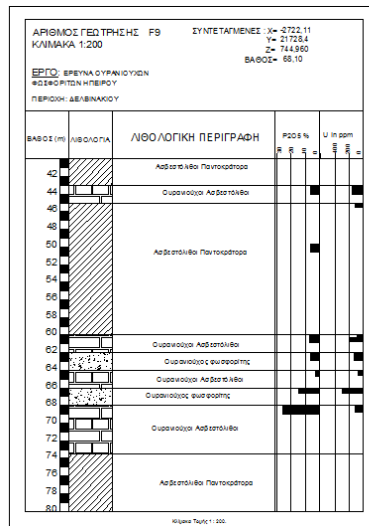
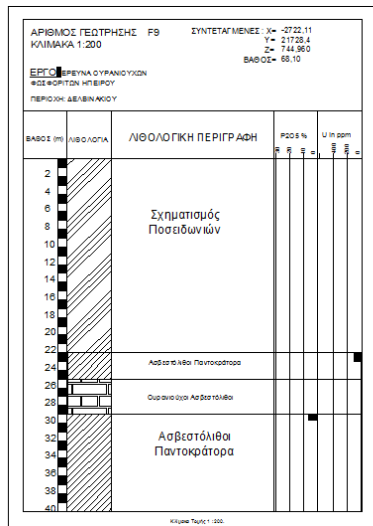
ΠΕΡΙΟΧΗ: ΔΕΛΒΙΝΑΚΙΟΥ

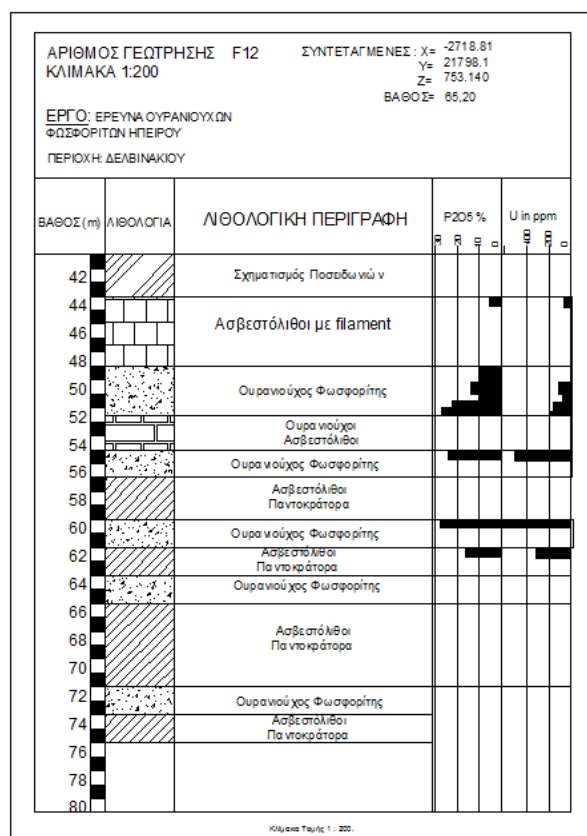
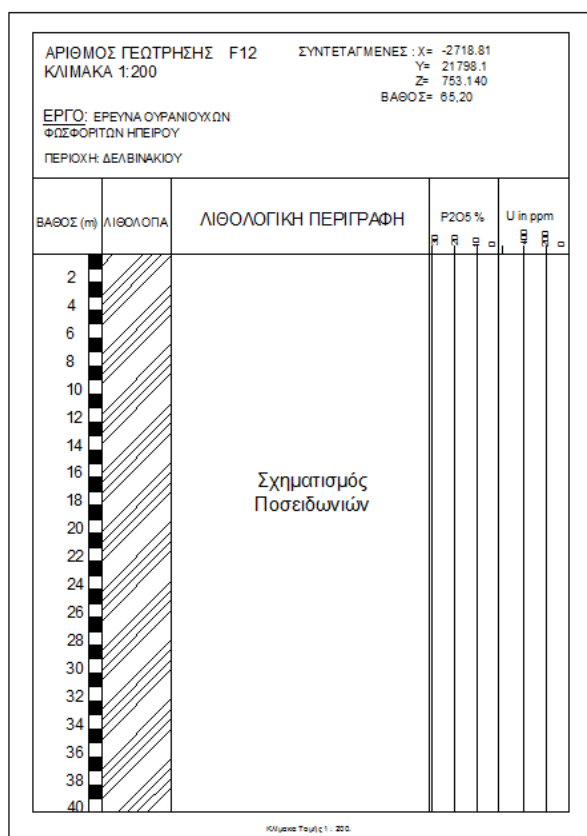
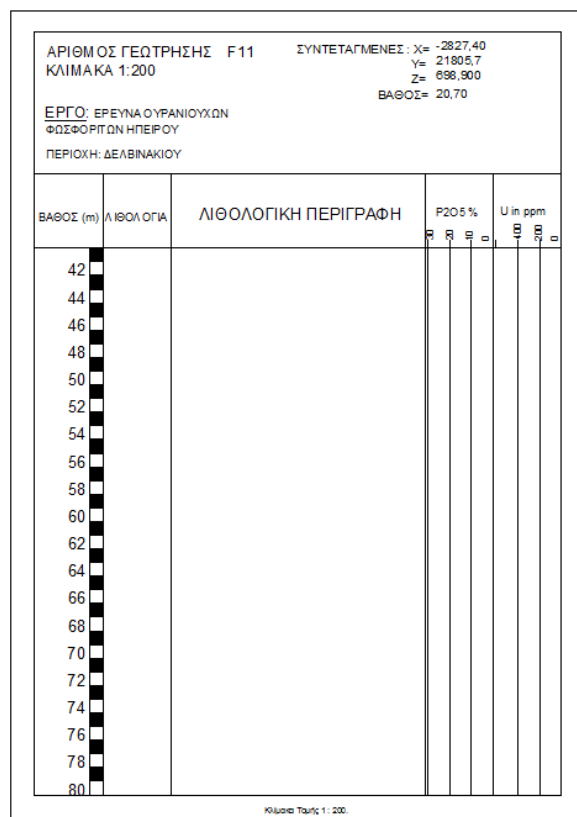
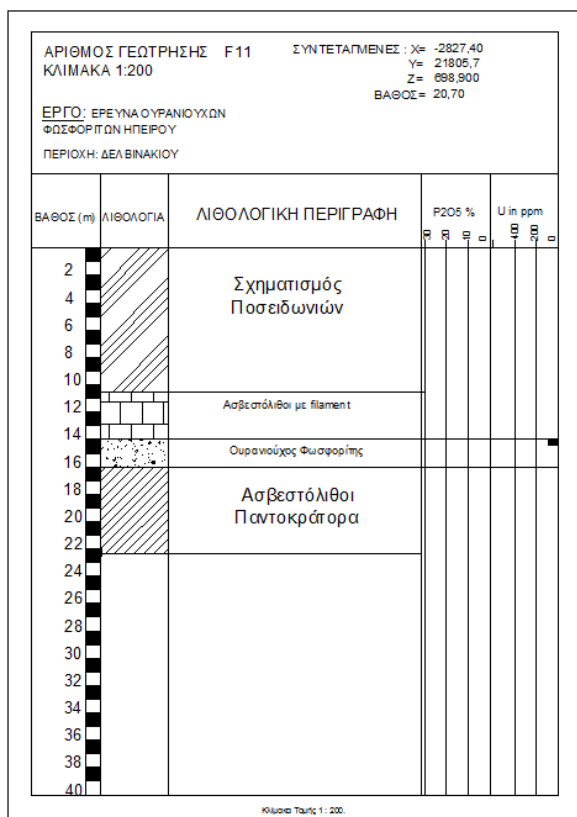
ΒΑΘΟΣ (m)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	P205 %				U in ppm			
			P	N	S	O	U	Y	Ca	
2		Σχηματισμός Ποσειδωνίων								
4										
6										
8										
10										
12		Ασβεστόλιθοι με filament								
14										
16										
18		Ουρανιούχος Φωσφορίτης								
20		Ουρανιούχος Ασβεστόλιθος								
22										
24										
26										
28										
30										
32										
34										
36										
38										
40										

