

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



**Μοντελοποίηση και υπολογισμός αποθεμάτων του λιγνιτικού
κοιτάσματος Κομνηνών Δ. Μακεδονίας**

Διπλωματική Εργασία

Σαμιώτης Εμμανουήλ

Συμβουλευτική Επιτροπή

Καθηγητής Ζ. Αγιουτάντης (επιβλέπων)

Αναπλ. Καθηγητής Μ. Γαλετάκης

Δρ. Χρ. Ρούμπος

Χανιά

Σεπτέμβριος, 2012

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

«Μοντελοποίηση και υπολογισμός αποθεμάτων του λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών Δ. Μακεδονίας»

Περίληψη

Η σημασία του γαιάνθρακα για την παγκόσμια οικονομία καταδεικνύεται από το γεγονός ότι το 37% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 67% της παγκόσμιας παραγωγής σιδήρου και χάλυβα στηρίζεται στη χρήση του γαιάνθρακα.

Στην Ελλάδα η ραγδαία αύξηση στην εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τα τελευταία 40 χρόνια βασίστηκε κυρίως στο λιγνίτη, η εκμετάλλευση του οποίου συντελείται σήμερα στα επιφανειακά λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ (Πτολεμαΐδα, Φλώρινα, Αμύνταιο, Μεγαλόπολη), με μεγαλύτερη παραγωγή σε αυτό της Δ. Μακεδονίας και της Μεγαλούπολης.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός γεωλογικού - μεταλλευτικού μοντέλου του λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών Δ. Μακεδονίας με βάση γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί από την ΔΕΗ Α.Ε. Το κοίτασμα Κομνηνών το οποίο απαντάται στη Δ. Μακεδονία 8 έως 15 χλμ ΒΑ της πόλης της Πτολεμαΐδας, αναπτύσσεται από ΒΑ προς ΝΔ, σταδιακά βυθιζόμενο με κλίση 4% περίπου, ξεκινώντας από ενδιάμεσα βάθη 50 μέτρων και φθάνοντας σε ένα μέγιστο βάθος της τάξης των 360 μέτρων στο ΝΔ του άκρο. Τα ρήγματα που παρατηρούνται σε κάποια σημεία ξεπερνούν τα 70 μέτρα, ενώ στην πλειονότητα τους ξεπερνούν τα 20 μέτρα.

Αρχικά έγινε προσπάθεια γεωλογικού συσχετισμού των οριζόντων που εμφανίζονται στις γεωτρήσεις λαμβάνοντας υπόψη και ρήγματα στην περιοχή, ώστε να είναι δυνατή η εύρεση της στρωματογραφικής αλληλουχίας σε κάθε θέση. Στη συνέχεια, με χρήση του λογισμικού Carlson Mining (έκδοση 2011), υπολογίστηκαν τα γεωλογικά αποθέματα με διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού. Δίδονται ενδεικτικές τομές σε διαφορετικές διευθύνσεις καθώς και τα βήματα για τους ενδιάμεσους υπολογισμούς.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή της έγινε υπό την επίβλεψη του καθηγητή, Ζαχαρία Αγιουτάντη τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ανάθεση της εργασίας καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές και διορθώσεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα επιπρόσθετα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή, κύριο Μιχαήλ Γαλετάκη που δέχτηκε να συμμετάσχει στην εξεταστική επιτροπή και να αξιολογήσει αυτή την εργασία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Χρήστο Ρούμπο, που δέχτηκε να συμμετάσχει στην εξεταστική επιτροπή, καθώς και για τις χρήσιμες πληροφορίες και συμβουλές που μου παρείχε στα πρώτα βήματα της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τη ΔΕΗ Α.Ε. για την ευγενική παραχώρηση των γεωτρητικών δεδομένων, και όλων των διαθέσιμων πληροφοριών που υπήρχαν για το κοίτασμα των Κομνηνών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Στέλιο Μαυριγιαννάκη για τις συμβουλές και την υποστήριξη του σε όλα τα τεχνικά προβλήματα καθώς επίσης και τη Φωτεινή Σταθογιάννη για τα σχόλια και τις διορθώσεις της πάνω στο κείμενο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια.

Σαμιώτης Εμμανουήλ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	iii
Πρόλογος.....	iv
Κατάλογος πινάκων.....	ix
Κατάλογος εικόνων.....	ix
1.1 Η σημασία των γαιανθράκων.....	1
1.2 Λιγνίτες.....	8
1.3 Ελληνικοί λιγνίτες – Λιγνίτες Κομνηνών- Μεσοβούνου.....	10
1.4 Χρήσεις του Λιγνίτη.....	12
1.5 Ιστορικό της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	15
2 Μεθοδολογίες εκτίμησης αποθεμάτων.....	18
2.1 Γενικά.....	18
2.2 Γεωμετρικές μέθοδοι.....	19
2.2.1 Μέθοδος των πολυγώνων.....	19
2.2.2 Μέθοδος των τομών.....	21
2.2.3 Μέθοδος των τριγώνων.....	23
2.3 Γεωστατιστικές μέθοδοι.....	24
2.3.1 Μέθοδοι αντιστρόφου αποστάσεως (AA).....	25
2.3.2 Μέθοδος Kriging.....	26

2.4 Ανάπτυξη ψηφιακών μοντέλων του κοιτάσματος.....	28
3.1 Σχεδιασμός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.....	33
3.2 Μέθοδοι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.....	34
3.2.1 Η μέθοδος συνεχούς εκμετάλλευσης.....	34
3.2.2 Η μέθοδος ασυνεχούς εκμετάλλευσης.....	36
3.3 Μέθοδος συνεχούς εκμετάλλευσης.....	38
3.3.1 Γενική μορφή της εκμετάλλευσης.....	38
3.3.2 Καδοφόρος εκσκαφέας.....	41
3.3.2.1 Ιστορική εξέλιξη του καδοφόρου εκσκαφέα.....	41
3.3.2.2 Γενική περιγραφή καδοφόρου εκσκαφέα.....	42
3.3.3 Μέθοδοι λειτουργίας καδοφόρου εκσκαφέα.....	48
3.3.3.1 Κατά μέτωπο ή μετωπική εκσκαφή.....	48
3.3.3.2 Πλευρική ή κατά στρώσεις ή παράλληλη εκσκαφή.....	49
3.3.3.3 Εκσκαφή με αναβαθμό (ράμπα ή πατάρι).....	49
3.3.3.4 Εκσκαφή σε μετατομή.....	51
3.3.3.5 Εκσκαφή σε χαμηλή τομή ή κοπή.....	53
3.3.3.6 Εκσκαφέας με μεταβλητό μήκος βραχίονα καδοτροχού.....	54
3.3.3.7 Εκσκαφή με πλευρικές αποθέσεις.....	54
3.3.4 Σημαντικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στο μέτωπο.....	56

3.3.5 Συνεργασία εκσκαφέα-ταινιόδρομου.....	57
3.3.6 Αποθέτης.....	57
3.3.7 Ταινιοχήματα.....	58
3.3.8 Ταινιόδρομος.....	58
3.3.9 Όχημα φόρτωσης.....	59
3.4 Νεότερες τεχνικές εκμετάλλευσης.....	61
4.1 Το λογισμικό Carlson software.....	66
4.2.1 Τα γεωτρητικά δεδομένα.....	67
4.2.2 Επεξεργασία των γεωτρητικών δεδομένων.....	70
4.3 Καταχώρηση γεωτρητικών δεδομένων στο πρόγραμμα Carlson software.....	72
4.4.1 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων (Block Model).....	81
4.4.2 Πρακτικές λεπτομέρειες για τη δημιουργία block model.....	86
4.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση block model.....	86
4.6 Δημιουργία επιφάνειας ισοϋψών.....	89
4.7 Δημιουργία επιφάνειας με το Carlson Software.....	93
4.8 Δημιουργία Τομών.....	103
4.9 Υπολογισμός αποθεμάτων.....	112
4.9.1 Εισαγωγή των ορίων του κοιτάσματος στο Carlson Software.....	112
4.9.2 Υπολογισμός αποθεμάτων περιοχής Κομνηνών.....	113

4.9.3 Υπολογισμός αποθεμάτων περιοχής Μεσοβούνου.....	121
5 Συμπεράσματα και προτάσεις.....	124
5.1 Συμπεράσματα.....	124
5.2 Προτάσεις.....	125
6. Βιβλιογραφία.....	126

Κατάλογος πινάκων

1.1 Απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο (BP 2002).....	3
1.2 Απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο (BP 2002).....	4
1.3 Απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο (BP 2002).....	5
1.4 Απολήψιμα αποθέματα γαιανθράκων (BP 2011).....	6
1.5 Οι πιο σημαντικοί παραγωγοί γαιανθράκων κατά το 1998 και 2001 (Κολοβός 2004).....	7
1.6 Ποσοστό συμμετοχής γαιανθράκων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Κολοβός 2004).....	13
1.7 Συμετοχή ενεργειακών πρώτων υλών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Παπανικολάου 2005).....	14
1.8 Αποθέματα στερεών καυσίμων σε εκατ. τόνους (Παπανικολάου 2005).....	15
4.1 Κωδικοποιημένα πετρογραφικά χαρακτηριστικά δειγμάτων γεωτρήσεων (Δεληγιαννίδου 2006)	69
4.2 αποθέματα περιοχής Κομνηνών με τη μέθοδο block model	121
4.3 Αποθέματα λιγνίτη με διάφορες μεθόδους	123

Κατάλογος εικόνων

1.1 Κατάταξη και χρήσεις γαιανθράκων (Παγκόσμιο ινστιτούτο γαιανθράκων, 2002).....	2
1.2 Στάδια σχηματισμού γαιανθράκων (Γαλετάκης 1996)	9
1.3 Χάρτης λιγνιτοφόρων πεδίων ΛΚΠΑ (Γαλετάκης 1996)	10
1.4 Τεκτονικός χάρτης περιοχής Κομνηνών	12
2.1 Η ιδέα της πολυγωνικής εκτίμησης (Καπαγερίδης 2006)	20
2.2 Υπολογισμός αποθεμάτων με τη μέθοδο των τομών (Μενεγάκη, 2010)	22
2.3 Υπολογισμός αποθεμάτων με τη μέθοδο τριγώνων (Καπαγερίδης 1995)	23

2.4 Υλοποίηση τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου. Καθορισμός αρχής, μεγέθους και μοναδιαίων διανυσμάτων ΔΧ,ΔΥ,ΔΖ (Γαλετάκης 2009)	29
2.5 Τρισδιάστατο μοντέλο με κυψελίδα τετραγωνικής διατομής (ΔΧ=ΔΥ) σταθερής σ' όλη την έκταση του κοιτάσματος και ΔΖ ίσο με το ύψος της βαθμίδας εκμετάλλευσης (Γαλετάκης 2009)	31
2.6 Δισδιάστατο μοντέλο με τετραγωνική κυψελίδα (ΔΧ=ΔΨ) (Γαλετάκης 2009).....	32
2.7 Μοντέλο κοιτάσματος με ακανόνιστο και μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας (Γαλετάκης 2009)	32
3.1 Γενική μορφή της πλευράς εκσκαφής υπαίθριου ανθρακωρυχείου σε πολυστρωματικό κοίτασμα με τη Γερμανική μέθοδο εκμετάλλευσης (Κολοβός 2004)..	35
3.2 Γενική μορφή της πλευράς απόθεσης υπαίθριου ανθρακωρυχείου σε πολυστρωματικό κοίτασμα με τη Γερμανική μέθοδο εκμετάλλευσης (Κολοβός 2004)..	35
3.3 Μηχανικό Shovel σε φόρτωση γαιάνθρακα σε χωματουργικό φορτηγό, κατά τη λειτουργία με την αμερικανική μέθοδο (Κολοβός 2004)	37
3.4 Γιγάντιο Dragline σε αποκάλυψη γαιάνθρακα, κατά τη λειτουργία με την Αμερικανική μέθοδο (Κολοβός 2004)	38
3.5 Γενική διάταξη ορυχείου με τη συνεχή μέθοδο (Κολοβός 2004)	39
3.6 Κόμβος (σύμπλεγμα) ταινιοδρόμων ορυχείου (Κολοβός 2004)	41
3.7 Καδοφόρος εκσκαφέας σχεδίασης «Compact» (Κολοβός 2004)	43
3.8 Καδοφόρος εκσκαφέας με εκσκαπτική και φορτωτική μονάδα (Κολοβός 2004).....	43
3.9 Κατωδομή και σύστημα πορείας καδοφόρου εκσκαφέα.....	45
3.10 Κάδοι με κοπτικά άκρα τύπου «δόντια» (αριστερά) και «αυτιά» (δεξιά) (Κολοβός 2004)	46
3.11 Κάδοι με πλάτη από αλυσίδες, (δεξιά) ενισχυμένη με ελάσματα	47
3.12 Καδοτροχός με κάδους με αλυσίδες (Κολοβός 2004).....	47
3.13 Μετωπική εκσκαφή με τον High loading excavator ERP – 5250V (Κολοβός 2004)..	48
3.14 Καδοφόρος εκσκαφέας στη μέθοδο εργασίας με αναβαθμό (πατάρι), (Κολοβός 2004)	50

3.15 Λειτουργία μεγάλου καδοφόρου εκσκαφέα σε μετατομή. Η εκσκαπτική μονάδα εδράζεται στο δάπεδο της μετατομής, η φορτωτική μονάδα στο δάπεδο της τομοταινίας που διακρίνεται αριστερά (Κολοβός 2004)	52
3.16 Λειτουργία μικρού καδοφόρου εκσκαφέα σε μετατομή. Κάτω δεξιά διακρίνεται ο εκσκαφέας της κατώτερης τομής (Κολοβός 2004)	52
3.17 Μορφή εκσκαφής σε χαμηλή κοπή (Κολοβός 2004)	53
3.18 Εκσκαφέας τύπου Krupp C700 σε πλευρικές αποθέσεις (Κολοβός 2004)	55
3.19 Καδοφόρος εκσκαφέας σε πλευρικές αποθέσεις. Ο συνεργαζόμενος φορτωτής βρίσκεται σε θέση αναμονής για φόρτωση σε φορτηγό (Κολοβός 2004)	55
3.20 Γενική μορφή αποθέτη (Κολοβός 2004)	57
3.21 Ταινιόχημα δύο ανεξάρτητων βραχιόνων	58
3.22 Όχημα φόρτωσης με πορεία επί σιδηροτροχιών (Κολοβός 2004).....	60
3.23 Όχημα φόρτωσης ερπυστριοφόρο (Κολοβός 2004)	60
3.24 Γενική διάταξη μηχανής συνεχούς κοπής με τύμπανο του οίκου Wirtgen (Κολοβός 2004).....	62
3.25 Εξόρυξη στρώματος γαιάνθρακα και φόρτωση σε αρθρωτό φορτηγό (Κολοβός 2004)	63
4.1 Στοιχεία γεώτρησης Dp125.....	67
4.2 Αρχική μορφή δεδομένων γεωτρήσεων.....	68
4.3 Σύνδεση στρωμάτων λιγνίτη.....	70
4.4 Επιλογή εντολής καθορισμού γεωτρητικών δεδομένων.....	73
4.5 Δημιουργία αρχείου *.ch	74
4.6 Καρτέλα ρυθμίσεων καθορισμού γεωτρητικών δεδομένων.....	75
4.7 Επιλογή εισαγωγής γεωτρητικών δεδομένων.....	76
4.8 Επιλογή μορφής αρχείου γεωτρητικών δεδομένων.....	76
4.9 Επιλογή του Format Greece Power.....	77

4.10 Επιλογή του αρχείου DAT.....	77
4.11 Επιλογή προεπισκόπησης γεωτρητικών δεδομένων.....	78
4.12 Επιλογή δεδομένων.....	79
4.13 Δεδομένα γεώτρησης DP10.....	79
4.14 Επιλογή Drillhole Text Formater.....	80
4.15 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων.....	81
4.16 Επιλογή στοιχείου για το οποίο θα δημιουργηθεί το Block Model	82
4.17 Επιλογή στρωμάτων.....	82
4.18 Καθορισμός του μεγέθους των κυψελίδων.....	83
4.19 Αποθήκευση αρχείου δημιουργίας *.blk.....	84
4.20 Δημιουργία αρχείου *.gpf.....	84
4.21 Αποθήκευση αρχείου *.gpf.....	85
4.22 Δημιουργία αρχείου *.pre.....	85
4.23 Αποθήκευση αρχείου *.pre.....	85
4.24 Block Model 3D Viewer.....	86
4.25 Άνοιγμα του Block Model.....	87
4.26 Άνοιγμα του αρχείου παραμέτρων των περιεκτικότητων.....	87
4.27 Καρτέλα προεπισκόπησης παραμέτρων.....	88
4.28 Σφάλμα κατά τη δημιουργία block model 3D viewer.....	89
4.29 Make 3D Grid File.....	90
4.30 Δημιουργία αρχείου επιφάνειας surface.grd.....	90
4.31 Contour from Grid File.....	91
4.32 Άνοιγμα του αρχείου surface.grd.....	91
4.33 Ρυθμίσεις διαστήματος ισοϋψών.....	92

4.34	Ισοϋψείς ανά 10 μέτρα.....	92
4.35	Ισοϋψείς ανά 20 μέτρα.....	93
4.36	Επιλογή προγράμματος Civil.....	93
4.37	Επιλογή Triangulate & Contour.....	94
4.38	Καρτέλα ρυθμίσεων Triangulate & Contour.....	95
4.39	Αποθήκευση αρχείου surfacetin.tin.....	96
4.40	Δημιουργία ισοϋψών του προγράμματος.....	96
4.41	Επιλογή «σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης».....	97
4.42	Επιλογή και άνοιγμα αρχείου επιφάνειας της μορφής *.tin.....	97
4.43	Ρυθμίσεις για τη σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης.....	98
4.44	Χάρτης επιφάνειας μετά τη διαδικασία της τριγωνοποίησης.....	99
4.45	Επιλογή δημιουργίας αρχείου της μορφής *.grd.....	99
4.46	Καρτέλα ρυθμίσεων για τη δημιουργία επιφάνειας της μορφής *.grd.....	100
4.47	Επιλογή «Surface 3D Viewer».....	101
4.48	Επιλογή της επιφάνειας *.tin.....	101
4.49	Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing μαζί με την καρτέλα ρυθμίσεων απεικόνισης για αρχείο *.tin.....	102
4.50	Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing μαζί με την καρτέλα ρυθμίσεων απεικόνισης για αρχείο *.grd.....	103
4.51	κάτοψη τομών στο χάρτη των γεωτρήσεων.....	104
4.52	Επιλογή επισήμανσης των polylines για τη δημιουργία τομών.....	105
4.53	Επιλογή δημιουργίας τομών.....	105
4.54	Ρυθμίσεις των τομών.....	106
4.55	Ζητείται το αρχείο *.pre.....	107
4.56	Σφάλμα δημιουργίας τομών.....	107

4.57 Αλλαγή ονόματος μη ομαδοποιημένων γεωτρήσεων.....	108
4.58 Τομή 6 ^{ης} γραμμής.....	108
4.59 Τομή 6 ^{ης} γραμμής (αναλυτική).....	109
4.60 Προεπισκόπηση τομής 7 ^{ης} στήλης.....	109
4.61 Τομή 7 ^{ης} στήλης (αναλυτική).....	110
4.62 Προεπισκόπηση τομής 4 ^{ης} στήλης.....	110
4.63 Τομή 4 ^{ης} στήλης.....	111
4.64 Τομή 4 ^{ης} στήλης (αναλυτική).....	111
4.65 Απεικόνιση ορίων εκμετάλλευσης.....	113
4.66 Αντιγραφή polyline στο Carlson.....	113
4.67 Δημιουργία 3D Polyline.....	114
4.68 Όρια κοιτασμάτων έτοιμα για υπολογισμό αποθεμάτων.....	114
4.69 Επιλογή εντολής για τον υπολογισμό αποθεμάτων.....	116
4.70 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό αποθεμάτων.....	116
4.71 Υπολογισμός αποθεμάτων λιγνίτη με τη μέθοδο Inverse distance σε m ³	117
4.72 Ρυθμίσεις για υπολογισμό αποθεμάτων με τη μέθοδο Kriging	118
4.73 αποθέματα λιγνίτη Κομνηνών με τη μέθοδο Kriging m3.....	119
4.74 Υπολογισμός αποθεμάτων λιγνίτη σε m ³ με τη μέθοδο block model και διαστάσεις κυψελίδας 50x50x0,2.....	120
4.75 Ρυθμίσεις block model για υπολογισμό αποθεμάτων.....	120
4.76 Εμφάνιση γεωτρήσεων περιοχής Μεσοβούνου.....	121
4.77 Αποθέματα λιγνίτη Μεσοβούνου με τη μέθοδο Kriging m ³	122
4.78 Αποθέματα λιγνίτη περιοχής Μεσοβούνου με τη μέθοδο block model m3.....	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

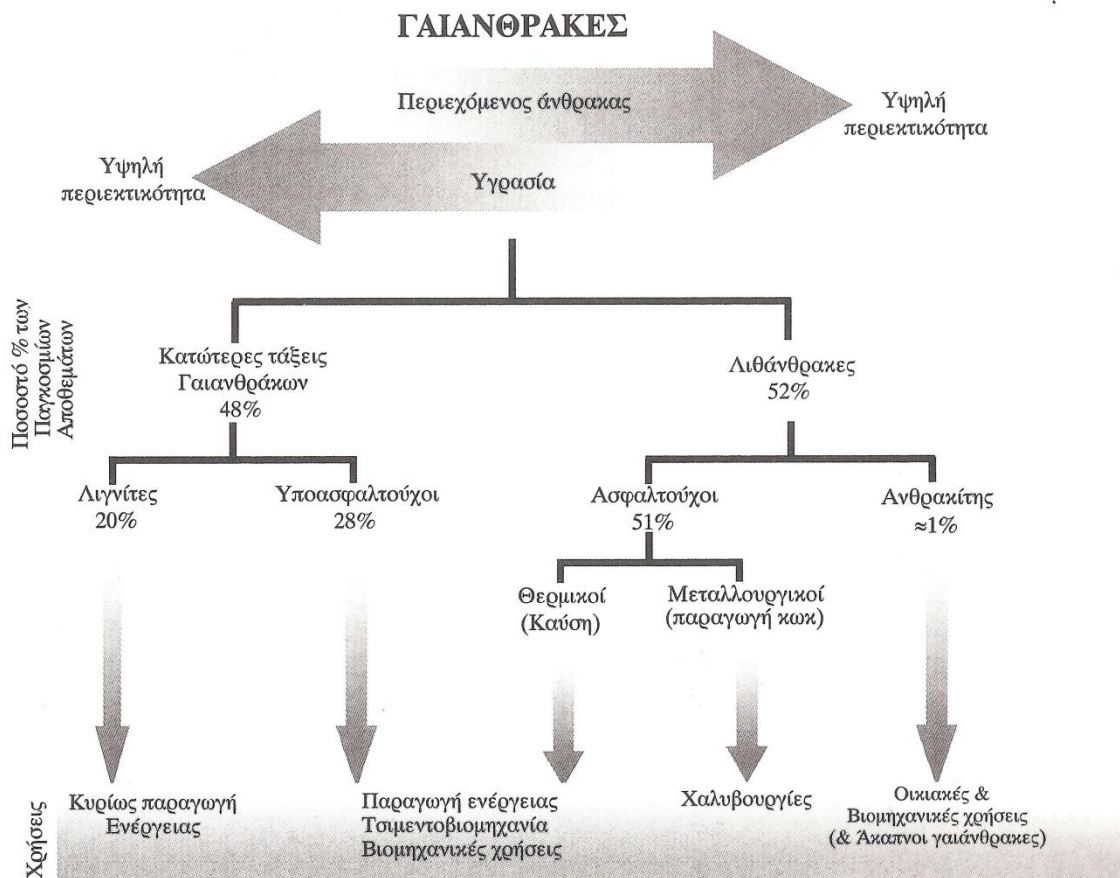
1.1 Η σημασία των γαιανθράκων

Η εκμετάλλευση των γαιανθράκων αποτελεί την σημαντικότερη, από πλευράς όγκου, μεταλλευτική δραστηριότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, με καταγεγραμμένη παραγωγή το 2002 άνω των 4.800 εκατομμυρίων τόνων γαιάνθρακα διαφόρων κατηγοριών (Κολοβός 2004).

Η σημασία του γαιάνθρακα για την παγκόσμια οικονομία καταδεικνύεται από το γεγονός ότι το 37% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 67% της παγκόσμιας παραγωγής σιδήρου και χάλυβα στηρίζεται στη χρήση του γαιάνθρακα (Κολοβός 2004).

Με συνολικά απολήψιμα αποθέματα της τάξεως των 1.000.000 εκατομμυρίων τόνων, οι γαιάνθρακες αποτελούν μια κεφαλαιώδους σημασίας πηγή ενέργειας, η οποία με τους σημερινούς ρυθμούς εκμετάλλευσης επαρκεί για περισσότερα από 210 χρόνια (Κολοβός, 2004), σε αντίθεση με τα αποθέματα πετρελαίου που περιορίζονται περίπου στα 50 χρόνια ακόμη (Δεληγιανίδου 2006).

Στην εικόνα 1.1 φαίνεται η κατάταξη των παγκόσμιων αποθεμάτων γαιανθράκων, σύμφωνα με το Παγκόσμιο Ινστιτούτο Γαιανθράκων 2002 (Κολοβός 2004).



Εικόνα 1.1 Κατάταξη και χρήσεις γαιανθράκων (Παγκόσμιο ινστιτούτο γαιανθράκων, 2002)

Στους πίνακες 1.1-1.3 εμφανίζονται τα απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο στο τέλος του 2001, όπως δίνονται από έρευνα της εταιρείας BP το 2002 (Κολοβός 2004). Στον πίνακα 1.4 φαίνονται τα παγκόσμια αποθέματα γαιανθράκων από στοιχεία της BP για το 2011.

Πίνακας 1.1 Απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο (BP, 2002)

Περιοχή	Απολήψιμοι Ανθρακίτες & Ασφαλτούχοι	Απολήψιμοι λιγνίτες και Υποασφαλτούχοι	Συνολικά Απολήψιμοι γαιάνθρακες
Βόρεια Αμερική			
Καναδάς	3.471	3.107	6.578
Γροιλανδία	0	183	183
Μεξικό	860	351	1.211
Ηνωμένες Πολιτείες	115.035	133.222	248.257
Σύνολο	119.366	136.863	256.229
Κεντρική & Νότια Αμερική			
Αργεντινή	0	430	430
Βολιβία	1	0	1
Βραζιλία	0	11.929	11.929
Χιλή	31	1.150	1.181
Κολομβία	6.267	381	6.648
Ισημερινός	0	24	24
Περου	960	100	1.060
Βενεζουέλα	479	0	479
Σύνολο	7.738	14.014	21.752
Δυτική Ευρώπη			
Αυστρία	0	25	25
Κροατία	6	33	39
Γαλλία	22	14	36
Γερμανία	23.000	43.000	66.000
Ελλάδα	0	2.874	2.874
Ιρλανδία	14	0	14
Ιταλία	0	34	34
Κάτω Χώρες	497	0	497
Νορβηγία	0	1	1
Πορτογαλία	3	33	36
Σλοβενία	0	275	275
Ισπανία	200	460	660
Σουηδία	0	1	1
Τουρκία	278	3.411	3.689
Ηνωμένο Βασίλειο	1.000	500	1.500
Γιουγκοσλαβία	64	16.192	16.256
Σύνολο	25.084	66.853	91.937

Πίνακας 1.2 Απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο (BP, 2002)

Περιοχή	Απολήψιμοι Ανθρακίτες & Ασφαλτούχοι	Απολήψιμοι λιγνίτες και Υποασφαλτούχοι	Συνολικά Απολήψιμοι γαιάνθρακες
Ανατολική Ευρώπη & πρώην ΕΣΣΔ			
Βουλγαρία	13	2.698	2.711
Τσεχία	2.114	3.564	5.678
Ουγγαρία	0	1.097	1.097
Καζακστάν	31.000	3.000	34.000
Κιργιζιστάν	0	812	812
Πολωνία	20.300	1.860	22.160
Ρουμανία	1	1.456	1.457
Ρωσία	49.088	107.922	157.010
Σλοβακία	0	172	172
Ουκρανία	16.274	17.879	34.153
Ουζμπεκιστάν	1.000	3.000	4.000
Σύνολο	119.790	143.460	263.250
Μέση Ανατολή			
Ιράν	1.710	0	1.710
Σύνολο	1.710	0	1.710
Αφρική			
Αλγερία	40	0	40
Μποτσουάνα	4.300	0	4.300
Κεντροαφρικανική Δημοκρατία	0	3	3
Ζαΐρ	88	0	88
Αίγυπτος	0	22	22
Μαλάουι	0	2	2
Μοζαμβίκη	212	0	212
Νίγηρας	70	0	70
Νιγηρία	21	169	190
Νότια Αφρική	49.520	0	49.520
Σουαζιλάνδη	208	0	208
Τανζανία	200	0	200
Ζάμπια	10	0	10
Ζιμπάμπουε	502	0	502
Σύνολο	55.171	196	55.367

Πίνακας 1.3 Απολήψιμα αποθέματα γαιάνθρακα ανά χώρα και ήπειρο (BP, 2002)

Περιοχή	Απολήψιμοι Ανθρακίτες & Ασφαλτούχοι	Απολήψιμοι λιγνίτες και Υποασφαλτούχοι	Συνολικά Απολήψιμοι γαιάνθρακες
Ασία & Ωκεανία			
Αφγανιστάν	66	0	66
Αυστραλία	42.550	39.540	82.090
Βιρμανία	2	0	2
Κίνα	62.200	52.300	114.500
Ινδία	82.396	2.000	84.396
Ινδονησία	790	4.580	5.370
Ιαπωνία	773	0	773
Βόρεια Κορέα	300	300	600
Νότια Κορέα	78	0	78
Μαλαισία	4	0	4
Νεπάλ	2	0	2
Νέα Καληδονία	2	0	2
Νέα Ζηλανδία	33	539	572
Πακιστάν	0	2.265	2.265
Φιλιππίνες	0	332	332
Ταϊβάν	1	0	1
Ταϊλάνδη	0	1.268	1.268
Βιετνάμ	150	0	150
Σύνολο	189.347	103.124	292.471
Σύνολο Κόσμου	518.206	464.510	982.716

Όπως φαίνεται οι Ηνωμένες Πολιτείες ξεχωρίζουν με σχεδόν 250.000 εκατομμύρια τόνους γαιάνθρακα, ακολουθούν η Ρωσία με 150.000 εκατομμύρια, η Κίνα με 114.500 εκατομμύρια και μετά η Ινδία, η Αυστραλία, η Γερμανία και η Νότια Αφρική με πάνω από 50.000 εκατομμύρια τόνους η κάθε μία. Η Ελλάδα με 2.874 εκατομμύρια τόνους έρχεται 4^η στην κατάταξη της Δυτικής Ευρώπης στους συνολικούς απολήψιμους γαιάνθρακες οι οποίοι όμως είναι λιγνίτες και υποασφαλτούχοι γαιάνθρακες.

Πίνακας 1.4 Παγκόσμια αποθέματα γαιανθράκων (BP, 2011)

Coal: Proved Reserves at end 2011

Million tonnes	Anthracite and bituminous	Sub-bituminous and lignite	Total	Share of Total	R/
US	108501	128794	237295	27.6%	
Canada	3474	3108	6582	0.8%	
Mexico	860	351	1211	0.1%	
Total North America	112835	132253	245088	28.5%	
Brazil	-	4559	4559	0.5%	
Colombia	6366	380	6746	0.8%	
Venezuela	479	-	479	0.1%	
Other S. & Cent. America	45	679	724	0.1%	
Total S. & Cent. America	6890	5618	12508	1.5%	
Bulgaria	2	2364	2366	0.3%	
Czech Republic	192	908	1100	0.1%	
Germany	99	40600	40699	4.7%	
Greece	-	3020	3020	0.4%	
Hungary	13	1647	1660	0.2%	
Kazakhstan	21500	12100	33600	3.9%	
Poland	4338	1371	5709	0.7%	
Romania	10	281	291	♦	
Russian Federation	49088	107922	157010	18.2%	
Spain	200	330	530	0.1%	
Turkey	529	1814	2343	0.3%	
Ukraine	15351	18522	33873	3.9%	
United Kingdom	228	-	228	♦	
Other Europe & Eurasia	1440	20735	22175	2.6%	
Total Europe & Eurasia	92990	211614	304604	35.4%	
South Africa	30156	-	30156	3.5%	
Zimbabwe	502	-	502	0.1%	
Other Africa	860	174	1034	0.1%	
Middle East	1203	-	1203	0.1%	
Total Middle East & Africa	32721	174	32895	3.8%	
Australia	37100	39300	76400	8.9%	
China	62200	52300	114500	13.3%	
India	56100	4500	60600	7.0%	
Indonesia	1520	4009	5529	0.6%	
Japan	340	10	350	♦	
New Zealand	33	538	571	0.1%	
North Korea	300	300	600	0.1%	
Pakistan	-	2070	2070	0.2%	
South Korea	-	126	126	♦	
Thailand	-	1239	1239	0.1%	
Vietnam	150	-	150	♦	
Other Asia Pacific	1583	2125	3708	0.4%	
Total Asia Pacific	159326	106517	265843	30.9%	

Στον πίνακα 1.5 αναφέρονται οι 20 πιο σημαντικοί παραγωγοί γαιανθράκων κατά το 1998 και 2001. Είναι εμφανές ότι οι δύο πρώτες χώρες απέχουν κατά πολύ από τις υπόλοιπες με ετήσια παραγωγή μεγαλύτερη από 1.000 εκατομμύρια τόνους και οι υπόλοιπες έξι ξεχωρίζουν σε μια δεύτερη ομάδα με ετήσια παραγωγή μεγαλύτερη από 160 εκατομμύρια τόνους ετησίως (Κολοβός 2004).

Πίνακας 1.5 Οι πιο σημαντικοί παραγωγοί γαιανθράκων κατά το 1998 και 2001 (Κολοβός 2004)

Σειρά το 1998	Σειρά το 2001	Χώρα	Παραγωγή 1998 (εκατ. τόνοι)	Παραγωγή 2001 (εκατ. τόνοι)
1	1	Κίνα	1232,5	1089,7
2	2	ΗΠΑ	1013,9	1017,3
3	3	Ινδία	320,9	343,5
4	4	Αυστραλία	290,2	315,0
5	5	Ρωσική Ομοσπονδία	231,9	269,0
6	6	Νότια Αφρική	224,8	224,7
7	7	Γερμανία	207,0	202,5
8	8	Πολωνία	178,6	163,4
14	9	Ινδονησία	62,2	92,6
9	10	Ουκρανία	77,2	83,9
11	11	Καζακστάν	69,8	79,0
10	12	Καναδάς	75,4	70,5
13	13	Τουρκία	67,4	67,7
15	14	Ελλάδα	60,9	67,3
12	15	Τσεχία	67,5	66,1
17	16	Κολομβία	30,1	42,4
19	17	Ρουμανία	26,2	33,3
16	18	Ην. Βασιλ. Μ.Βρετ. & Ιρλανδ.	41,2	32,1
18	19	Βουλγαρία	29,9	28,2
20	20	Ισπανία	26,1	23,1

Η Ελλάδα είναι 15^η και 14^η χώρα σε παραγωγή λιγνίτη παγκοσμίως για το 1998 και 2001 αντίστοιχα με ετήσια παραγωγή μεγαλύτερη από 60 εκατομμύρια τόνους. Αυτό αποδεικνύει πόσο μεγάλη σημασία έχει για την οικονομία της Ελλάδας, αλλά και την αυτονομία της, η εκμετάλλευση του λιγνίτη, η έρευνα και ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων οικονομικά εκμεταλλεύσιμων. Αυτός είναι και ο σκοπός αυτής της

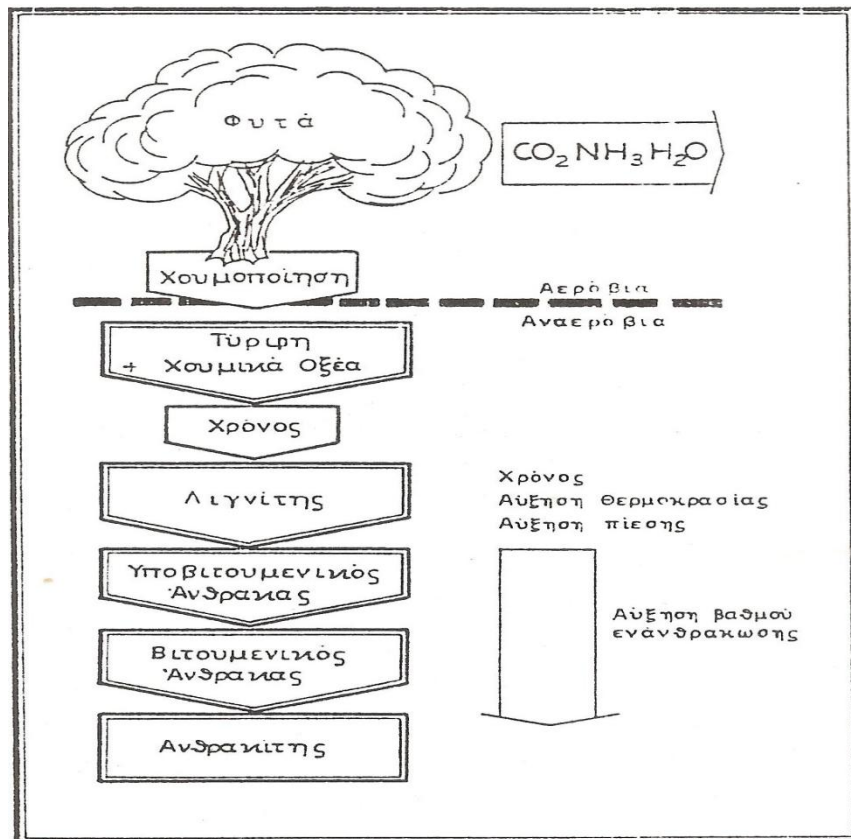
διπλωματικής εργασίας, η μοντελοποίηση δηλαδή ενός κοιτάσματος κι ο υπολογισμός των αποθεμάτων του. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο μετά την έρευνα και πριν από την οικονομοτεχνική μελέτη της εκμετάλλευσης. Περισσότερα για τις διαδικασίες που εκπονήθηκαν θα αναφερθούν στα επόμενα κεφάλαια.

1.2 Λιγνίτες

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες που δημιουργήθηκαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης.

Η μεταβολή από την τύρφη, αρχικό στάδιο ενανθράκωσης, στον ανθρακίτη, τελικό στάδιο ενανθράκωσης (εικόνα 1.2) μπορεί να διαρκέσει από 1000 μέχρι 4000 χρόνια και για το λόγο αυτό κάθε στρώμα λιγνίτη έχει ίδιο βαθμό ενανθράκωσης αλλά διαφορετικό τύπο, ανάλογα με τον τύπο της χλωρίδας που υπήρχε κάθε περίοδο. Η ενανθράκωση εξαρτάται κυρίως από (Γαλετάκης 1996):

- **Το γεωλογικό χρόνο**
- **Τη θερμοκρασία**
- **Την πίεση**

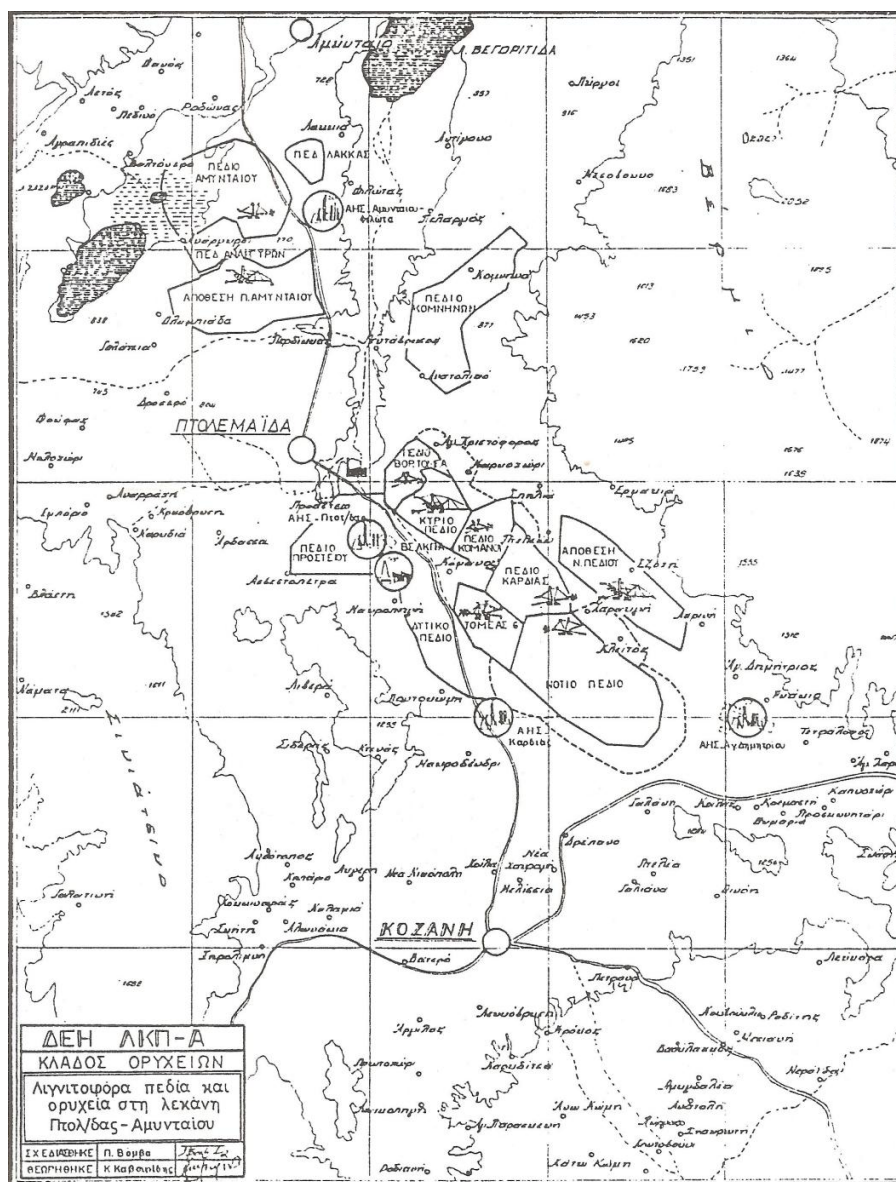


Εικόνα 1.2 Στάδια σχηματισμού γαιανθράκων (Γαλετάκης, 1996)

Η εξέταση των μεγάλων κοιτασμάτων γαιάνθρακα ανά τον κόσμο δείχνει ότι σχηματίστηκαν σε περιοχές με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (1) στο επίπεδο ή κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, στο οποίο θα μπορούσε να αναπτυχθεί άφθονη βλάστηση, (2) περιορισμένη απορροή, έτσι ώστε να δημιουργήθηκαν βαλτώδεις συνθήκες, (3) αργή καθίζηση του πυθμένα, έτσι ώστε να μπορούν να συσσωρευτούν παχιές εναποθέσεις τύρφης, και (4) κοντά σε υψηλότερες περιοχές, όπου υπήρχε ικανοποιητική απορροή και διατηρήθηκαν συνθήκες ρηχού και γλυκού νερού. Οι ανθρακοφόρες γεωλογικές περίοδοι ακολούθησαν μετά από περιόδους κατά τις οποίες ρηχές θάλασσες κάλυψαν εκτεταμένες περιοχές ηπειρωτικών εκτάσεων. Η απόσυρση αυτών των θαλασσών άφησε μεγάλες εκτάσεις των υποκείμενων εδαφών με περιορισμένη απορροή, εξαιρετες δηλαδή συνθήκες για την ανάπτυξη απέραντων ελών (Κολοβός 2004).

1.3 Ελληνικοί λιγνίτες – Λιγνίτες Κομνηνών-Μεσοβούνου

Κατάλληλες συνθήκες για το σχηματισμό λιγνιτών στον Ελλαδικό χώρο υπήρχαν από τις αρχές του Καινοζωικού αιώνα μέχρι τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους. Ειδικότερα οι λιγνίτες της Πτολεμαΐδας (εικόνα 1.3) στην οποία ανήκουν και οι λιγνίτες της περιοχής των Κομνηνών - Μεσοβούνου δημιουργήθηκε από τεταρτογενείς αποθέσεις καθώς και τριτογενείς και προτριτογενείς σχηματισμούς (Γαλετάκης 1996).

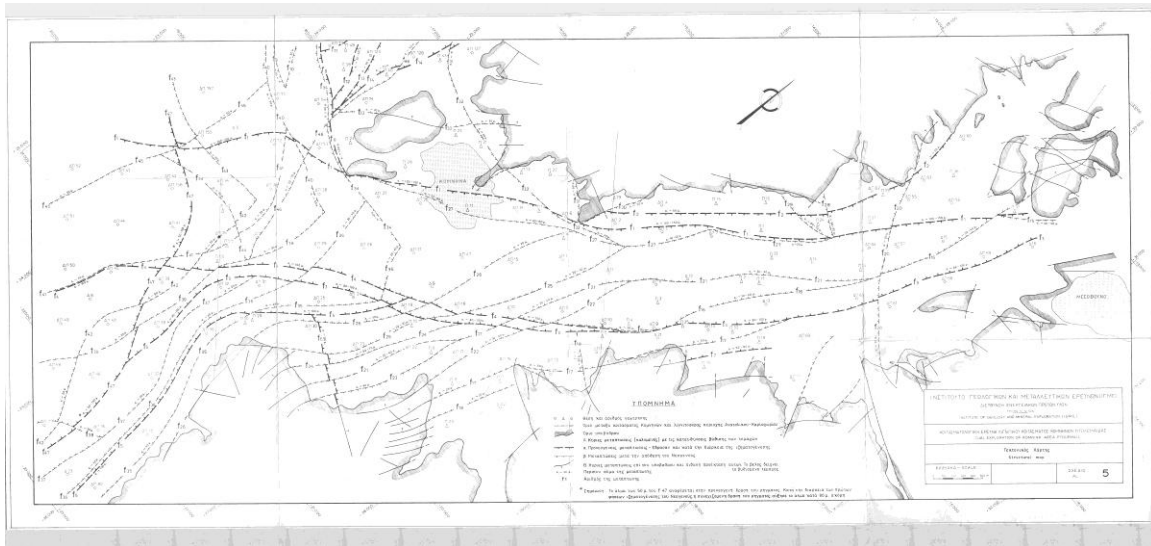


Εικόνα 1.3 Χάρτης λιγνιτοφόρων πεδίων ΛΚΠΑ (Γαλετάκης 1996)

Το λιγνιτικό κοιτάσμα «τύπου ξυλίτη» των Κομνηνών – Μεσοβούνου απαντάται στη Δυτική Μακεδονία, 8 έως 15 km βορειοανατολικά της πόλης της Πτολεμαΐδας και περιβάλλεται από τους οικισμούς Ανατολικό, Πελαργός και Μεσόβουνο. Η πρώτη αναγνωριστική γεώτρηση έγινε το 1976, ενώ το 1979 παραχωρήθηκαν τα μέχρι εκείνη τη στιγμή στοιχεία στη ΔΕΗ για να προχωρήσει σε μια προκαταρκτική οικονομοτεχνική έρευνα. Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν ότι το γεωλογικό απόθεμα των Κομνηνών ανέρχεται στα 264 εκ. τόνους και το απολήψιμο απόθεμα ανέρχεται σε 153 εκ. τόνους λιγνίτη και καταλαμβάνει έκταση περίπου 8,5 km² και μέση σχέση απορριπτόμενων υλικών προς απολήψιμο λιγνίτη 8,13:1 m³/ton. Από ποιοτικής άποψης οι λιγνίτες των Κομνηνών έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: Μέση υγρασία 40,7%, μέση τέφρα επί ξηρού 30,2%. Η μέση ανώτερη θερμαντική ικανότητα (Α.Θ.Ι.) «επί φυσικού» ανέρχεται σε 2.375 kcal/kg και η μέση κατώτερη θερμαντική ικανότητα (Κ.Θ.Ι.) 2.055 kcal/kg. Η μέση τιμή του ολικού θείου «ως έχει» 1,05% και του καύσιμου θείου 0,33%. Η μέση τιμή του μόνιμου άνθρακα είναι 16,1% και των πτητικών 24,4%. Το κοιτάσμα Κομνηνών, με τα 153 εκ. τόνους απολήψιμα αποθέματα, είναι ικανό να τροφοδοτήσει για 25 περίπου χρόνια ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες συνολικής ισχύος τουλάχιστον 600 MW. Έχει μια θερμοδυναμική αντιστοιχία με 30 εκ. τόνους πετρελαίου και ενεργειακό απόθεμα είναι τριπλάσιο περίπου από το ενεργειακό απόθεμα του κοιτάσματος πετρελαίου του Πρίνου (ΙΓΜΕ 1983).

Στον ευρύτερο χώρο της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου επικρατούν δύο κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων: η βορειοδυτική – νοτιοανατολική και βορειοανατολική – νοτιοδυτική. Στο δυτικό τμήμα του κοιτάσματος, σύστημα συμβαλλόντων ρηγμάτων με διεύθυνση βορά – νότο και βορειοδυτική – νοτιοανατολική βυθίζουν τα στρώματα προς τη δύση, κατά τρόπο που οι σχέσεις στείων προς λιγνίτη να γίνονται δυσμενέστερες προς αυτή την κατεύθυνση, παρ' όλο ότι εκεί ο λιγνίτης έχει ικανό πάχος. Συνιζηματογενείς μετακινήσεις που έγιναν κατά μήκος της οριακής μετάπτωσης που χωρίζει το χώρο της ευρύτερης λεκάνης της Πτολεμαΐδας συνετέλεσαν από τη μία στην αύξηση του πάχους της λιγνιτοφόρας σειράς και από την άλλη στην πρωτογενή, λόγω συνίζησης, βύθιση των στρωμάτων προς την πλευρά της λεκάνης Πτολεμαΐδας.

Γενικά τα στρώματα βυθίζονται κλιμακωτά με κλίση 4% περίπου. Τα άλματα συνήθως των ρηγμάτων που διατέμνουν το λιγνιτικό κοίτασμα είναι της τάξης των 20 έως 40 m. Το μεγαλύτερο άλμα σε ρήγματα που επηρεάζουν το κοίτασμα σημειώθηκε κατά μήκος του ζεύγους f43 – f42 και του ζεύγους f28 – f29, και ανέρχεται στα 70 m. Η πρωτογενής – ταφρογόνος αλλά και συνιζηματογενή οριακή μετάπτωση f47 δημιουργεί αθροιστικό άλμα 130 m (εικόνα 1.4) (ΙΓΜΕ 1983).



Εικόνα 1.4 Τεκτονικός χάρτης περιοχής Κομνηνών

1.4 Χρήσεις του Λιγνίτη

Οι λιγνίτες έχουν πολλές σημαντικές χρήσεις, αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στη χαλυβουργία και την τσιμεντοβιομηχανία και ως βιομηχανική πηγή θερμότητας. Οι γαιάνθρακες θεωρούνται σήμερα παγκοσμίως ως η κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμμετέχοντας με ποσοστό περίπου 37%. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γαιάνθρακα βρίσκεται στη Νότια Αφρική (Kendal Power Station, 4.116 MW, της εταιρείας Eskom). Στον ακόλουθο (πίνακα 1.6) δίνεται η σειρά κατάταξης των χωρών που βασίζουν την εθνική τους παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στους γαιάνθρακες (Κολοβός 2004).

Πίνακας 1.6 Ποσοστό συμμετοχής γαιανθράκων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Κολοβός 2004)

Σειρά	Χώρα	Ποσοστό (%) 1998	Ποσοστό (%) 2000
1	Πολωνία	96	96
2	Νότια Αφρική	90	90
3	Αυστραλία	86	84
4	Κίνα	81	80
5	Τσεχία	74	71
6	Ελλάδα	70	69
7	Ινδία	75	66
8	ΗΠΑ	56	56
9	Δανία	59	52
10	Γερμανία	51	51
11	Ολλανδία	42	42

Η Ελλάδα βασιζόμενη στον εγχώριο λιγνίτη για ηλεκτροπαραγωγή παράγει από τις φθηνότερες kWh στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ελλάδα καλύπτει πάνω από το 70% της παραγωγής σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση λιγνίτη. Ο ελληνικός λιγνίτης βρίσκεται σε 68 λιγνιτοφόρες λεκάνες διαφορετικού μεγέθους. Γενικά, χαρακτηρίζεται από χαμηλή θερμαντική ικανότητα και σχετικά υψηλό ποσοστό τέφρας. Λεπτομερής γνώση της ανθρακοπετρογραφικής σύστασης του λιγνίτη καθώς και της ορυκτολογικής σύστασης της τέφρας επιτρέπει ώστε να σχεδιαστούν κατάλληλα οι καυστήρες, να αποφεύγονται φαινόμενα επικαθήσεων - επισκωριώσεων, διάβρωσης και να λαμβάνονται ανάλογα περιβαλλοντικά μέτρα. Οι ελληνικοί λιγνίτες παρουσιάζουν διαφορές ως προς τη σύστασή τους σε ιχνοστοιχεία. Λιγνιτοφόρες λεκάνες περιβαλλόμενες από ανθρακικά πετρώματα (δυτική Ελλάδα) δεν παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό σε βαρέα μέταλλα, σε αντίθεση με λιγνίτες από λεκάνες περιβαλλόμενες από σιδηρομαγνησιούχα πετρώματα (Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα) και λιγνίτες από λεκάνες εκρηξιγενών πετρωμάτων (Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα). Το μέλλον του λιγνίτη εξετάζεται με βάση τις μελλοντικές ανάγκες. Η αύξηση της ετήσιας ζήτησης της ηλεκτροπαραγωγής εκτιμάται στο 3%, όση ήταν η αύξηση της ζήτησης της πενταετίας 1990-1995. Στην εκτίμηση

συμπεριλαμβάνεται α) η αύξηση των τιμών του αργού πετρελαίου από 11\$/βαρέλι το 1999 σε 50\$/βαρέλι (20 Σεπτεμβρίου 2012 108\$/βαρέλι), β) η μεγάλη επιβάρυνση του ελλείμματος του εμπορικού ισοζυγίου που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εισαγωγή ενεργειακών πρώτων υλών (πίνακας 1.7) και γ) η δυσκολία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να καλύψουν το τεράστιο ετήσιο ενεργειακό έλλειμμα (Παπανικολάου 2005).

Πίνακας 1.7 Συμετοχή ενεργειακών πρώτων υλών στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Παπανικολάου 2005)

Έτος	Λιγνίτης		Πετρέλαιο		Φυσικό αέριο		Υδρο ηλεκτρικά		Σύνολο	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
1997	27751	76.7	4976	11.3	285	0.8	4048	11.2	36160	100
1998	29231	75.8	3852	10.0	1616	4.2	3841	10.0	38540	100
1999	29276	70.9	3528	8.5	3700	9.0	4781	11.6	41285	100
2000	31058	69.2	4141	9.2	5596	12.5	4062	9.1	44856	100
2001	32106	72.4	3551	8.0	5801	13.1	2668	6.0	44373	100
2002	31242	69.8	3391	7.6	6730	15.0	3381	7.6	44744	100
2003	31731	66.2	3312	6.9	7642	16.0	5234	10.9	47919	100
2004	32552	67.5	2695	5.6	8080	16.7	4922	10.2	48249	100

Τα βεβαιωμένα, εκμεταλλεύσιμα και μη, αποθέματα στερεών καυσίμων, εκτός της τύρφης των Φιλίππων, ανέρχονται σε 6215 εκατομ. τόνους στα τέλη του 2004. Αν το κοιτάσμα Φιλίππων, σε ισοδύναμους τόνους λιγνίτη τύπου Πτολεμαΐδας, προστεθεί στο προηγούμενο σύνολο τα αποθέματα ανέρχονται σε 7915 εκατομ. τόνους. Υπάρχουν επίσης 1600 εκατομ. τόνοι πιθανών αποθεμάτων και 2300 εκατομ. τόνοι δυνατών αποθεμάτων. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα, υπολογισμένα με βάση τεχνικοοικονομικές μελέτες του 1995 που βασίζονται σε τιμές αργού πετρελαίου των \$15/βαρέλι, ανέρχονται σε 3365 εκατομ. τόνους (πίνακας 1.8).

Ο υπολογισμός των εκμεταλλεύσιμων ή απολήψιμων αποθεμάτων έγινε με προδιαγραφές που στηρίζονται στα κοιτασματολογικά δεδομένα (ποιότητα, πάχη, σχέση εκμεταλλευσιμότητας, κ.λ.π.) και όχι με τα μεταλλευτικά δεδομένα, τα οποία

είναι αρκετά μεταβλητά και συναρτώνται άμεσα τόσο από την κοιτασματολογική πρόοδο και τις τεχνολογικές δυνατότητες όσο και, κυρίως, από τις ανταγωνιστικές ενεργειακές πρώτες ύλες (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κ.λ.π.). Αυτό σημαίνει ότι μια ανοδική και σημαντική αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου, όπως συνέβη στη δεκαετία 1995-2005 όπου από 15\$ το βαρέλι έφτασε σήμερα στην τιμή των 50\$ το βαρέλι, διαφοροποιεί τη σχέση εκμεταλλευσιμότητας με αποτέλεσμα μέρος των βεβαιωμένων αποθεμάτων να προστίθενται στα απολήψιμα αποθέματα. Το ποσοστό αύξησης αυτών των αποθεμάτων θα προκύψει μετά από επαναξιολόγηση των βέβαιων αποθεμάτων με προδιαγραφές των σημερινών οικονομοτεχνικών συνθηκών (Παπανικολάου 2005).

Πίνακας 1.8 Αποθέματα στερεών καυσίμων σε εκατ. τόνους (Παπανικολάου 2005)

1. ΒΕΒΑΙΩΜΕΝΑ			2. ΠΙΘΑΝΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ	3. ΔΥΝΑΤΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ
Α. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΑ	Β. ΜΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΑ	Γ. ΤΥΡΦΗ ΦΙΛΙΠΠΩΝ*		
3365	2850	1700	1600	2300
ΣΥΝΟΛΟ Α+Β = 6215			ΣΥΝΟΛΟ 2+3 = 3900	
ΣΥΝΟΛΟ Ι= 7915				

1.5 Ιστορικό της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Το έτος 1889 σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ Α.Ε. η «Γενική Εταιρία Εργοληψιών» κατασκεύασε στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο σημερινό ιστορικό κέντρο της πόλης. Τον ίδιο χρόνο ηλεκτροδοτείται επίσης η Θεσσαλονίκη, η οποία ανήκει ακόμα στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Η «Βέλγικη Εταιρία» αναλαμβάνει από τις τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροχοδρόμηση της πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνιση τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία» που αναλαμβάνει την ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Στις τότε

προβλέψεις αναφερόταν ότι μέχρι το 1929 θα είχαν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων.

Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το 1950 υπήρχαν 400 εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής σε πολλές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη, φτάνοντας το στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια ήταν λοιπόν ένα αγαθό πολυτελείας και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο, οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και ως εκ τούτου, οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν συγκεντρωθεί σε έναν δημόσιο φορέα. Η ΔΕΗ αμέσως στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που κατασκεύασε η ΔΕΗ. Παράλληλα, η επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Από 1.1.2001 η ΔΕΗ Α.Ε. λειτουργεί ως ανώνυμη εταιρία ενώ από 12.12.2001 έχει εισαχθεί στα Χρηματιστήρια Αξιών, Αθηνών και Λονδίνου.

Δραστηριοποιείται ως παραγωγός και είναι ο κύριος προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι σύμφωνα με τα στοιχεία του 2009, κατέχει περίπου το 89% της

εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος στην Ελλάδα (12.695 MW) η οποία προέρχεται από λιγνιτικές, πετρελαϊκές, υδροηλεκτρικές μονάδες, μονάδες φυσικού αερίου καθώς και από αιολικά και ηλιακά πάρκα. Τέλος έχει στην ιδιοκτησία της το εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μήκους 11.650 km καθώς και το δίκτυο διανομής συνολικού μήκους 217.000 km (www.rae.gr , στοιχεία 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μεθοδολογίες εκτίμησης αποθεμάτων

2.1 Γενικά

Εκτελώντας ερευνητικές γεωτρήσεις στο πεδίο λαμβάνονται πυρήνες πετρώματος με σκοπό να εκτιμηθεί η στρωματογραφία της περιοχής. Στη συνέχεια από τα διατρητικά δεδομένα δημιουργείται το προφίλ του κοιτάσματος. Έπειτα γίνεται εκτίμηση των αποθεμάτων του κοιτάσματος από τα γεωτρητικά δεδομένα. Αυτή είναι μια διαδικασία μεγάλης σημασίας, επειδή οι μεταλλευτικές επενδύσεις είναι γενικά μεγάλες. Έτσι από την κατανομή της περιεκτικότητας και των αποθεμάτων στο χώρο, θα αποφασιστεί η μέθοδος εκμετάλλευσης, ο τρόπος προσπέλασης, ο προγραμματισμός της παραγωγής, το μέγεθος της επιχείρησης, κ.α.

Τα προβλήματα που εμφανίζονται σε τέτοιου είδους προσεγγίσεις είναι πολλά, τα σημαντικότερα είναι τα παρακάτω.

Την χρονική στιγμή πριν την έναρξη της εξόρυξης **τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην τελική εκτίμηση είναι περιορισμένα**. Όσο πυκνή και να είναι η διάτρηση, το μέγεθος του δείγματος σε σχέση με το μέγεθος που αντιπροσωπεύει είναι πολύ μικρό.

Ωστόσο το στατιστικό πρόβλημα της πολύ μικρής (ογκομετρικά) δειγματοληψίας συνδυάζεται με αυτό **της ποιότητας δειγματοληψίας**. Η απόληψη μπορεί να είναι προβληματική σε μερικά σημεία. Διαφορετικές γεωτρητικές τεχνικές δίνουν δείγματα διαφορετικής ποιότητας. Ο χειρισμός των δειγμάτων μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία τους. Δείγματα κάτω από τον υδάτινο ορίζοντα μπορεί να είναι λιγότερο αξιόπιστα όταν γίνεται χρήση δονητικών γεωτρητικών τεχνικών.

Είναι πολύ σημαντικό επίσης το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση αποθεμάτων να βασίζεται στην καλύτερη δυνατή ερμηνεία των διαθέσιμων δεδομένων και των αναλύσεων. Το γεωλογικό μοντέλο χρειάζεται να είναι συνεχές και να

αναπαριστά επαρκώς τους βασικούς γεωμετρικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή της περιεκτικότητας. Γενικά όσο πιο πολύπλοκη είναι η γεωλογία, τόσο πιο σημαντικός θα είναι ο ρόλος της στην εκτίμηση αποθεμάτων. Η γεωμετρία της μεταλλοφορίας είναι συχνά ο κύριος καθοριστικός παράγοντας στην εκτίμηση των αποθεμάτων.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η **μέθοδος εξόρυξης**. Υπάρχουν πολλά θέματα που καθορίζονται από τους εξορυκτικούς παράγοντες κατά την εκτίμηση αποθεμάτων (Καπαγερίδης 2006).

Οι μέθοδοι υπολογισμού αποθεμάτων χωρίζονται σε γεωμετρικές, στατιστικές, και γεωστατιστικές. Οι ενότητες αυτού του κεφαλαίου που ακολουθούν αναφέρονται στις γεωμετρικές και τις γεωστατιστικές μεθόδους μιας και είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη μεταλλευτική.

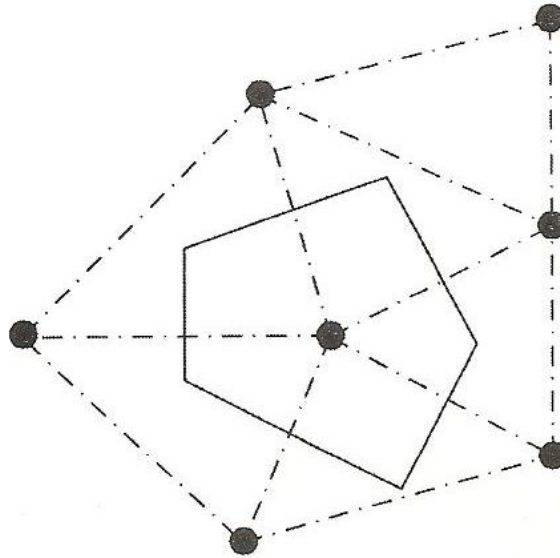
2.2 Γεωμετρικές μέθοδοι

Με τις μεθόδους αυτές ο υπολογισμός της ποιότητας του κοιτάσματος και των αποθεμάτων γίνεται με τον καθορισμό της ζώνης επιρροής κάθε δείγματος. Ο καθορισμός αυτός γίνεται με βάση γεωμετρικά κριτήρια, τα οποία συνιστούν μια παραδοχή αναφορικά με την κατανομή της μεταλλοφορίας. Οι κυριότερες μέθοδοι της κατηγορίας αυτής είναι η μέθοδος των πολυγώνων, η μέθοδος των τομών και η μέθοδος των τριγώνων (Γαλετάκης 2009, Μπατάλας 2011) .

2.2.1 Μέθοδος των πολυγώνων

Οι μέθοδοι πολυγώνων έχουν την μακρύτερη ιστορία χρήσης στη μεταλλευτική. Σύμφωνα με τη μέθοδο των πολυγώνων, σε χάρτη όπου έχουν τοποθετηθεί οι γεωτρήσεις και τα όρια του κοιτάσματος, ενώνεται κάθε γεώτρηση μέσω ευθύγραμμων

τμημάτων με τις πλησιέστερες γεωτρήσεις. Μετά φέρονται οι μεσοκάθετοι των ευθύγραμμων τμημάτων και σχηματίζεται ένα πολύγωνο γύρω από κάθε γεώτρηση (εικόνα 2.1). Η πολυγωνική αυτή επιφάνεια είναι η επιφάνεια επιρροής της γεώτρησης και έχει χαρακτηριστικά όμοια με αυτά της γεώτρησης. Ο αντίστοιχος όγκος επιρροής της γεώτρησης στο χώρο είναι, ένα πολυγωνικό πρίσμα με βάση την παραπάνω επιφάνεια και ύψος το πάχος του κοιτάσματος στη θέση της γεώτρησης. Έτσι ο συνολικός όγκος του κοιτάσματος θα είναι ίσος με το άθροισμα των όγκων των πρισμάτων που αναφέρθηκαν και η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος θα ισούται με τον μέσο όρο των περιεκτικότητων των γεωτρήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο επιρροής της κάθε γεώτρησης ως συντελεστή στάθμισης (Μενεγάκη 2010).



Εικόνα 2.1 Η ιδέα της πολυγωνικής εκτίμησης (Καπαγερίδης 2006)

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στις εξής παραδοχές:

1. Η ποιότητα του κοιτάσματος είναι η ίδια σε ολόκληρο τον όγκο του αντίστοιχου πρίσματος.
2. Το πάχος του κοιτάσματος σε ολόκληρο το πρίσμα είναι το ίδιο με εκείνο της γεώτρησης.

Η μέθοδος των πολυγώνων έχει το πλεονέκτημα ότι είναι αρκετά απλή έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί εύκολα. Ωστόσο δοσμένης μιας διάταξης δειγματοληψίας μη ομαδοποιημένης, η πολυγωνική μέθοδος θα οδηγήσει σε μια αντικειμενική εκτίμηση των συνολικών πόρων. Παρόλα αυτά, σε ότι αφορά την τοπική εκτίμηση, η πολυγωνική μέθοδος είναι μη αποδεκτή διότι:

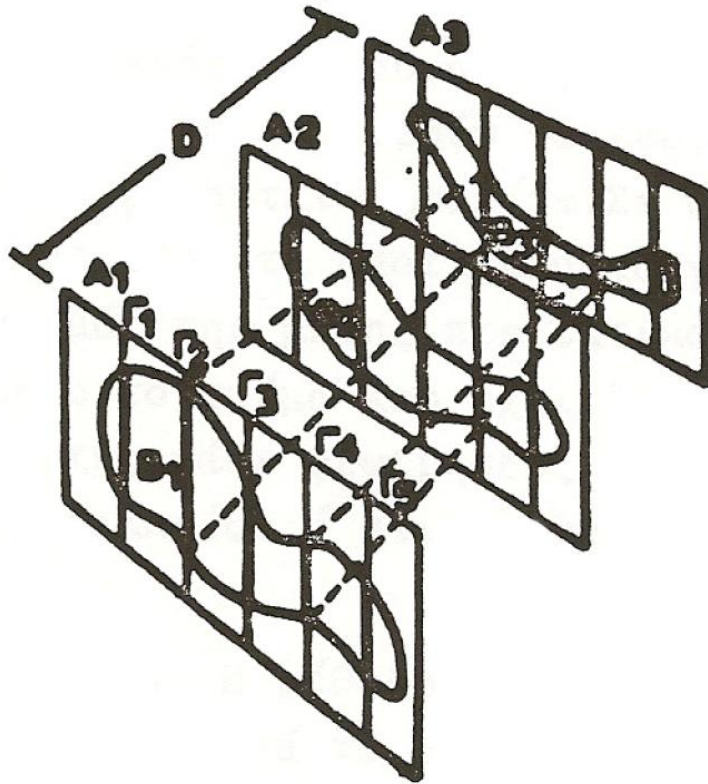
1. Δεν λαμβάνει υπόψη τον συσχετισμό της μεταλλοφορίας στο χώρο.
2. Δεν χρησιμοποιεί άλλα δεδομένα εκτός από το δείγμα στο κέντρο.
3. Γενικά οδηγεί σε μεγάλα σφάλματα υπό συνθήκη.

Ιδιαίτερα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πολυγωνικές μέθοδοι έχουν σημαντική απόκλιση όταν χρησιμοποιούνται για τη εκτίμηση αποθεμάτων, και μάλιστα το ιστόγραμμα των εκτιμήσεων ταυτίζεται με αυτό των δειγμάτων (Καπαγερίδης, 2006).

2.2.2 Μέθοδοι Τομών

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως, όταν ο κάναβος γεωτρήσεων είναι κατά το δυνατό κανονικός, ή ακόμα όταν ένα κοίτασμα, συνήθως φλεβικό, έχει ερευνηθεί με μια σειρά από ριπίδια (βεντάλιες) γεωτρήσεων, των οποίων τα επίπεδα είναι παράλληλα μεταξύ τους, και συνήθως κάθετα προς το μεγάλο άξονα του κοιτάσματος. Στη θέση κάθε παράλληλης σειράς γεωτρήσεων κατασκευάζεται μια τομή (εικόνα 2.2). Από την τομή αυτή προκύπτει η επιφάνεια της τομής του κοιτάσματος στη θέση αυτή και η μέση περιεκτικότητα του μεταλλεύματος, που αντιστοιχεί στην τομή. Η περιεκτικότητα αυτή υπολογίζεται ως σταθμικός μέσος όρος της περιεκτικότητας της κάθε γεώτρησης και της επιφάνειας επιρροής της γεώτρησης. Η επιφάνεια επιρροής ορίζεται από τα μέσα των αποστάσεων της γεώτρησης προς τις δύο γειτονικές της γεωτρήσεις στην τομή αυτή. Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός της μέσης περιεκτικότητας των τμημάτων που περιλαμβάνονται μεταξύ των τομών. Ως περιεκτικότητα για κάθε τμήμα μεταξύ δύο διαδοχικών τομών, λαμβάνεται ο σταθμικός

μέσος όρος που προκύπτει από τις μέσες περιεκτικότητες των τομών και τα εμβαδά των αντίστοιχων επιφανειών κατά τις οποίες τέμνεται το κοίτασμα (Μενεγάκη,2010).



Εικόνα 2.2: Υπολογισμός αποθεμάτων με τη μέθοδο των τομών (Μενεγάκη, 2010)

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο όγκος του κοιτάσματος, που περιλαμβάνεται μεταξύ κάθε ζεύγους τομών, με εφαρμογή του τύπου της κόλουρης πυραμίδας:

$$V=L*[(E1+E2+(E1*E2)^{(1/2)})]/3$$

Όπου: V= όγκος

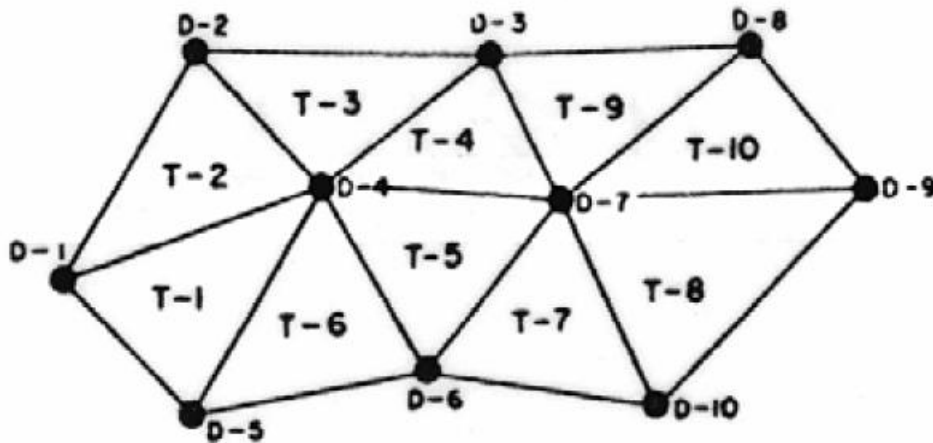
E1 και E2 = τα εμβαδά των δύο τομών, και

L= η απόσταση μεταξύ τους

Για τον έλεγχο των υπολογισμών, επαναλαμβάνεται συνήθως, η ίδια διαδικασία για το σύστημα των τομών που ορίζουν οι σειρές του κανάβου των γεωτρήσεων, κατά διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση των προηγούμενων τομών (Καπαγερίδης 1995).

2.2.3 Μέθοδος των τριγώνων

Αυτή η μέθοδος υπολογισμού αποθεμάτων είναι μια παραλλαγή της πολυγωνικής μεθόδου. Κατασκευάζεται μια σειρά από τρίγωνα με κορυφές τις γεωτρήσεις. Η μέθοδος των τριγώνων έχει το πλεονέκτημα ότι και τα τρία σημεία λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του πάχους και της ποιότητας για κάθε τριγωνικό μπλοκ αποθέματος. Στην εικόνα 2.3 που ακολουθεί φαίνεται η πρισματική μορφή που παίρνει το κοίτασμα μετά την τριγωνοποίηση (Καπαγερίδης 1995).



Εικόνα 2.3 Υπολογισμός αποθεμάτων με τη μέθοδο τριγώνων (Καπαγερίδης 1995)

Η μέθοδος των τριγώνων έχει το πλεονέκτημα ότι τα εμβαδά υπολογίζονται εύκολα γεωμετρικά ή μέσω συντεταγμένων με χρήση υπολογιστή. Ο όγκος των πρισμάτων υπολογίζεται ως το γινόμενο του εμβαδού της βάσης κάθε τριγώνου, επί το ύψος που

λαμβάνεται από το μέσο όρο του πάχους των τριών γεωτρήσεων που σχηματίζουν το πρίσμα. Η μέση ποιότητα υπολογίζεται ως σταθμικός μέσος των τριών γεωτρήσεων που ορίζουν οι κορυφές του τριγώνου (Καπαγερίδης 1995).

Υπάρχουν δύο παραλλαγές της μεθόδου:

- i. Η μέση περιεκτικότητα ενός τριγώνου που ορίζεται από τα τρία γωνιακά δείγματα εκτιμάται από τη μέση τιμή τους.
- ii. Μια δεύτερη προσέγγιση είναι η εκτίμηση μικρών μπλοκ. Κάθε μπλοκ εντός του τριγώνου εκτιμάται από ένα γραμμικό συνδυασμό των γωνιακών γεωτρήσεων. Τα βάρη που χρησιμοποιούνται είναι συχνά αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης του δείγματος από το μπλοκ. Και πάλι αυτή η μέθοδος (παρόλο που μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα από τον υπολογιστή) αγνοεί παράγοντες σημαντικούς για την εκτίμηση.

2.3 Γεωστατιστικές μέθοδοι

Η γεωστατιστική είναι κλάδος της Εφαρμοσμένης Στατιστικής που απασχολείται με φαινόμενα που κυμαίνονται στο χώρο (Olea, 1991). Έτσι στηρίζεται στη βάση της θεωρίας πιθανοτήτων και την στατιστική. Για το λόγο αυτό αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία των πιθανοτήτων.

Ο **χώρος** είναι η συνολική μάζα ή ο όγκος του υλικού ενδιαφέροντος ως πηγή δεδομένων. Στη μεταλλευτική γεωστατιστική αυτό είναι το κοίτασμα ενδιαφέροντος, αν και θα μπορούσε να είναι μια ζώνη ενός κοιτάσματος, μια ομάδα κοιτασμάτων ή ένας ερευνητικός χώρος. Έτσι μπορεί να έχει καθαρά και ακριβή όρια ή να είναι ασαφής.

Ο **πληθυσμός** είναι το σύνολο όλων των πιθανών στοιχείων που μπορούμε να πάρουμε από ένα ορισμένο χώρο. Έτσι, ο ορισμός ενός δοσμένου πληθυσμού είναι στενά

συνδεδεμένος με τις προδιαγραφές της μονάδας δειγματοληψίας. Επίσης μπορούμε να ορίσουμε πολλούς πληθυσμούς από ένα δοσμένο χώρο.

Κάθε ξεχωριστή μέτρηση ή παρατήρηση ενός δοσμένου πληθυσμού είναι μια **μονάδα δειγματοληψίας** (Καπαγερίδης 2006).

2.3.1 Μέθοδοι αντιστρόφου αποστάσεως (AA)

Οι μέθοδοι αντιστρόφου αποστάσεως είναι πιο πρόσφατες από τις προηγούμενες τεχνικές, και έγιναν πιο δημοφιλείς με την εξάπλωση των υπολογιστών. Η εκτιμώμενη μεταλλοφορία διαιρείται σε μπλοκ, γενικά ίδιου μεγέθους. Η μέση περιεκτικότητα ενός μπλοκ εκτιμάται από έναν ζυγισμένο γραμμικό συνδυασμό γειτονικών δειγμάτων. Οι παράγοντες βαρύτητας δίνουν περισσότερο βάρος στα κοντινότερα δείγματα βάση της εξίσωσης:

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^\alpha}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^\alpha}}$$

Όπου d_i είναι η απόσταση του δείγματος i από το κέντρο του μπλοκ που υπολογίζεται και α είναι η επιλεγμένη δύναμη. Μόνο δείγματα εντός μιας δοσμένης ζώνης επιρροής χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση.

Η μέθοδος AA είναι μια γενίκευση της τριγωνικής μεθόδου (της δεύτερης παραλλαγής) και είναι εύκολα εκτελέσιμη από υπολογιστή. Τα περισσότερα λογισμικά σχεδίασης ορυχείων μπορούν να πραγματοποιήσουν την μέθοδο AA. Παρόλο που αποτελεί ουσιαστική βελτίωση σε σχέση με τις πολυγωνικές μεθόδους, δεν μπορεί να λάβει υπόψη γνωστούς συσχετισμούς μεταξύ των περιεκτικότητων. Το κυριότερο μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι οι κλασικές μέθοδοι δεν στηρίζονται στην πραγματική χωρική δομή των δεδομένων. Υπάρχουν παραλλαγές της AA που

συμπεριλαμβάνουν την ανισοτροπία. Ο υπολογισμός βαριογραμμάτων γίνεται συχνά για να καθορίσει τις αναλογίες της ανισοτροπίας. Σε μια τέτοια περίπτωση η περισσότερη εργασία γίνεται προς την κατεύθυνση μιας γεωστατιστικής εκτίμησης (Καπαγερίδης 2006).

2.3.2 Μέθοδος Kriging

Στις αρχές της δεκαετίας του '60, ο George Matheron ανέπτυξε μια γενική λύση στο πρόβλημα της τοπικής εκτίμησης η οποία στηρίχθηκε σε μια εμπειρική λύση που αναπτύχθηκε από τον Νότιο-Αφρικανό D.G. Krige. Για να τιμήσει την πρωτοπόρο συνεισφορά του Krige σε αυτό το πεδίο, ο Matheron ονόμασε τη νέα τεχνική που ανέπτυξε kriging. Το Kriging είναι ένας τρόπος να υπολογίζονται τα βάρη W_i ώστε να αποδίδουν την μεταβλητότητα των περιεκτικοτήτων στο χώρο. Κατά τον ίδιο τρόπο με την διόρθωση του Krige ο εκτιμητής αυτός ζυγίζει ένα δείγμα σύμφωνα με τη θέση του σε σχέση με το τμήμα που εκτιμάται.