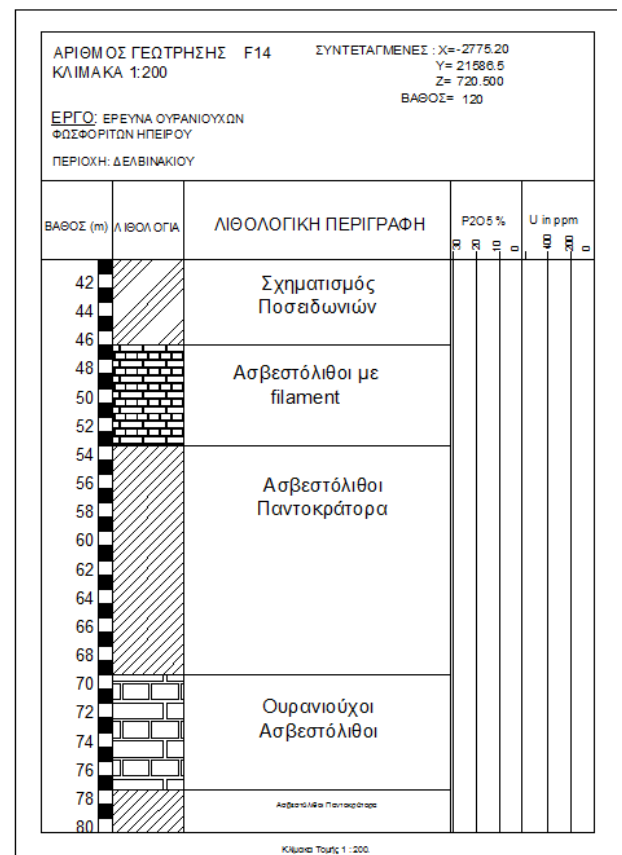
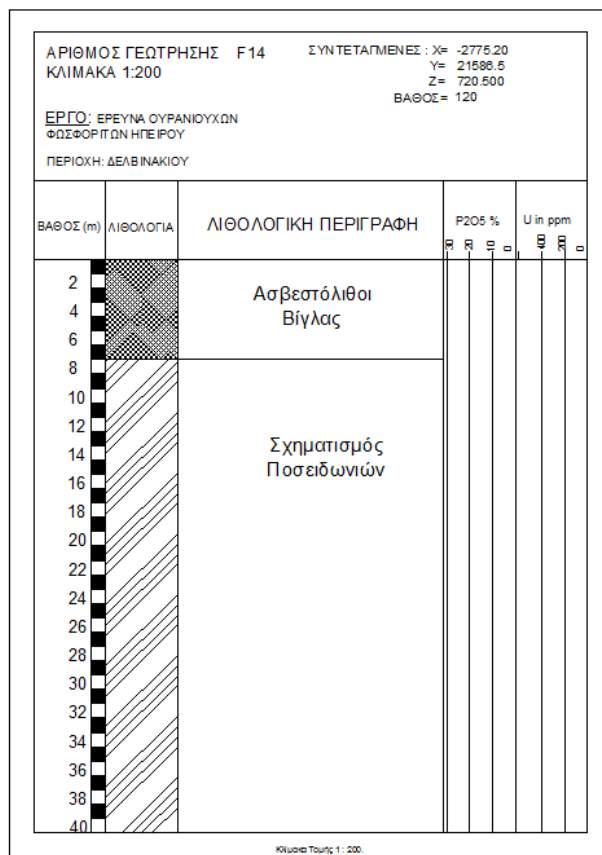
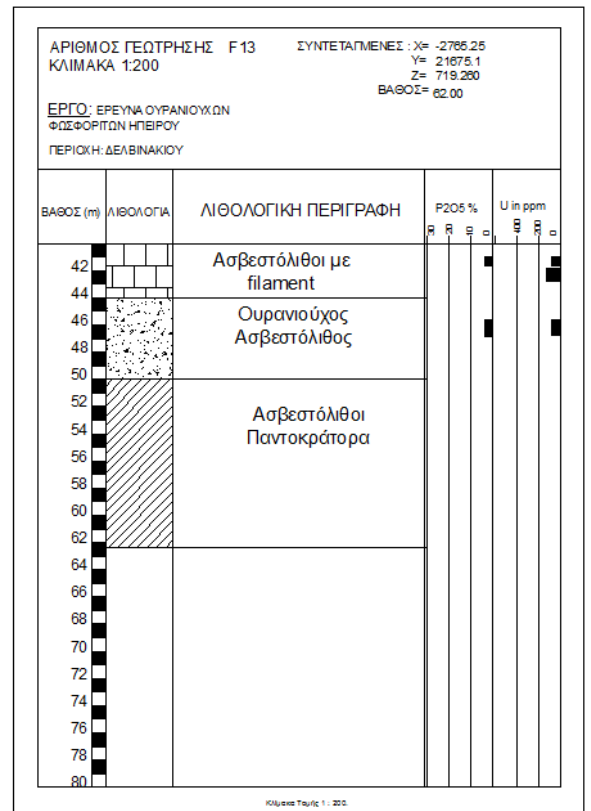
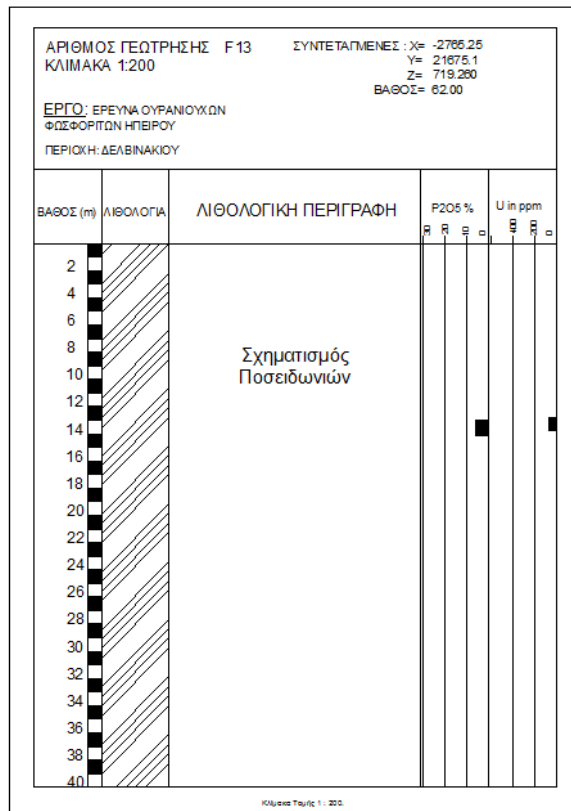


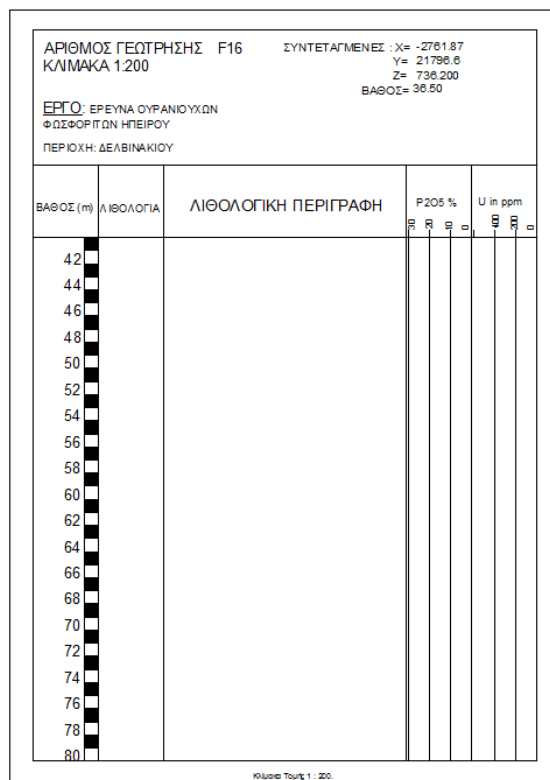
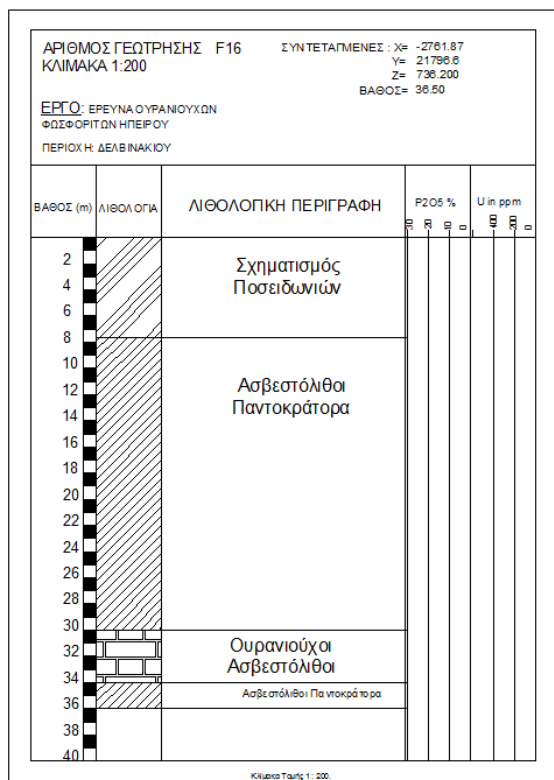
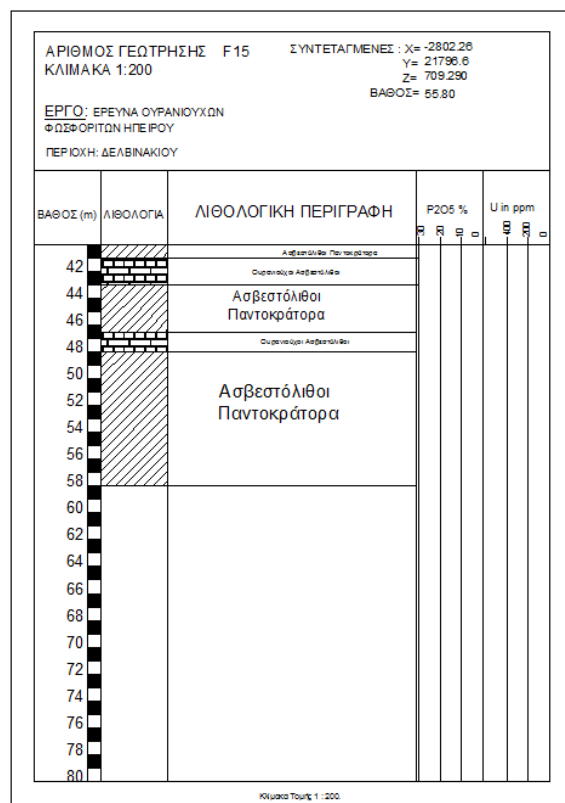
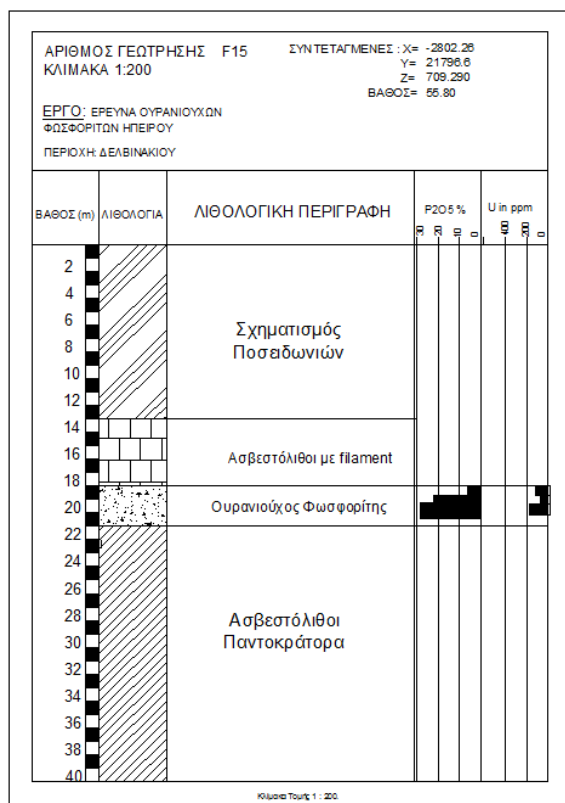


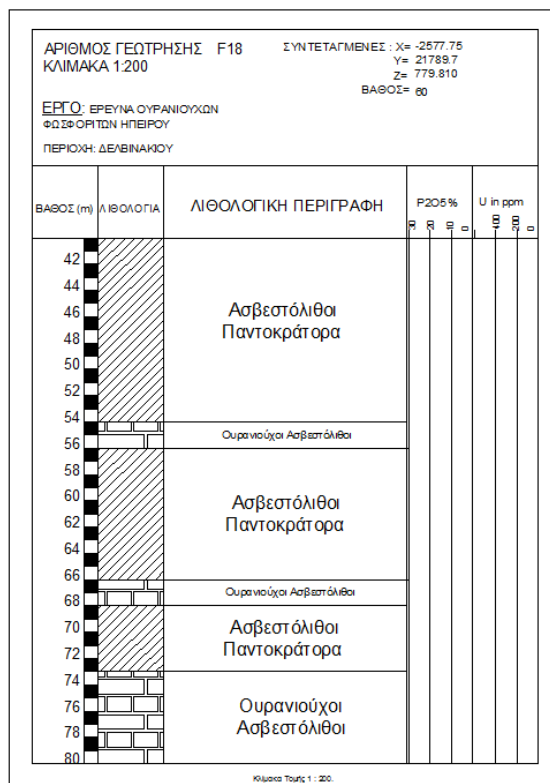
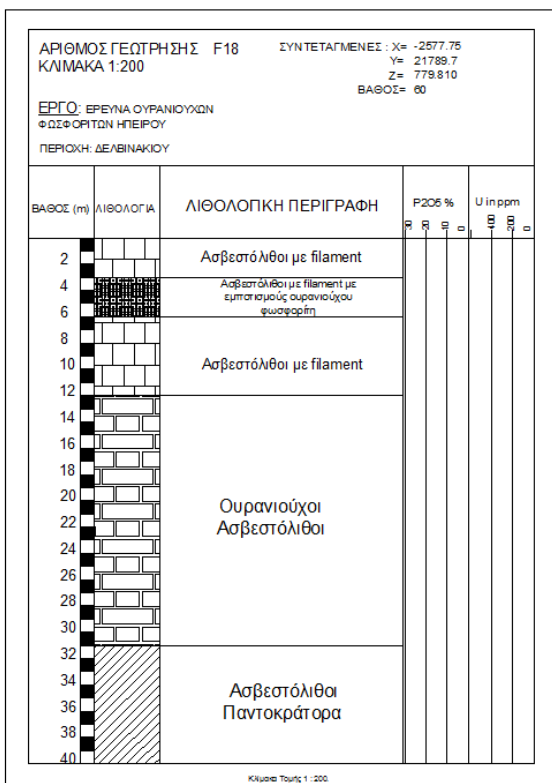
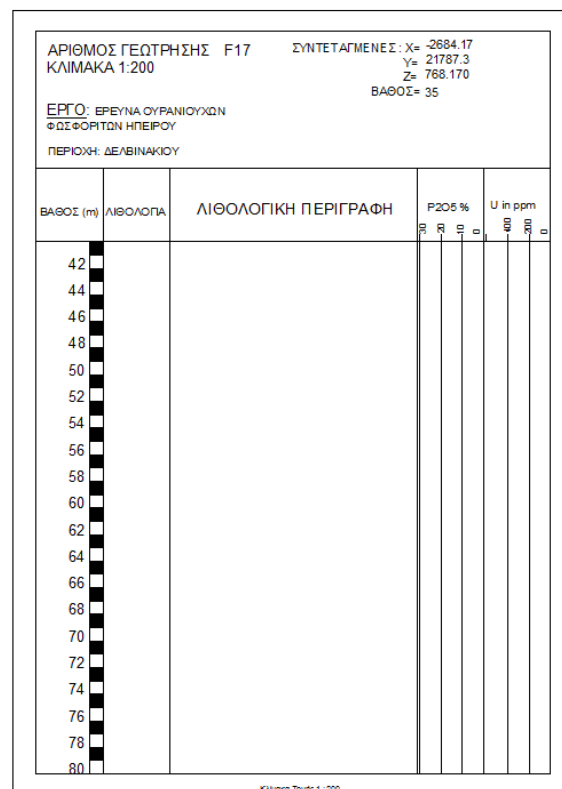
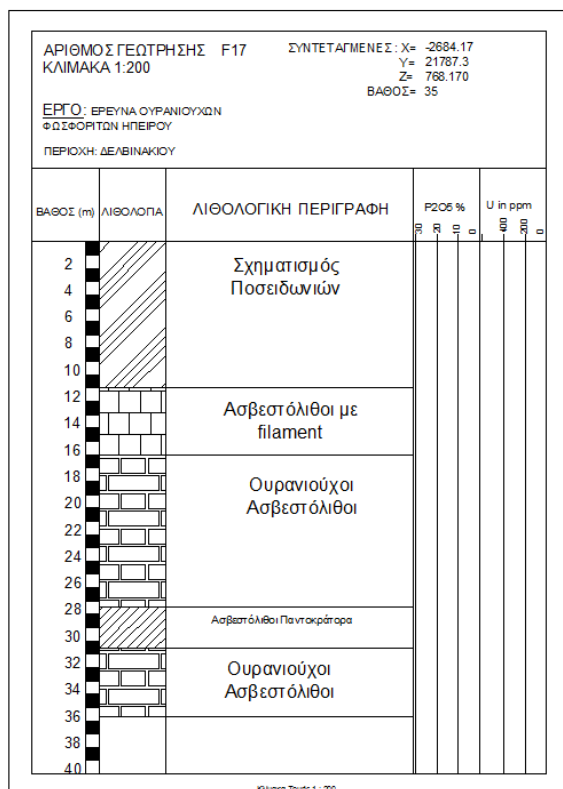