Η ακρίβεια των εκτιμήσεων εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων, αυτοί είναι:

- i. **Ο αριθμός των δειγμάτων και η ποιότητα των δεδομένων σε κάθε δείγμα.** Η ποιότητα μπορεί να αλλάζει σημαντικά από ένα δείγμα σε άλλο. Ο εκτιμητής μας δεν θα πρέπει απαραίτητα να δίνει την ίδια σημασία σε κάθε δείγμα που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση.
- ii. **Η γεωμετρία των δειγμάτων στο κοίτασμα.** Ομαλή κατανομή των δειγμάτων μέσα στο κοίτασμα πετυχαίνει καλύτερη κάλυψη και δίνει περισσότερες πληροφορίες από έναν ισοδύναμο αριθμό δειγμάτων που είναι τοπικά ομαδοποιημένα.
- iii. **Η απόσταση μεταξύ ενός δείγματος και της περιοχής που θέλουμε να εκτιμήσουμε.** Εάν πρόκειται να εκτιμηθεί ένα συγκεκριμένο μπλοκ, είναι φυσικό να δοθεί περισσότερη έμφαση σε δείγματα κοντά στο μπλοκ ενδιαφέροντος από ότι σε μακρινά δείγματα. Ομοίως εάν το ζητούμενο είναι να

γίνουν σημειακές εκτιμήσεις (για παράδειγμα, της μεταβλητής πάχους) αναμένεται από τον εκτιμητή να είναι ακριβής στα σημεία που υπάρχουν τα δεδομένα, πιο αξιόπιστος κοντά στα σημεία των δειγμάτων, και να πέφτει σε αξιοπιστία καθώς η απόσταση από το κοντινότερο δείγμα αυξάνεται.

- iv. **Η χωρική συνέχεια των μεταβλητών παρεμβολής.** Θα πρέπει να απαιτείται κάτι περισσότερο από μια αυθαίρετη μείωση της τιμής του βάρους καθώς αυξάνει η απόσταση από το μπλοκ ή από το σημείο που εκτιμάται, όπως γίνεται στη μέθοδο αντιστρόφου αποστάσεως. Θα πρέπει επίσης να ζητήσουμε η χωρική μεταβλητότητα της μεταβλητής μας να συμπεριληφθεί στις εκτιμήσεις μας. Μεταβλητές με πολύ ομαλές μεταβολές (π.χ. η οροφή ενός ομαλά παραμορφωμένου γεωλογικού ορίζοντα) δεν θα πρέπει να ζυγίζονται κατά τον ίδιο τρόπο με μεταβλητές με πιο ακανόνιστη χωρική διακύμανση, όπως οι περιεκτικότητες των μετάλλων.

Το kriging είναι μια μέθοδος εκτίμησης που λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες που αναφέρθηκαν ως επιθυμητούς για έναν εκτιμητή.

Το kriging με απλά λόγια

Το πρόβλημα είναι να ληφθεί μια εκτίμηση σε μια άγνωστη θέση. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας ένα γραμμικό σταθμισμένο μέσο:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z(\chi_i)$$

Το ζήτημα είναι η επιλογή των βαρών λ_i με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες που προαναφέρθηκαν. Στην απλούστερη μορφή του το kriging είναι ένας ζυγισμένος μέσος, όπου τα βάρη επιλέγονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Όπως και για τη μέθοδο αντιστρόφου αποστάσεως, σε ένα kriging αποδίδονται βάρη στα δείγματα που βρίσκονται μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή ανίχνευσης για να ληφθεί μια γραμμική εκτίμηση. Αυτά είναι τα βάρη του kriging.

Αυτό που κάνει το kriging να διαφέρει από τους άλλους γραμμικούς σταθμισμένους μέσους είναι ότι στηρίζεται σταθερά στο μοντέλο πιθανοτήτων. Ειδικότερα το kriging χρησιμοποιεί το μοντέλο βαριογράμματος ως συνάρτηση του βάρους (Καπαγερίδης 2006).

Σήμερα πλέον έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της τεχνικής kriging:

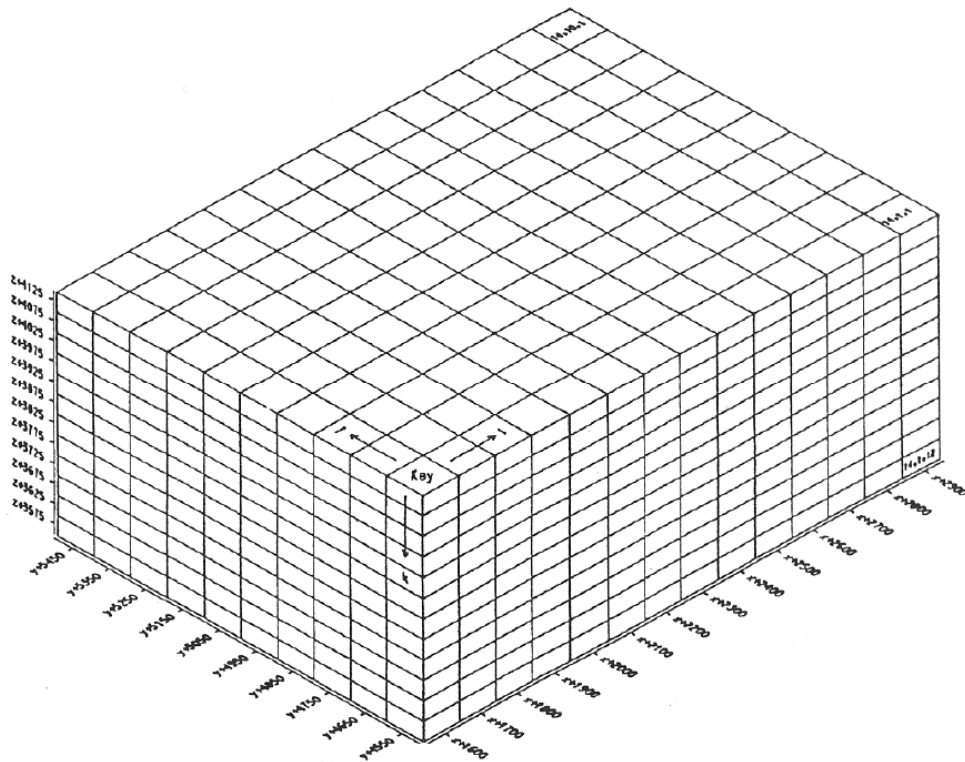
- **Σημειακό kriging (Point Kriging):** είναι μια διαδικασία κατά την οποία εκτιμάται η τιμή των σημείων χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του επιλεγμένου βαριογράμματος.
- **Το κανονικό kriging (ordinary Kriging):** είναι ένας ιδιαίτερα σταθερός εκτιμητής που μπορεί να αντιμετωπίσει λοξότητα μεγάλου βαθμού στην κατανομή των δεδομένων, ενώ παράλληλα είναι ευαίσθητο στην παρουσία ακραίων τιμών και μπορεί έτσι να δώσει αναξιόπιστα αποτελέσματα.
- **Το απλό kriging (simple kriging):** είναι επίσης ένας σταθερός εκτιμητής αλλά εδώ δεν εφαρμόζεται ο περιορισμός για το άθροισμα των συντελεστών να είναι μονάδα. Αντί αυτού, υπολογίζεται ένα εξωτερικό βάρος αφαιρώντας το άθροισμά τους από τη μονάδα. Αυτό το εξωτερικό βάρος εφαρμόζεται στη συνέχεια στη μέση τιμή X της τυχαίας μεταβλητής σε όλο το κοίτασμα.
- **Καθολικό kriging (universal kriging):** χρησιμοποιείται όταν εμφανίζεται μεγάλη τάση ως αποτέλεσμα μη-στασιμότητας.

2.4 Ανάπτυξη ψηφιακών μοντέλων του κοιτάσματος

Βασικό βήμα για τη σχεδίαση μιας εκμετάλλευσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή αποτελεί η ανάπτυξη του ψηφιακού μοντέλου του κοιτάσματος.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος υλοποίησης ενός ψηφιακού μοντέλου είναι ένας νοερός τρισδιάστατος κανάβος με μοναδιαία διανύσματα ΔX , ΔY , ΔZ , όπου κάθε κόμβος του κανάβου αναπαριστά ένα στοιχειώδη όγκο ΔV του κοιτάσματος, με κέντρο τον κόμβο

και διαστάσεις $\Delta X \Delta Y \Delta Z$. Ο στοιχειώδης όγκος ΔV ονομάζεται κυψελίδα και οι διαστάσεις και το σχήμα του εξαρτώνται από τη μορφή του κοιτάσματος, τη μέθοδο εκμετάλλευσης, το είδος και την πυκνότητα των ερευνητικών εργασιών. Κάθε στοιχειώδης όγκος καθορίζεται από τρεις δείκτες i, j, k . Έχοντας καθορίσει την αρχή των αξόνων του μοντέλου οι δείκτες i, j, k , δίνουν σε συνάρτηση με τις στοιχειώδεις διαστάσεις $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ τις συντεταγμένες κάθε στοιχειώδους όγκου στο χώρο (εικόνα 2.4). Ο καθορισμός των στοιχειωδών διαστάσεων $\Delta X, \Delta Y$ είναι σε άμεση σχέση με την πυκνότητα των γεωτρήσεων. Σαν εμπειρικός κανόνας ισχύει ότι οι διαστάσεις αυτές πρέπει να κυμαίνονται στο $1/4$ με $1/5$ της μέσης ελάχιστης απόστασης των γεωτρήσεων. Η διάσταση ΔZ κατά τον κατακόρυφο άξονα Z λαμβάνεται συνήθως ίση με το ύψος της βαθμίδας, γιατί με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η συμβατότητα με τις γεωμετρικές διαστάσεις του ορυχείου και διευκολύνεται ο υπολογισμός του χρονοδιαγράμματος παραγωγής και χρηματικών εισροών (Γαλετάκης 2009).



Εικόνα 2.4 Υλοποίηση τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου. Καθορισμός αρχής, μεγέθους και μοναδιαίων διανυσμάτων $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (Γαλετάκης 2009).

Για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων με υπαίθρια εκμετάλλευση, χρησιμοποιούνται συνήθως οι παρακάτω τύποι μοντέλων:

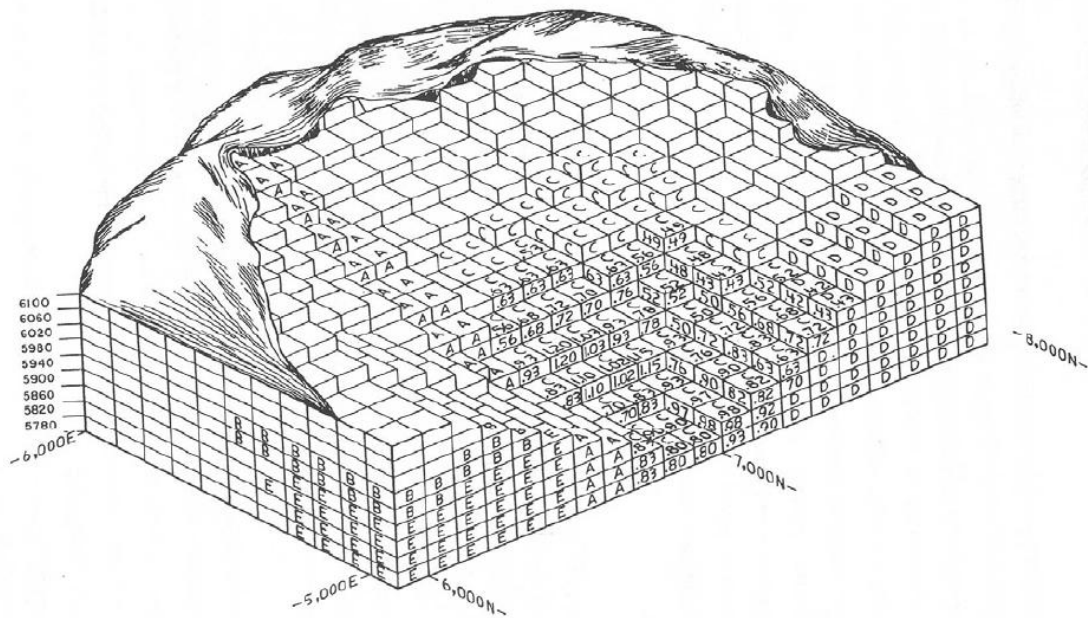
- i. Τρισδιάστατο μοντέλο με κυψελίδα τετραγωνικής διατομής ($\Delta X = \Delta Y$) σταθερής σ' όλη την έκταση του κοιτάσματος και ΔZ ίσο με το ύψος της βαθμίδας εκμετάλλευσης (εικόνα 2.5).
- ii. Τρισδιάστατο μοντέλο με κυψελίδα ορθογωνικής διατομής μεταβαλλόμενης από θέση σε θέση ($\Delta X \cdot \Delta Y$) και ΔZ ίσο με το ύψος της βαθμίδας.
- iii. Απλό ή πολλαπλό δισδιάστατο μοντέλο με τετραγωνική κυψελίδα ($\Delta X = \Delta Y$). Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται σε στρωσιγενή κοιτάσματα που αποτελούνται από πολλαπλούς ορίζοντες. Για κάθε ορίζοντα δημιουργείται ένα δισδιάστατο μοντέλο και με υπέρθεση όλων των επιμέρους μοντέλων δημιουργείται το συνολικό (εικόνα 2.6).
- iv. Δισδιάστατο μοντέλο με μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας. Τέτοια μοντέλα δημιουργούνται όταν είναι διαθέσιμα στοιχεία από κατακόρυφες τομές (εικόνα 2.7).
- v. Τρισδιάστατο μοντέλο με μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας. Χρησιμοποιείται για κοιτάσματα που αποτελούνται από μεμονωμένους φακούς ή θύλακες ακανόνιστης μορφής.

Σε κάθε κυψελίδα υπολογίζονται και αποδίδονται οι τιμές των παραμέτρων του κοιτάσματος που μελετούνται. Ο υπολογισμός γίνεται με ειδικές μεθόδους παρεμβολής, χρησιμοποιώντας τα γνωστά στοιχεία από τις γεωτρήσεις και τις άλλες ερευνητικές εργασίες. Οι μέθοδοι αυτοί λαμβάνουν υπ' όψιν τις τιμές της υπολογιζόμενης παραμέτρου των γειτονικών στην κυψελίδα στοιχείων των γεωτρήσεων, τις αποστάσεις τους και τις σχετικές τους θέσεις ως προς αυτή.

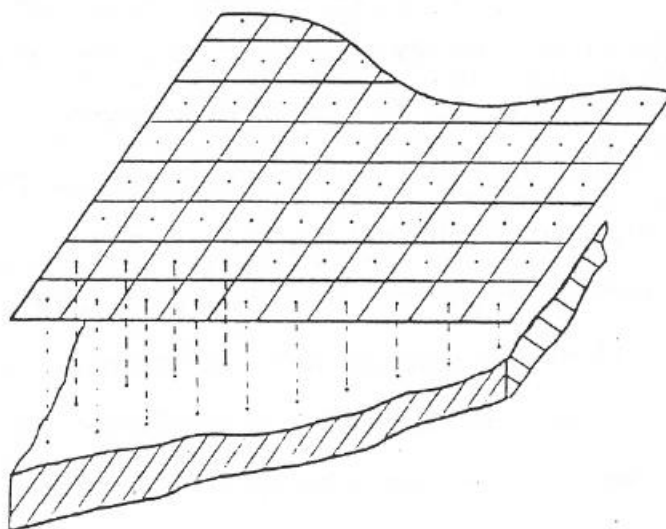
Οι πιο γνωστές είναι οι μέθοδοι των αντίστροφων αποστάσεων, των κινητών μέσων, οι στατιστικές, οι γεωστατιστικές και οι πλέον πρόσφατες που βασίζονται στα νευρωνικά δίκτυα και στους γενετικούς αλγορίθμους (Γαλετάκης 2009).

Τα βασικά λοιπόν βήματα στη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου κοιτάσματος είναι:

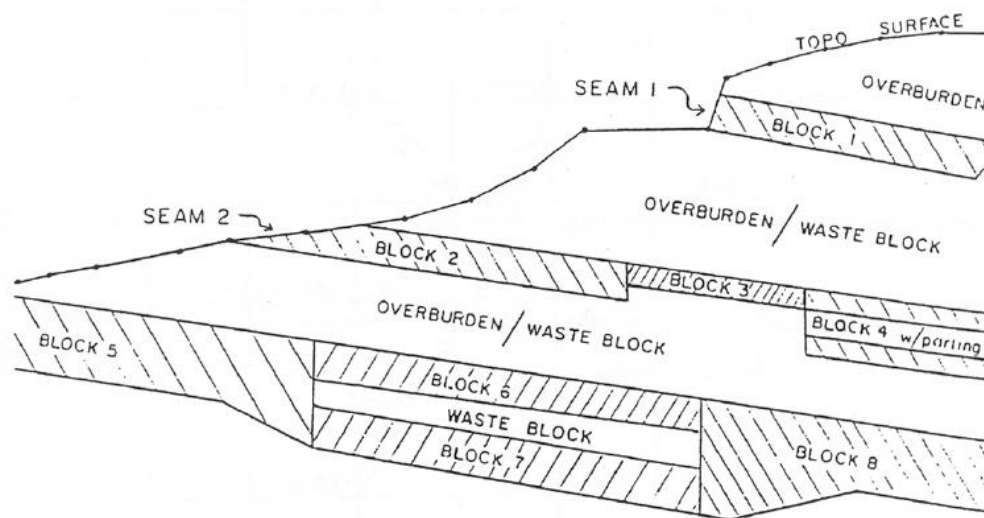
- i. Υπολογισμός των σύνθετων δειγμάτων από τα δείγματα πυρήνων των γεωτρήσεων.
- ii. Καθορισμός της θέσης και των στοιχειωδών διαστάσεων του μοντέλου.
- iii. Υπολογισμός του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας για την περιοχή που καταλαμβάνει το μοντέλο του κοιτάσματος.
- iv. Απόδοση τιμής της παραμέτρου του κοιτάσματος που εξετάζεται (π.χ. περιεκτικότητα) σε κάθε ένα στοιχειώδη όγκο.



Εικόνα 2.5 Τρισδιάστατο μοντέλο με κυψελίδα τετραγωνικής διατομής ($\Delta X = \Delta Y$) σταθερής σ' όλη την έκταση του κοιτάσματος και ΔZ ίσο με το ύψος της βαθμίδας εκμετάλλευσης (Γαλετάκης 2009).



Εικόνα 2.6 Δισδιάστατο μοντέλο με τετραγωνική κυψελίδα ($\Delta x = \Delta y$) (Γαλετάκης 2009).



Εικόνα 2.7 Μοντέλο κοιτάσματος με ακανόνιστο και μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας (Γαλετάκης 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Σχεδιασμός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων

Η υπαίθρια εκμετάλλευση είναι η παλαιότερη μέθοδος εκμετάλλευσης.

Η τεχνολογική εξέλιξη στο μηχανολογικό εξοπλισμό των ορυχείων, που σημειώθηκε τα τελευταία χρόνια, έδωσε το προβάδισμα στην υπαίθρια εκμετάλλευση έναντι της υπόγειας. Η μηχανοποίηση της εκσκαφής, που συνεπάγεται μεγάλες επενδύσεις, σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη στενότητα των ακατέργαστων πρώτων υλών και ιδιαίτερα των καυσίμων συντέλεσε στην αύξηση της τιμής της οριακής σχέσεως αποκαλύψεως με αποτέλεσμα βαθιά κοιτάσματα που η εκμετάλλευσή τους γινόταν με υπόγεια εκμετάλλευση, τώρα η απόληψη τους μπορεί να γίνει επιφανειακά.

Είναι φανερό ότι ο υψηλός συντελεστής απολήψεως του κοιτάσματος, που μπορεί να φτάσει το 100%, δημιουργεί πιο ευνοϊκές συνθήκες χρήσης της υπαίθριας εκμεταλλεύσεως σε βάρος της υπόγειας.

Καθοριστικοί παράγοντες εκλογής μεταξύ της υπαίθριας και της υπόγειας εκμεταλλεύσεως είναι το κόστος ανά μονάδα χρήσιμου στοιχείου και ο βαθμός απολήψεως του κοιτάσματος.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι τα ακόλουθα (Καβουρίδης 1990):

- i. Υψηλός συντελεστής απόληψης. Σε εκμεταλλεύσεις άνθρακα οι απώλειες μπορούν να μηδενιστούν όταν πρόκειται για αδιατάρακτα στρώματα και καλό σχεδιασμό της μεθόδου, ενώ σε κοιτάσματα με διαταραγμένα στρώματα δεν υπερβαίνουν το 5%. Η σημασία αυτού του πλεονεκτήματος είναι πολύ ουσιώδης αρκεί να ληφθεί υπόψη ότι τα γνωστά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα μειώνονται συνεχώς παρά την εφαρμογή ολόένα και πιο βελτιωμένων μεθόδων εκμετάλλευσης.

- ii. Υψηλή παραγωγικότητα ανά οκτάωρο – άτομο και κατά συνέπεια μικρότερο κόστος παραγωγής ανά τόνο.
- iii. Καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους εργαζομένους
- iv. Δυνατότητα χρήσης ισχυρότερου και καλύτερου εξοπλισμού εξορύξεως, φορτώσεως και αποκομιδής υλικού. Η μηχανοποίηση της παραγωγής σε υπέρμετρο βαθμό θα πρέπει να αποφευχθεί.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι τα ακόλουθα (Καβουρίδης 1990):

- i. Διακίνηση τεράστιων ποσοτήτων μη χρήσιμου υλικού
- ii. Μεγάλες επενδύσεις στα αρχικά στάδια και μάλιστα σε περιορισμένο αριθμό μηχανημάτων
- iii. Έκθεση στις άμεσες επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.

Η επιτυχία ενός μηχανοποιημένου επιφανειακού μεταλλείου ή ορυχείου εξαρτάται τόσο από ένα πλήρη, περιεκτικό και μακρόπνοο σχεδιασμό όσο και από την απόκτηση των απαραίτητων κεφαλαίων (Καβουρίδης 1990).

3.2 Μέθοδοι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων:

- i. Η μέθοδος της συνεχούς εξόρυξης (Γερμανική μέθοδος)
- ii. Η μέθοδος της ασυνεχούς εξόρυξης (Αμερικανική μέθοδος)

3.2.1 Η μέθοδος συνεχούς εκμετάλλευσης

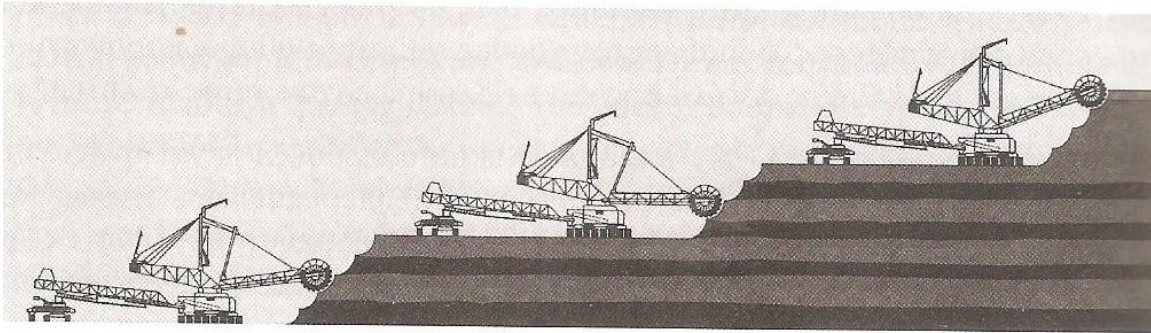
Είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρον από την ΔΕΗ στα λιγνιτωρυχεία της στην λεκάνη της Πτολεμαΐδας.

Η μέθοδος αυτή βρίσκει πεδίο εφαρμογής σε μαλακά πετρώματα με στρώματα οριζόντια ή πολύ μικρής κλίσης και κοιτάσματα μεγάλων αποθεμάτων. Η εξόρυξη

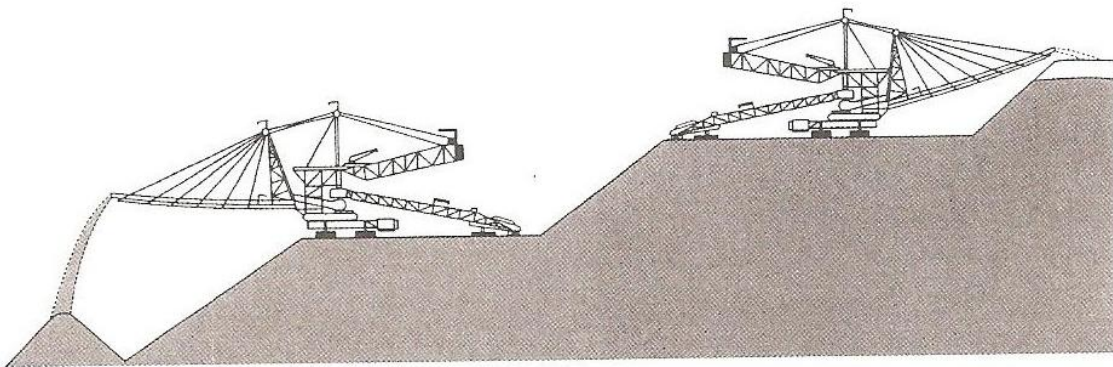
γίνεται με εκσκαφείς, με καδοτροχό ή καδοάλυσο (εικόνα 3.1), η μεταφορά με ταινιόδρομους ή τρένα και η απόθεση των αγόνων με αποθέτες ή ταινιογέφυρες (εικόνα 3.2).

Η εξέλιξη της μεθόδου έχει οδηγήσει σε επικράτηση των καδοφόρων εκσκαφών, των ταινιόδρομων, και των αποθετών, δηλαδή σε χρήση εξοπλισμού συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης, ολοένα και μεγαλύτερου μεγέθους. Ο εξοπλισμός για τη μέθοδο αυτή απαιτεί σημαντική επένδυση κεφαλαίου. Για το λόγο αυτό συναντάται σε μεγάλης κλίμακας εκμεταλλεύσεις.

Εφόσον επιτρέπει το κοίτασμα, είναι δυνατή η απευθείας εκσκαφή και απόθεση των στείρων, χρησιμοποιώντας ταινιογέφυρες ή και αποθέτες μεγάλου αναπτύγματος. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα γίνει εκτενής ανάλυση της μεθόδου.



Εικόνα 3.1 Γενική μορφή της πλευράς εκσκαφής υπαίθριου ανθρακωρυχείου σε πολυστρωματικό κοίτασμα με τη Γερμανική μέθοδο εκμετάλλευσης (Κολοβός 2004).



Εικόνα 3.2 Γενική μορφή της πλευράς απόθεσης υπαίθριου ανθρακωρυχείου σε πολυστρωματικό κοίτασμα με τη Γερμανική μέθοδο εκμετάλλευσης (Κολοβός 2004).

Ανάλογα με τη γενική μορφή του κοιτάσματος εφαρμόζεται στροφική ή παράλληλη προχώρηση των μετώπων εκσκαφής. Σε εκτεταμένα, επιμήκη πεδία χρησιμοποιείται συνηθέστερα η παράλληλη λειτουργία. Συχνά χρησιμοποιείται συνδυασμός στροφικής και παράλληλης λειτουργίας, προκειμένου η εκμετάλλευση να προσαρμοστεί στη μορφή του κοιτάσματος. Το λιγνιτωρυχείο Hambach της RheinBraun στη Ρηνανία της Γερμανίας είναι σήμερα το μεγαλύτερο ορυχείο στον κόσμο υπό εκμετάλλευση με τη συνεχή μέθοδο (Γερμανική), ενώ το 2^ο μεγαλύτερο είναι το λιγνιτωρυχείο Belchatow της Poltegor στην Πολωνία (Κολοβός 2004).

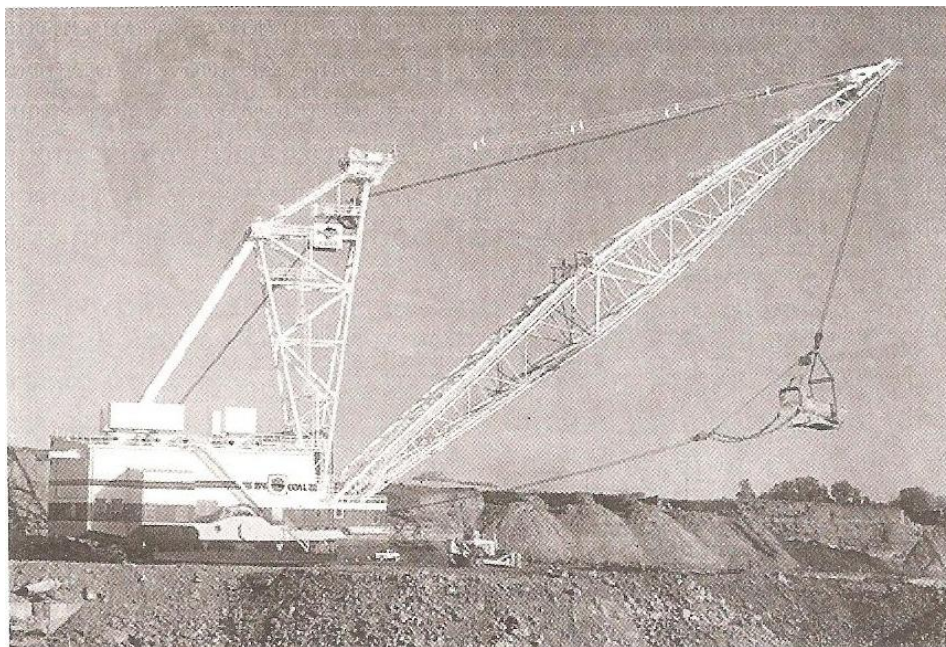
3.2.2 Η μέθοδος ασυνεχούς εκμετάλλευσης

Η μέθοδος της ασυνεχούς εξόρυξης για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων γαιανθράκων εφαρμόστηκε κατ' αρχήν στις Η.Π.Α. και αργότερα στις χώρες της τέως Σοβιετικής Ένωσης. Χρησιμοποιείται για σκληρούς σχηματισμούς και παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία. Διαφέρει από τη συνεχή μέθοδο ως προς το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό εξόρυξης, που είναι εκσκαφείς μετωπικού κάδου (shovels) (εικόνα 3.3) ή συρόμενου κάδου (draglines), και τον εξοπλισμό μεταφοράς και απόθεσης, που είναι βαρέα χωματουργικά αυτοκίνητα ή ειδικά οχήματα μεταφοράς γαιανθράκων. Εφόσον το επιτρέπει η συνεκτικότητα των πετρωμάτων, η εξόρυξη γίνεται απευθείας με τα προαναφερθέντα μηχανήματα, διαφορετικά προηγείται προχαλάρωση ή και εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών.



Εικόνα 3.3 Μηχανικό Shovel σε φόρτωση γαιάνθρακα σε χωματουργικό φορτηγό, κατά τη λειτουργία με την αμερικανική μέθοδο (Κολοβός 2004).

Ο εκσκαφέας συρόμενου κάδου (εικόνα 3.4) μπορεί να συνδυάσει λειτουργία εκσκαφής και απευθείας απόθεσης του υλικού, εάν ο χώρος απόθεσης βρίσκεται εντός της ακτίνας λειτουργίας του μηχανήματος. Η μεταφορά και απόθεση των υλικών γίνεται με ελαστικοφόρα χωματουργικά αυτοκίνητα οπίσθιας εκκένωσης ή από τον πυθμένα.



Εικόνα 3.4 Γιγάντιο Dragline σε αποκάλυψη γαιάνθρακα, κατά τη λειτουργία με την Αμερικανική μέθοδο (Κολοβός 2004)

Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί σημαντική επένδυση κεφαλαίου, εφόσον επιλεγεί εξοπλισμός μικρού σχετικά μεγέθους. Για το λόγο αυτό συναντάται σε όλες τις μικρής κλίμακας εκμεταλλεύσεις. Ωστόσο η εξέλιξη στην παραγωγή ολοένα και μεγαλύτερου μεγέθους εξοπλισμού έχει διεθνώς οδηγήσει στην τάση δημιουργίας εκμεταλλεύσεων μεγάλης δυναμικότητας, με λίγες μονάδες εξοπλισμού.

Το ορυχείο North Antelope-Rochelle της Peabody στο Γουαϊόμινγκ, με ετήσια παραγωγή 74,8 εκατομμύρια τόνους το 2002, είναι το μεγαλύτερο υπαίθριο ορυχείο γαιάνθρακα των ΗΠΑ με τη συνεχή μέθοδο (Κολοβός 2004).

3.3 Μέθοδος Συνεχούς Εκμετάλλευσης

3.3.1 Γενική μορφή εκμετάλλευσης

Η μέθοδος συνεχούς εκμετάλλευσης είναι μια μορφή υπαίθριας εκμετάλλευσης που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων. Στη γενική της μορφή υπάρχει η

περιοχή εκσκαφής με τους καδοφόρους εκσκαφείς, το σύστημα μεταφοράς με εκτεταμένες μεταφορικές ταινίες και η περιοχή απόθεσης με τους αποθέτες. Στην πιο απλή περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου υπάρχει ένας καδοφόρος εκσκαφέας στην πλευρά της εκσκαφής και ένας αποθέτης στην πλευρά της απόθεσης. Τα εξορυσσόμενα στο μέτωπο υλικά τροφοδοτούνται στον αποθέτη και από εκεί αποτίθενται στον χώρο απόθεσης.

Στην γενική περίπτωση που απεικονίζει η εικόνα 3.5, υπάρχει σε κάθε βαθμίδα της περιοχής εκσκαφής κατά κανόνα ένας καδοφόρος εκσκαφέας, που εξορύσσει και φορτώνει τα υλικά του μετώπου στη μεταφορική ταινία της τομής (τομοταινία εκσκαφής). Για τη σωστή φόρτωση, από τον εκσκαφέα στην τομοταινία, παρεμβάλλεται το όχημα φόρτωσης (που είναι στην ουσία μια χοάνη, που κινείται κατά μήκος της τομοταινίας παρακολουθώντας την κίνηση του καδοφόρου εκσκαφέα).

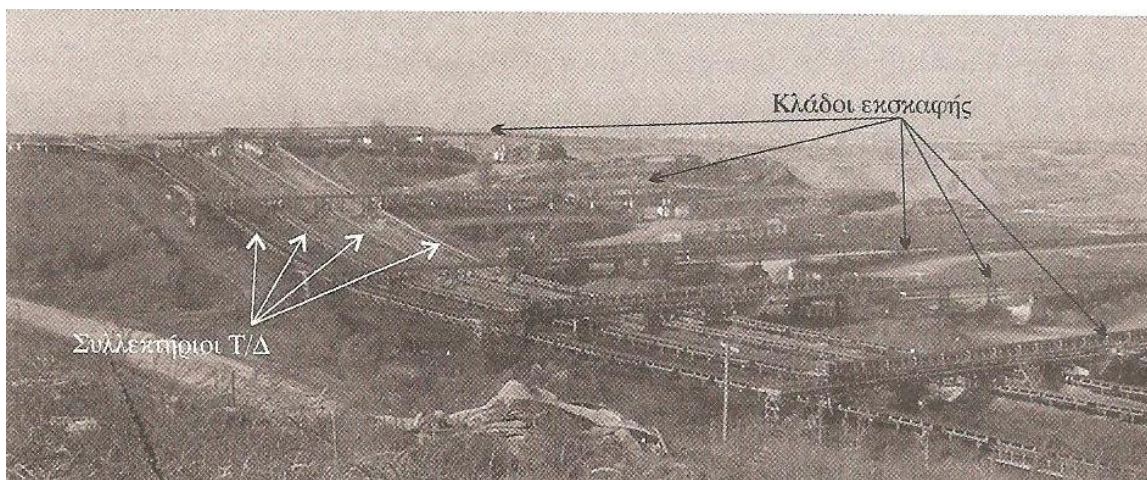


Εικόνα 3.5 Γενική διάταξη ορυχείου με τη συνεχή μέθοδο (Κολοβός 2004)

Η τομοταινία καλύπτει συνήθως όλο το μήκος της τομής (έως 3-3,5 km). Υπάρχουν ωστόσο περιπτώσεις που η τομή έχει πολύ μεγάλο μήκος (5-5,5 km), τότε οι απαιτήσεις

σε ισχύ για την κίνηση της τομοταινίας είναι πολύ μεγάλες και τότε τοποθετούνται δύο ταινίες σε σειρά για να καλυφθεί το μεγάλο αυτό μήκος. Όταν η απόσταση ανάμεσα στο χώρο εκσκαφής και στο χώρο απόθεσης γίνεται μεγαλύτερη, απαιτείται σύνδεση του καδοφόρου εκσκαφέα με τον αποθέτη μέσω μιας σειράς μεταφορικών ταινιών. Η τομοταινία μεταφορτώνει τα υλικά σε μία ή περισσότερες ταινίες που λέγονται συνδετήριες. Μια σειρά ταινιών λέγεται «κλάδος». Η απόθεση αναπτύσσεται αντίστοιχα σε βαθμίδες. Σε κάθε βαθμίδα της περιοχής απόθεσης υπάρχει ένας αποθέτης, που παραλαμβάνει τα μεταφερόμενα υλικά από την τομοταινία απόθεσης. Για τη σωστή φόρτωση, από την τομοταινία στον αποθέτη παρεμβάλλεται ο αναδιπλωτής, (ένα μηχάνημα που κινείται κατά μήκος της τομοταινίας παρακολουθώντας την κίνηση του αποθέτη, προκαλώντας συνεχώς μια τοπική ανύψωση του ιμάντα της τομοταινίας, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα σημείο μεταφόρτωσης του υλικού). Όταν ο καδοφόρος εκσκαφέας εξορύσσει μόνο ένα είδος υλικού η λειτουργία του είναι σχετικά απλή. Όταν όμως στο μέτωπο υπάρχουν δύο είδη υλικών (και άγονα και γαιάνθρακας), απαιτείται η εξόρυξη του κάθε είδους υλικού ξεχωριστά από το άλλο (εκλεκτική εξόρυξη), και πρέπει να υπάρχουν ξεχωριστές εξοδοί των μεταφερόμενων υλικών, τα άγονα προς τους χώρους απόθεσης και ο γαιάνθρακας προς τις αυλές αποθήκευσης του ορυχείου (Κολοβός 2004).

Ο διαχωρισμός των υλικών και η διοχέτευσή τους προς τις εκάστοτε εξόδους γίνεται στον κόμβο ταινιοδρόμων («σύμπλεγμα») του ορυχείου (εικόνα 3.6). Ο κόμβος ταινιοδρόμων είναι το σημείο του ορυχείου που καταλήγουν όλοι οι κλάδοι εκσκαφής. Από το σημείο αυτό αναχωρούν όλοι οι κλάδοι αγόνων, αλλά και οι κλάδοι γαιάνθρακα. Ο τελευταίος συνδετήριος ταινιόδρομος κάθε κλάδου εκσκαφής καταλήγει σε «προωθούμενη κεφαλή», δηλαδή σε κεφαλή που μπορεί (κάνοντας μια μικρή πορεία μπρος ή πίσω), να μεταφορτώσει το μεταφερόμενο υλικό, ανάλογα με το είδος του, στον κατάλληλο κλάδο αγόνων ή γαιάνθρακα. Οι ταινιόδρομοι που συλλέγουν το ίδιο είδος υλικού από ένα ή περισσότερους κλάδους εκσκαφής λέγονται «συλλεκτήριοι».



Εικόνα 3.6 Κόμβος (σύμπλεγμα) ταινιοδρόμων ορυχείου (Κολοβός 2004)

Ο συντονισμός και ο έλεγχος της φόρτωσης των κλάδων γίνεται μέσω του Πύργου Ελέγχου Ταινιοδρόμων (Π.Ε.Τ).

3.3.2 Καδοφόρος εκσκαφέας

3.3.2.1 Ιστορική εξέλιξη του καδοφόρου εκσκαφέα

Ο εκσκαφέας με καδοτροχό είναι μηχανήμα μεγάλου μεγέθους και βάρους, υψηλής τεχνολογίας, ακριβό στην κτήση και στη συντήρησή του, βραδυκίνητο, ηλεκτροβόρο, συνεχούς λειτουργίας, μεγάλης παραγωγικής ικανότητας και με δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης διαφορετικών στρωμάτων υλικών.