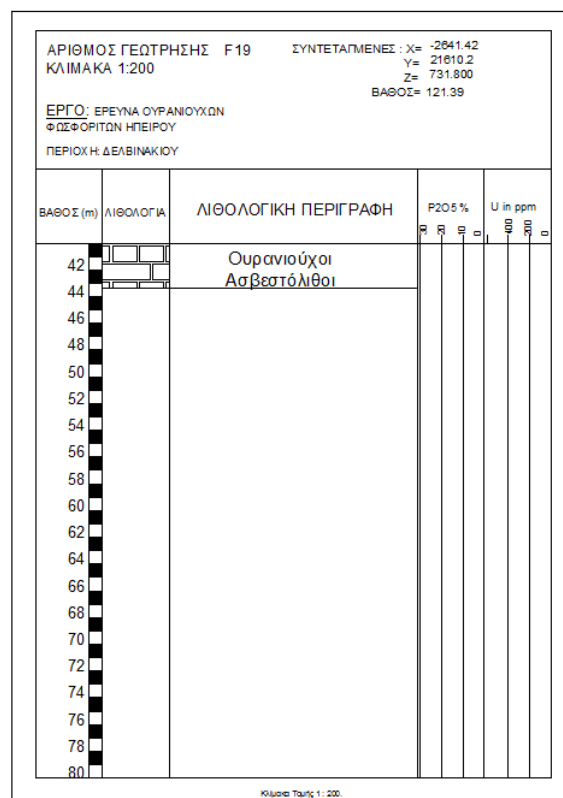
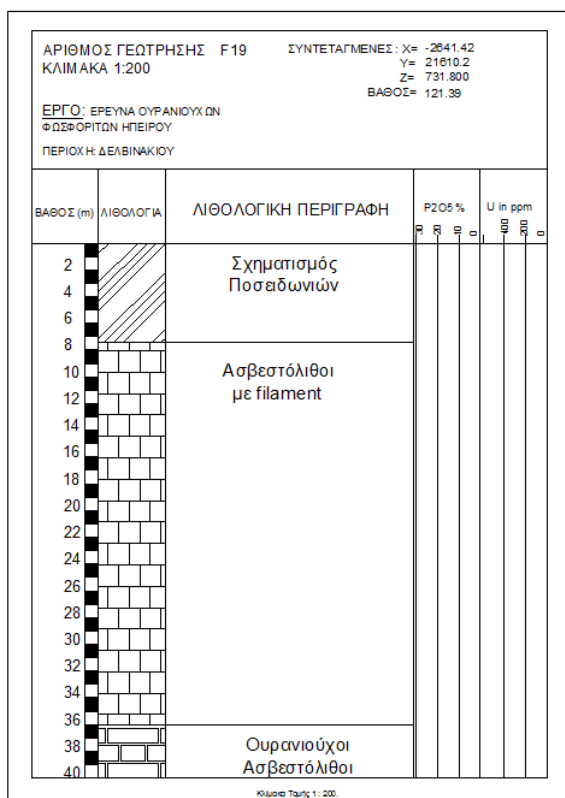