Η ιδέα για την κατασκευή και την χρησιμοποίηση καδοτροχού για την ανύψωση νερού σε επίπεδα απ' όπου μπορούσε να διοχετευθεί προς άρδευση εκτάσεων, ανήκει στους αρχαίους λαούς της Ανατολικής Μεσογείου. Η κίνηση δινόταν από ανθρώπους ή ζώα και ακόμα και σήμερα συναντάται αυτή η τεχνική στη Συρία και την Αίγυπτο.

Ο καδοτροχός σαν εκσκαπτικό εργαλείο εμφανίστηκε για πρώτη φορά σε σχέδια του Leonardo Da Vinci. Στην πράξη ωστόσο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε βυθοκόρο στον ποταμό Weser στη Γερμανία.

Ο πρώτος εκσκαφέας με καδοτροχό κατασκευάστηκε στην Ινδιάννα των ΗΠΑ από τον Charles Smith, που πήρε και την πατέντα στις 07.6.1881.

Η παλαιότερη Ευρωπαϊκή πατέντα για εκσκαφέα με καδοτροχό είναι Γερμανική και δόθηκε στις 27.7.1906 στους S.Loyd και A.Grossmith.

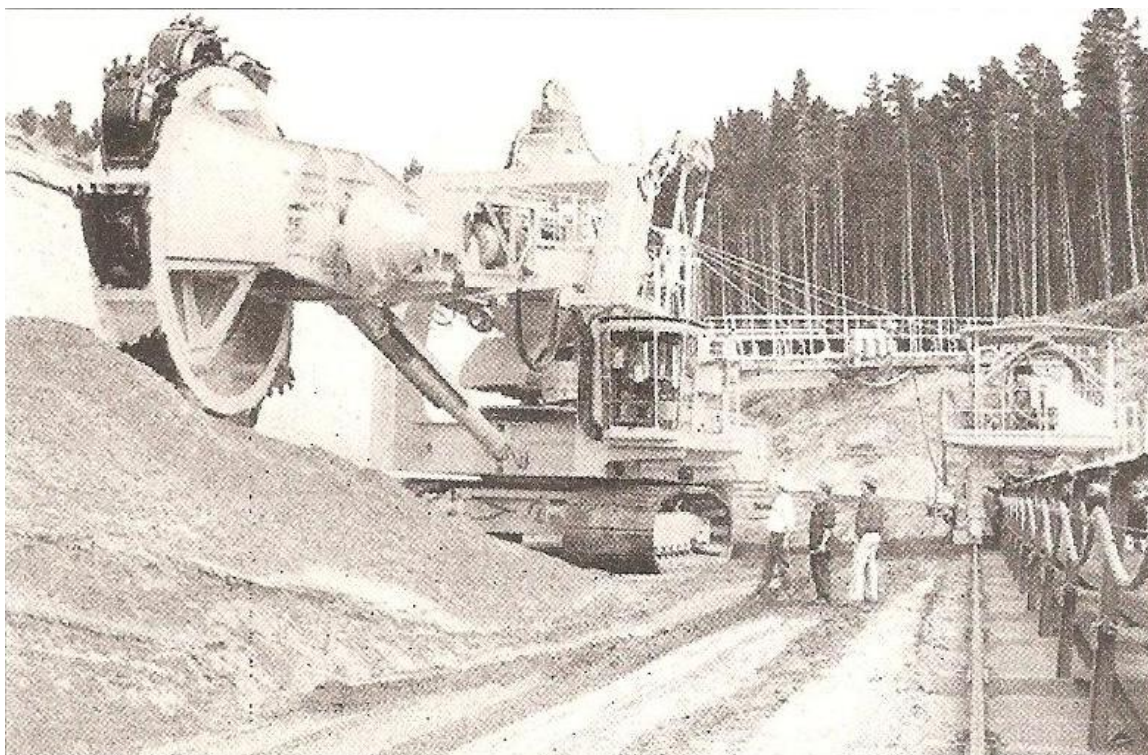
Ωστόσο καδοφόρος εκσκαφέας κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στην Ευρώπη από το Γάλλο μηχανικό Robert Glogner, που πήρε Γαλλική πατέντα στις 6 Μαΐου 1908 (και Αγγλική το 1909).

Έκτοτε ακολούθησαν και άλλοι, καθώς με την πάροδο του χρόνου υπήρχε τεχνολογική πρόοδος και στην κατασκευή μεταφορικών ταινιών. Ήδη στα 1938 είχαν κατασκευαστεί στη Γερμανία 50 εκσκαφείς με καδοτροχό.

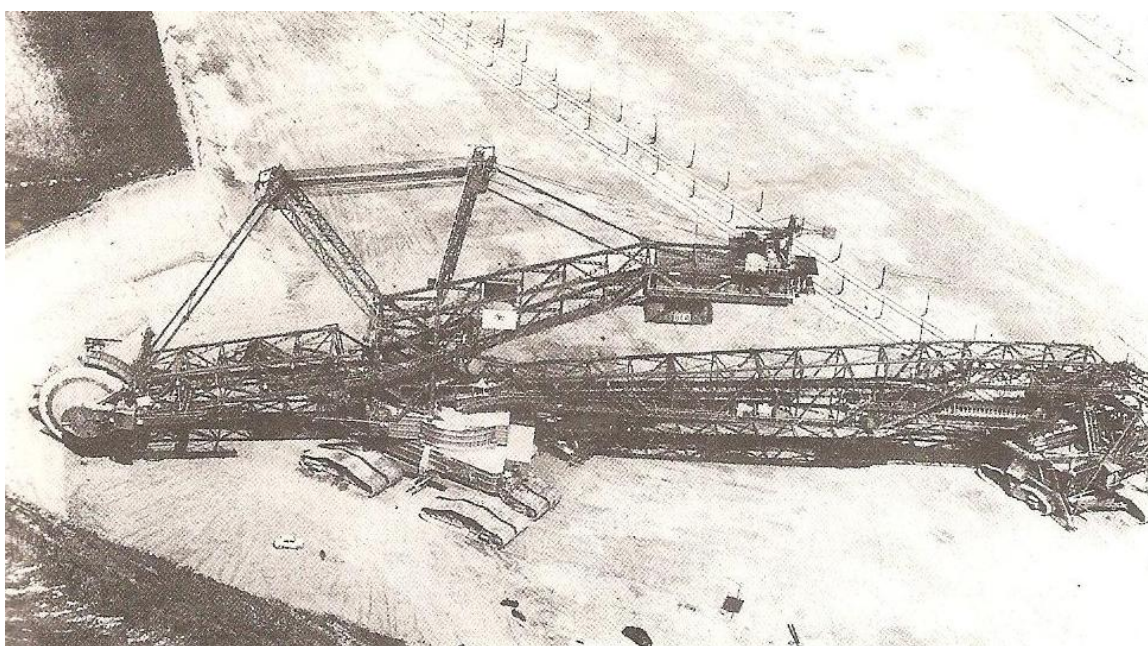
Χώρες κατασκευής καδοφόρων εκσκαφών είναι ακόμα η (πρώην) Σοβιετική Ένωση, οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία και η (πρώην) Τσεχοσλοβακία. Ο μεγαλύτερος εκσκαφέας με καδοτροχό βρίσκεται σήμερα στο ορυχείο της Hambach Γερμανίας (Ρηνανία), με θεωρητική ημερήσια απόδοση 240.000 m^3 συμπαγούς υλικού (Καβουρίδης 1992).

3.3.2.2 Γενική περιγραφή καδοφόρου εκσκαφέα

Σε ένα καδοφόρο εκσκαφέα διακρίνεται η μεταλλική κατασκευή και οι μηχανολογικοί και ηλεκτρολογικοί εξοπλισμοί και εγκαταστάσεις. Στην εικόνα 3.7 φαίνεται ένας μέσου μεγέθους καδοφόρος εκσκαφέας, σχεδίασης «compact». Μεγαλύτεροι καδοφόροι εκσκαφείς (εικόνα 3.8), αποτελούνται από εκσκαπτική μονάδα (το κυρίως τμήμα του μηχανήματος που φέρει το βραχίονα του καδοτροχού και το βραχίονα των αντίβαρων) και φορτωτική μονάδα (το πίσω τμήμα του μηχανήματος, μέσω του οποίου γίνεται η φόρτωση στο συνεργαζόμενο ταινιόδρομο). Οι δύο αυτές μονάδες συνδέονται μεταξύ τους με γέφυρα.



Εικόνα 3.7 Καδοφόρος εκσκαφέας σχεδίασης «Compact» (Κολοβός 2004)



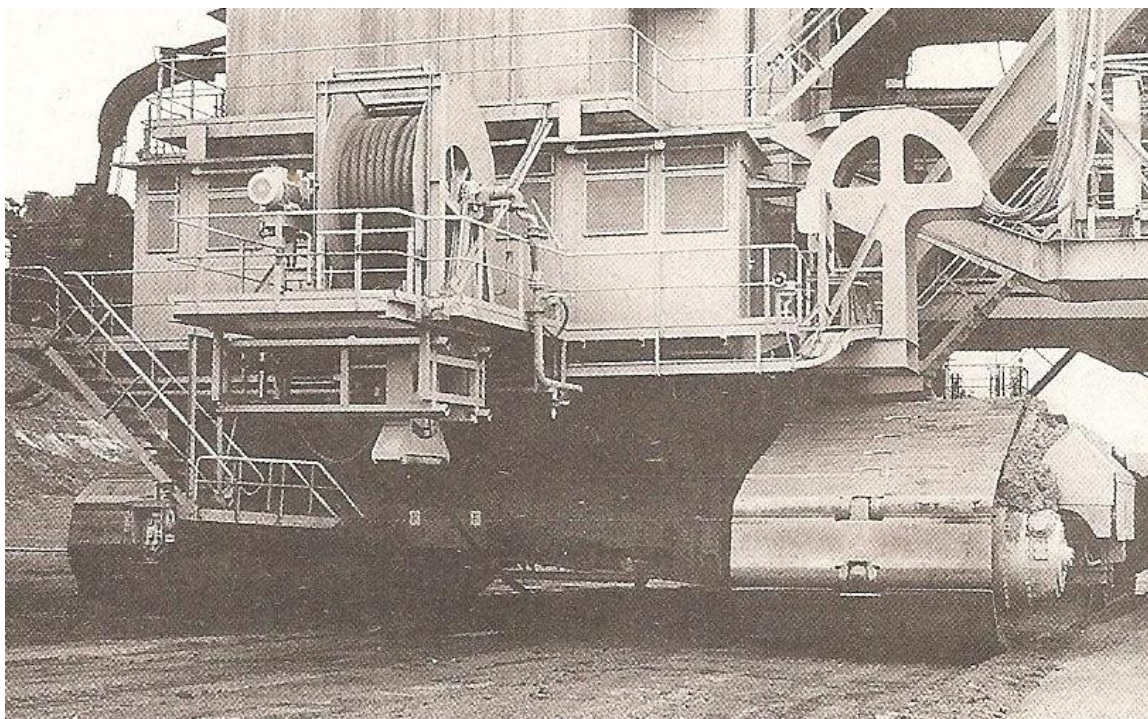
Εικόνα 3.8 Καδοφόρος εκσκαφέας με εκσκαπτική και φορτωτική μονάδα (Κολοβός 2004)

Η δομή ενός καδοφόρου εκσκαφέα περιλαμβάνει δύο μέρη:

- i. Την κατωδομή, η οποία φέρει τον κύριο μηχανισμό περιφοράς και υποβαστάζεται από δυο ή τρία συγκροτήματα ερπυστριών.
- ii. Την περιστρεφόμενη ανωδομή με τα πλαίσια στήριξης του βραχίονα καδοτροχού και του βραχίονα ταινίας φόρτωσης.

Η κατωδομή (εικόνα 3.9) είναι η βάση του καδοφόρου εκσκαφέα. Αποτελείται συνήθως από ένα ισχυρό, μεταλλικό τριγωνικό φορέα, στον οποίο στηρίζεται η σφαιροθήκη του ρουλεμάν της περιφερόμενης ανωδομής και το γρανάζι με το οποίο επιτυγχάνεται η περιφορά της ανωδομής. Στο εσωτερικό του τριγώνου βρίσκεται ένα τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης, καθώς και η εγκατάσταση λίπανσης του τριβέα περιφοράς. Επίσης, στον τριγωνικό φορέα βρίσκεται η εγκατάσταση λίπανσης του συστήματος πορείας, καθώς και το τύμπανο του καλωδίου τροφοδοσίας.

Ο τριγωνικός φορέας στηρίζεται με ένα σταυρό σε συγκρότημα ερπυστριών, σε κάθε μία κορυφή του τριγώνου. Το σύστημα πορείας αποτελείται από δύο ή τρία συγκροτήματα ερπυστριών. Η συνήθης περίπτωση είναι να υπάρχουν τρία συγκροτήματα ερπυστριών από τα οποία το ένα είναι σταθερό και στρέφεται μόνο περί οριζόντιο άξονα, ενώ τα άλλα δύο μπορούν να στραφούν και περί κατακόρυφο άξονα και χρησιμεύουν για τη διεύθυνση του μηχανήματος.



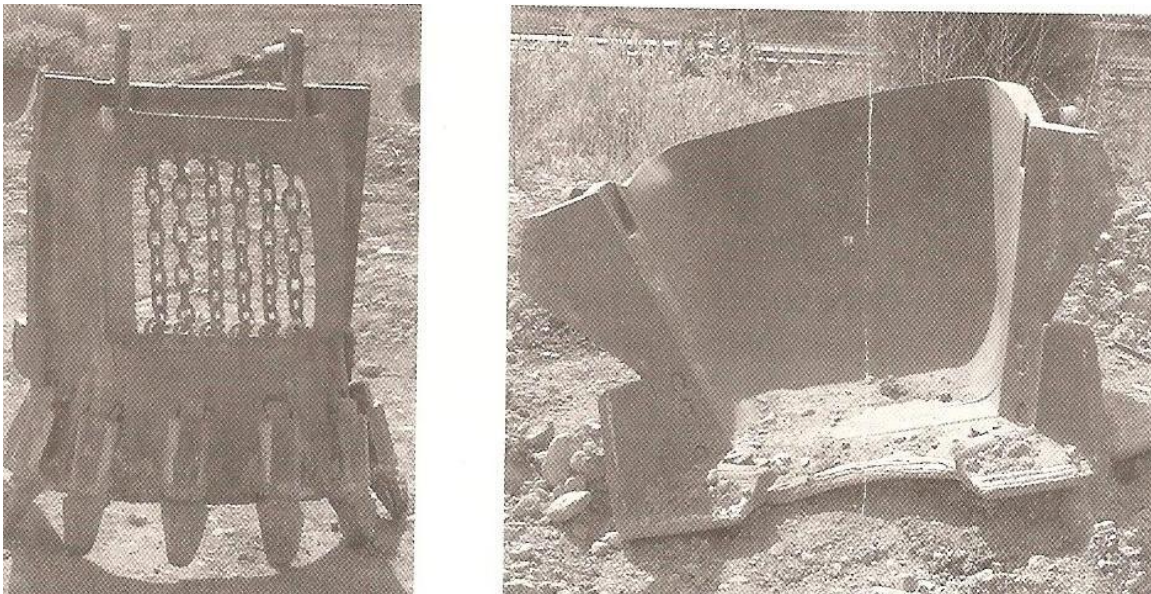
Εικόνα 3.9 Κατωδομή και σύστημα πορείας καδοφόρου εκσκαφέα

Η ανωδομή είναι το πάνω τμήμα του εκσκαφέα, το οποίο περιστρέφεται κατά τη λειτουργία και αποτελείται από την πλατφόρμα και τον πύργο. Στην πλατφόρμα βρίσκονται ο μηχανισμός περιφοράς της ανωδομής, η βάση στήριξης του βραχίονα ταινίας φόρτωσης και η μεσαία ταινία του εκσκαφέα. Στον πύργο στηρίζονται ο βραχίονας καδοτροχού, ο βραχίονας αντίβαρων και ο ιστός. Στον βραχίονα αντίβαρων βρίσκονται τα αντίβαρα, το βαρούλκο ανύψωσης-καταβίβασης του βραχίονα καδοτροχού, ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις του εκσκαφέα και ο γερανός επισκευών.

Ο καδοτροχός αποτελείται από το σώμα, που μπορεί να έχει ή όχι κυψέλες και τους κάδους. Εκτός από τους κάδους μπορεί να υπάρχουν και προκοπτήρες, εναλλάξ τοποθετημένοι με τους κάδους. Οι κάδοι (και οι προκοπτήρες) συνδέονται με πύρους στη στεφάνη του καδοτροχού, ώστε να μπορούν να αντικατασταθούν σε μικρό χρονικό διάστημα (λίγων ωρών).

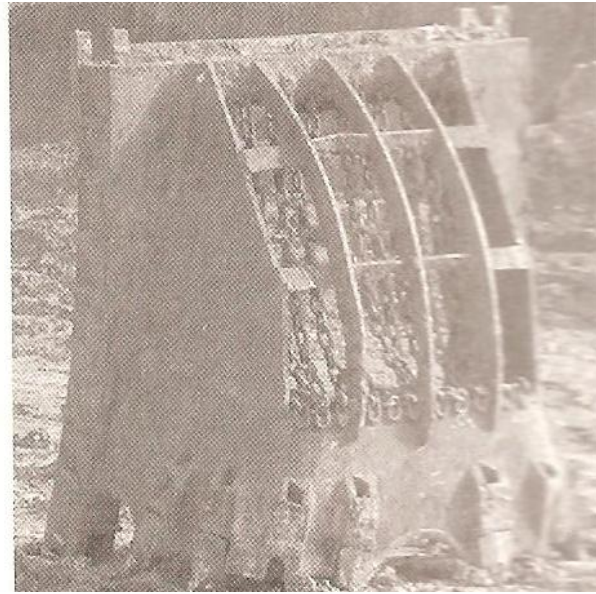
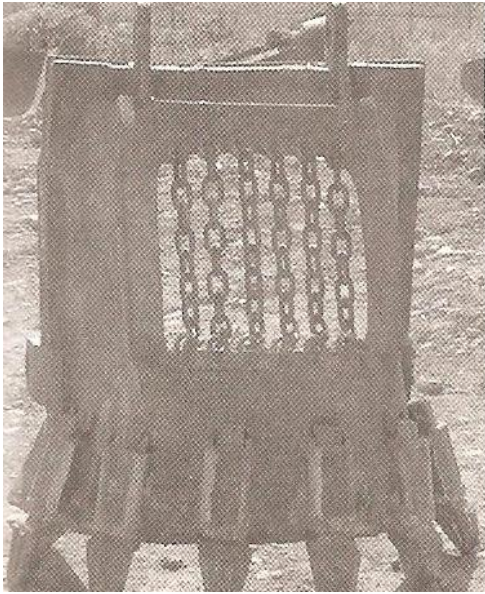
Ο κάδος αποτελείται από το κοπτικό άκρο, τη βάση του κοπτικού άκρου και το σώμα του κάδου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοπτικών άκρων, ανάλογα με το είδος των προς εκσκαφή πετρωμάτων. Τα κοπτικά άκρα (αυτιά ή δόντια εικόνα 3.10) αποσπούν το πέτρωμα από την αρχική του θέση και μειώνουν τη φθορά του χείλους του κάδου. Ένα κοπτικό άκρο πρέπει να εξασφαλίζει καλή κοπή του πετρώματος, (κατά το δυνατόν ομοιόμορφη και σε επιθυμητές διαστάσεις, να έχει μακρά ζωή, φθειρόμενο κατά τη λειτουργία να διατηρεί επί μακρό χρόνο το αρχικό του σχήμα) και να έχει καλή στήριξη στο σώμα του κάδου.



Εικόνα 3.10 Κάδοι με κοπτικά άκρα τύπου «δόντια» (αριστερά) και «αυτιά» (δεξιά) (Κολοβός 2004)

Το σώμα του κάδου κατασκευάζεται από συμπαγή φύλλα χάλυβα. Εάν το υλικό της εκσκαφής είναι συγκολλητικό τότε μπορεί να χρησιμοποιηθούν κάδοι στους οποίους η πλάτη έχει αλυσίδες ή και πρόσθετη ενίσχυση με ελάσματα (εικόνα 3.11 και 3.12) (Κολοβός 2004).



Εικόνα 3.11 Κάδοι με πλάτη από αλυσίδες, (δεξιά) ενισχυμένη με ελάσματα

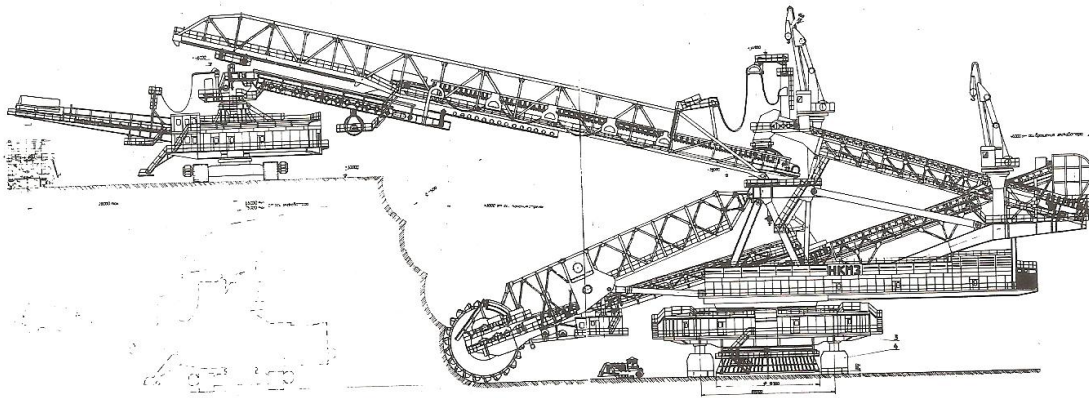


Εικόνα 3.12 Καδοτροχός με κάδους με αλυσίδες (Κολοβός 2004)

3.3.3 Μέθοδοι λειτουργίας καδοφόρου εκσκαφέα

3.3.3.1. Κατά μέτωπο ή μετωπική εκσκαφή

Η μετωπική εκσκαφή (εικόνα 3.13) είναι η επικρατούσα μέθοδος λειτουργίας των καδοφόρων εκσκαφέων, τόσο στα υπερκείμενα όσο και στο κοίτασμα γαιάνθρακα. Όλες οι άλλες μέθοδοι αποτελούν αποκλίσεις από την κανονική λειτουργία και εφαρμόζονται σε ιδιαίτερες περιπτώσεις.



Εικόνα 3.13 Μετωπική εκσκαφή με τον High loading excavator ERP – 5250V (Κολοβός 2004)

Κατά τη μέθοδο αυτή το μέτωπο εκσκαφής βρίσκεται μπροστά από τον εκσκαφέα και είναι κάθετο ως προς τη διεύθυνση των ερπυστριών του. Ο εκσκαφέας κινείται εκσκάπτοντας το υλικό παράλληλα προς τον ταινιόδρομο παίρνοντας μια λωρίδα μετώπου, το πλάτος της οποίας εξαρτάται από το μήκος του βραχίονα του καδοτροχού και το μέγιστο ανάπτυγμα του μηχανήματος. Το μήκος της λωρίδας είναι λίγο μεγαλύτερο από το μήκος του ταινιόδρομου, επειδή ο εκσκαφέας αφήνει πάντα στα άκρα της τομής του χώρο αρκετό για την εκτέλεση των μεταθέσεων του ταινιόδρομου και την κατασκευή των απαραίτητων δρόμων προσπέλασης στην τομή. Το ύψος της λωρίδας είναι το ύψος του μετώπου (Καβουρίδης 1992, Κολοβός 2004).

3.3.3.2 Πλευρική ή κατά στρώσεις ή παράλληλη εκσκαφή

Κατά τη μέθοδο αυτή ο εκσκαφέας τοποθετείται σε σημαντική απόσταση από το μέτωπο, προς την πλευρά της τομοταινίας, ώστε να έχει συνεχώς ελεύθερη πορεία. Το μέτωπο εκσκαφής στη μέθοδο αυτή είναι μικρό τμήμα του μετώπου που έχει ο εκσκαφέας κατά τη μετωπική εκσκαφή και μάλιστα το τμήμα εκείνο που βρίσκεται έξω από το χώρο στον οποίο κινούνται οι ερπύστριες του εκσκαφέα. Έτσι το μέτωπο δεν βρίσκεται μπροστά, αλλά στο πλάι του εκσκαφέα και είναι περίπου παράλληλο προς τη διεύθυνση κίνησης (πορείας) των ερπυστριών του μηχανήματος.

Εάν ο εκσκαφέας έχει λειτουργήσει στην τομή με τη μέθοδο της μετωπικής εξόρυξης, μπορεί, αν παραστεί ανάγκη να εκταθεί στο πλήρες του ανάπτυγμα και να λειτουργήσει με την πλευρική εκσκαφή. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η εξόρυξη του ίδιου στρώματος επί μεγάλα χρονικά διαστήματα ή και σε όλο το μήκος της τομής. Για την εφαρμογή της μεθόδου τα δάπεδα πορείας πρέπει να βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση, (σε αντίθεση με τη μετωπική εκσκαφή, όπου ο εκσκαφέας διαμορφώνει συνεχώς το νέο του δάπεδο με την προχώρηση της εκσκαφής σε κάθε νέο πάσο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν είναι επιθυμητή η δημιουργία αποκαλυμμένου αποθέματος μη εξορυγμένου γαιάνθρακα, ή όταν είναι επιθυμητή η αποφυγή λειτουργίας του εκσκαφέα επί κάποιο χρονικό διάστημα με συγκεκριμένο είδος υλικού. Για παράδειγμα αν λόγω βλάβης σταματήσει η διακίνηση αγόνων, τότε οι εκσκαφείς μπορούν να εργαστούν με πλευρική εκσκαφή σε γαιάνθρακα (Κολοβός 2004).

3.3.3.3 Εκσκαφή με αναβαθμό (ράμπα ή πατάρι)

Όταν το ύψος της βαθμίδας είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ύψος που μπορεί να ελέγξει ο εκσκαφέας (εικόνα 3.14), τότε μπορεί το μηχάνημα να δημιουργήσει μόνο

του μια βαθμίδα (αναβαθμό ή ράμπα) ως νέο δάπεδο λειτουργίας πιο ψηλά από το δάπεδο του ταινιοδρόμου και να μοιράσει το συνολικό ύψος μετώπου σε δύο τμήματα:

Αυτό το οποίο εκσκάπτει με δάπεδο το δάπεδο της ράμπας

Τη ράμπα, την οποία εκσκάπτει αφού έχει ολοκληρώσει την εκσκαφή του πρώτου τμήματος.



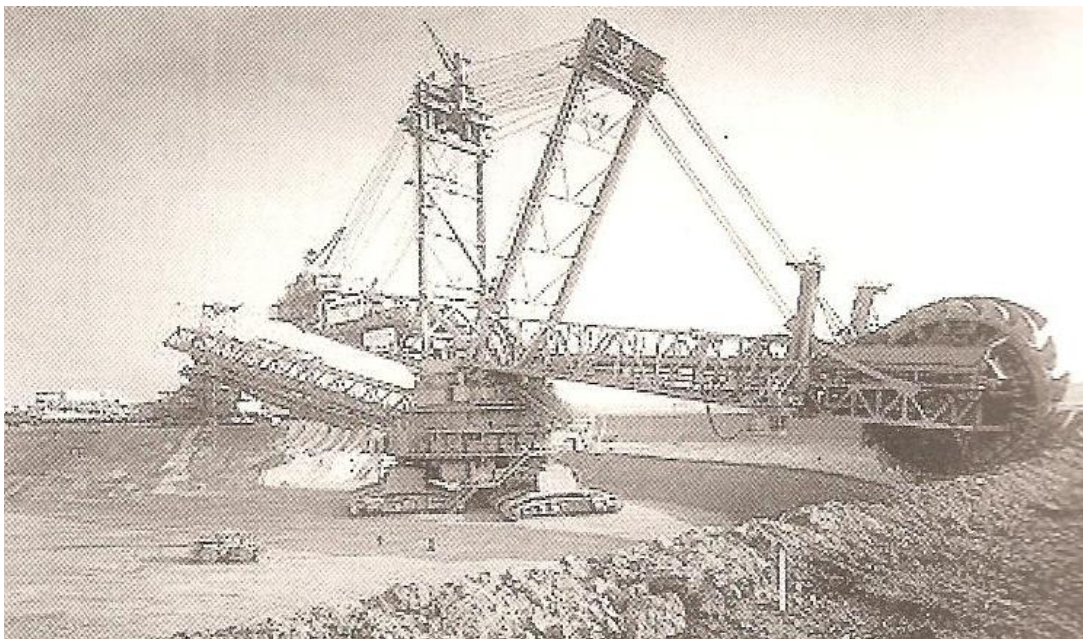
Εικόνα 3.14 Καδοφόρος εκσκαφέας στη μέθοδο εργασίας με αναβαθμό (πατάρι), (Κολοβός 2004)

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται και όταν πρέπει να μεταβληθεί το υψόμετρο δαπέδου λειτουργίας του εκσκαφέα ώστε να μικρύνει το ύψος μετώπου για κάποιο λόγο. Μικρότερο ύψος μετώπου σημαίνει ότι ο εκσκαφέας έχει λιγότερους όγκους στην τομή του και συνεπώς η προχώρηση του μετώπου θα είναι ταχύτερη. Τέτοιες περιπτώσεις έχουμε π.χ. όταν θέλουμε να αυξηθεί η προπορεία ενός εκσκαφέα με τον αμέσως από κάτω (Κολοβός 2004).

3.3.3.4 Εκσκαφή σε μετατομή

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται με τον εκσκαφέα να λειτουργεί από την εξωτερική πλευρά του ταινιοδρόμου, όχι δηλαδή μεταξύ ταινιοδρόμου και κανονικού μετώπου του, αλλά μεταξύ ταινιοδρόμου και μετώπου της αμέσως από κάτω τομής. Ο χώρος αυτός λέγεται μετατομή και από αυτόν προκύπτει η ονομασία της μεθόδου (εικόνα 3.15 και 3.16).

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μέθοδο αυτή είναι να υπάρχει ο απαραίτητος χώρος έδρασης και λειτουργίας του εκσκαφέα. Ο εκσκαφέας περνά στην εξωτερική πλευρά του ταινιοδρόμου είτε από το τερματικό του ταινιοδρόμου, εκσκάπτοντας το μέτωπο στην περιφέρεια της τομής και με σταδιακούς ελιγμούς, είτε από κάποιο ενδιάμεσο σημείο του ταινιοδρόμου. Αφού περάσει ο εκσκαφέας στη μετατομή, αρχίζει να εκσκάπτει πάλι μια λωρίδα μετώπου παράλληλα προς τον ταινιοδόρομο. Αυτή τη φορά όμως δεν υπάρχει μέτωπο και πρέπει ο εκσκαφέας μόνος του να δημιουργήσει το μέτωπο του, στο χώρο της μετατομής. Το μέτωπο αυτό το δημιουργεί σταδιακά βυθιζόμενος στο δάπεδό του και αρχίζει να δημιουργεί νέο δάπεδο πορείας, κάτω από το δάπεδο του ταινιοδρόμου.



Εικόνα 3.15 Λειτουργία μεγάλου καδοφόρου εκσκαφέα σε μετατομή. Η εκσκαπτική μονάδα εδράζεται στο δάπεδο της μετατομής, η φορτωτική μονάδα στο δάπεδο της τομοταινίας που διακρίνεται αριστερά (Κολοβός 2004)



Εικόνα 3.16 Λειτουργία μικρού καδοφόρου εκσκαφέα σε μετατομή. Κάτω δεξιά διακρίνεται ο εκσκαφέας της κατώτερης τομής (Κολοβός 2004)

Η βύθιση αυτή γίνεται πάντοτε με κλίση μέχρι 4% το πολύ (συνήθως). Σημειώνεται ότι στη μετατομή ο εκσκαφέας εκσκάπτει στρώματα που βρίσκονται κάτω από το δάπεδο του ταινιοδρόμου και πάνω από το δάπεδο στο οποίο εδράζεται το μηχάνημα (Κολοβός 2004).

3.3.3.5 Εκσκαφή σε χαμηλή τομή ή κοπή

Με την τεχνική αυτή (εικόνα 3.17), ο εκσκαφέας εκσκάπτει στρώματα που βρίσκονται κάτω από το δάπεδο έδρασης του, διαμορφώνοντας βαθμίδα περιορισμένου ύψους. Το ύψος της βαθμίδας εξαρτάται από το μήκος του βραχίονα του καδοτροχού και τη διάμετρο του καδοτροχού.



Εικόνα 3.17 Μορφή εκσκαφής σε χαμηλή κοπή (Κολοβός 2004)

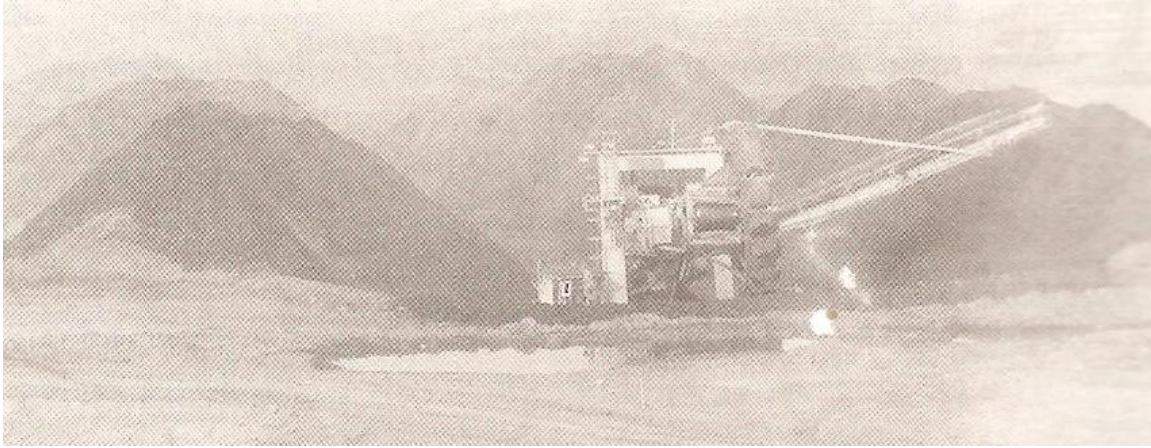
Η εκσκαφή διαμορφώνεται με «πάσσα», καθένα των οποίων εξορύσσεται με λειτουργία προς τα μπρός (ενώ ο εκσκαφέας οπισθοχωρεί σταδιακά), μέχρις ότου το άκρο των ερπυστριών φθάσει κοντά στο χείλος της εκσκαφής. Η απόσταση στην οποία θα πλησιάσει εξαρτάται από τη συνεκτικότητα των στρωμάτων. Στη συνέχεια κάνει πορεία προς τα πίσω, σε απόσταση ίση με το μήκος του «πάσσου» και αρχίζει εκ νέου την εξόρυξη προχωρώντας προς τα εμπρός. Στα όρια κάθε «πάσσου» παραμένει στο δάπεδο ποσότητα υλικού σε μορφή τόξου. Τα διαδοχικά τόξα, που προκύπτουν δίνουν χαρακτηριστική μορφή στην εκσκαφή, γνωστή με το όνομα «κουτάκια». Μια εναλλακτική εφαρμογή της μεθόδου γίνεται με αναστροφή των κάδων και της φοράς περιστροφής του καδοτροχού, με τον εκσκαφέα να λειτουργεί με οπισθοπορεία (Καβουρίδης 1992, Κολοβός 2004).

3.3.3.6 Εκσκαφέας με μεταβλητό μήκος βραχίονα καδοτροχού

Σε ορισμένους καδοφόρους εκσκαφείς ο βραχίονας του καδοτροχού έχει εκ κατασκευής δυνατότητα επιμήκυνσης (Crowd type ή Crowd Action) κατά τη διάρκεια της εκσκαφής. Στις περιπτώσεις αυτές η μορφή του «πακέτου» δεν είναι σχήματος μισού δρεπανιού αλλά προσεγγίζει το σχήμα μισού δακτυλίου και το διαμορφούμενο πρανές είναι κατά πολύ ομαλότερο και ομοιόμορφο, χωρίς εξάρσεις. Οι εκσκαφείς αυτού του τύπου έχουν εγκαταλειφθεί πλέον διεθνώς (Κολοβός 2004).

3.3.3.7 Εκσκαφή με πλευρικές αποθέσεις

Οι μικροί καδοφόροι εκσκαφείς συνήθως δεν χρησιμοποιούνται σε συνεργασία με ταινιόδρομο, αλλά σε συνεργασία με συμβατικό εξοπλισμό αποκομιδής των εξορυσσόμενων υλικών (φορτωτές και φορτηγά αυτοκίνητα), λειτουργώντας σε μετωπική εκσκαφή (εικόνα 3.18 και 3.19).



Εικόνα 3.18 Εκσκαφέας τύπου Krupp C700 σε πλευρικές αποθέσεις (Κολοβός 2004)



Εικόνα 3.19 Καδοφόρος εκσκαφέας σε πλευρικές αποθέσεις. Ο συνεργαζόμενος φορτωτής βρίσκεται σε θέση αναμονής για φόρτωση σε φορτηγό (Κολοβός 2004)

Στη συνήθη περίπτωση εξορύσσει κοίτασμα και δημιουργεί ένα σωρό για τα άγωνα και ένα σωρό για το γαιάνθρακα.

3.3.4 Σημαντικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στο μέτωπο:

Το ύψος πακέτου πρέπει κάθε φορά να είναι το μέγιστο δυνατό αναλόγως και προς το εκσκαπτόμενο υλικό. Εφόσον υπάρχει ομοιομορφία υλικού στο μέτωπο, ευνοϊκό ύψος πακέτου θεωρείται το 0,50- 0,65 της διαμέτρου καδοτροχού. Μεγαλύτερο ύψος πακέτου μπορεί να δημιουργήσει υποσκαφή του πρανούς και πτώση του. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του πακέτου τόσο καλύτερη είναι η πλήρωση του κάδου (Κολοβός 2004).

Το βάθος κοπής είναι το βάθος κατά το οποίο εισχωρεί ο καδοτροχός σε κάθε περιφορά στο μέτωπο. Για να διατηρείται κατά το δυνατόν σταθερή η απόδοση του εκσκαφέα, όσο ο καδοτροχός πλησιάζει τα όρια του μετώπου πρέπει να αυξάνεται αντίστοιχα η ταχύτητα περιφοράς του βραχίονα καδοτροχού. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος κοπής τόσο καλύτερη είναι η πλήρωση των κάδων. Συνηθισμένες τιμές για το βάθος κοπής είναι (5-10%) της διαμέτρου καδοτροχού (Καβουρίδης 1992,Κολοβός 2004).

Η ταχύτητα περιφοράς βραχίονα καδοτροχού είναι διαφορετική για κάθε τύπο εκσκαφέα και εξαρτάται κυρίως από κατασκευαστικούς λόγους. Η μέγιστη τιμή κυμαίνεται από 25-40 m/min, ενώ για μεγάλους εκσκαφείς παίρνει ενδιάμεσες τιμές (30-35 m/min) (Καβουρίδης 1992, Κολοβός 2004).

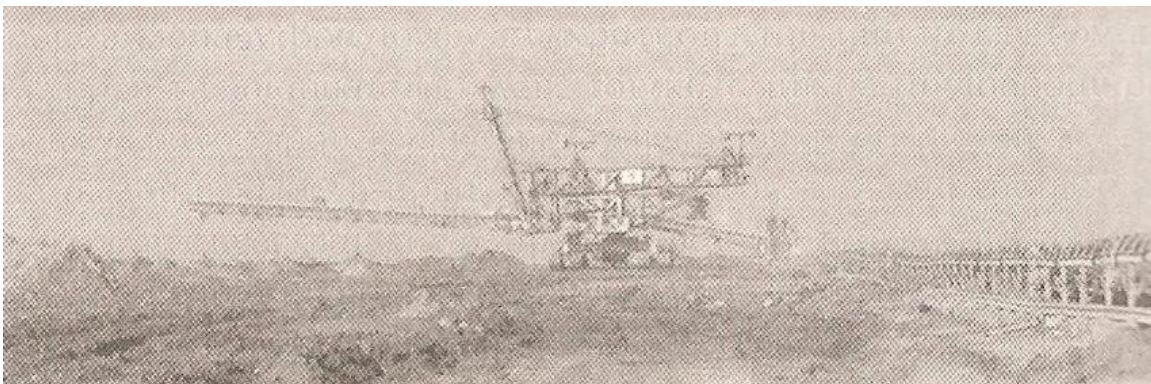
Η τεχνική της κοπής επηρεάζει άμεσα το μέγεθος του μετώπου και επομένως τα στοιχεία του εκείνα που επηρεάζουν την απόδοση του εκσκαφέα. Η μετωπική εκσκαφή με ομοιόμορφο υλικό στο μέτωπο είναι εκείνη που εξασφαλίζει τις καλύτερες συνθήκες μετώπου για συνεχή και αποδοτική λειτουργία του εκσκαφέα. Η λειτουργία με μετατομή εμπεριέχει περιορισμούς τόσο στο πλάτος όσο και στο ύψος μετώπου. Το πλάτος μετώπου περιορίζεται γιατί ο εκσκαφέας πρέπει να πλησιάσει προς τον ταινιόδρομο, ώστε να εξασφαλίσει ότι εκσκάπτει τον απαραίτητο χώρο για την πορεία του, ενώ το ύψος μετώπου, περιορίζεται από την δυνατότητα ανύψωσης του βραχίονα ταινίας φόρτωσης (Κολοβός 2004).