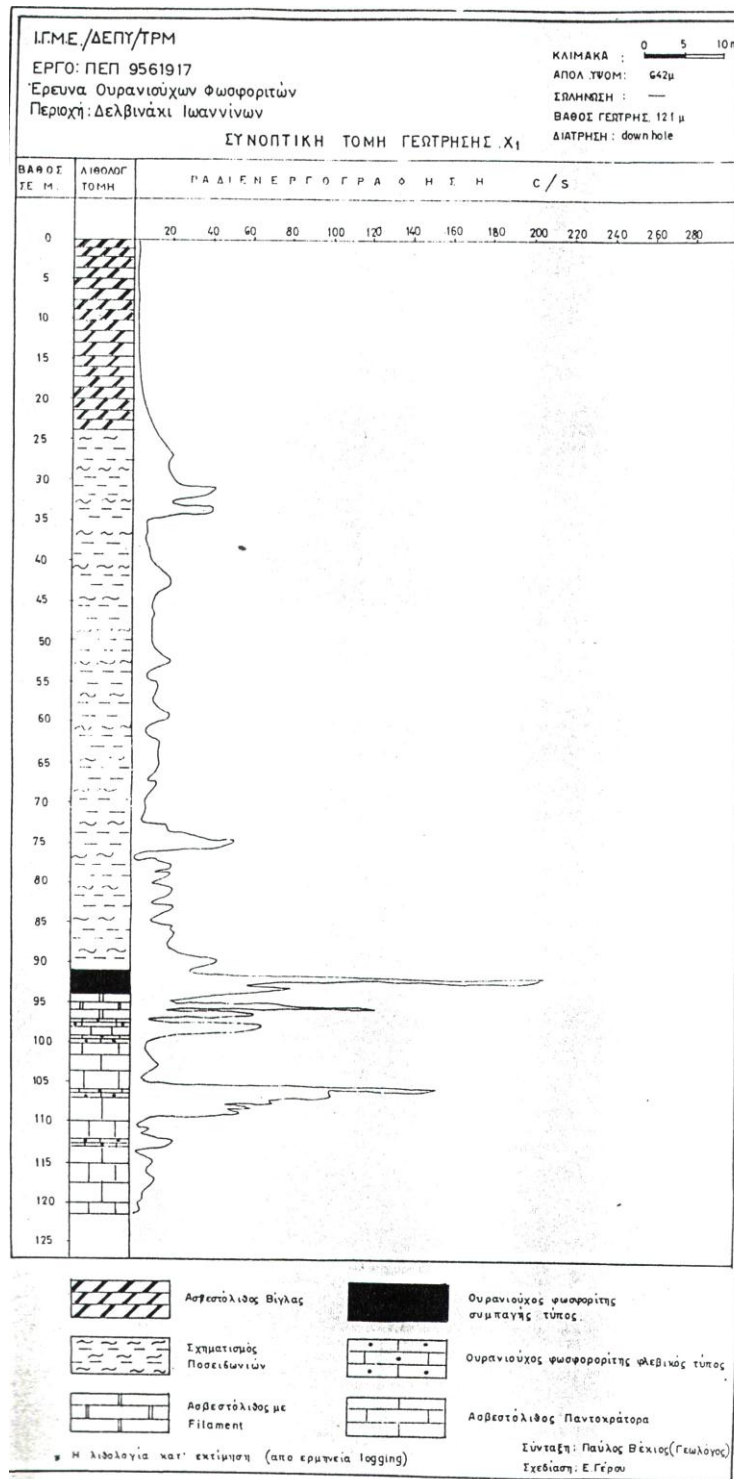


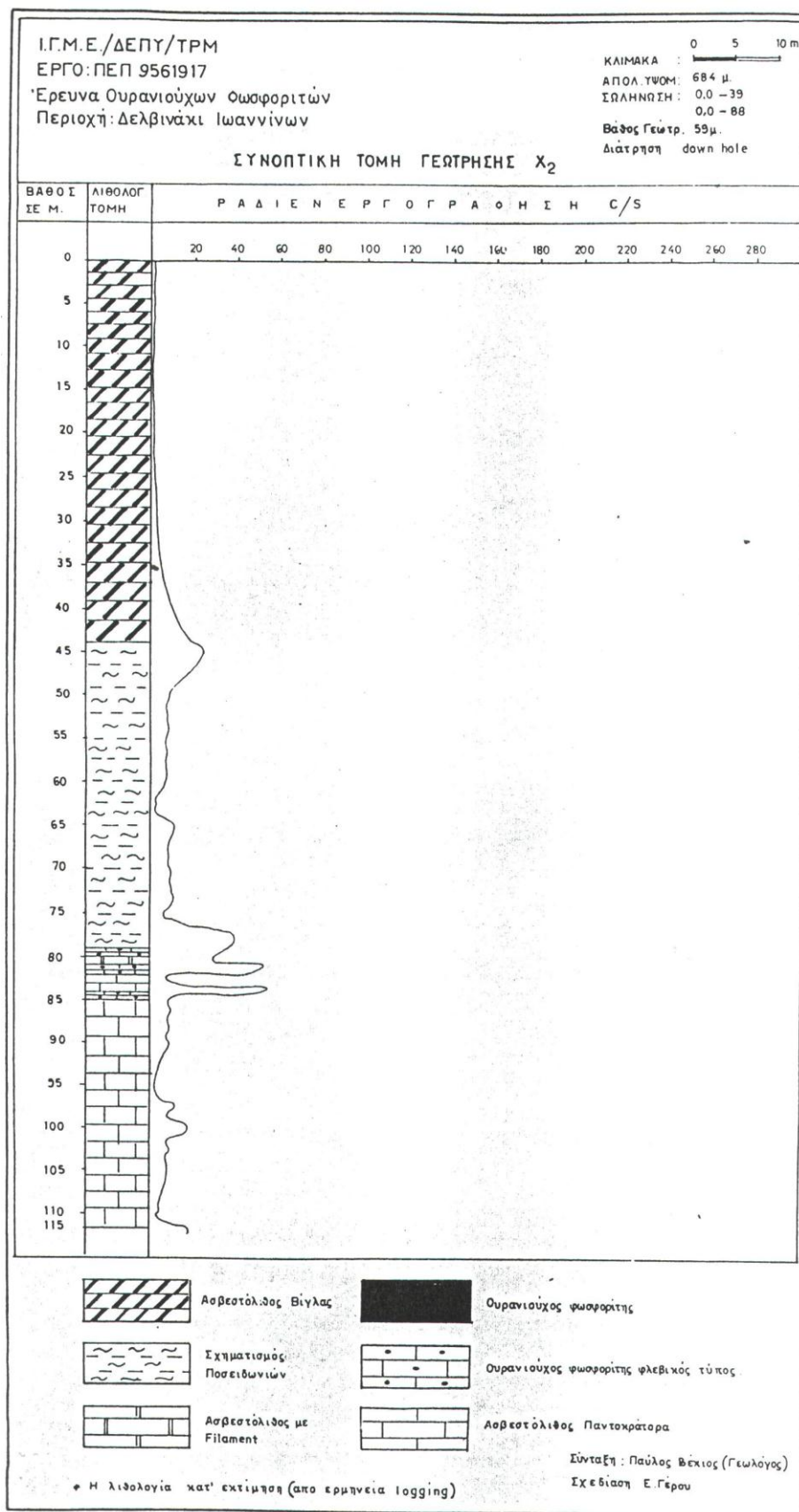






ΠΕΔΙΟ 2





Ι.Γ.Μ.Ε./ΔΕΠΥ/ΤΡΜ

ΕΡΓΟ: ΠΕΠ 9561917

Έρευνα Ουρανιούχων Φωσφοριτών

Περιοχή: Δελβινάκι Ιωαννίνων

ΚΑΙΜΑΚΑ 0 5 10 m

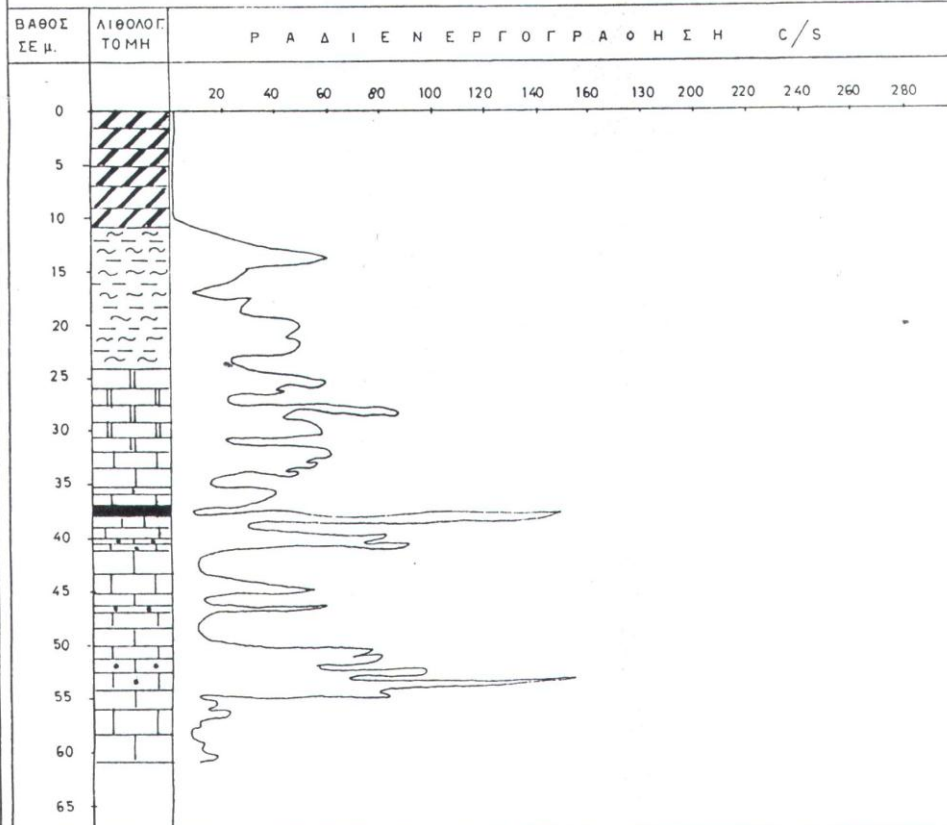
ΑΠΟΛΥΤΟ Μ. 715 μ

Σωλήνωση —

Βάθος Γεωτρ 61 μ

Διάτρηση down hole

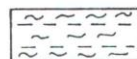
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Χ₃