3.3.5 Συνεργασία εκσκαφέα-ταινιοδρόμου

Οι μεγαλύτεροι εκσκαφείς συνεργάζονται αποκλειστικά με ταινιόδρομο για την αποκομιδή των εξορυσσόμενων υλικών και σε πολύ σπανιότερες περιπτώσεις λειτουργούν με πλευρικές αποθέσεις των υλικών. Κατά τη λειτουργία του ο εκσκαφέας συνδέεται με τον ταινιόδρομο μέσω του οχήματος φόρτωσης, το οποίο αποτελεί λεκάνη υποδοχής του υλικού και ακολουθεί τον εκσκαφέα κατά την πορεία του κατά μήκος του ταινιόδρομου. Η συνεργασία εκσκαφέα-ταινιοδρόμου-αποθέτη είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη και η παύση της λειτουργίας τους είναι ταυτόχρονη. Όταν πάλι το σύστημα τίθεται σε λειτουργία, πρώτα ξεκινά ο αποθέτης, στη συνέχεια διαδοχικά ο κάθε ένας ταινιόδρομος από τον αποθέτη προς τον εκσκαφέα και τελευταίος ξεκινά ο εκσκαφέας (Κολοβός 2004).

3.3.6 Αποθέτης

Ο αποθέτης (stacker, spreader) είναι επίσης, όπως και ο καδοφόρος εκσκαφέας, ένα τεράστιο, βραδυκίνητο, ηλεκτροβόρο μηχάνημα, που χαρακτηρίζεται από συνεχή λειτουργία και μεγάλη απόδοση, και με το οποίο επιτυγχάνεται η συνεχής, ορθολογική, ελεγχόμενη και οικονομική από άποψη χώρου απόθεση των υλικών της εκσκαφής (εικόνα 3.20).

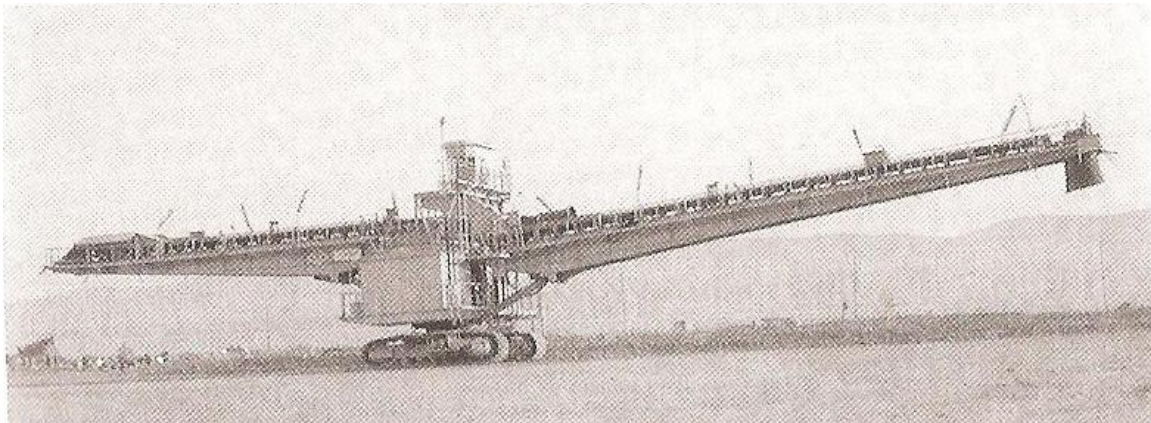


Εικόνα 3.20 Γενική μορφή αποθέτη (Κολοβός 2004)

Η λειτουργία των αποθετών έχει μεγάλη σημασία για τα ορυχεία, αφού (συνήθως) παραλαμβάνουν υλικό από περισσότερους από έναν εκσκαφείς (Κολοβός 2004).

3.3.7 Ταινιοχήματα

Τα ταινιοχήματα (εικόνα 3.21), είναι ηλεκτροκίνητα, ερπυστριοφόρα μηχανήματα με περιστρεφόμενη ανωδομή, στην οποία υπάρχουν βραχίονες παραλαβής και απόθεσης. Παρεμβάλλονται μεταξύ ταινιοδρόμου και εκσκαφέα, αυξάνοντας έτσι το ανάπτυγμα του μηχανήματος.



Εικόνα 3.21 Ταινιόχημα δύο ανεξάρτητων βραχιόνων

Δίνουν επιπλέον στους εκσκαφείς τη δυνατότητα αντιμετώπισης μεγαλύτερων υψών μετώπων ή λειτουργίας σε δάπεδα σημαντικά χαμηλότερα από το δάπεδο ταινιοδρόμου. Ταινιόχημα μπορεί να παρεμβληθεί και μεταξύ άλλου τύπου εξοπλισμού και του ταινιοδρόμου, όπως μεταξύ εκσκαφέα μετωπικού κάδου και κινητού σπαστήρα (Κολοβός 2004).

3.3.8 Ταινιόδρομος

Ο ταινιόδρομος (Τ/Δ) είναι μια μεταφορική ταινία μεγάλου μήκους. Στην ουσία πρόκειται για μια ηλεκτροκίνητη, επιμήκη εγκατάσταση, που χρησιμοποιείται για τη

μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων υλικών από μια θέση εργασίας σε μια άλλη, που βρίσκεται σε αρκετή απόσταση. Χρησιμοποιείται όπου απαιτείται μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων υλικών επί σειρά ετών, διαφορετικά προτιμούνται άλλα μέσα μεταφοράς, π.χ. φορτηγά.

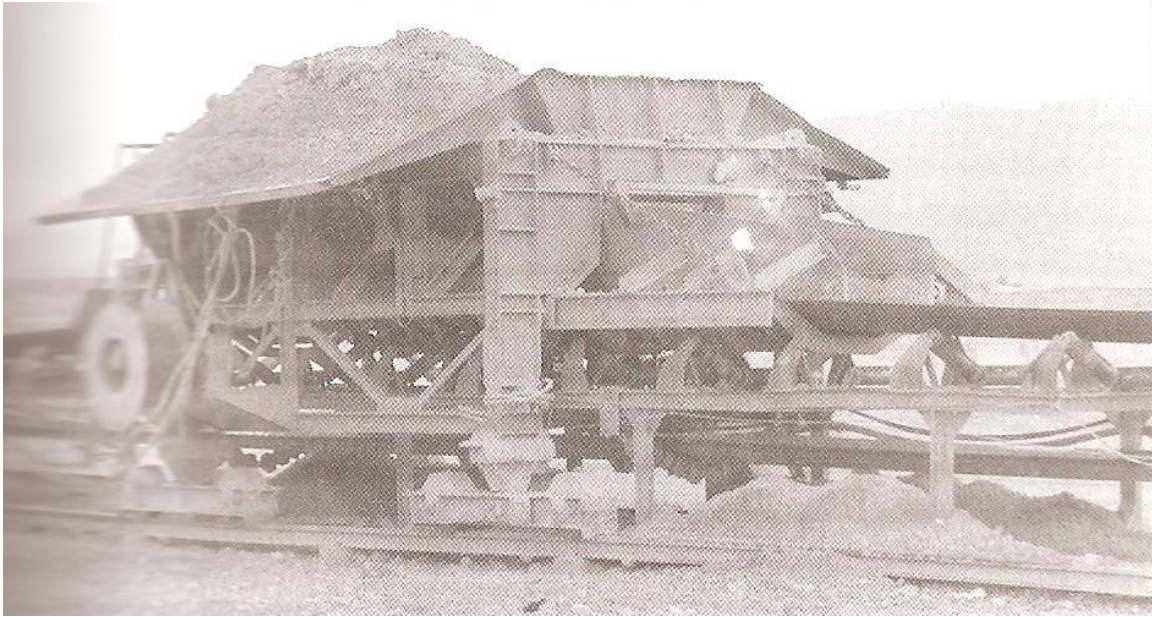
Οι ταινιόδρομοι χαρακτηρίζονται από το πλάτος του ιμάντα, τη γωνία σκάφης και την ταχύτητα κίνησης, που αντιστοιχούν στη μεταφορική τους ικανότητα. Διακρίνονται σε μεταθετούς και σταθερούς.

Οι μεταθετοί Τ/Δ μπορούν να μετακινηθούν με τη βοήθεια γερανοφόρων προωθητών και οχημάτων μεταφοράς κεφαλών από την αρχική τους θέση σε μια νέα.

Ανάλογα το μεταφερόμενο υλικό οι Τ/Δ χαρακτηρίζονται σαν Τ/Δ αγόνων, Τ/Δ γαιάνθρακα, Τ/Δ τέφρας (Καβουρίδης 1992).

3.3.9 Όχημα φόρτωσης

Το όχημα φόρτωσης (Ο/Φ) είναι μια μεταλλική κατασκευή που φέρει λεκάνη παραλαβής, ορθοστάτες, φορεία με τροχούς κύλισης πορείας, γιρλάντες λεκάνης, μειωτήρες – κινητήρες για εξασφάλιση πορείας, καθώς και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ελέγχου. Βρίσκεται πάντα κάτω από τη θέση απόρριψης της ταινίας φόρτωσης του εκσκαφέα, κινείται κατά μήκος του Τ/Δ, συνήθως επί σιδηροτροχιών (εικόνα 3.22), ακολουθώντας την πορεία της φορτωτικής μονάδας του εκσκαφέα. Μέσω καλωδίων η πορεία του καθορίζεται με χειρισμό από τον εκσκαφέα. Το Ο/Φ μπορεί να λειτουργήσει σε κλίση μέχρι 3%, αλλιώς μπορεί να παρασυρθεί λόγω του βάρους του και να απομακρυνθεί από τον καδοφόρο εκσκαφέα. Για το λόγο αυτό πολλές φορές χρησιμοποιείται ασύρματη επικοινωνία με τον εκσκαφέα και διατάξεις πρόσδεσης με συρματοσχοίνα (Κολοβός 2004).



Εικόνα 3.22 Όχημα φόρτωσης με πορεία επί σιδηροτροχιών (Κολοβός 2004)

Εάν η κατά μήκος κλίση του δαπέδου της τομής υπερβαίνει το 4%, το Ο/Φ θα πρέπει να έχει σύστημα πορείας επί ερπυστριών (εικόνα 3.23) (Κολοβός 2004).



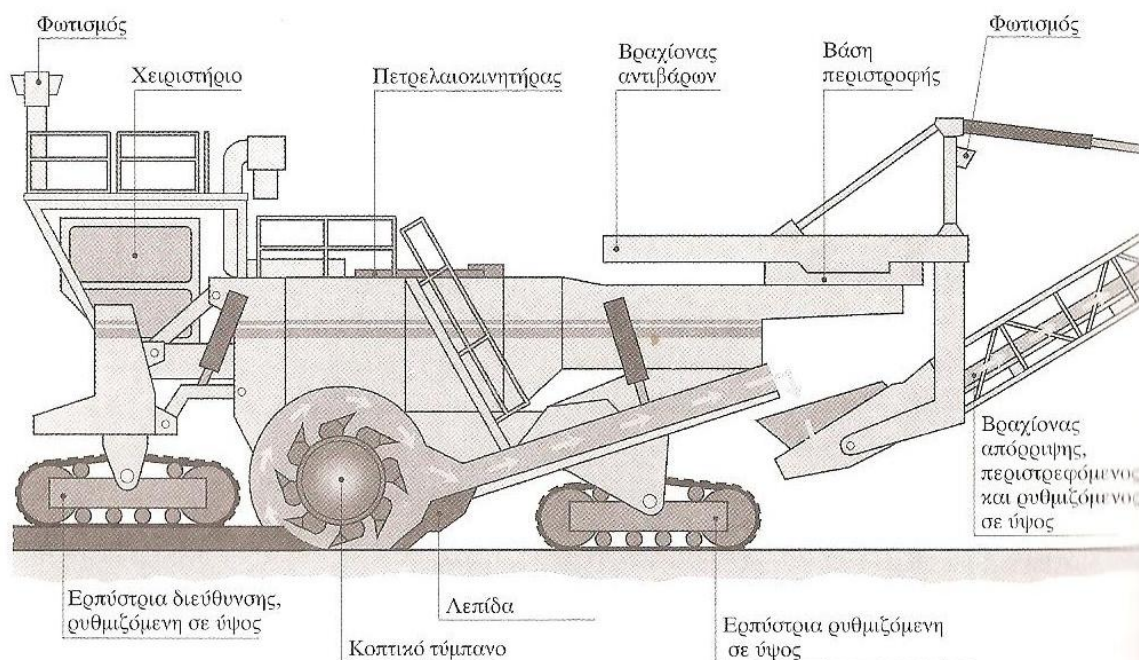
Εικόνα 3.23 Όχημα φόρτωσης ερπυστριοφόρο (Κολοβός 2004)

3.4 Νεότερες τεχνικές εκμετάλλευσης

Η μέθοδος συνεχούς εκμετάλλευσης «Γερμανική» έχει καταγραφεί διεθνώς ως η πλέον κατάλληλη για τα περισσότερα ανθρακωρυχεία όπου οι γεωλογικοί σχηματισμοί δεν παρουσιάζουν προβλήματα εξόρυξης λόγω σκληρότητας του πετρώματος, υπό την προϋπόθεση ότι ο εξοπλισμός που θα επιλεγεί είναι κατάλληλος για το συγκεκριμένο έργο και οικονομικά βιώσιμος, εξαιτίας των μεγάλων επενδύσεων κεφαλαίου που απαιτεί.

Ωστόσο, όταν το πάχος των στρωμάτων γαιάνθρακα είναι πολύ μικρό (0-1m), η μέθοδος αυτή παρουσιάζει προβλήματα τόσο απόδοσης των μηχανημάτων, όσο και ρύπανσης του παραγόμενου προϊόντος από συνεξόρυξη των αγόνων που βρίσκονται κυρίως πάνω, αλλά και κάτω από το στρώμα γαιάνθρακα.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία των μηχανών συνεχούς κοπής με τύμπανο (continuous surface miners, εικόνα 3.24), με εξέλιξη και εισαγωγή στη μεταλλευτική βιομηχανία αντίστοιχων μηχανημάτων που χρησιμοποιούνταν αρχικά στην οδοποιία (για αφαίρεση παλιών οδοστρωμάτων) (Κολοβός 2004).



Εικόνα 3.24 Γενική διάταξη μηχανής συνεχούς κοπής με τύμπανο του οίκου Wirtgen (Κολοβός 2004)

Οι μηχανές αυτές κινούνται επί ερπυστριών και έχουν, στο εμπρός τμήμα ή ανάλογα τον κατασκευαστή, στο μέσον τους, ένα περιστρεφόμενο τύμπανο που φέρει κοπτικά άκρα (αναλώσιμα και συνήθως από καρβίδιο βολφραμίου). Λόγω της προσβολής του μετώπου στο εύρος του τυμπάνου και της μικρής προχώρησης του μηχανήματος, η εξόρυξη του πετρώματος γίνεται σε μορφή απόσπασης θραυσμάτων και γι' αυτό σε πολύ μικρότερη κοκκομετρία από οποιονδήποτε άλλο τύπο εκσκαφέα. Το εξορυσσόμενο υλικό είτε φορτώνεται απ' ευθείας σε φορτηγά αυτοκίνητα (εικόνα 3.25), είτε αποτίθεται πλευρικά σε σωρούς κατά μήκος της πορείας του μηχανήματος. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η εξόρυξη, η θραύση και η φόρτωση του μεταλλεύματος με το ίδιο μηχάνημα, σε μία φάση εργασίας.



Εικόνα 3.25 Εξόρυξη στρώματος γαιάνθρακα και φόρτωση σε αρθρωτό φορτηγό (Κολοβός 2004)

Σήμερα τέτοιου τύπου μηχανήματα διατίθενται από διάφορους κατασκευαστές (π.χ. Wirtgen, Krupp, Man-Takraff, Huron) σε διάφορα παραγωγικά μεγέθη, με δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης θεωρητικά έως πάχος στρώματος χλυστών, πρακτικά ωστόσο μέχρι πάχους έως 150 mm (π.χ. το μεγαλύτερο μοντέλο της Wirtgen, Surface Miner 4200SM, που φαίνεται στην εικόνα 3.25, με βάρος λειτουργίας 191 τόνους και πλάτος κοπής 4,2 m, έχει δυνατότητα βάθους κοπής 0-800 mm).

Πεδίο εφαρμογής των μηχανών συνεχούς κοπής με τύμπανο αποτελούν οι εκμεταλλεύσεις μαλακών έως μετρίως σκληρών πετρωμάτων (με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη 10-70 MPa), όπως λιγνίτες, σκληροί γαιάνθρακες, βωξίτες, άργιλοι, γύψος, κλπ. Θεωρητικά, ανάλογα με τα μηχανικά χαρακτηριστικά και την υφή του πετρώματος μπορεί να εξορυχθεί πέτρωμα με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη έως 200 MPa, πρακτικά όμως για αντοχή πάνω από 100 MPa (1200 kg/cm^2) αυξάνει πολύ η

κατανάλωση κοπτικών άκρων και μειώνεται δραστικά η παραγωγική ικανότητα του μηχανήματος.

Ειδικότερα, ως πεδίο εφαρμογής στη μεταλλευτική βιομηχανία αναφέρεται:

- Η εκλεκτική εξόρυξη λεπτών στρωμάτων σε μικρής κλίσης κοίτασμα
- Η εξόρυξη σκληρών πετρωμάτων που δεν εξορύσσονται πλέον με μηχανικό άροτρο μειώνοντας τις ανάγκες ανατινάξεων και θραύσης του πετρώματος
- Η εξόρυξη και κοπή πετρωμάτων σε εργοτάξια κατασκευών και λατομεία, για προετοιμασία είτε σταθερών δαπέδων και πρανών χωρίς τα προβλήματα διακλάσεων που επιφέρουν οι ανατινάξεις, είτε έτοιμου θραυστού υλικού.
- Η προετοιμασία ή συντήρηση κύριων οδών μεταφοράς ή προσπελάσεων σε επιφανειακά ή υπόγεια μεταλλεία.

Ο βασικός εξοπλισμός εξόρυξης σε ένα υπαίθριο ανθρακωρυχείο μπορεί εμπίπτει σε κάποια από τις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

- Μηχανικός εκσκαφέας μετωπικού (shovel) ή ανεστραμμένου κάδου (backhoe).
- Μηχανικός εκσκαφέας συρόμενου κάδου (dragline)
- Καδοφόρος εκσκαφέας (conventional ή compact)
- Φορτωτές (front end loaders)
- Μηχανές συνεχούς κοπής με τύμπανο (continuous surface miners)

Από τους πιο πάνω βασικούς τύπους εξοπλισμού και για το ίδιο βάρος λειτουργίας, το πλέον παραγωγικό σύστημα είναι ο κλασσικού τύπου (conventional) καδοφόρος εκσκαφέας. Shovels και draglines κατασκευάζονται σε περίπου ίδια πραγματικά μεγέθη, αλλά τα shovels παρουσιάζουν μικρότερο βάρος λειτουργίας. Τα μικρότερα μεγέθη εξοπλισμού, ανάλογα πάντα με το βάρος λειτουργίας καταλαμβάνουν οι καδοφόροι εκσκαφείς τύπου compact και φορτωτές. Τέλος οι μηχανές συνεχούς κοπής με τύμπανο βρίσκονται μεταξύ compact και φορτωτών.

Από τις πιο πάνω κατηγορίες εξοπλισμού μόνο οι μηχανές συνεχούς κοπής με τύμπανο έχουν ουσιαστική δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης και χρησιμοποιούνται διεθνώς για την εκμετάλλευση εναλλασσόμενων λεπτών στρωμάτων.

Είναι φανερό ότι ο εξοπλισμός τύπου συνεχούς κοπής με τύμπανο ανήκει στην κατηγορία μηχανημάτων της μεθόδου ασυνεχούς λειτουργίας. Εφόσον τέτοιος εξοπλισμός ενταχθεί εμβόλιμα σε ορυχείο με σύστημα καδοφόρων εκσκαφών πρέπει να ληφθεί υπόψη:

- η διαφορά παραγωγικού μεγέθους του εξοπλισμού αυτού σε ότι αφορά τη διάταξη των βαθμίδων και την ταχύτητα προχώρησης των μετώπων, καθώς και
- η μικρή (λόγω μικρού αναπτύγματος) δυνατότητα συνεργασίας με το σύστημα μεταφοράς υλικών με ταινιοδρόμους ή η ανάγκη εισαγωγής νέου συστήματος μεταφοράς με ειδικά μεταφορικά οχήματα.

Τα πλεονεκτήματα ωστόσο που παρουσιάζει ο τύπος αυτός εξοπλισμού στην ακρίβεια εξόρυξης λεπτών στρωμάτων και στην ευελιξία ανάπτυξης των μετώπων είναι πολύ σημαντικά. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να εξετάζεται για ενδεχόμενη εφαρμογή σε μελλοντική εκμετάλλευση νέου λεπτοστρωματικού κοιτάσματος, για το οποίο είτε δεν υπάρχει ήδη υφιστάμενος εξοπλισμός, είτε ο υφιστάμενος κρίνεται ακατάλληλος (π.χ. απόληψη λεπτοστρωματικού λιγνίτη) (Κολοβός 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο λογισμικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, στις τεχνικές και τα βήματα χειρισμού του, στα αποτελέσματα που προέκυψαν (τομές, ισοϋψείς, απεικονίσεις επιφάνειας, όρια του κοιτάσματος, αποθέματα) αλλά και στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκτέλεση της εργασίας.

4.1 Το λογισμικό Carlson Software

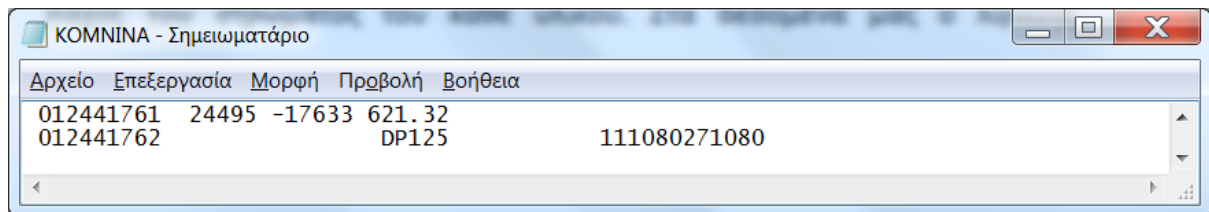
Το λογισμικό Carlson Software περιλαμβάνει διάφορα προγράμματα για μοντελοποίηση τα οποία βασίζονται πάνω στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCad ή το Intellacad. Στον τομέα των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να μπορεί ο μηχανικός να σχεδιάσει, να παρακολουθεί τις μεταλλευτικές δραστηριότητες και να τροποποιεί το σχεδιασμό και τις παραμέτρους της εκμετάλλευσης ώστε να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της εκμετάλλευσης.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν από το πακέτο λογισμικού Carlson Software για την εκπόνηση της εργασίας είναι τα: Geology, Civil.

Η παραχώρηση δεδομένων έγινε από τη ΔΕΗ Α.Ε. και αφορούν την περιοχή Κομνηνών-Μεσοβούνου Δ. Μακεδονίας. Τα δεδομένα αποτελούνται από (α) ένα αρχείο με 223 γεωτρήσεις, (β) ένα γεωλογικό χάρτη της περιοχής, (γ) ένα σχέδιο autocad στο οποίο απεικονίζονται οι γεωτρήσεις και τα όρια της εκμετάλλευσης, (δ) ένα υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής και (ε) το βιβλίο «Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών Πτολεμαΐδας» με 20 χάρτες και όλη την αναφορά που παραχωρήθηκε από το αρχείο της ΔΕΗ.

4.2.1 Τα γεωτρητικά δεδομένα

Σε ένα αρχείο DAT (ανοίγει με σημειωματάριο) έχουν συγκεντρωθεί τα δεδομένα των γεωτρήσεων (223 γεωτρήσεις) με αλφαβητική σειρά (εικόνα 4.2). Στα δεδομένα δίνεται στην πρώτη στήλη ο τύπος του γεωτρύπανου (εικόνα 4.1), στην πρώτη γραμμή δίπλα από τον τύπο του διατρητικού δίνονται οι συντεταγμένες X, Y, Z της γεώτρησης. Στη δεύτερη γραμμή δίνεται το όνομα της γεώτρησης π.χ. DP125 και ακόμα πιο δεξιά στην ίδια γραμμή δίνονται οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης των εργασιών, με μορφή 111080271080, δηλαδή έναρξη διάτρησης 11 Οκτωβρίου 1980 και λήξη διάτρησης 27 Οκτωβρίου 1980. Αυτή είναι η μορφή των δεδομένων όπως αποθηκεύονται από το πρόγραμμα metal της ΔΕΗ.



Εικόνα 4.1 στοιχεία γεώτρησης DP125

Στη δεύτερη και τρίτη στήλη από την δεύτερη γραμμή και κάτω, δίνονται τα βάθη οροφής και πατώματος (**σε cm**) αντίστοιχα των πετρωμάτων που φαίνονται στην τέταρτη στήλη με τον κατάλληλο συμβολισμό (πίνακας 4.1). Η διαφορά του πατώματος με την οροφή δίνει το πάχος του στρώματος του κάθε υλικού. Στα στοιχεία αυτά ο λιγνίτης συμβολίζεται με CO και όπου συναντάται δίπλα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του. Αυτά για τη γεώτρηση DP126 είναι της μορφής: 53.5 5.311.42185 , αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο στρώμα λιγνίτη έχει 53.5% υγρασία, 5.3% CO₂, 11.4% τέφρα επί ξηρού και 2185 kcal θερμογόνο δύναμη (ΘΔ). Το συγκεκριμένο στρώμα έχει πάχος ένα μέτρο.

ΚΟΜΝΙΝΑ - Ίζηματοστάσιο				
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
01241206	33200	33940	SN	
01241206	33940	33970	CO	
012441761	24495	-17633	621.32	32.228.842.5
012441762			DP125	111080271080
01244176	00	50	SO	
01244176	30	1200	SN	
01244176	1200	3700	AL	
01244176	03700	03880	SN	
01244176	03880	03930	GC	
01244176	03930	04200	SN	
01244176	04200	04230	GC	
01244176	04230	04500	SD	
01244176	04500	08100	SN	
01244176	08100	08400	AL	
01244176	08400	08950	SN	
01244176	08950	12470	SI	
01244176	12470	13100	MR	47.017.833.6
01244176	13100	13200	CO	
01244176	13200	13240	CO	46.67.413.8
01244176	13240	13290	CO	41.823.039.5
012471731	24789	-17305	631.92	
012471732			DP126	150980220980
01247173	00	50	SO	
01247173	050	2180	SN	
01247173	2180	2200	SD	
01247173	2200	2360	MR	
01247173	2360	2960	AL	
01247173	2960	7650	SI	
01247173	7650	8960	MR	
01247173	8960	9060	CO	53.55.311.42185
01247173	9060	9160	CO	53.28.017.11560
01247173	9160	9170	MR	
01247173	9170	9270	CO	42.319.834.31385
01247173	9270	9370	CO	44.917.131.11565
01247173	9370	9470	CO	49.611.222.31795
01247173	9470	9550	CO	51.88.918.41995
01247173	9550	9560	MR	
01247173	9560	9650	CO	50.48.016.22040
01247173	9650	9800	CO	47.512.523.81990
01247173	9800	9820	CO	41.022.337.81150
01247173	9820	9950	CO	47.514.627.72030
012441691	24459	-16928	615.44	
012441692			DP129	130880020980
01244169	00	50	SO	
01244169	50	650	AL	
01244169	650	850	SN	
01244169	850	900	AL	
01244169	900	1200	KC	
01244169	1200	1800	AL	
01244169	1800	2000	SD	
01244169	02000	02400	AL	
01244169	02400	02700	SN	
01244169	02700	03900	AL	
01244169	03900	04150	SN	
01244169	04150	04200	SD	

Εικόνα 4.2 Αρχική μορφή δεδομένων γεωτρήσεων

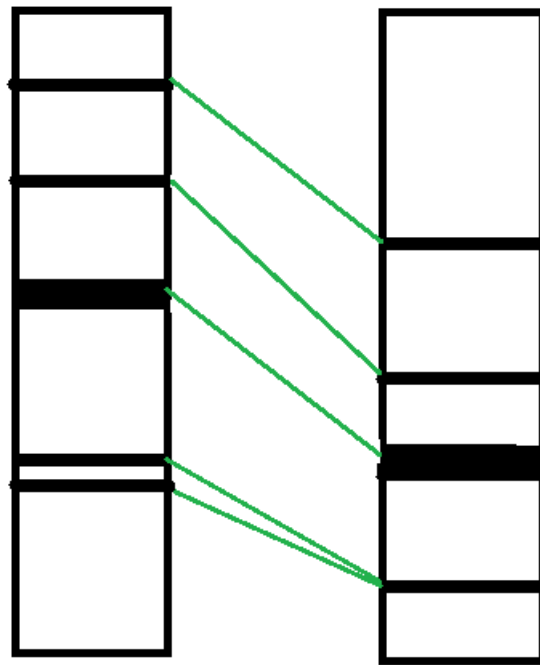
Πίνακας 4.1 Κωδικοποιημένα πετρογραφικά χαρακτηριστικά δειγμάτων γεωτρήσεων (Δεληγιαννίδου 2006)

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΣΥ-ΣΤΑΣΗ	ΙΣΤΟΣ	ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ
SO=ΦΥΤΙΚΗ ΓΗ	T=ΑΡΓΙΛΟΥΧΟ	P=ΠΛΑΣΤΙΚΟ	A=ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ	1=ΛΙΑΝ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ
AL=ΑΡΓΙΛΟΣ	S=ΑΜΜΟΥΧΟ	B=ΛΑΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	M=ΜΑΛΑΚΙΑ	3=ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ
SN=ΑΜΜΟΣ	K=ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟ	L=ΦΥΛΛΩΔΕΣ	G=ΓΑΣΤΕΡΟΠΟΔΑ	4=ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ-ΜΕΣΟΚΟΚΚΟ
MR=ΜΑΡΓΑ	U=ΙΛΙΟΥΧΟ	F=ΕΥΘΡΑΣΤΟ	P=ΕΛΑΣΜΑΤΟΒΡΑΓΧΙΑ	5=ΜΕΣΟΚΟΚΚΟ
CO=ΛΙΓΝΙΤΗΣ	H=ΧΟΥΜΩΔΕΣ	E=ΓΑΙΩΔΕΣ	O=ΟΣΤΡΑΚΩΔΗ	6=ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ
CP=ΤΥΡΦΗ	R=ΨΗΦΟΔΟΜΑΓΕΣ	C=ΣΥΜΠΑΓΕΣ	E=OPERCULUM	7=ΑΔΡΟΚΟΚΚΟ
SI=ΙΛΥΣ	G=ΧΑΛΙΚΟΜΑΓΕΣ	T=ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑ/ΔΕΣ	D=ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ	9=ΛΙΑΝ ΑΔΡΟΚΟΚΚΟ
SL=ΙΛΙΟΛΙΘΟΙ	M=ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΟΥΧΟ	S=ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΕΣ	L=ΦΥΛΛΑ	
LO=ΠΗΛΟΣ	C=ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟ	H=ΣΚΛΗΡΟ	T=ΚΑΡΠΟΙ-ΣΠΟΡΟΙ	ΧΡΩΜΑ
KC=ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	A=ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟ	R=ΠΟΡΩΔΕΣ	R=ΡΙΖΕΣ	B=ΜΠΛΕ
BC=ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ	X=ΧΑΛΑΖΙΑΚΟ	I=ΤΑΙΝΙΩΔΕΣ	V=ΦΥΤΙΚΑ ΛΕΙΨΑΝΑ	I=ΜΠΕΖ
GR=ΧΑΛΙΚΙΑ	B=ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ	N=ΑΣΤΡΩΤΟ	B=ΟΣΤΑ	O=ΚΑΣΤΑΝΟ
SD=ΨΑΜΜΙΤΗΣ	V=ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ	M=ΜΑΛΑΚΟ	C=ΣΥΓΚΡΙΜΑΤΑ	T=ΤΕΦΡΟ
GC=ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ	P=ΠΛΟΥΤΩΝΙΑΚΟ	G=ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΟ	K=ΑΣΒΕΣΤ.ΣΥΓΚΡΙΜ.	G=ΠΡΑΣΙΝΟ
LI=ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	W=ΜΑΓΜΑΤΙΚΟ ΒΑΣΙ-ΚΟ	D=ΣΤΙΦΡΟ	S=ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΥΣΗΣ	Υ=ΚΙΤΡΙΝΟ
LH=ΛΙΜΝΑΙΑ ΚΡΗΤΙΣ	O=ΜΑΓΜΑΤΙΚΟ ΟΞΙΝΟ	K=ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ	Υ=ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	W=ΛΕΥΚΟ
AG=ΑΡΓ. ΓΚΥΤΤΙΑ	D=ΠΟΛΥΜΕΙΚΤΟ	X=ΧΥΛΩΔΕΣ	F=ΟΞΕΙΔ.ΣΙΔΗΡΟΥ	R=ΚΟΚΚΙΝΟ
LG=ΑΣΒ. ΓΚΥΤΤΙΑ	E=ΓΝΕΥΣΙΑΚΟ	A=ΑΣΥΝΔΕΤΟ	W=BIBIANΙΤΗΣ	V=ΒΙΟΛΕΤΙ
LK=ΑΣΒ. ΙΛΥΣ	F=ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ	Z=ΧΑΛΑΡΟ	U=FUSINITE	M=ΜΑΥΡΟ
PA=ΠΑΛΑΙΟΕΔΑΦΟΣ	I=ΤΕΛΙΚΗ	Υ=ΗΜΙΣΚΛΗΡΑ	N=NEPITINA	
TB=ΤΡΟΧΜΑΛΕΣ	L=ΚΡΟΚΑΛΕΣ		Z=ΞΥΛΩΔΗ ΤΕΜΑΧΙΑ	
TC=ΤΡΑΧΜΑΛΟΠΑΓΕΣ	N=ΛΕΠΤΕΣ ΣΚΛΗΡΕΣ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ		J=ΟΞΕΙΔΙΑ ΜΝ	
DA=ΓΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ	Z=ΕΝ/ΣΕΙΣ ΨΑΜΜΙΤΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	ΕΝΤΑΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ
MA=ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤ.	Q=ΕΝ/ΣΕΙΣ ΠΗΛΙΤΗ	1=ΠΟΛΥ ΛΙΓΟ	- = ΕΩΣ	1=ΑΝΟΙΚΤΟ
SH=ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	J=ΕΝ/ΣΕΙΣ ΜΑΡΓΑΣ	3=ΛΙΓΟ	/ = ΜΑΖΙ	5=ΕΝΤΟΝΟ
SB=ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ		5=ΜΕΤΡΙΑ		9=ΣΚΟΥΡΟ
LS=ΑΠΩΛΕΙΑ		7=ΠΟΛΥ		
MG=ΛΕΥΚΟΛΙΘΟΣ		9=ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ		
LD=ΠΗΛΙΤΗΣ				
KR=ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΣ				
TR=ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ				
OZ=ΧΑΛΑΖΙΤΗΣ				
ZY=ΞΥΛΙΤΗΣ				

Από αυτό το αρχείο δημιουργήθηκαν 223 αρχεία DAT τα οποία περιέχουν από μια γεώτρηση το κάθε ένα, τόσες είναι οι γεωτρήσεις. Συγκεκριμένα υπάρχουν 57 γεωτρήσεις χωρίς λιγνίτη και άλλες 166 με λιγνίτη. Στη συνέχεια όλα τα αρχεία DAT εκτυπώθηκαν.

4.2.2 Επεξεργασία των γεωτρητικών δεδομένων

Για να δουλέψει το Carlson Software, να φτιάξει τομές και να υπολογίσει τα αποθέματα πρέπει κάθε στρώμα σχηματισμού σε κάθε γεώτρηση να έχει όνομα. Οπότε έπρεπε να γίνει μια επίπονη εργασία και να ομαδοποιηθούν οι γεωτρήσεις μεταξύ τους με βάση τα χαρακτηριστικά του λιγνίτη. Δηλαδή να βρεθούν ομοιότητες γένεσης και να συνδεθούν τα στρώματα των γεωτρήσεων (εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3 Σύνδεση στρωμάτων λιγνίτη

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν το πάχος στρώματος λιγνίτη και η θερμογόνο δύναμη. Επίσης βοηθητικό κριτήριο είναι και το πάχος των

ενδιαμέσων στρωμάτων, αλλά και η τέφρα επί ξηρού η οποία συνήθως δεν αλλάζει περισσότερο από 5%. Πολλές φορές ο χαρακτηρισμός ενός στρώματος ως στείρο αντί για λιγνίτη είναι στην ευχέρεια του γεωλόγου πεδίου ο οποίος ορίζει την αλλαγή του στρώματος από λιγνίτη σε άγονα και αντίστροφα. Έτσι ο στρωματογραφικός χαρακτηρισμός πρέπει να γίνει άμεσα μετά την ανόρυξη μιας γεώτρησης ώστε να υπάρχει η μαρτυρία πεδίου. Επίσης πολύ σημαντικό κριτήριο είναι το συνολικό πάχος διαδοχικών στρωμάτων λιγνίτη με μικρά πάχη ενδιαμέσων. Το απόλυτο υψόμετρο κάθε στρώματος είναι καθοριστικός παράγοντας, αλλά στην συγκεκριμένη περιοχή η πυκνότητα των ρηγμάτων και η κλίση 4% του κοιτάσματος αλλοιώνει την εικόνα. Ένα άλλο κριτήριο είναι τα χαρακτηριστικά στρώματα, αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνδετήριοι κρίκοι και είναι η χαρακτηριστική άμμος (SN) (D45,DP126), ο ορίζοντας Neritina (N), η τελική μάργα (MR) (D11,D35,D45,DP126). Όμως η εμφάνιση αυτών των χαρακτηριστικών στρωμάτων μόνο σε λίγες γεωτρήσεις και αυτές κυρίως λίγων στρωμάτων, δεν βοήθησε στην προκειμένη περίπτωση.

Έτσι επιλέχθηκαν οι γεωτρήσεις με λιγνίτη και θερμογόνο δύναμη (54 γεωτρήσεις) και χαρτογραφήθηκαν για να φαίνεται η θέση τους, στη συνέχεια προστέθηκαν τα ρήγματα. Οι γεωτρήσεις χωρίστηκαν σε ομάδες και αφού υπολογίστηκε και σημειώθηκε το πάχος κάθε στρώματος λιγνίτη σε όλες τις γεωτρήσεις, αλλά και το πάχος στρώματος των ενδιαμέσων, ξεκίνησε η σύγκριση και το ταίριασμα των στρωμάτων λιγνίτη των γειτονικών γεωτρήσεων αρχικά. Στη συνέχεια συνδέθηκαν τα στρώματα λιγνίτη κάθε ομάδας, συνδέθηκαν και οι ομάδες μεταξύ τους, δόθηκαν ονόματα (bed names) σε αυτά αλλά και στα ενδιαμέσα. Στρώματα ενδιαμέσων μέχρι και 20cm λαμβάνονταν μαζί με το λιγνίτη, καθώς και συνεχόμενα στρώματα λιγνίτη λαμβάνονται ως ένα, αλλά υπολογίζοντας την μέση ΘΔ.

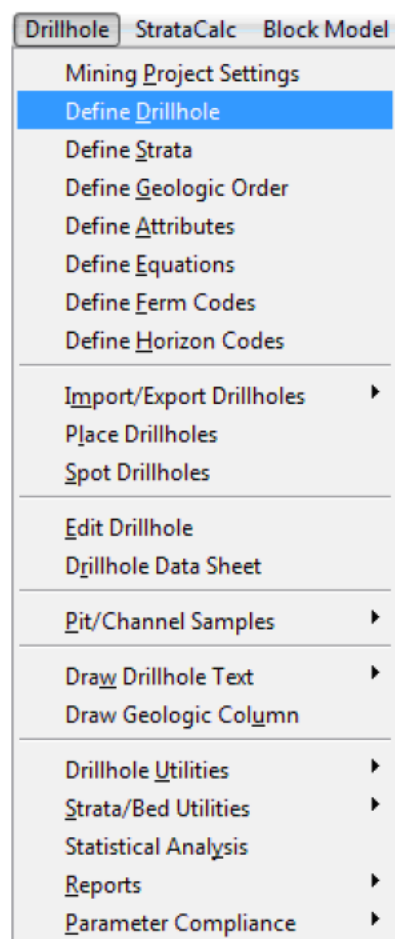
Έτσι εντοπίστηκαν και ονομάστηκαν 44 στρώματα λιγνίτη. Όμως έπρεπε να ονομαστούν και τα υπόλοιπα στρώματα των γεωτρήσεων, έτσι τα άγονα αργιλικά στρώματα ονομάστηκαν με (ΥΡΕχχ, ΕΝΔχχψψ,ΥΡΟχχ) ανάλογα αν ήταν υπερκείμενα (όπου χχ το νούμερο του επόμενου στρώματος λιγνίτη ή όλο το όνομα του επόμενου

στρώματος αν δεν ήταν λιγνίτης) , ενδιάμεσο (όπου χχ το νούμερο του προηγούμενου στρώματος λιγνίτη και ψψ του επόμενου) ή υποκείμενο (όπου χχ το νούμερο του προηγούμενου στρώματος λιγνίτη). Τα άλλα στρώματα ονομάστηκαν με τα αρχικά τους σύμβολα και τον αύξων αριθμό (π.χ. SO1, SO2...) ή τον αριθμό του λιγνιτικού στρώματος, αν ακολουθούσε λιγνίτης (εικόνα 4.13). Είναι σημαντικό να δοθούν ονόματα και στα στρώματα των γεωτρήσεων χωρίς λιγνίτη, αλλιώς το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη του στην επεξεργασία μόνο τις μονοστρωματικές.

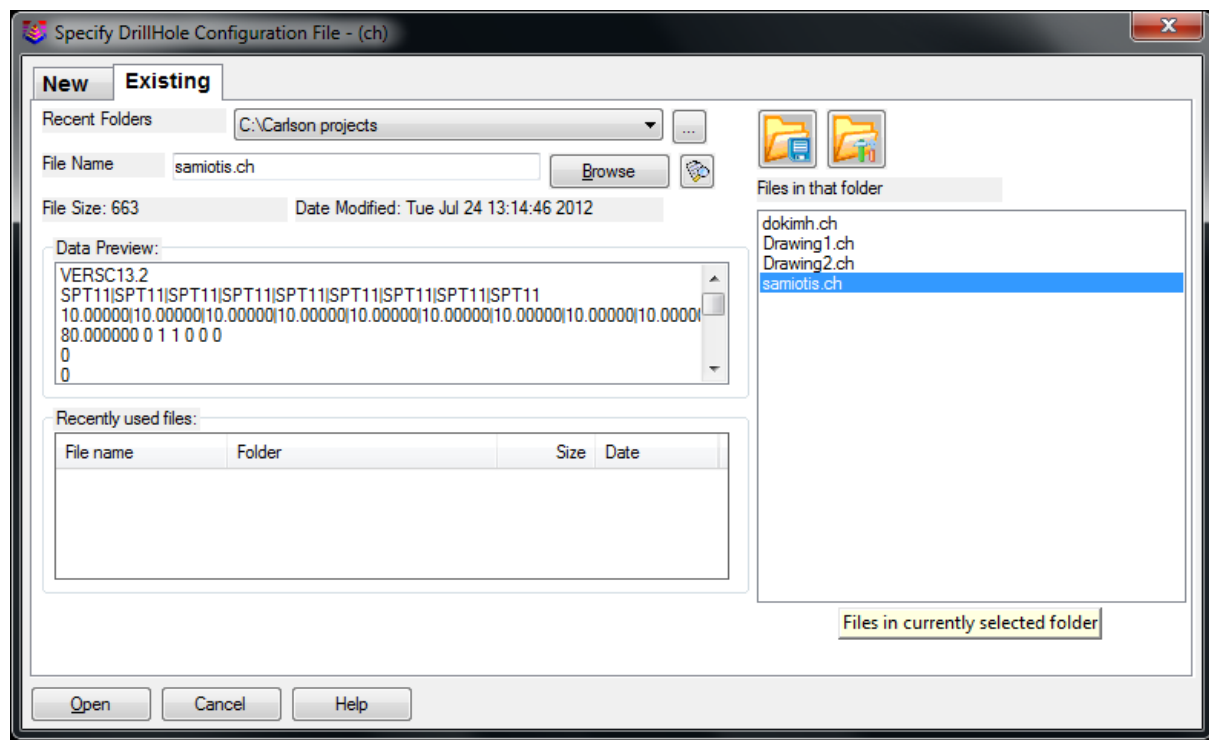
4.3 Καταχώρηση γεωτρητικών δεδομένων στο λογισμικό Carlson

Software

Για να εισαχθούν τα δεδομένα των γεωτρήσεων στο πρόγραμμα Carlson Software επιλέγεται «Drillhole» και μετά «Define Drillhole» (εικόνα 4.4). Ζητείται να δοθεί από το χρήστη ένα όνομα με το οποίο θα αποθηκευτεί ένα αρχείο κατάληξης .ch (π.χ. samiotis.ch) και επιλέγεται «open» (εικόνα 4.5). Στο παράθυρο που εμφανίζεται είναι δυνατό να οριστούν οι παράμετροι σύμφωνα με τις γεωτρήσεις (εικόνα 4.6). Αυτό το αρχείο θα χρησιμοποιείται κάθε φορά που ανοίγει το πρόγραμμα και δίνεται κάποια εντολή. Επιλέγεται «save».



Εικόνα 4.4 Επιλογή εντολής καθορισμού γεωτρητικών δεδομένων



Εικόνα 4.5 Δημιουργία αρχείου ch.

Define Drillhole

Method to locate strata

☒ Thickness ☐ Elevation ☐ Depth

Prompt for: ☒ Non-key strata ☐ Bed name ☐ Drillhole type

Enter values in: ☐ Inches ☒ Feet/Meter

List to edit

☒ Key strata attributes ☐ Non-Key strata attributes ☐ Drillhole descriptions

Value

Add **Update** **Remove**

Set Quality Names

☐ Use External Database **Select File**

Save **Save as** **Quit** **Help**

Drillhole Types

Name	Symbol	Size
<input checked="" type="radio"/> Unknown	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Complete	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Oil Well	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Gas Well	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Water Well	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Outcrop	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Mine Entrance	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Channel Sample	SPT11	10.0
<input type="radio"/> Environmental Hole	SPT11	10.0

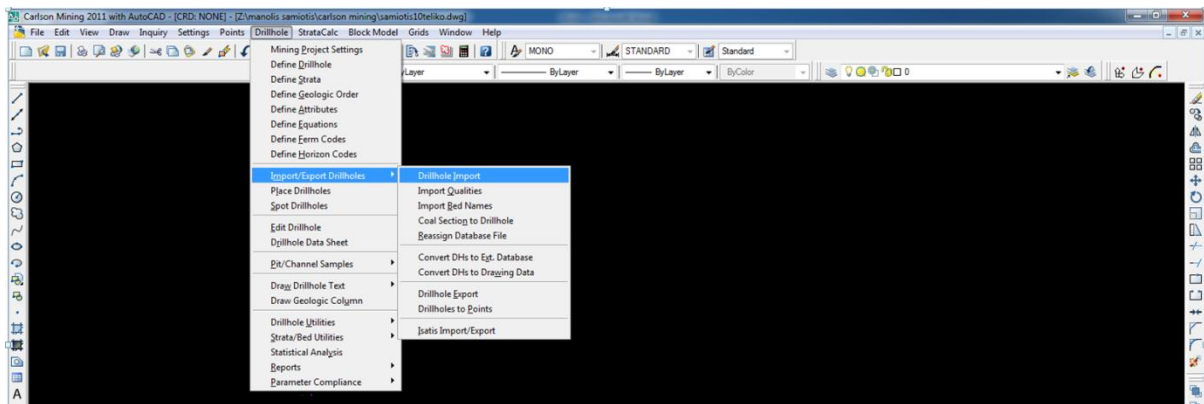
Set Layers **Select Symbol**

☐ Separate Drillhole Layers by Type

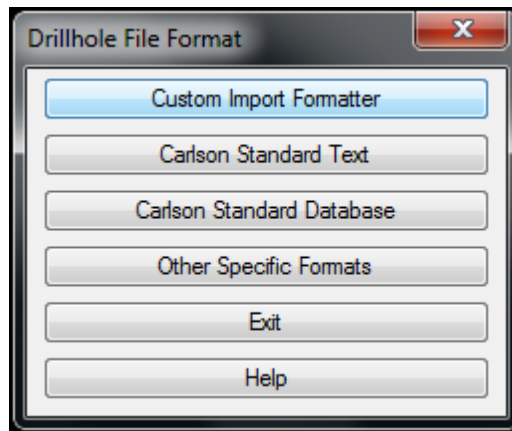
Strata Density

Εικόνα 4.6 Καρτέλα ρυθμίσεων καθορισμού γεωτρητικών δεδομένων

Για να εισαχθούν τα δεδομένα των γεωτρήσεων επιλέγεται «Drillhole» και έπειτα από την επιλογή «Import/Export Drillholes» επιλέγεται «Drillhole Import» εικόνα (4.7). Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται «Other Specific Formats» (εικόνα 4.8). Στο επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται «Greece Power» (εικόνα 4.9). Στη συνέχεια επιλέγεται «Browse» για την εύρεση του αρχείου KOMNINA.DAT (του αρχικού) και στη συνέχεια «open» (εικόνα 4.10).



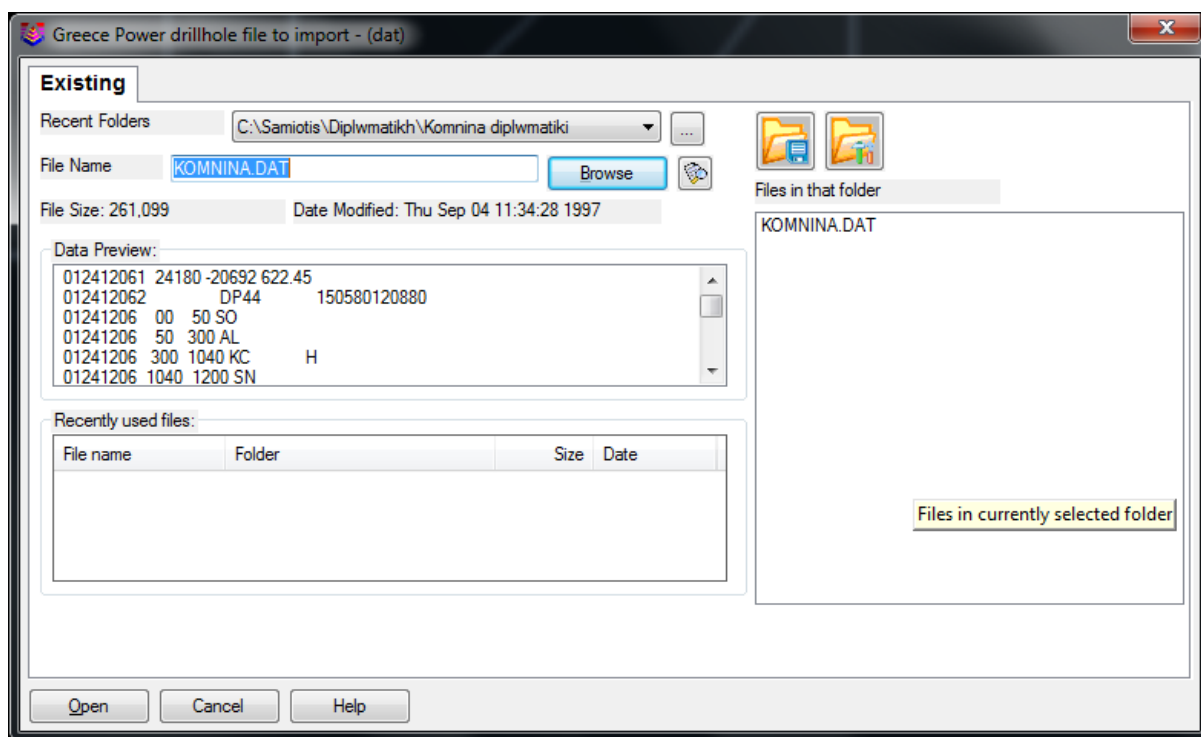
Εικόνα 4.7 Επιλογή εισαγωγής γεωτρητικών δεδομένων



Εικόνα 4.8 Επιλογή μορφής αρχείου γεωτρητικών δεδομένων

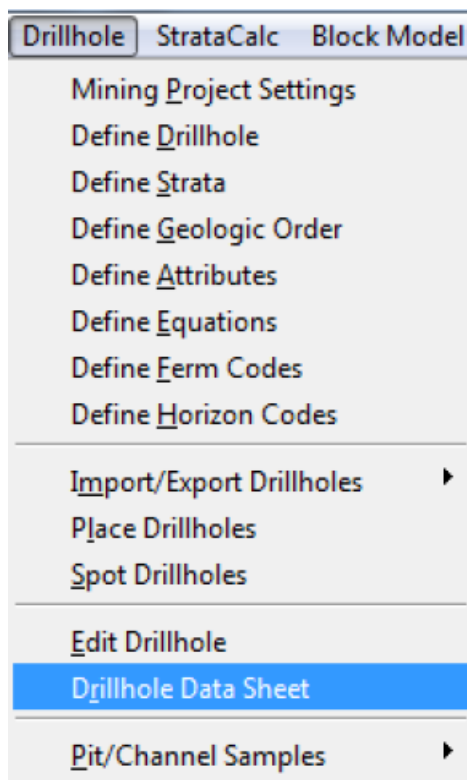


Εικόνα 4.9 Επιλογή του Format Greece Power

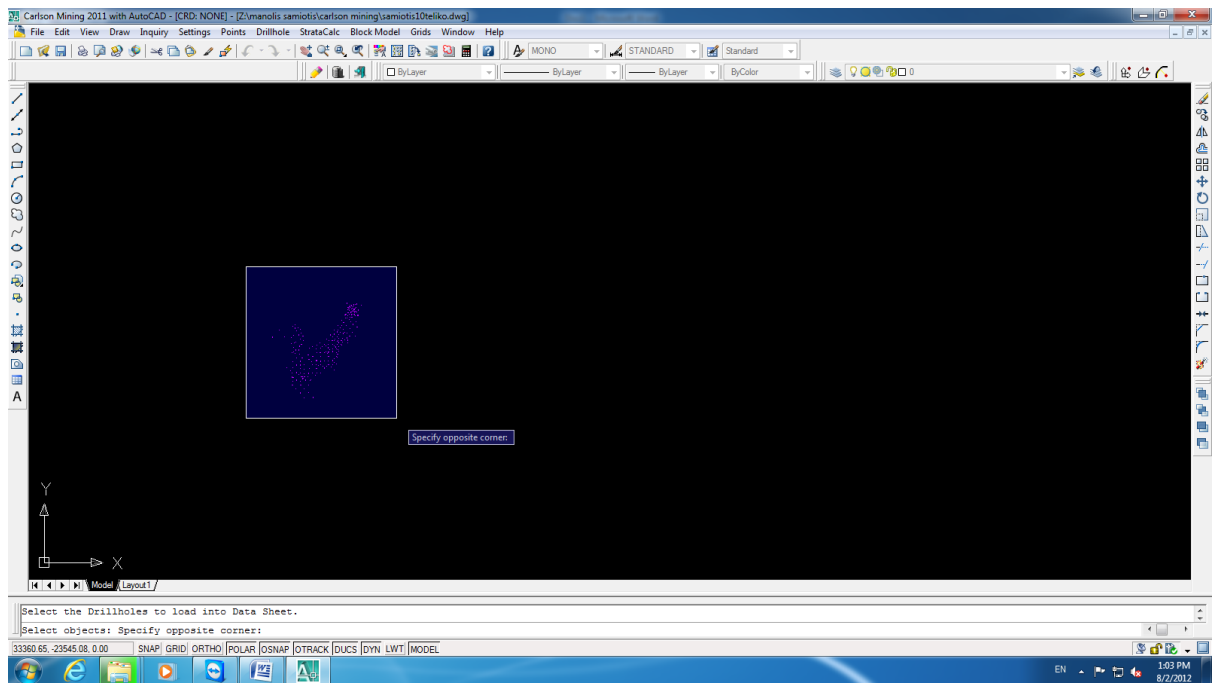


Εικόνα 4.10 Επιλογή του αρχείου DAT

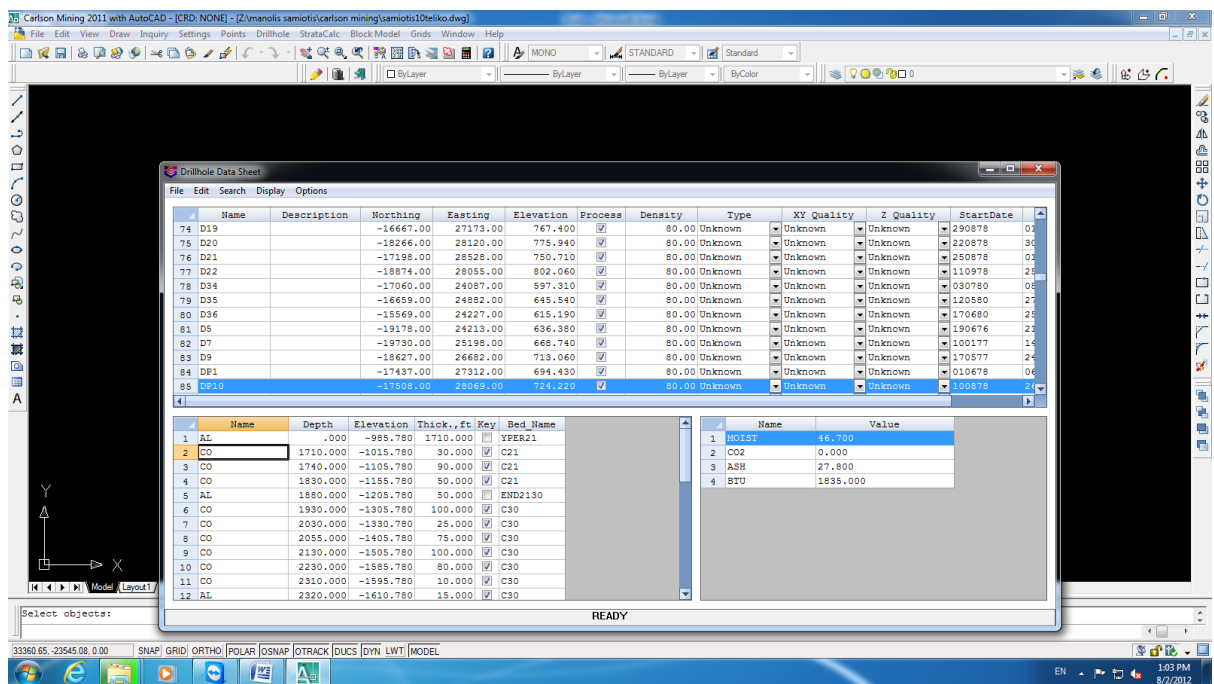
Στην συνέχεια θα εμφανιστούν στην επιφάνεια οι γεωτρήσεις και για να ελεγχθεί ότι τα δεδομένα μπήκαν σωστά θα επιλεγεί «Drillhole» και μετά «Drillhole Data Sheet» (εικόνα 4.11). Θα ζητηθεί στη συνέχεια να επιλεγούν οι γεωτρήσεις (εικόνα 4.12). Αφού επιλεγούν πατώντας «Enter» εμφανίζεται ο πίνακας με τις γεωτρήσεις όπως τις διαβάζει το πρόγραμμα. Από εκεί μπορούν να γίνει επεξεργασία όλων των πληροφοριών κάθε γεώτρησης ανά πάσα στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο θα περαστεί στο πρόγραμμα η ονομασία του κάθε στρώματος των 54 επεξεργασμένων γεωτρήσεων που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Ένα δείγμα φαίνεται στην εικόνα 4.13. Στο κάτω παράθυρο φαίνονται τα «bed names» που έχουν καταχωρηθεί.



Εικόνα 4.11 Επιλογή προεπισκόπησης γεωτρητικών δεδομένων



Εικόνα 4.12 Επιλογή δεδομένων

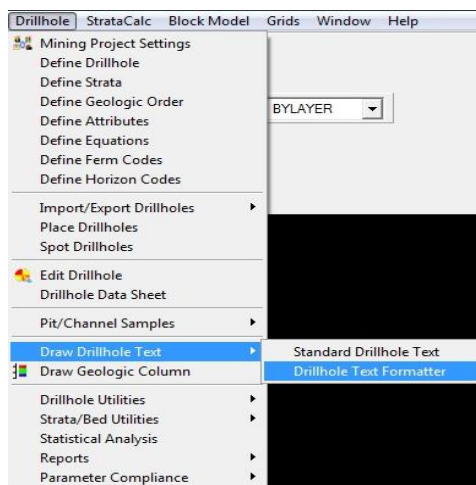


Εικόνα 4.13 Δεδομένα γεώτρησης DP10

Να σημειωθεί ότι αρκετές γεωτρήσεις δεν είχαν όνομα και αναγνωρίστηκαν από τις συντεταγμένες τους και στη συνέχεια ονοματίστηκαν. Επίσης στα στρώματα

ενδιάμεσων που συμπεριλήφθηκαν με τον λιγνίτη επιλέχθηκε το κουτάκι «Key» διότι έτσι αναγνωρίζει το πρόγραμμα ποιό στρώμα είναι το εκμεταλλεύσιμο. Οι αλλαγές αποθηκεύονται αφού πατηθεί έξοδος από το παράθυρο, ύστερα από ερώτηση «Do you want to update drillhole entities?» και απάντηση «Yes». Για μεγαλύτερη διευκόλυνση στην επεξεργασία των γεωτρήσεων επιλέγεται να εμφανίζεται το όνομα κάθε γεώτρησης δίπλα από το στίγμα της. Αυτό γίνεται επιλέγοντας «Drillhole», στη συνέχεια «Draw Drillhole Text» και τέλος «Text Formatter» (Εικόνα 4.14), το πρόγραμμα ζητά να επιλεγθούν οι γεωτρήσεις στις οποίες θα εμφανίζεται το όνομα, επιλέγονται όλες και στη συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο για ρυθμίσεις μεγέθους, είδους πληροφορίας που θα εμφανίζεται κ.α.

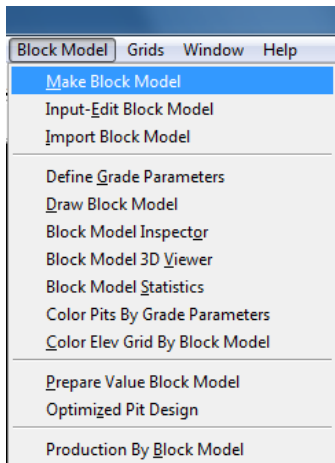
Σημειώνεται ότι τα πάχη των στρωμάτων στο αρχείο DAT δίνονται σε εκατοστά. Μετά την εισαγωγή τους στο Carlson Software πρέπει να μετατραπούν σε μέτρα, διότι αλλιώς το πρόγραμμα θα βγάλει 100 φορές μεγαλύτερα αποθέματα, και επίσης το block model θα είναι 100 φορές μεγαλύτερο άρα θα έχει πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, με αποτέλεσμα την τεράστια καθυστέρηση του υπολογισμού των αποθεμάτων.



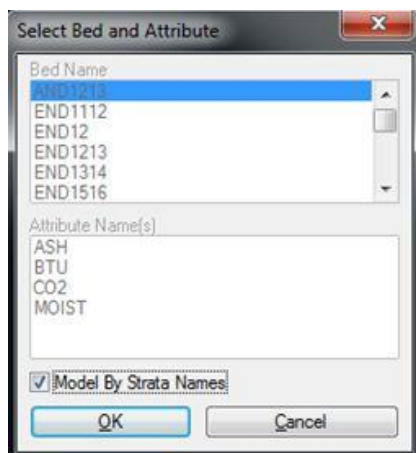
Εικόνα 4.14 Επιλογή Drillhole Text Formater

4.4.1 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων (Block Model)

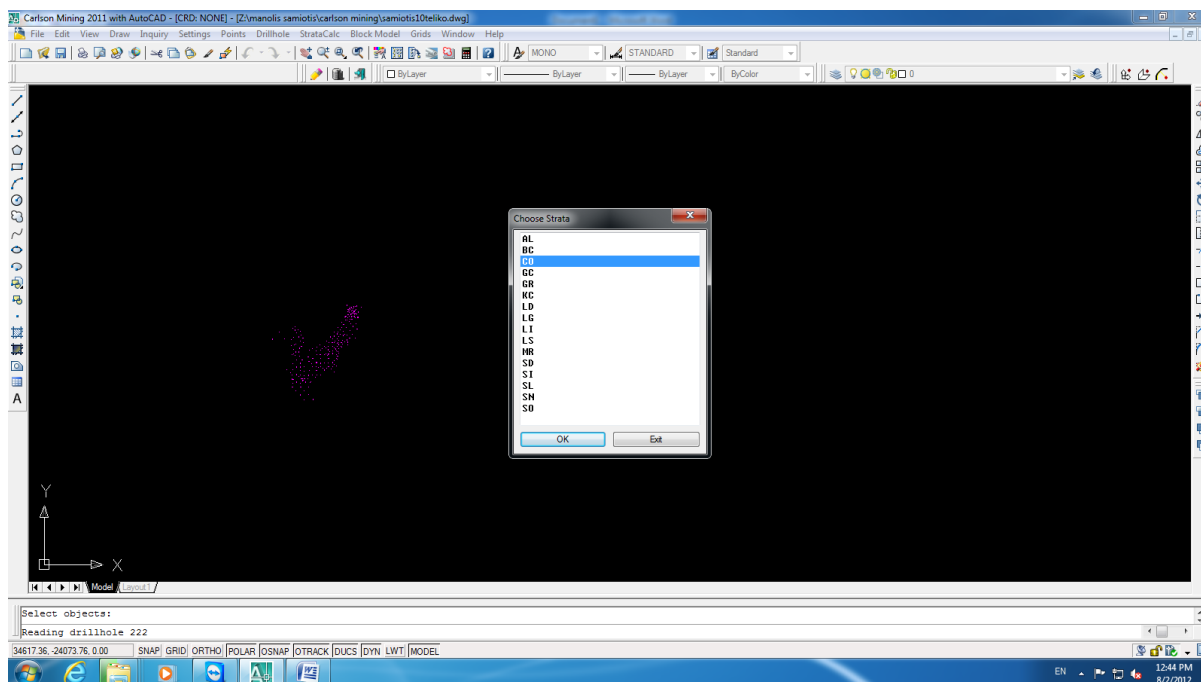
Από την καρτέλα «Block Model» διαλέγεται η επιλογή «Make Block Model» (εικόνα 4.15). Επιλέγονται οι γεωτρήσεις που θα ληφθούν υπόψη (όλες) και με το «Enter» εμφανίζεται ένα παράθυρο (εικόνα 4.16) για να επιλεχθεί το στοιχείο για το οποίο θα δημιουργηθεί το block model ή εάν η δημιουργία του μοντέλου γίνεται βάση των στρωμάτων επιλέγεται «Model by strata names». Στο επόμενο παράθυρο ζητείται να δοθεί για ποια στρώματα θα γίνει το block model (εικόνα 4.17) επιλέγονται όλα τα στρώματα και σε επόμενο μοντέλο επιλέγεται μόνο ο λιγνίτης. Στη συνέχεια ζητείται να οριστεί ο χώρος δημιουργίας του block model, ο οποίος επιλέγεται με τον κέρσορα ή μέσω μιας polyline.



Εικόνα 4.15 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων



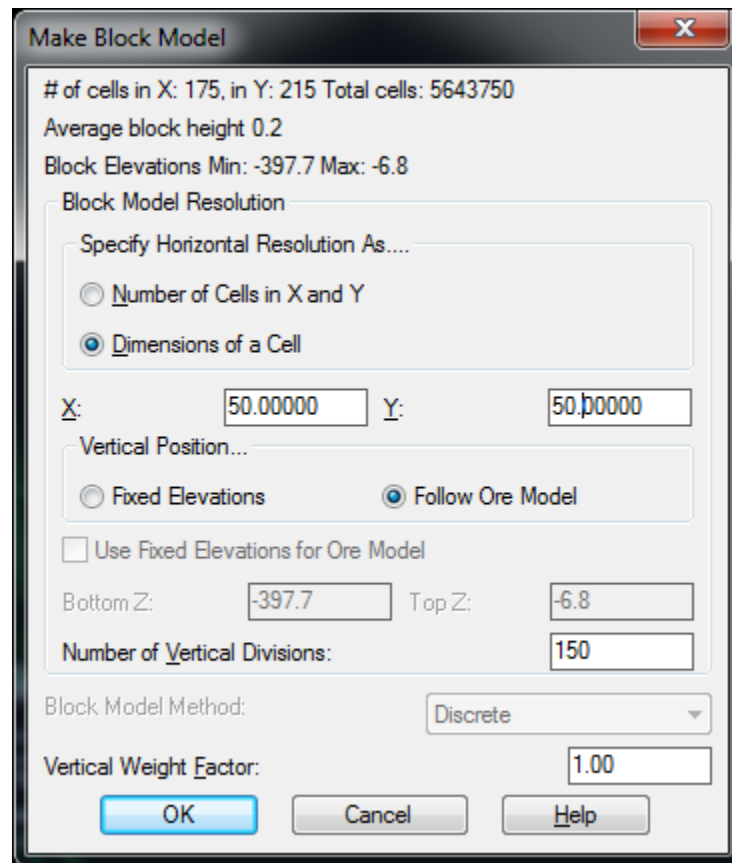
Εικόνα 4.16 Επιλογή στοιχείου για το οποίο θα δημιουργηθεί το Block Model



Εικόνα 4.17 επιλογή στρωμάτων

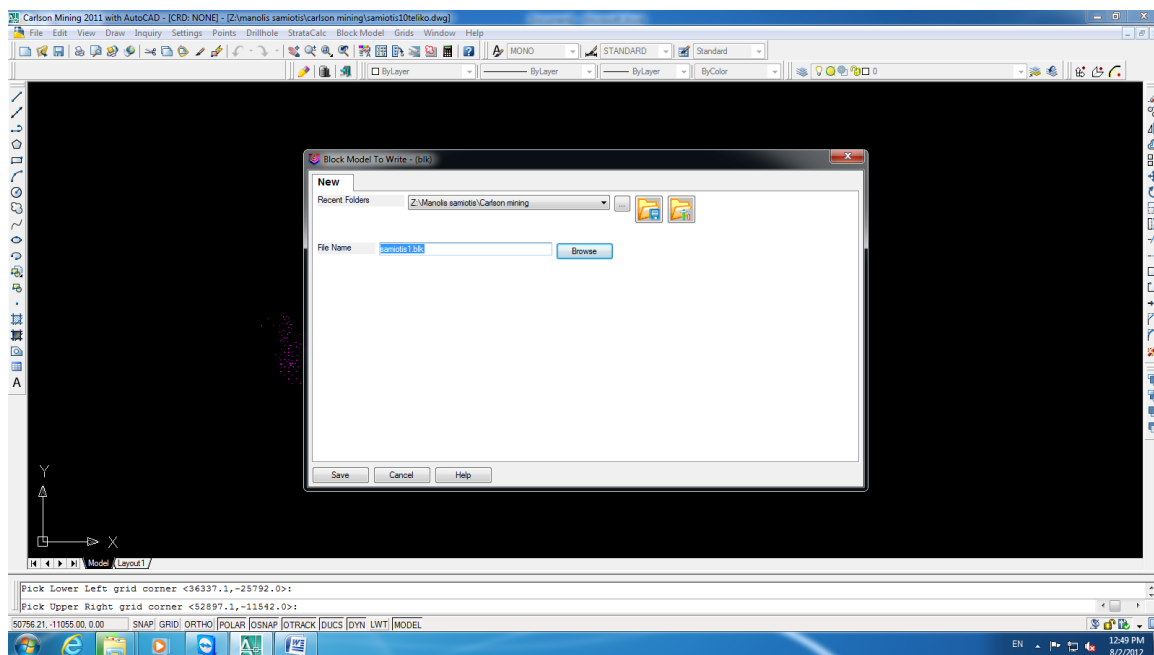
Στη συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο ορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου κυψελίδων βάση αριθμού κελιών ή βάση μεγέθους κελιών καθώς και η γεωστατιστική μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί (εικόνα 4.18). Στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε να δοθεί το μέγεθος των κυψελίδων «Dimension of a cell» και η γεωστατιστική μέθοδος «Discrete». Για τους άξονες X και Y επιλέγεται η τιμή 50 m γιατί η μέση ελάχιστη απόσταση των γεωτρήσεων είναι περίπου 400 m οπότε δεν θα είχε νόημα να πυκνώσουν τα κελιά στους άξονες αυτούς. Η τιμή του άξονα Z πρέπει να είναι όσο πιο

κοντά στο μικρότερο απολήψιμο στρώμα, δηλαδή 20 cm, και γι' αυτό επιλέχθηκε η τιμή 0.2 m, διότι σχεδόν όλα στρώματα λιγνίτη έχουν πάχος μεγαλύτερο από αυτό. Ωστόσο ο άξονας Z λειτουργεί με κάποιο συντελεστή και πρέπει να δοθούν δοκιμαστικές τιμές μέχρι να επιτευχθεί η πραγματική τιμή του Z η οποία αναγράφεται ως «Average block height» στην δεύτερη γραμμή του παραθύρου της εικόνας 4.18. Για να γίνει η τιμή του $Z=0.2$ έπρεπε να συμπληρωθεί το πεδίο «Number of vertical Divisions» με τιμή 150. Αυτό το block model ονομάστηκε samiotis1.



Εικόνα 4.18 Καθορισμός του μεγέθους των κυψελίδων

Μετά την συμπλήρωση των παραμέτρων, ζητείται όνομα για αποθήκευση του αρχείου με μορφή *.blk (εικόνα 4.19).

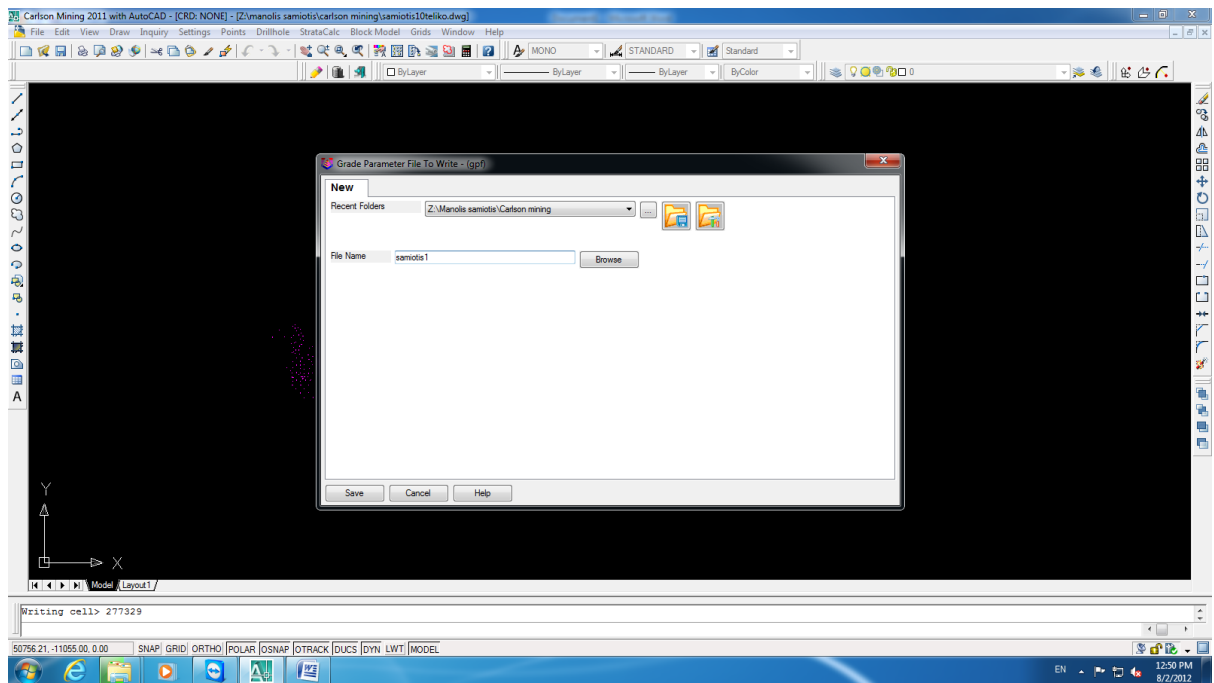


Εικόνα 4.19 Αποθήκευση αρχείου δημιουργίας *.blk

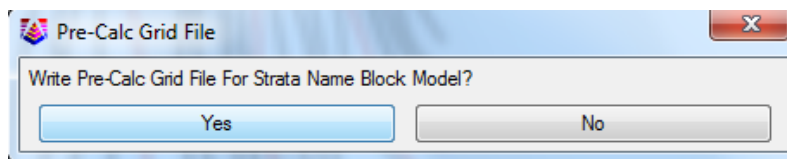
Έπειτα εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο γίνεται ερώτηση για τη δημιουργία ενός αρχείου στο οποίο ρυθμίζονται οι παράμετροι για τους βαθμούς μεταλλοφορίας και επιλέγεται η εντολή OK (εικόνα 4.20). Ζητείται να δοθεί ένα όνομα και να αποθηκευτεί το αρχείο της μορφής *.grf (εικόνα 4.21). Στη συνέχεια γίνεται ερώτηση για τη δημιουργία ενός αρχείου της μορφής *.pre (εικόνα 4.22), στο οποίο δημιουργούνται και ορίζονται αρχεία Grids για το τοπογραφικό ανάγλυφο (top grid file), το πάτωμα (bottom grid file), καθώς και τα ενδιάμεσα στρώματα. Έπειτα ζητείται ένα όνομα για την αποθήκευση του αρχείου *.pre (εικόνα 4.23). Η δημιουργία αυτού του αρχείου είναι απαραίτητη για τον μετέπειτα υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη.