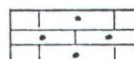
Ασβεστόλιθος Βίγλας



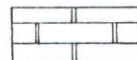
Ουρανιούχος φωσφορίτης



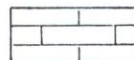
Σχηματισμός
Ποσειδωνιτών



Ουρανιούχος φωσφορίτης φλεβικός τύπος



Ασβεστόλιθος με
Filament



Ασβεστόλιθος Παντοκράτορα

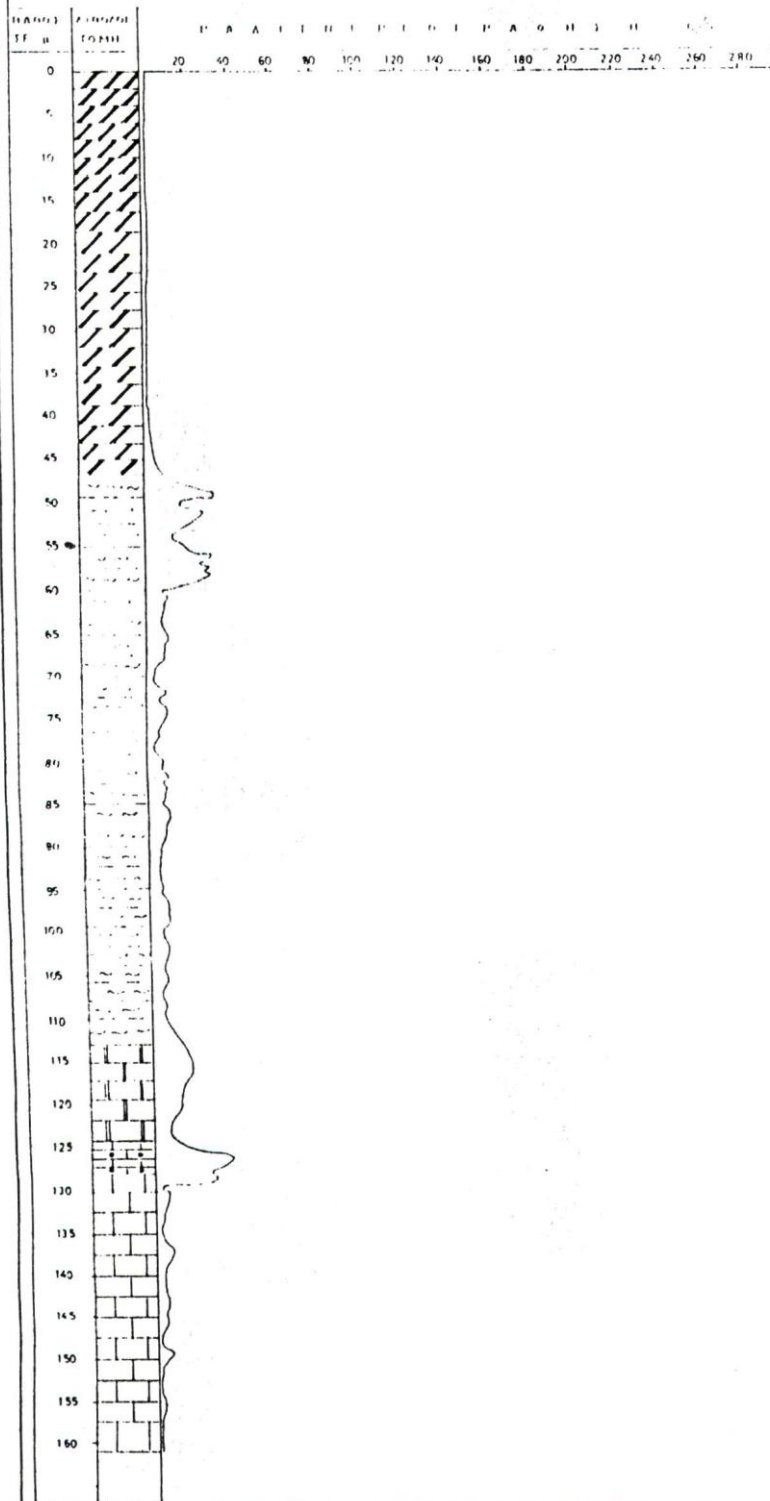
* Η λιθολογία κατ'επίκτηση (απο ερμηνεία logging)

Σύνταξη: Παύλος Βέκιος Γεωλόγος
Σχεδίαση: Ε. Γέρου

Ι.Γ.Μ.Ε./ΔΕΠΥ/ΤΡΜ
ΕΡΓΟ ΠΕΠ 9561917
Έρευνα Ουρανιούχων Φωσφοριτών
Περιοχή Δεελβινακι Ιωαννίνων

ΚΑΙΜΑΚΑ 0 5 10m
ΑΠΟΛ ΤΩΝΗ 215
Σωλήνας
Πλάτος Γεωτόμου 161.5 m
Ρυθμός Μεταφοράς 161 m
Διεύθυνση down hole

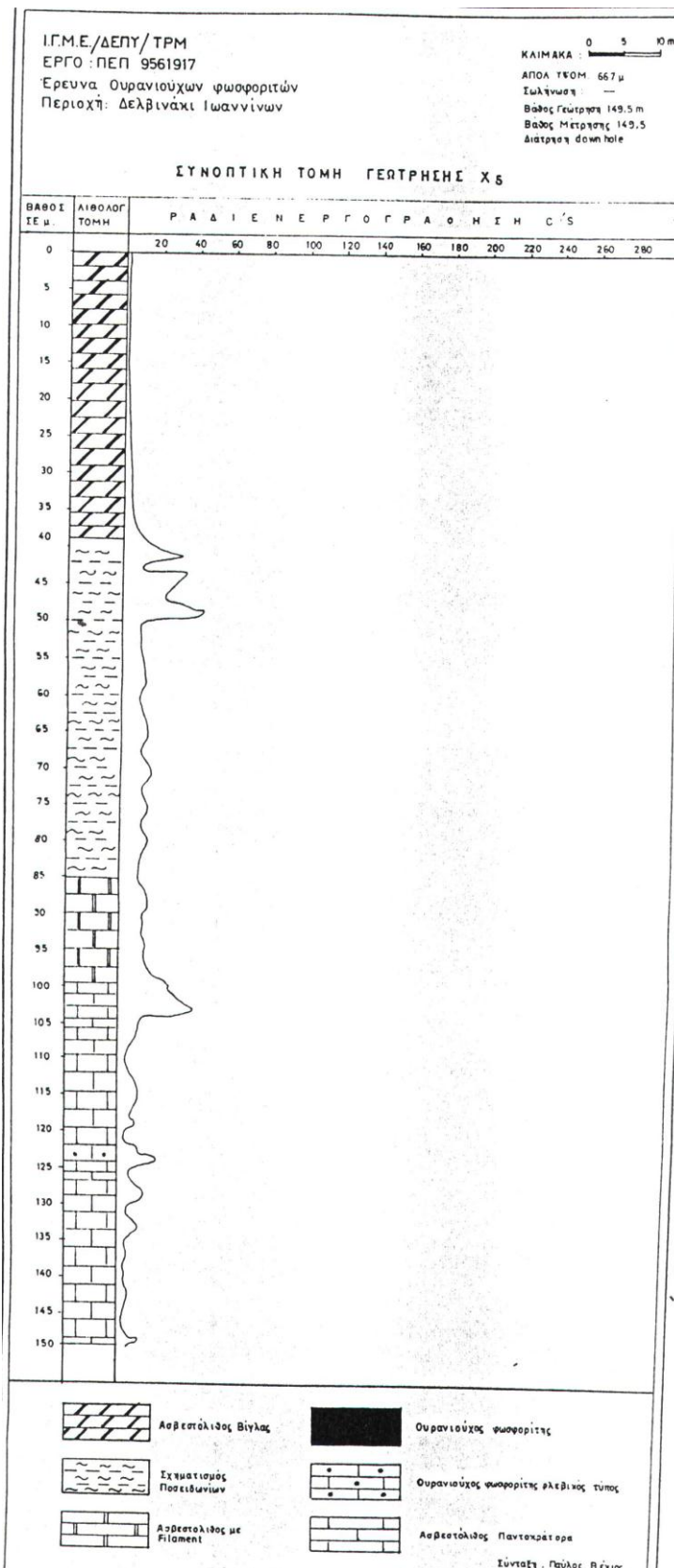
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Χ4



- | | | | |
|--|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| | Ασβεστοειδής βήλας | | Ουρανιούχος φωσφορίτης |
| | Σχηματισμός
Ποσειδωνίων | | Ουρανιούχος φωσφορίτης φλεβικός τύπος |
| | Ασβεστοειδής με
Filament | | Ασβεστοειδής Παντοκράτορας |