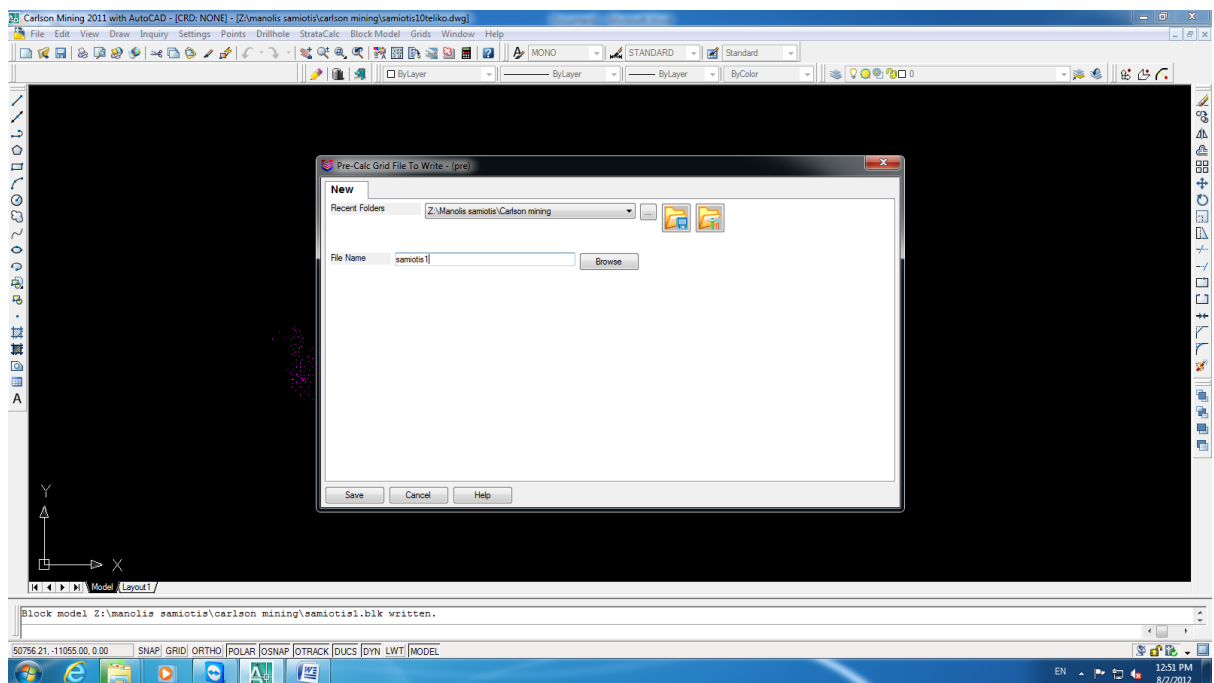
Εικόνα 4.20 Δημιουργία αρχείου *.grf



Εικόνα 4.21 Αποθήκευση αρχείου *.gpf



4.22 Δημιουργία αρχείου *.pre



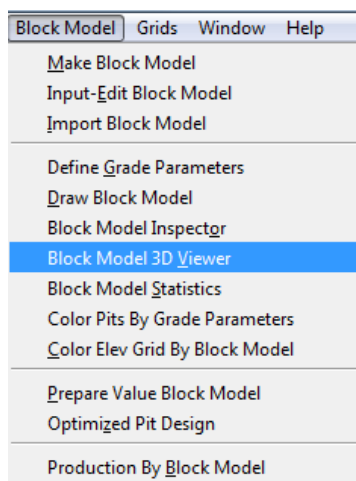
Εικόνα 4.23 Αποθήκευση αρχείου *.pre

4.4.2 Πρακτικές λεπτομέρειες για τη δημιουργία block model

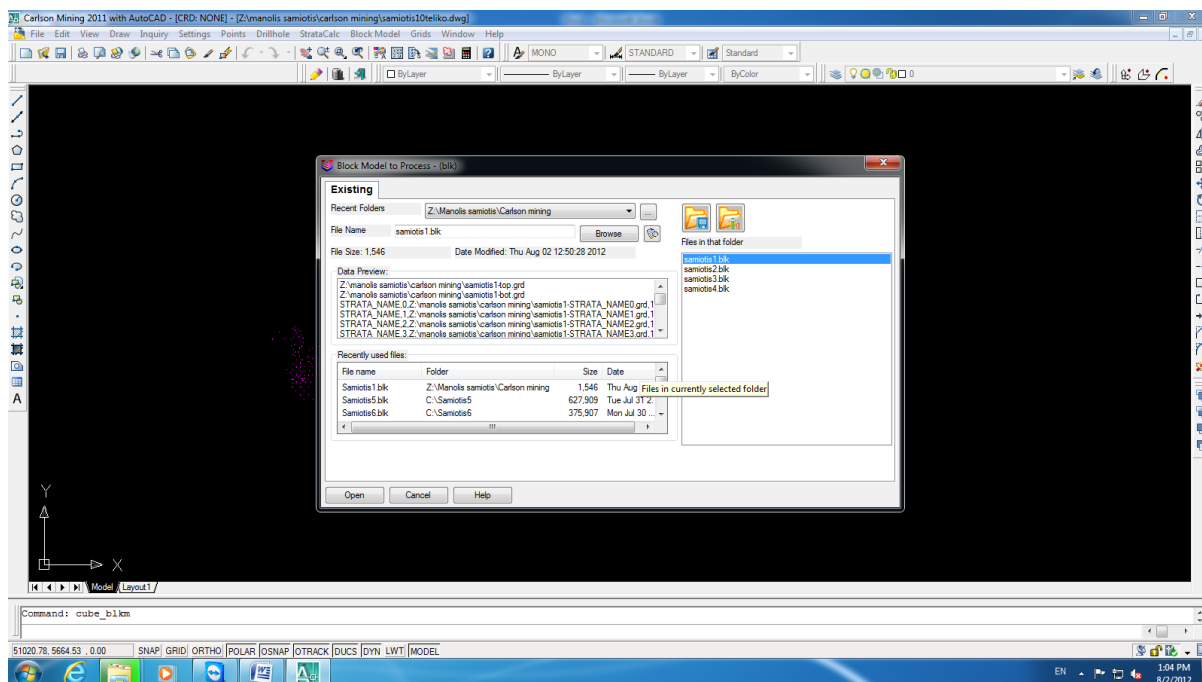
Όταν αρχικά περάστηκαν τα δεδομένα στο πρόγραμμα οι μονάδες του πάχους των στρωμάτων ήταν σε εκατοστά. Στη συνέχεια έγινε η μετατροπή των μονάδων σε μέτρα. Η μετατροπή αυτή έγινε εξάγοντας τα διατηρητικά δεδομένα σε Carlson Text, αλλάζοντας τις μονάδες στο αρχείο αυτό και επανεισάγοντας τα δεδομένα στο Carlson Software. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για τη δημιουργία του block model με διαστάσεις 50x50x0.2 χρειάζονται περίπου 5 λεπτά και 30MB χώρος στο δίσκο.

4.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση block model

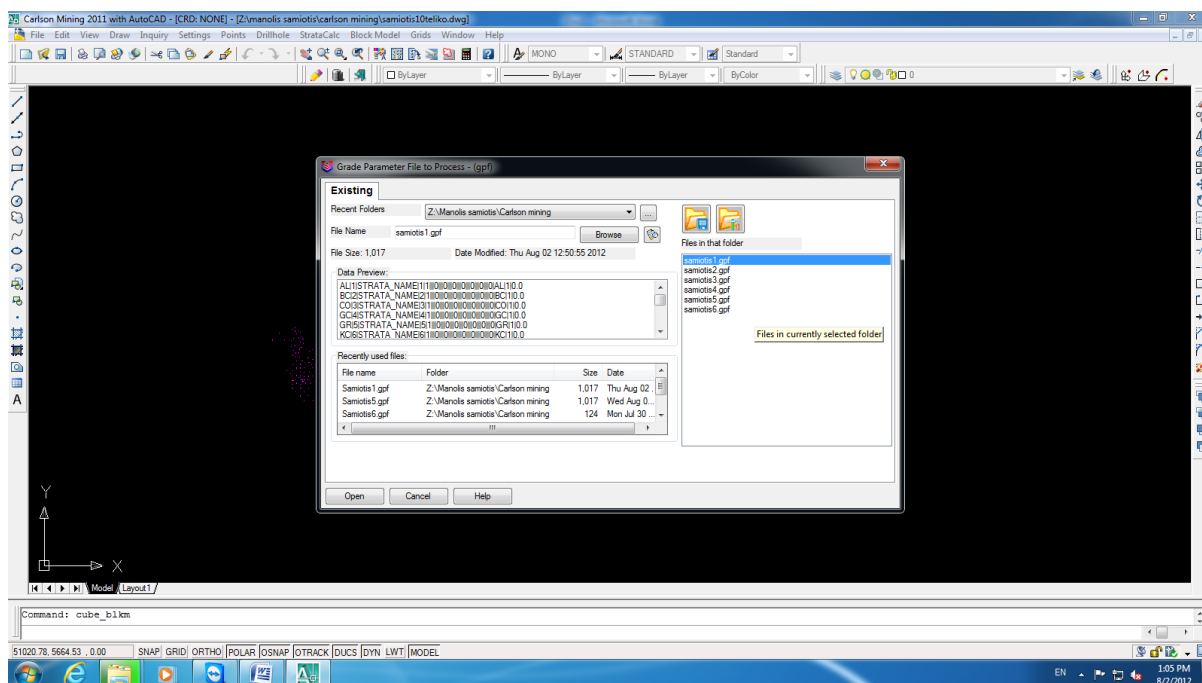
Για να γίνει η τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί επιλέγεται από την καρτέλα «Block Model» η επιλογή «Block Model 3D Viewer» (εικόνα 4.24). Επιλέγεται το αρχείο που έχει δημιουργηθεί samiotis1.blk (εικόνα 4.25), καθώς και το αρχείο samiotis1.gpf (εικόνα 4.26).



Εικόνα 4.24 Block Model 3D Viewer



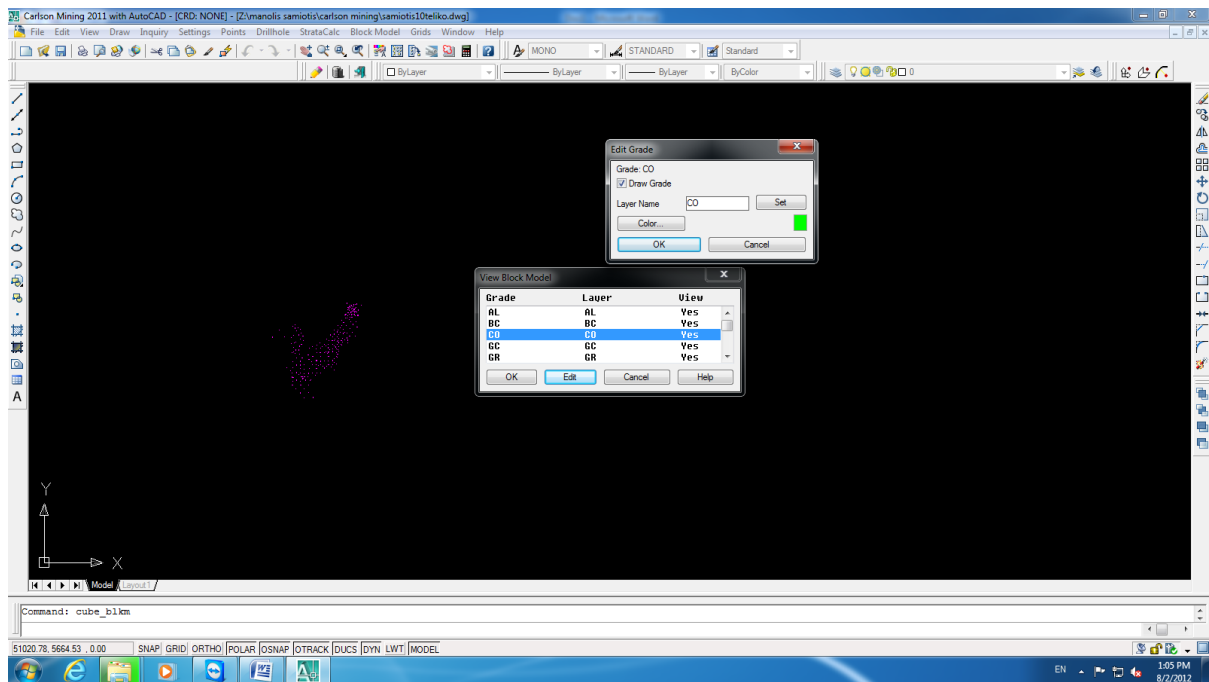
Εικόνα 4.25 Άνοιγμα του Block Model



Εικόνα 4.26 Άνοιγμα του αρχείου παραμέτρων των περιεκτικότητων

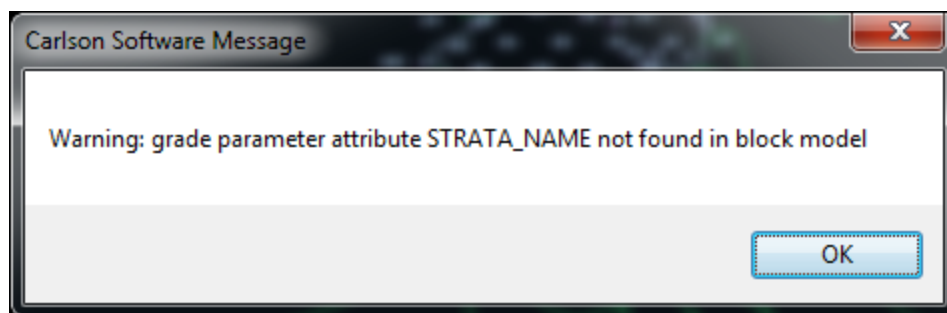
Στο παράθυρο που εμφανίζεται (εικόνα 4.27) πατώντας «edit» φαίνεται το χρώμα απεικόνισης του πετρώματος που είναι επιλεγμένο, για το λόγο αυτό καλό είναι να καταγράφονται κάπου τα χρώματα που αντιστοιχούν σε κάθε πέτρωμα για να μπορεί

μετά ο χρήστης να παρατηρήσει την απεικόνιση. (Σημείωση: εάν τα πετρώματα είναι πολλά το πρόγραμμα από μόνο του έχει επιλέξει χρώματα ίδια για πάνω από ένα πέτρωμα με αποτέλεσμα, εάν αυτό δεν διορθωθεί από το χρήστη να απεικονίζονται δύο διαφορετικά πετρώματα με το ίδιο χρώμα).



Εικόνα 4.27 Καρτέλα προεπισκόπησης παραμέτρων

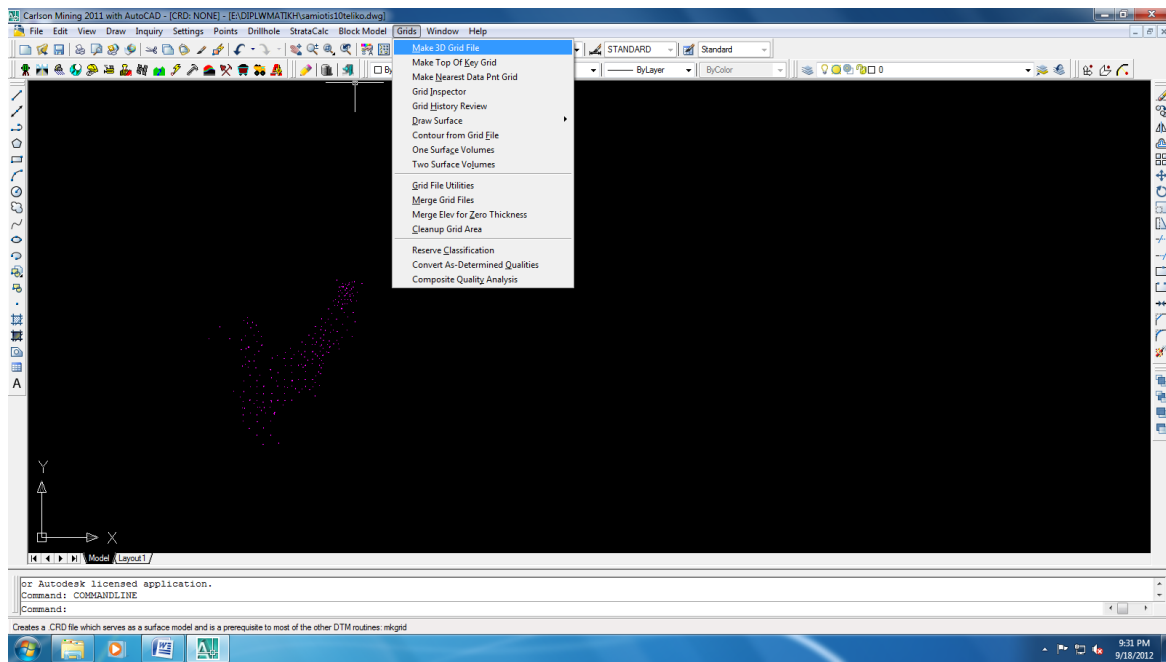
Αυτή είναι η μέθοδος για απεικόνιση 3D του block model, όμως ο υπολογιστής στην προκειμένη περίπτωση δεν μπορεί να κάνει την προβολή λόγω έλλειψης των ονομάτων των στρωμάτων σε κάποιες από τις γεωτρήσεις, εάν τα στρώματα όλων των γεωτρήσεων είχαν όνομα τότε με την διαδικασία που προαναφέρθηκε θα μπορούσε να γίνει η 3D απεικόνιση του block model. Το σφάλμα που εμφανίζεται φαίνεται στην εικόνα 4.28.



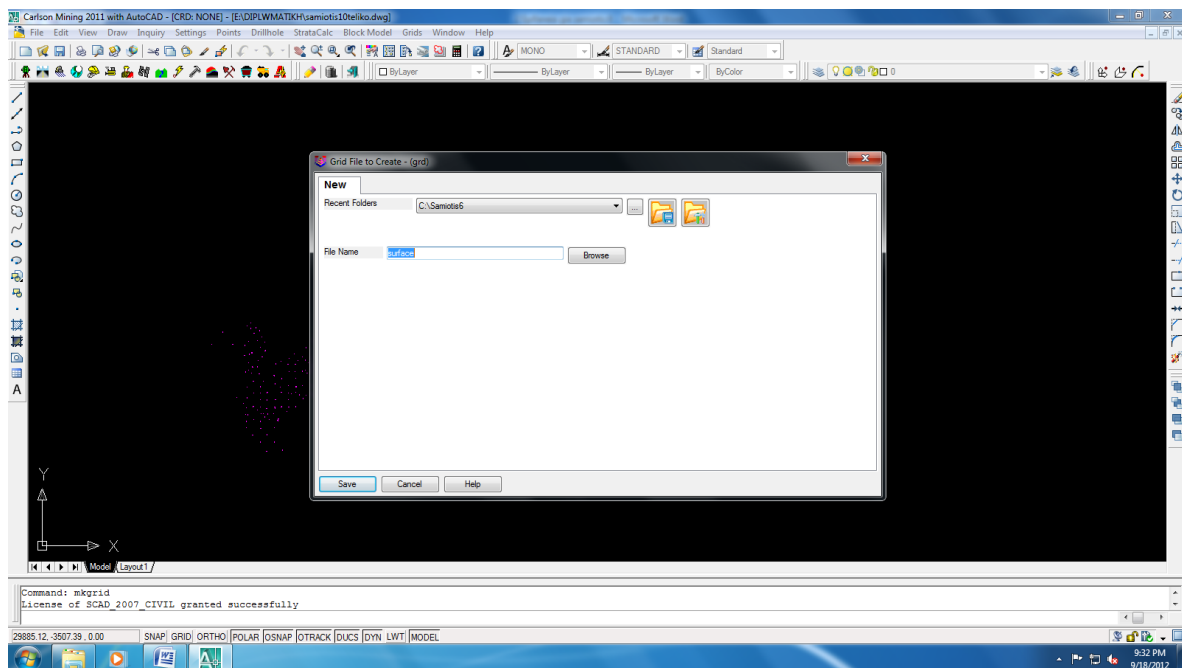
Εικόνα 4.28 Σφάλμα κατά τη δημιουργία block model 3D viewer

4.6 Δημιουργία επιφάνειας ισοϋψών

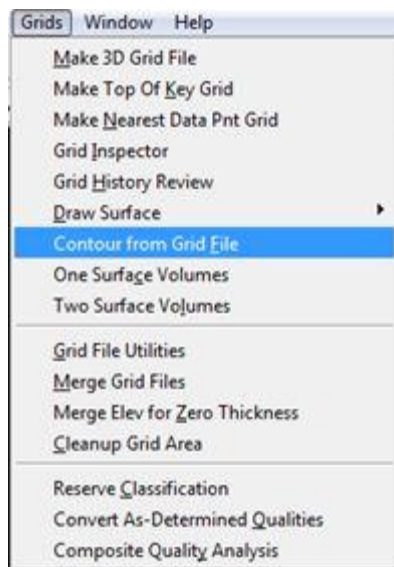
Για την δημιουργία των ισοϋψών χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες X,Ψ,Z των γεωτρήσεων. Επιλέγεται από την καρτέλα «Grids» η επιλογή «Make 3D Grid File» (εικόνα 4.29). Στη συνέχεια στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται η μέθοδος «Inverse Distance ($1/x^2$)» καθώς και διάσταση κελιών 50x50, στη συνέχεια ζητείται να δοθεί όνομα για τη δημιουργία του αρχείου surface.grd για δημιουργία επιφάνειας (εικόνα 4.30). Στη συνέχεια επιλέγεται από την καρτέλα «Grids» η επιλογή «Contour from Grid File» (εικόνα 4.31). Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται «open» το αρχείο που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα surface.grd (εικόνα 4.32).



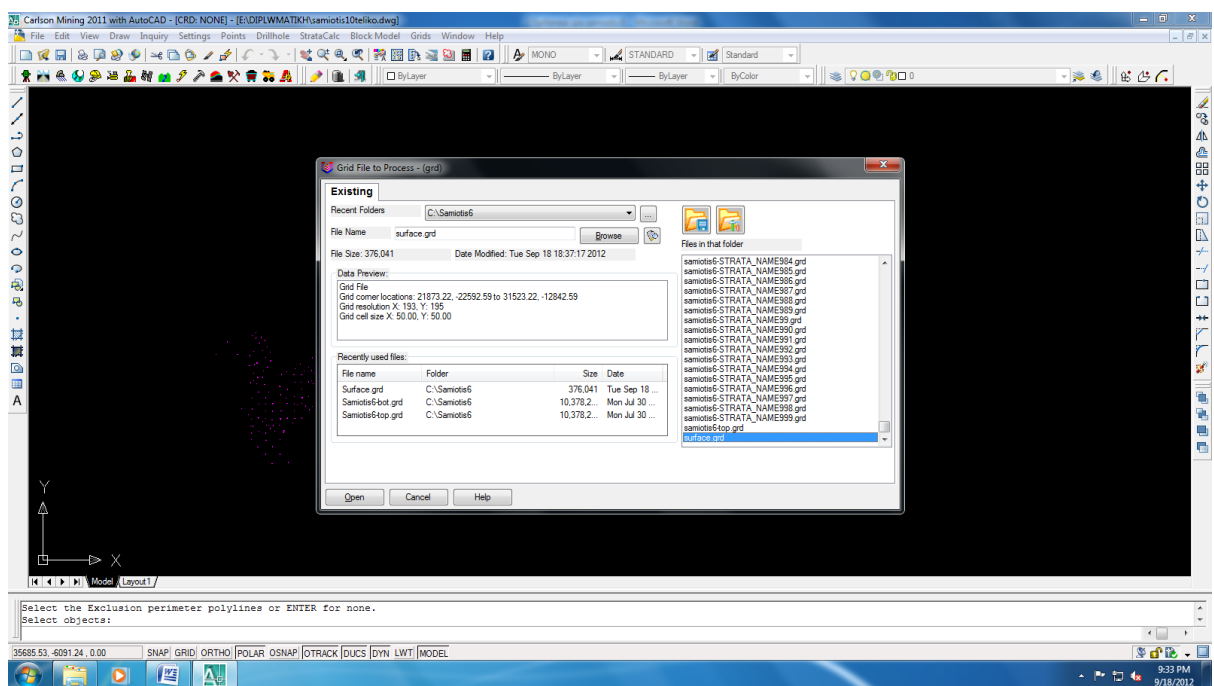
Εικόνα 4.29 Make 3D Grid File



Εικόνα 4.30 Δημιουργία αρχείου επιφάνειας surface.grd

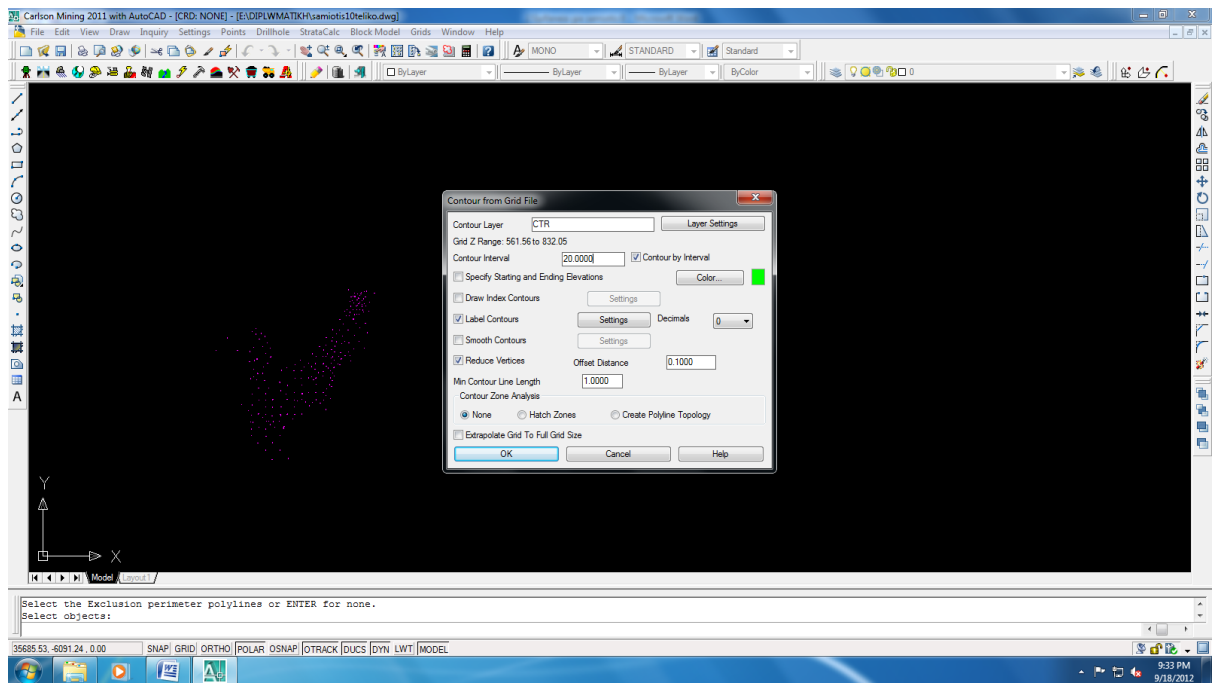


Εικόνα 4.31 Contour from Grid File

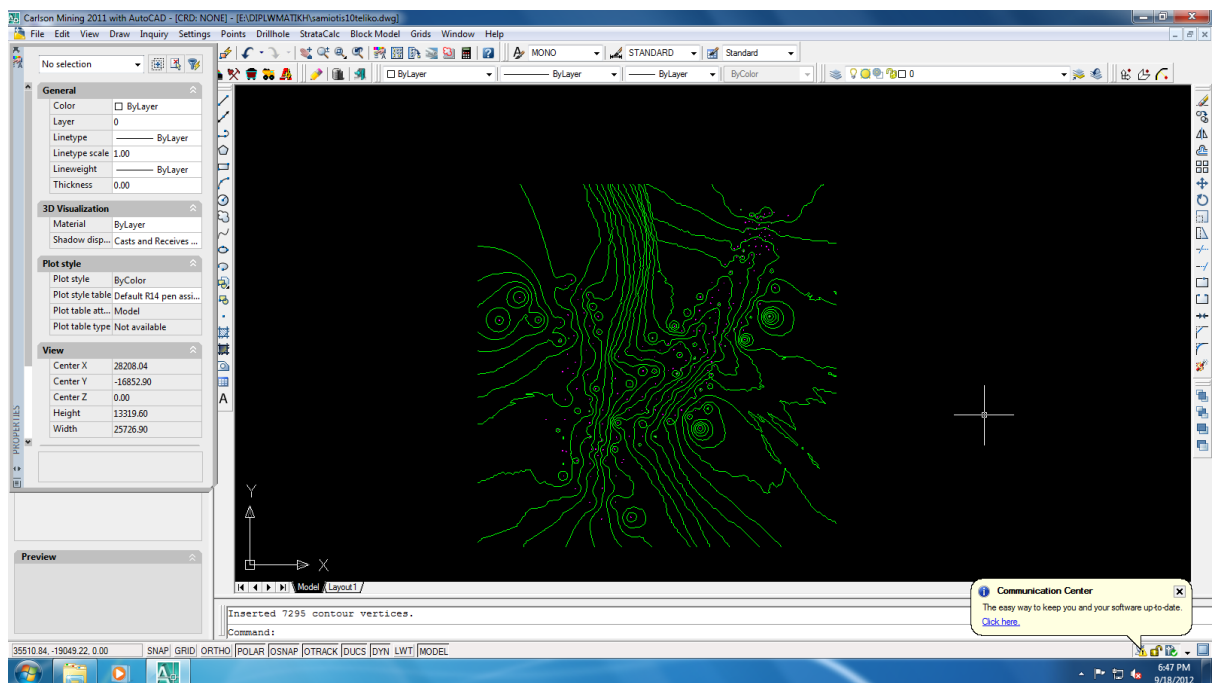


Εικόνα 4.32 Άνοιγμα του αρχείου surface.grd

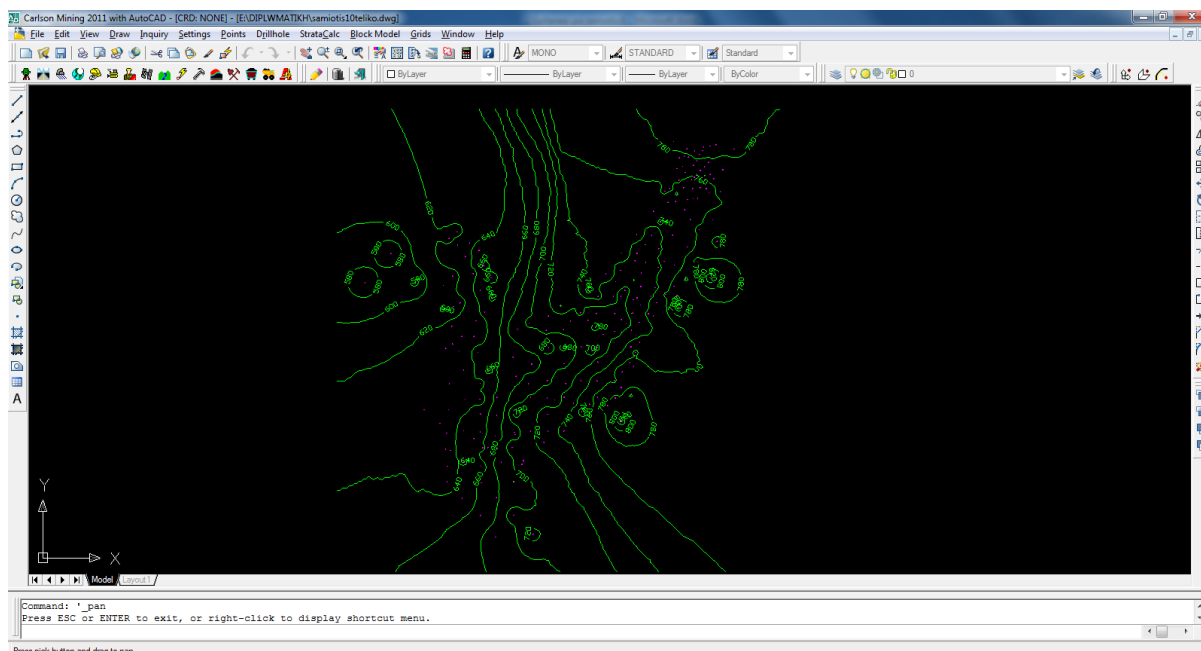
Έπειτα ανοίγει το παράθυρο της εικόνας 4.33 στο οποίο γίνονται ρυθμίσεις των ισοϋψών όπως το διάστημα μεταξύ ισοϋψών. Στις εικόνες 4.34 και 4.35 φαίνονται οι ισοϋψείς ανά 10 και 20 m αντίστοιχα. Θα προτιμηθεί το αρχείο με το διάστημα των 20 m.



Εικόνα 4.33 Ρυθμίσεις διαστήματος ισοψών



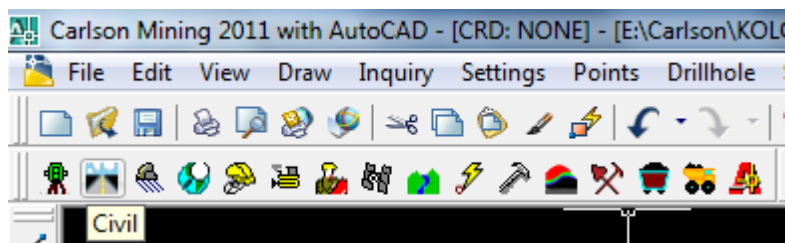
Εικόνα 4.34 Ισοϋψείς ανά 10 μέτρα



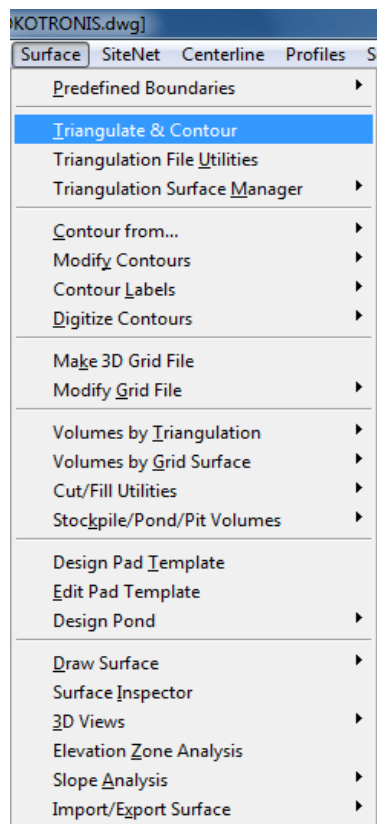
Εικόνα 4.35 Ισοϋψείς ανά 20 μέτρα

4.7 Δημιουργία επιφάνειας με το Carlson Software

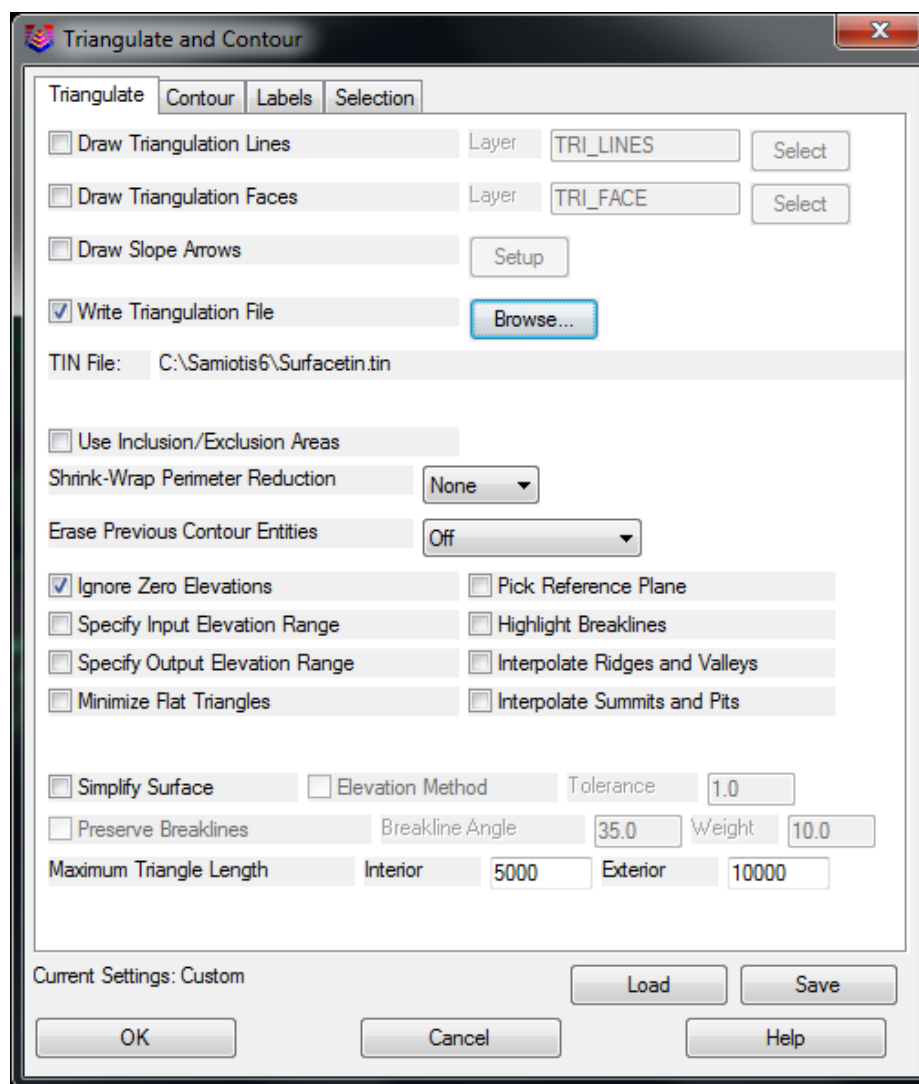
Για τη δημιουργία της επιφάνειας χρησιμοποιείται το πρόγραμμα «Civil» (εικόνα 4.36) του «Carlson» (στα προηγούμενα κεφάλαια γινόταν χρήση του «geology»). Επιλέγεται από την καρτέλα «surface» η επιλογή «Triangulate & Contour» (εικόνα 4.37). Στο παράθυρο που εμφανίζεται (εικόνα 4.38) μαρκάρεται η επιλογή «Write Triangulation File» και στο επόμενο παράθυρο (εικόνα 4.39) ζητείται να δοθεί όνομα για την αποθήκευση αρχείου μορφής *.tin π.χ. surfacetin*.tin. Στη συνέχεια επιλέγονται όλες οι ισοϋψείς και πατώντας το «ENTER» δημιουργούνται οι ισοϋψείς καμπύλες όπως αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα (εικόνα 4.40).