* Η κλιμάκωση και εκτίμηση (από ερμηνεία logging)

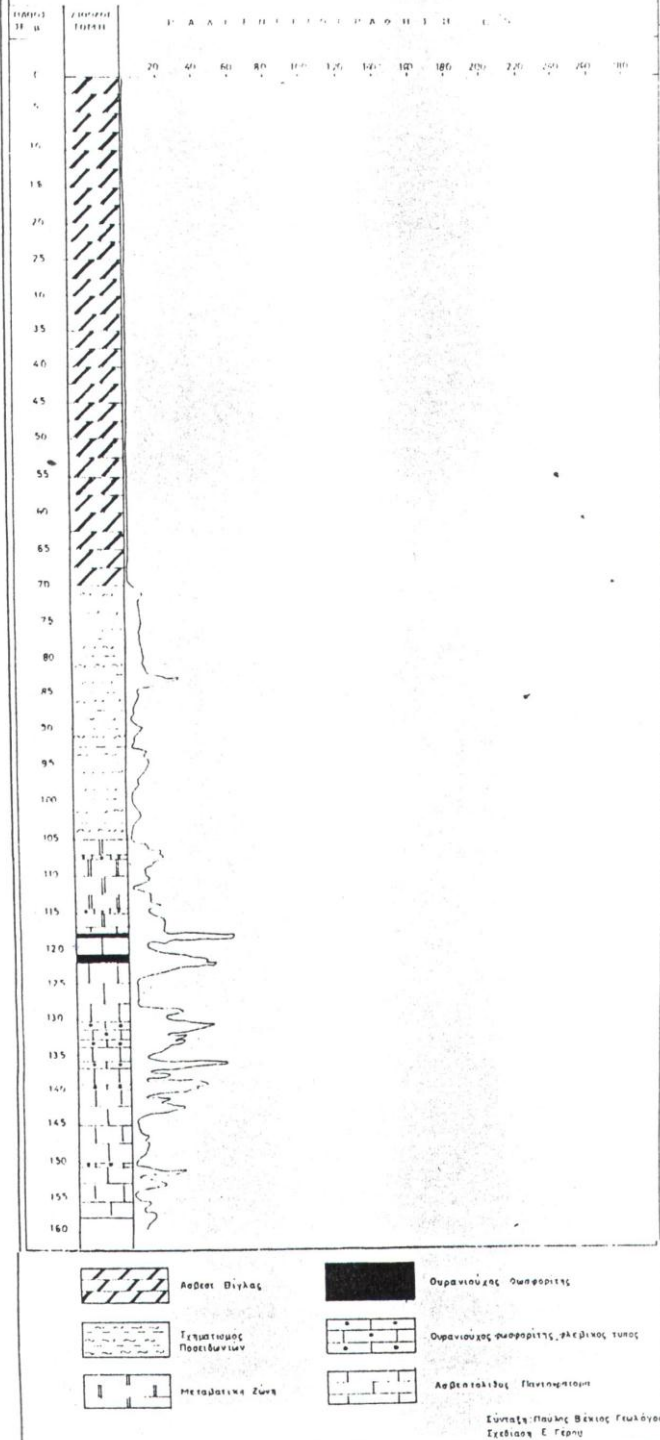
Εύνοιας Πάβλος Βραυός (Γραμμή)
Σχεδίαση Ε. Γεωργίου



Ι.Γ.Μ.Ε./ΔΕΠΥ/ΤΡΜ
ΕΡΓΟ: ΠΕΠ 9561917
Έρευνα Ουρανιούχων Ωσφοριτών
Περιοχή: Δελβινάχι Ιωαννίνων

ΚΑΙΜΑΚΑ 0 5 10 m
ΑΠΟΛ ΤΩΘΗ 714 μ
Γωλήματα 00m - 16050 BW
000m - 47m BW
Πλάτος Γωλήτ 141m
Πλάτος Πυλ 158.40m
Διεύθυνση Δ. - Α. - Ε.

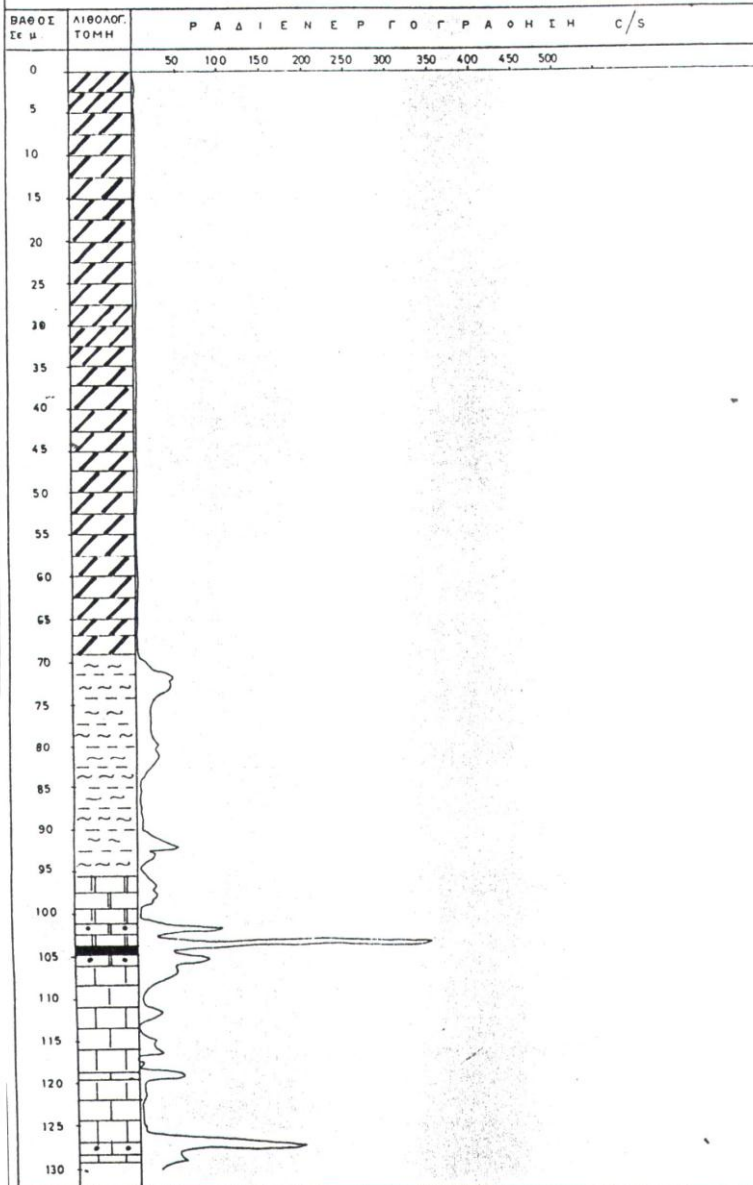
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Χ₆



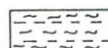
Ι.Γ.Μ.Ε./ΔΕΠΥ/ΤΡΜ
ΕΡΓΟ ΠΕΠ 9561917
Έρευνα Ουρανιούχων Φωσφοριτών
Περιοχή: Δελβιανάκι Ιωαννίνων

ΚΑΙΜΑΚΑ 0 5 10 m
ΑΠΟΛΥΤΩΜ: 753 μ
Σωλήνωση: 0 - 12 m HW
Βάθος Γεώτρ: 131 m
Βάθος Μετρη: 128,50 m
Διάτρηση: down hole

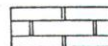
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Χ₇



Ασβεστόλιτος Βίγλας



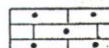
Σχηματισμός
Πασειδυνίων



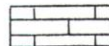
Ασβεστόλιθος με
Filament



Ουρανιούχος Φωσφορίτης



Ουρανιούχος φωσφορίτης, φλεβικός τύπος

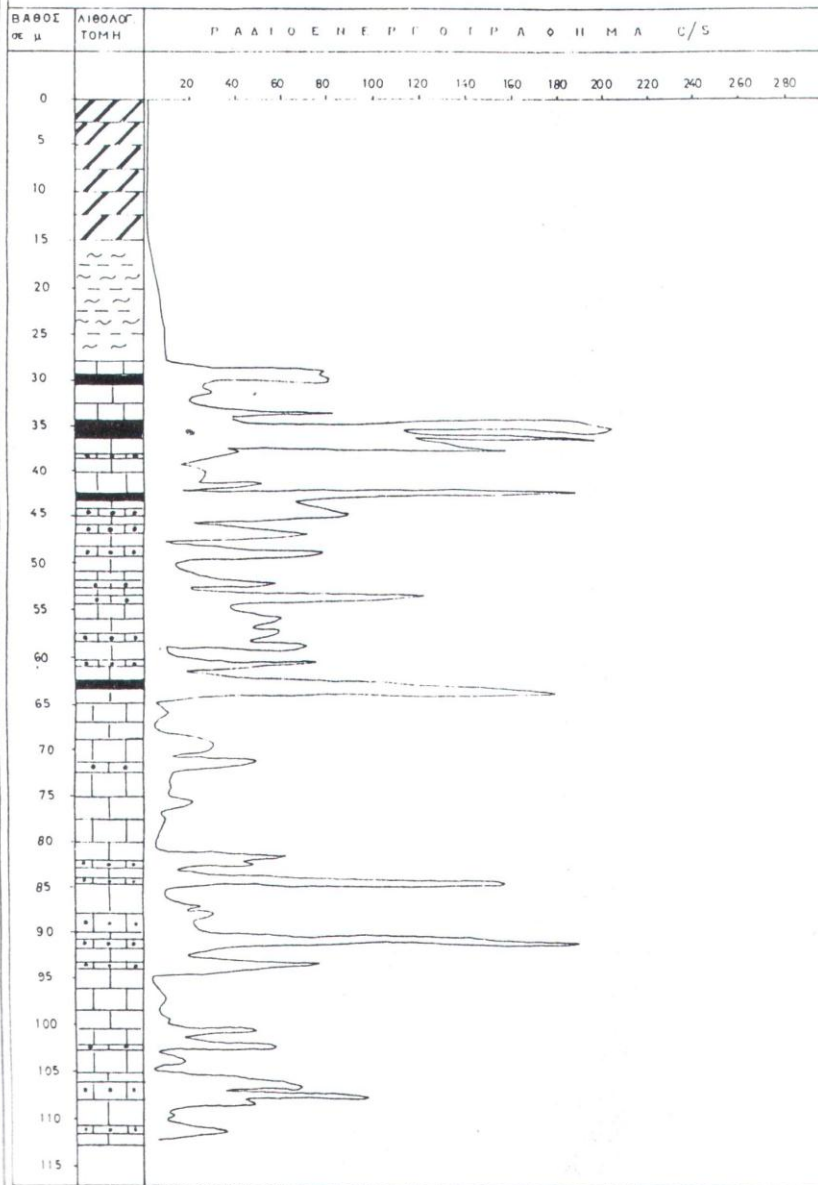


Ασβεστόλιθος Παντοκράτορα

ΙΓΜΕ/ΔΕΠΥ/ΤΡΜ
ΕΡΓΟ: ΠΕΠ 9561917
Έρευνα Ουρανιοϋχων φωσφοριτών
Περιοχή: Δελβινάκι Ιωαννίνων

ΚΑΙΜΑΚΑ 0 5 10 m
ΑΠΟΛΥΤΟΜΗ 753 μ.
Σωλήνωση —
Βάθος Γεώτρησης 112.5
Λιείρηση down hole

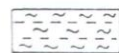
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΧΒ



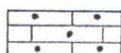
Ασβεστ. Βιγίλος



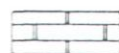
Ουρανιούχος Φωσφορίτης



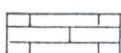
Σχηματισμός Πασειδωνικών



Ουρανιούχος φωσφορίτης φλεβικός τύπος



Μεταβατική ζώνη



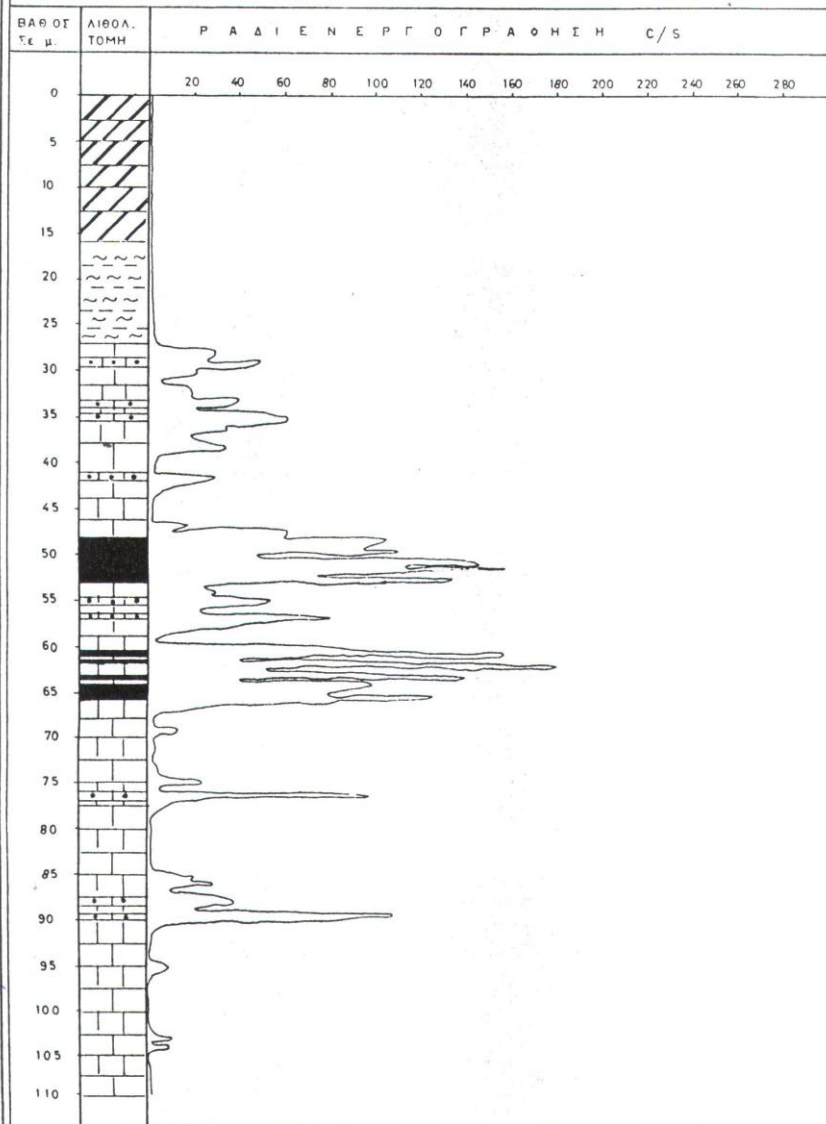
Ασβεστόλιθος Παντοκράτορα

Σύνταξη: Πάυλος Βέκκος/Γεωλόγος
Σχεδίαση: Ε. Γερου

Ι.Γ.Μ.Ε./ΔΕΠΥ/ΤΡΜ
ΕΡΓΟ: ΠΕΠ 9561917
Έρευνα Ουρανιούχων Οσφοριτών
Περιοχή: Δελβιναχι Ιωαννίνων

ΚΛΙΜΑΚΑ 0 5 10 m
ΑΠΟΛ. ΤΩΟΜ. 750 μ
Σωλήνωση
Βάθος Γεώτρ.
Διάτρηση down hole

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Χ9



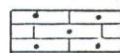
Ασβεστόλιθος Βίγλας



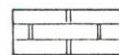
Ουρανιούχος φωσφορίτης



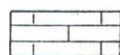
Σχηματισμός
Σφαιερικών



Ουρανιούχος φωσφορίτης φλεβικός τύπος



Ασβεστόλιθος με
Filament



Ασβεστόλιθος Παντοκράτορα

Η λιθολογία κατ' εκτίμηση από κρημνεία

Σύνταξη: Ι. Παύλος Βέκιος Γεωλόγος
Σχεδίαση: Ε. Γέρου