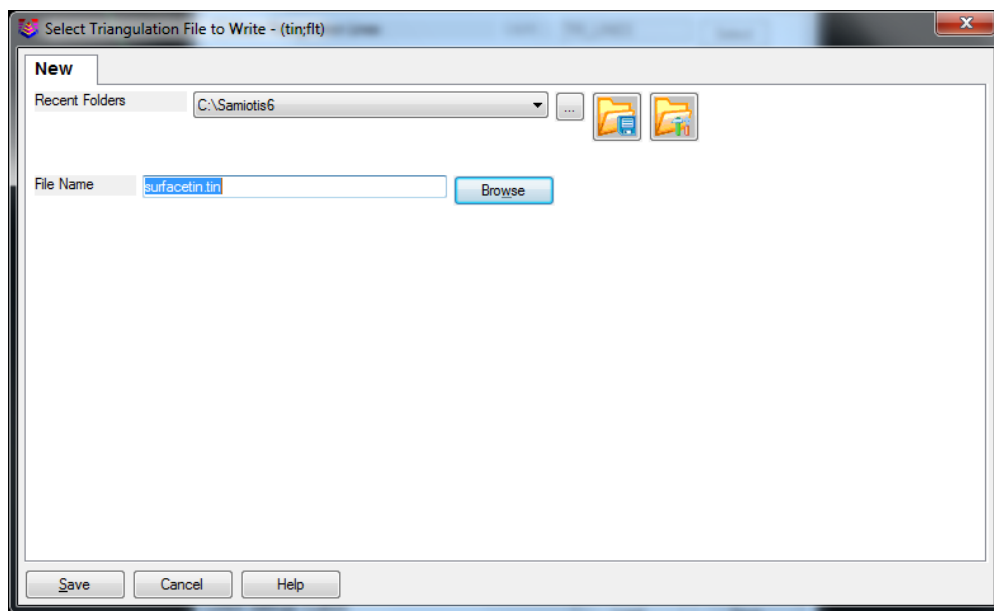
Εικόνα 4.36 Επιλογή προγράμματος Civil



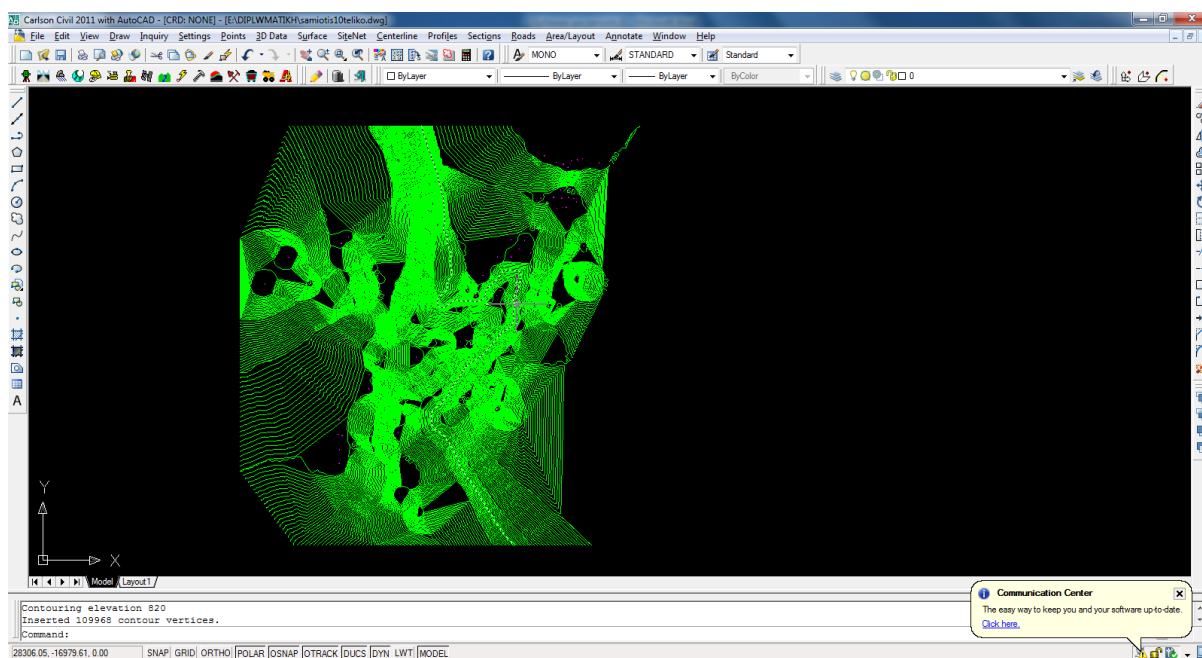
Εικόνα 4.37 Επιλογή Triangulate & Contour



Εικόνα 4.38 Καρτέλα ρυθμίσεων Triangulate & Contour

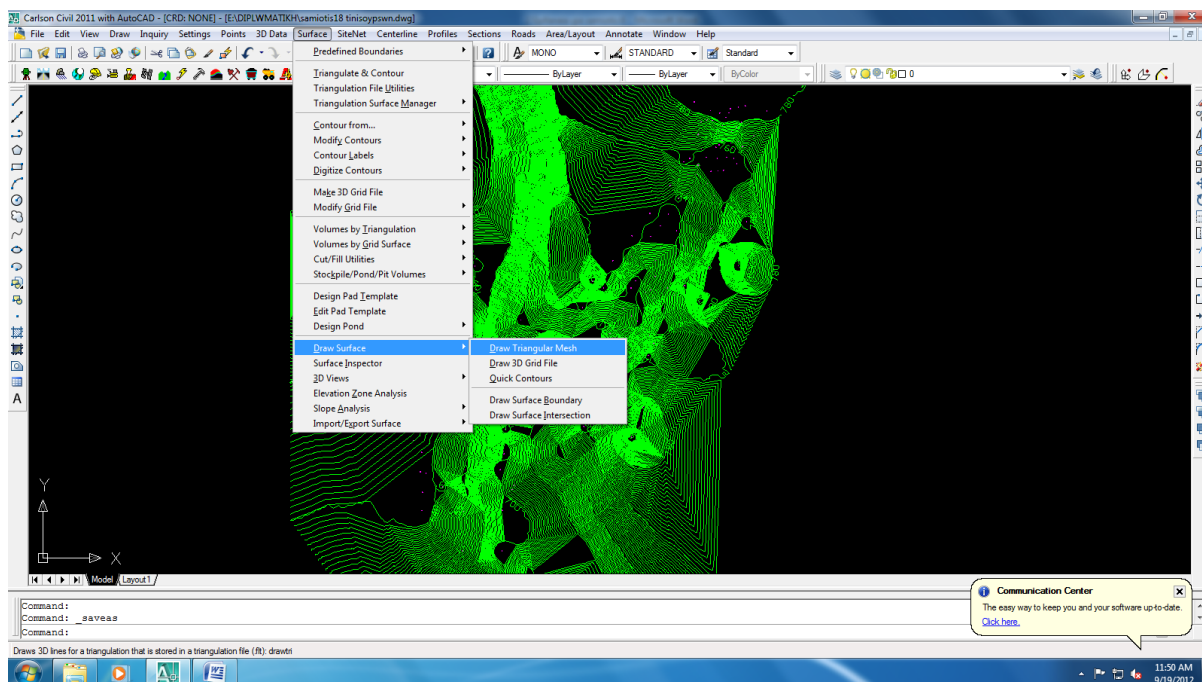


Εικόνα 4.39 Αποθήκευση αρχείου surfacetin.tin

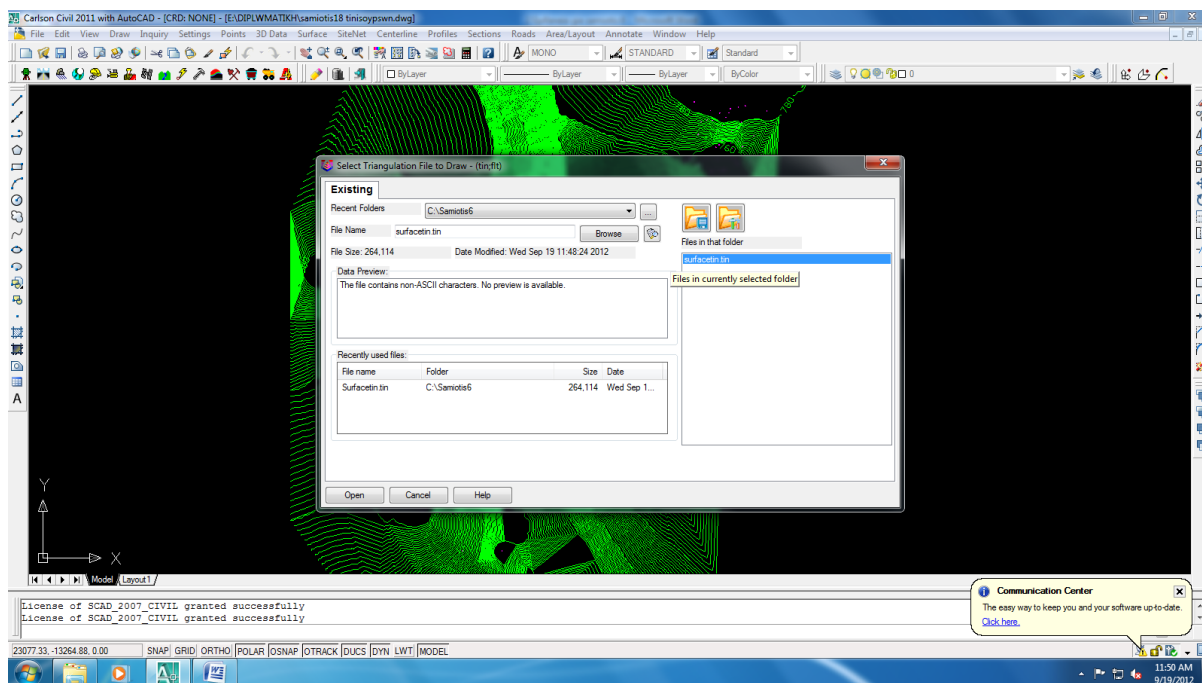


Εικόνα 4.40 Δημιουργία ισοϋψών του προγράμματος

Η δημιουργία της επιφάνειας θα γίνει με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης (Triangulation). Από την καρτέλα «Surface» στην επιλογή «Draw Surface» εκτελείται η εντολή «Draw Triangular Mesh» (εικόνα 4.41) και επιλέγεται το αρχείο με κατάληξη (surfacetin.tin) που δημιουργήθηκε πριν (εικόνα 4.42).



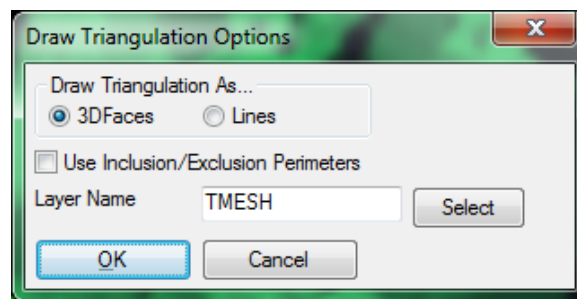
Εικόνα 4.41 Επιλογή «σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης»



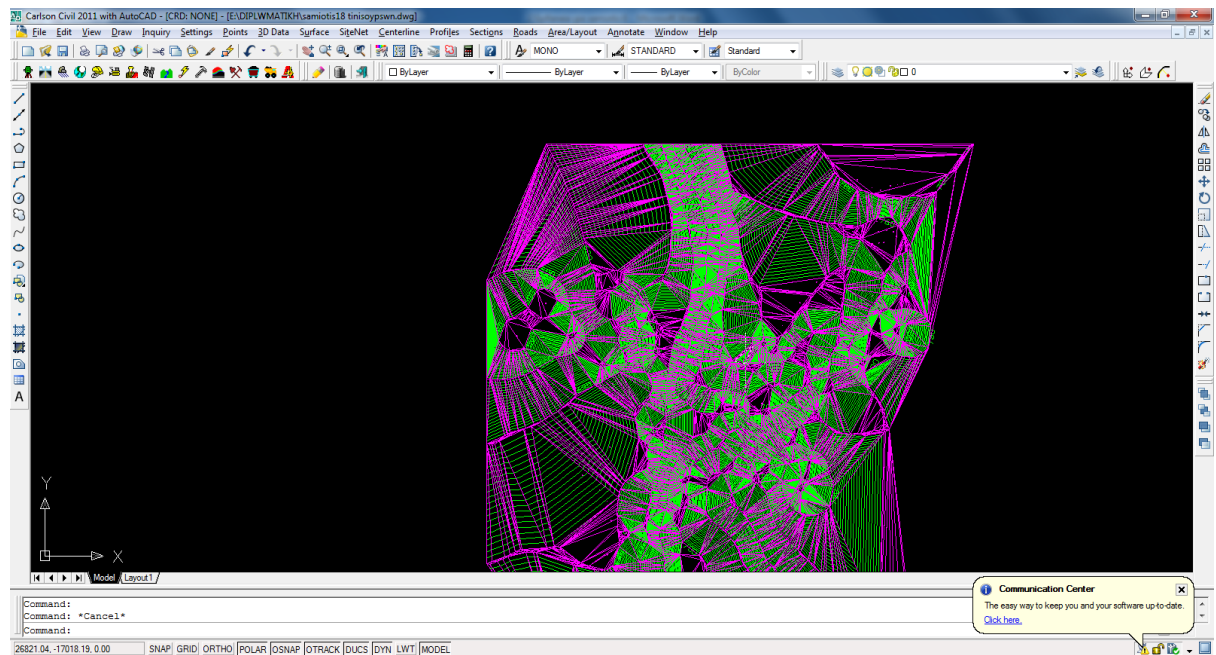
Εικόνα 4.42 Επιλογή και άνοιγμα αρχείου επιφάνειας της μορφής *.tin

Στο παράθυρο που της εικόνας 4.43 μαρκάρεται η εντολή «3DFaces» και επιλέγεται «OK». Εκτελώντας την παραπάνω διαδικασία γίνεται η δημιουργία της επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης της οποίας το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.44.

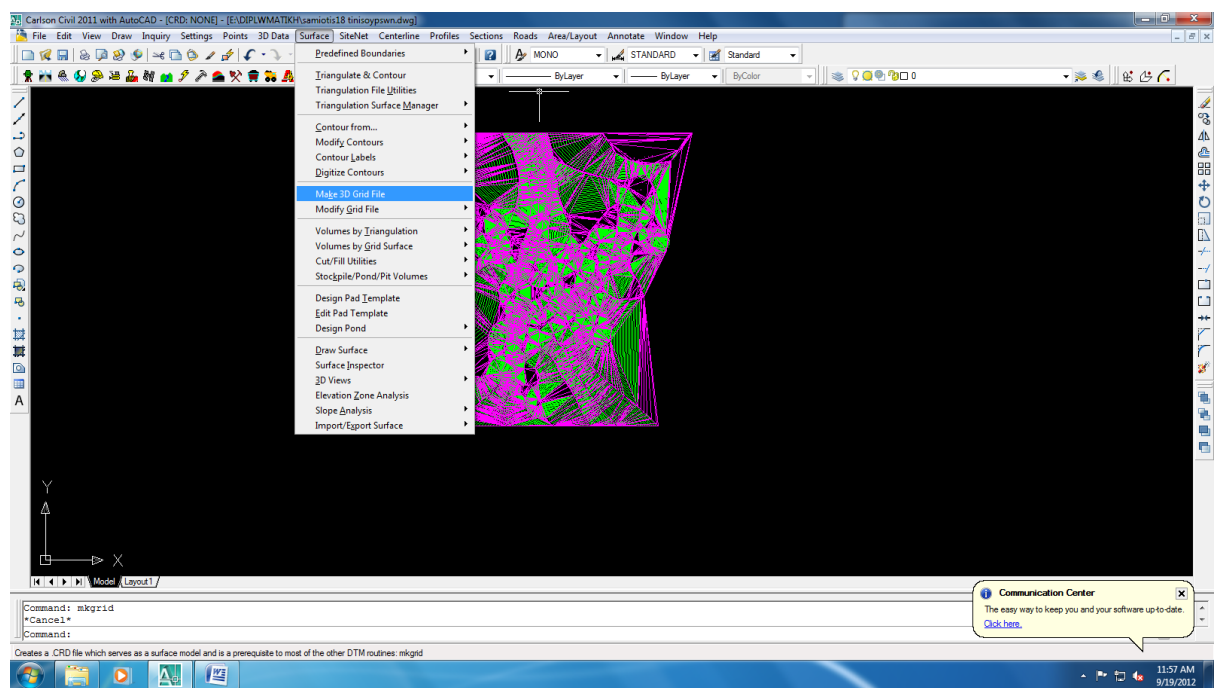
Για καλύτερη λειτουργία ως προς τη χρήση της επιφάνειας είναι αναγκαία η δημιουργία της επιφάνειας σε μορφή αρχείου *.grd. Για να δημιουργηθεί αυτή η επιφάνεια επιλέγεται από την καρτέλα «Surface» η επιλογή «Make 3D Grid File» (εικόνα 4.45). Ζητείται να δοθεί ένα όνομα για να αποθηκευτεί το αρχείο σε μορφή *.grd. Έπειτα εμφανίζεται ένα παράθυρο για να ορισθούν κάποιες ρυθμίσεις για τη δημιουργία της επιφάνειας (εικόνα 4.46). Μαρκάρεται η μέθοδος τριγωνοποίησης και ορίζεται το μέγεθος των κελιών Dimension of cells X=Y=5. Επιλέγεται η εντολή «OK» και έπειτα ζητείται να δοθεί η περιοχή δημιουργίας της επιφάνειας και να επιλεχθούν όλα τα στοιχεία της επιφάνειας που έχουν δημιουργηθεί από την κατάσταση της εικόνας 4.44. Η διαδικασία αυτή διαρκεί αρκετή ώρα.



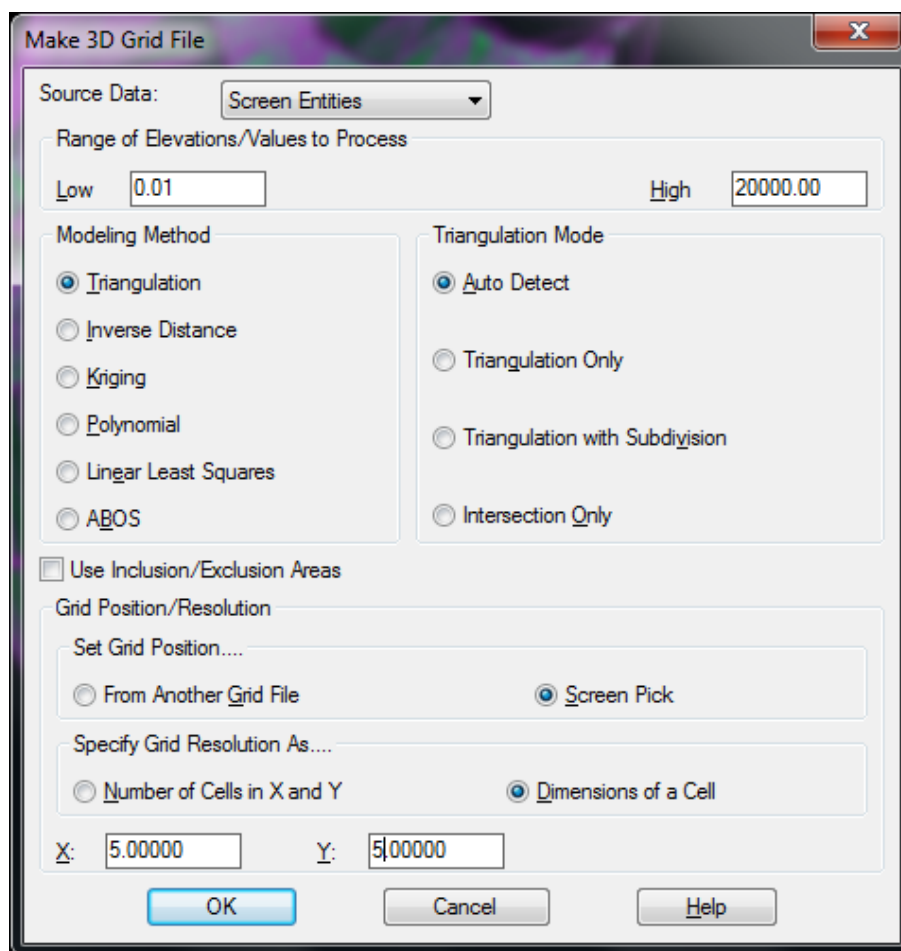
Εικόνα 4.43 Ρυθμίσεις για τη σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης



Εικόνα 4.44 Χάρτης επιφάνειας μετά τη διαδικασία της τριγωνοποίησης

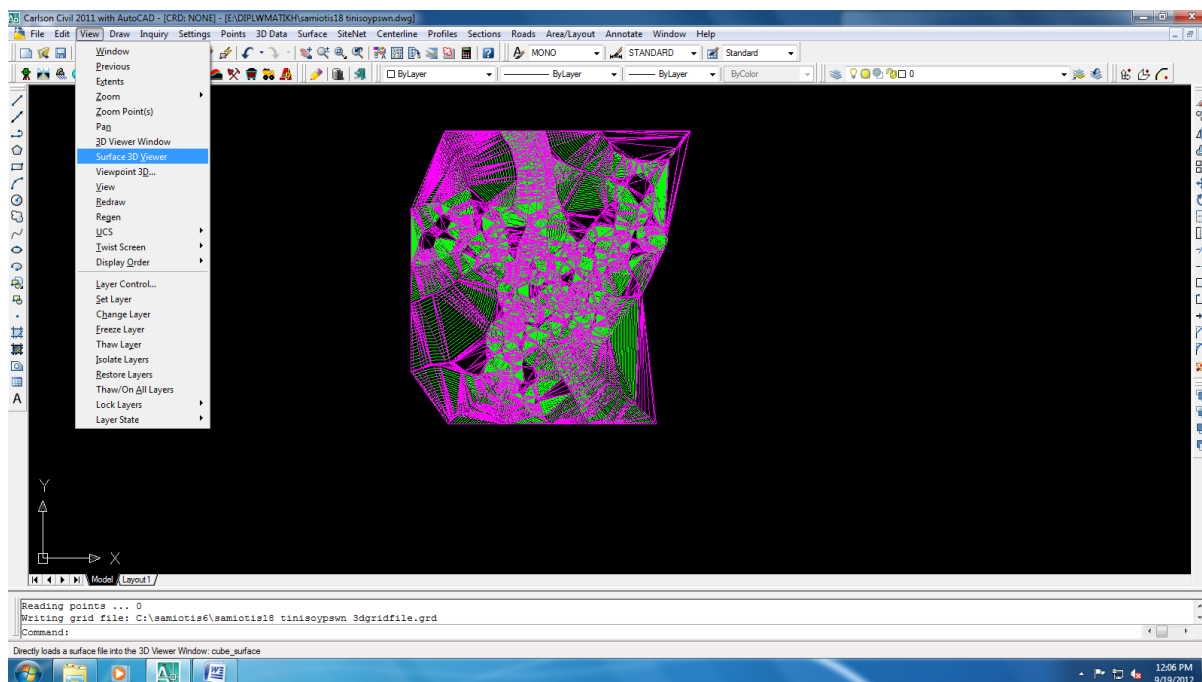


Εικόνα 4.45 Επιλογή δημιουργίας αρχείου της μορφής *.grd

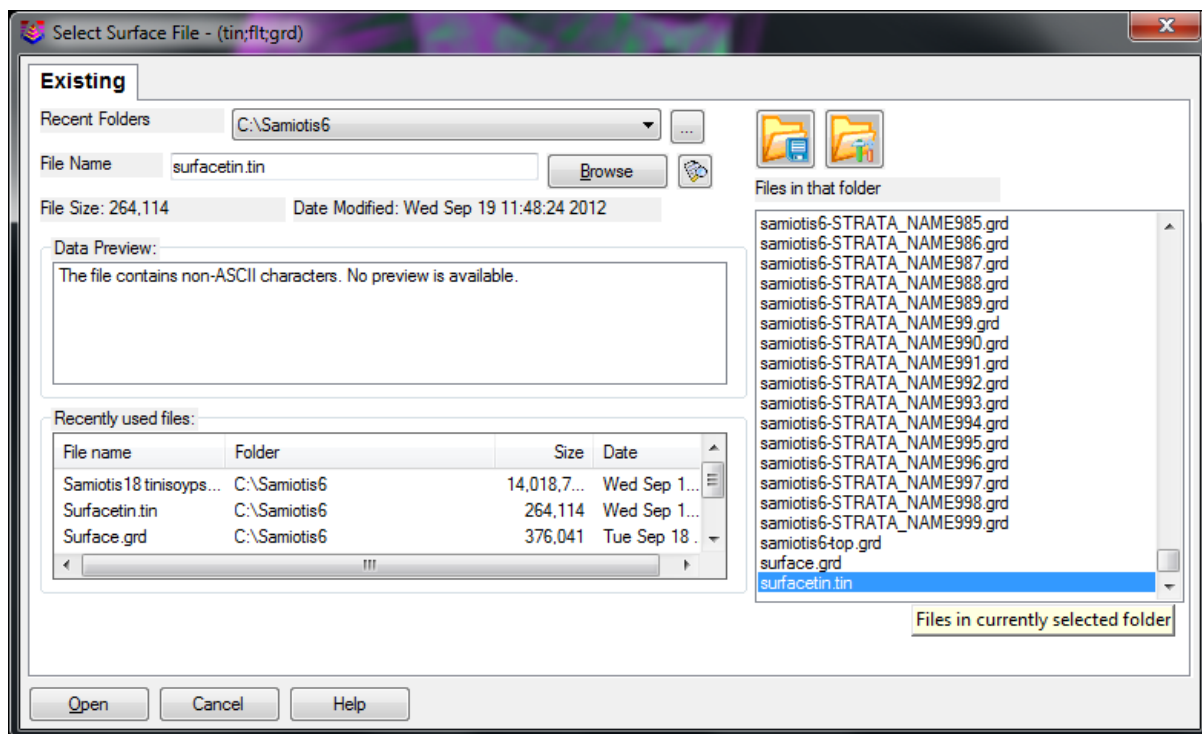


Εικόνα 4.46 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη δημιουργία επιφάνειας της μορφής *.grd

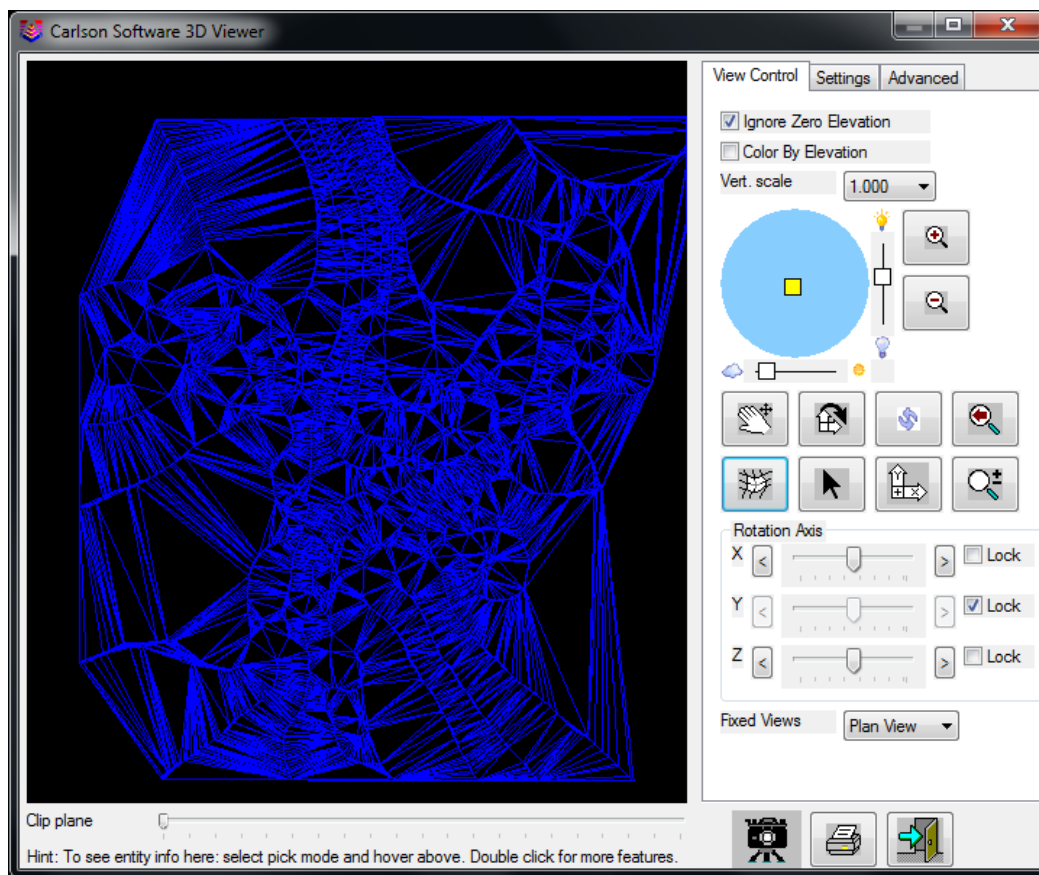
Για την τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας που έχει δημιουργηθεί επιλέγεται από την καρτέλα «View» η εντολή «Surface 3D Viewer» (εικόνα 4.47), επιλέγεται το αρχείο που έχει δημιουργηθεί (surfacetin.tin ή surfacetin.grd) (εικόνα 4.48). Με αυτή τη διαδικασία εμφανίζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση το ανάγλυφο της επιφάνειας του χάρτη των Κομνηνών-Μεσοβούνου (εικόνα 4.49). Το αποτέλεσμα δεν είναι το αναμενόμενο, γιατί θα έπρεπε να εμφανιστεί σαν μια επιφάνεια. Για το λόγο αυτό έγινε ακόμα μια προσπάθεια χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά το αρχείο *.grd αντί του *.tin. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.50. Τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα διότι δεν διακρίνονται τα στρώματα του λιγνίτη και των άλλων πετρωμάτων.



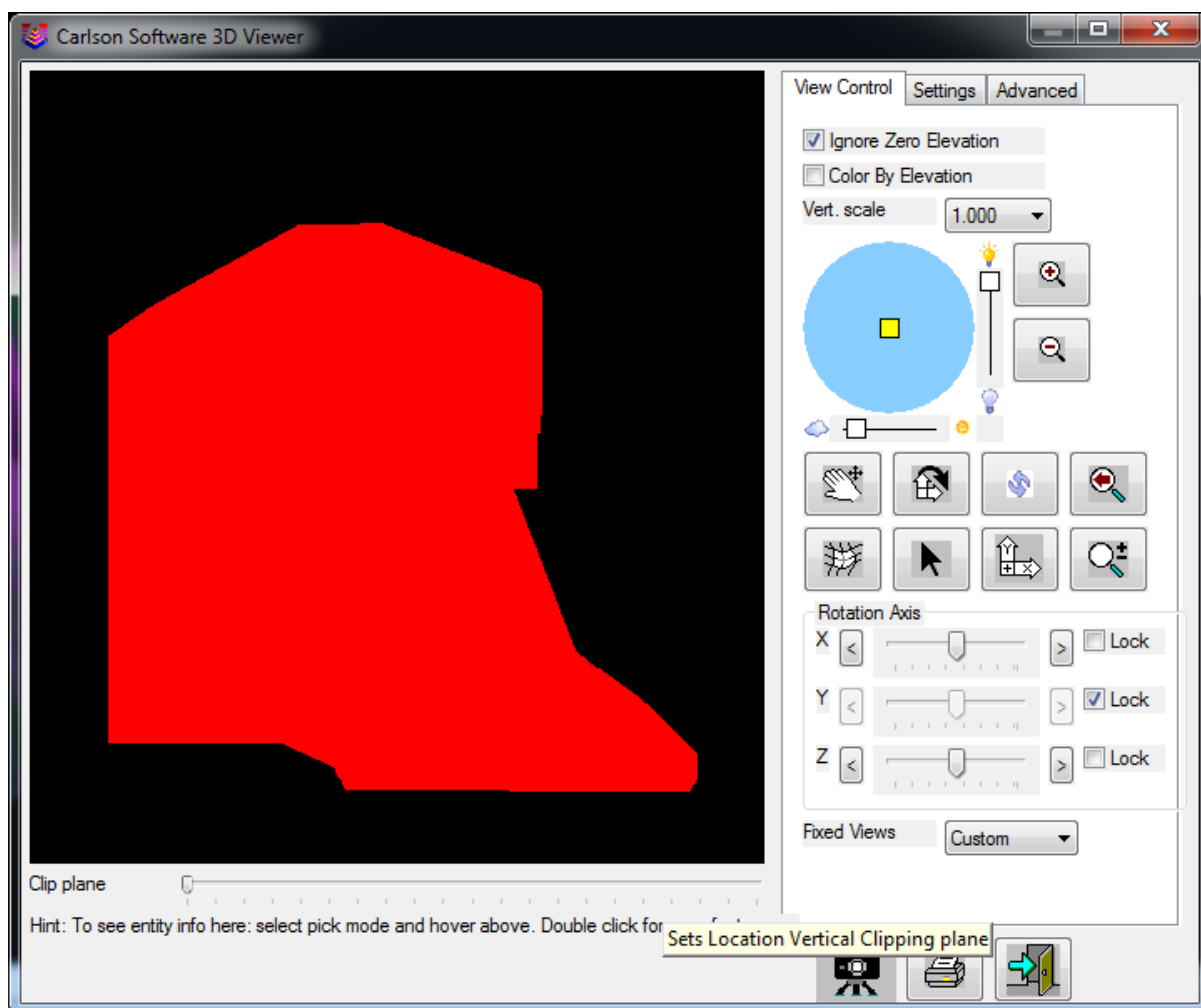
Εικόνα 4.47 Επιλογή «Surface 3D Viewer»



Εικόνα 4.48 Επιλογή της επιφάνειας *.tin



Εικόνα 4.49 Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing μαζί με την καρτέλα ρυθμίσεων απεικόνισης για αρχείο *.tin

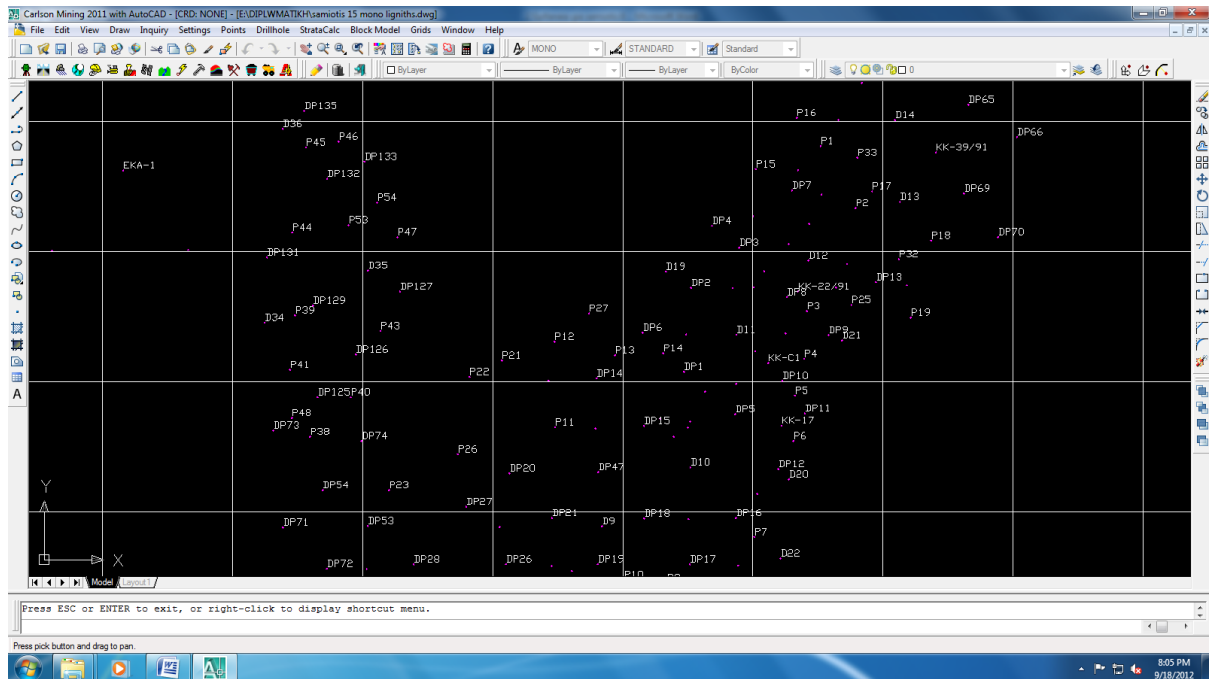


Εικόνα 4.50 Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing μαζί με την καρτέλα ρυθμίσεων απεικόνισης για αρχείο *.grd

4.8 Δημιουργία Τομών

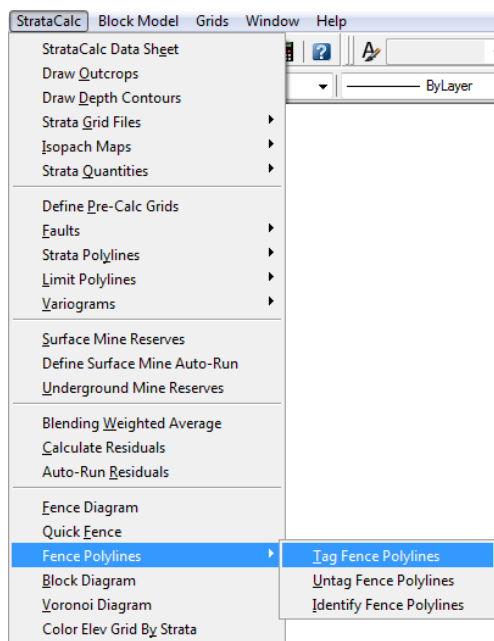
Η δημιουργία των τομών γίνεται για την καλύτερη κατανόηση του κοιτάσματος από το μηχανικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό αποθεμάτων συγκεκριμένων επιθυμητών όγκων καθώς και για το σχεδιασμό έργων προσπέλασης του κοιτάσματος. Επιπλέον οι τομές είναι απαραίτητες κατά την εκμετάλλευση λιγνίτη ο οποίος είναι πολυστρωματικός και απαιτείται εκλεκτική εξόρυξη. Για τη δημιουργία των τομών είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός κάποιων γραμμών (polylines) στην περιοχή που είναι επιθυμητή η τομή στην κάτοψη των γεωτρήσεων. Η polyline δεν είναι απαραίτητο να

είναι ευθεία. Στην προκειμένη περίπτωση δημιουργήθηκαν δέκα κάθετες και δέκα οριζόντιες polylines, οι οποίες απέχουν 1000 m μεταξύ τους (εικόνα 4.51). Σκοπός είναι να δοθούν ενδεικτικές τομές του κοιτάσματος καθώς και η διαδικασία δημιουργίας τους, για το λόγο αυτό θα δοθούν τρεις τομές, μία οριζόντια και δύο κάθετες.

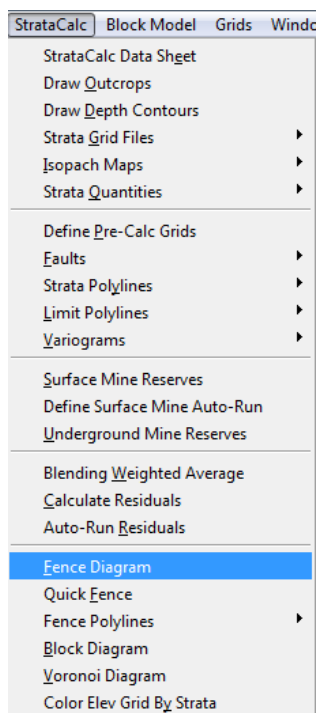


Εικόνα 4.51 κάτοψη τομών στο χάρτη των γεωτρήσεων

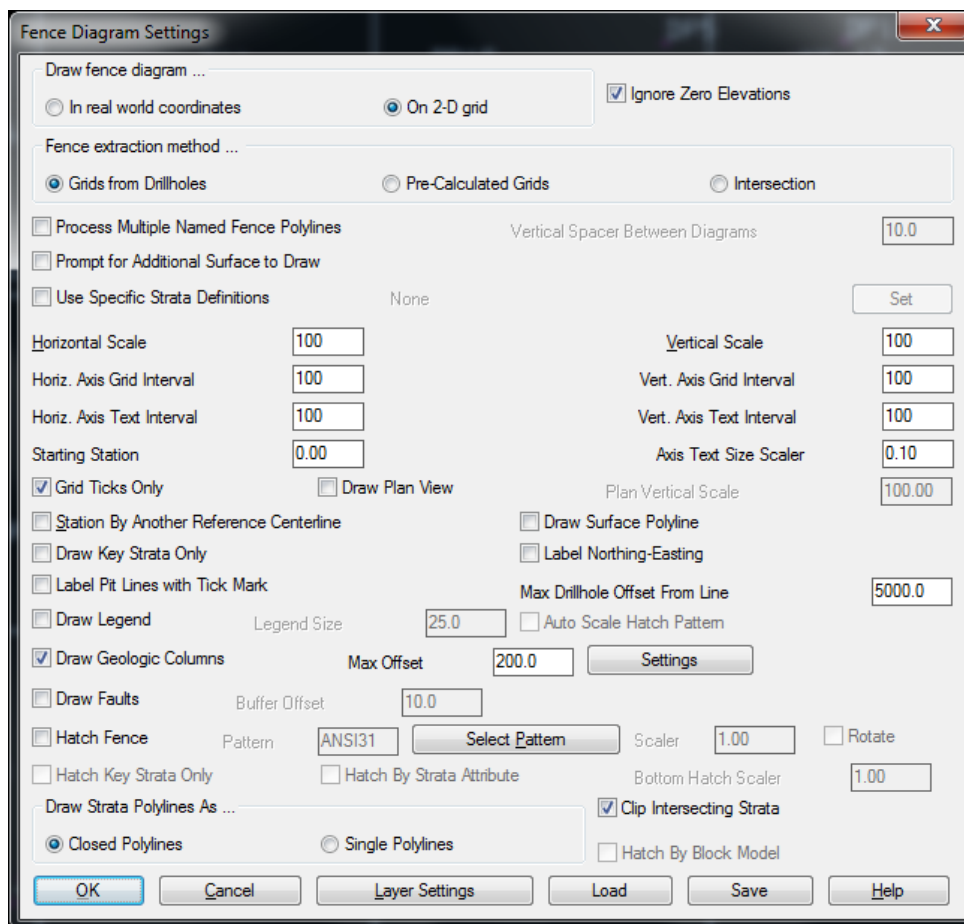
Μετά το σχεδιασμό των polylines επιλέγεται από τη καρτέλα «StrataCalc» από την επιλογή «Fence Polylines» η εντολή «Tag Fence Polylines» (εικόνα 4.52). Σε αυτό το στάδιο επιλέγονται η polylines με τη σειρά για να καθοριστούν οι ονομασίες τους. Για να σχεδιαστούν οι τομές από την καρτέλα «StrataCalc» επιλέγεται «Fence Diagram» (εικόνα 4.53), επιλέγεται η polyline για την οποία θα γίνει η τομή και επιλέγεται «ENTER». Στο παράθυρο (εικόνα 4.54), γίνονται οι ρυθμίσεις των τομών. Στην καρτέλα μαρκάρεται η επιλογή «Draw Geologic Columns» και ορίζεται «Max Offset» ίσο με 200 m (δηλαδή μέχρι ποια απόσταση από την τομή να λαμβάνονται υπόψη οι γεωτρήσεις). Στη συνέχεια ζητείται από ποιές γεωτρήσεις θα δημιουργηθούν οι τομές και το μέγεθος των κελιών που θα δημιουργηθούν (επιλέχθηκε 50x50).



Εικόνα 4.52 Επιλογή επισήμανσης των polylines για τη δημιουργία τομών



Εικόνα 4.53 Επιλογή δημιουργίας τομών

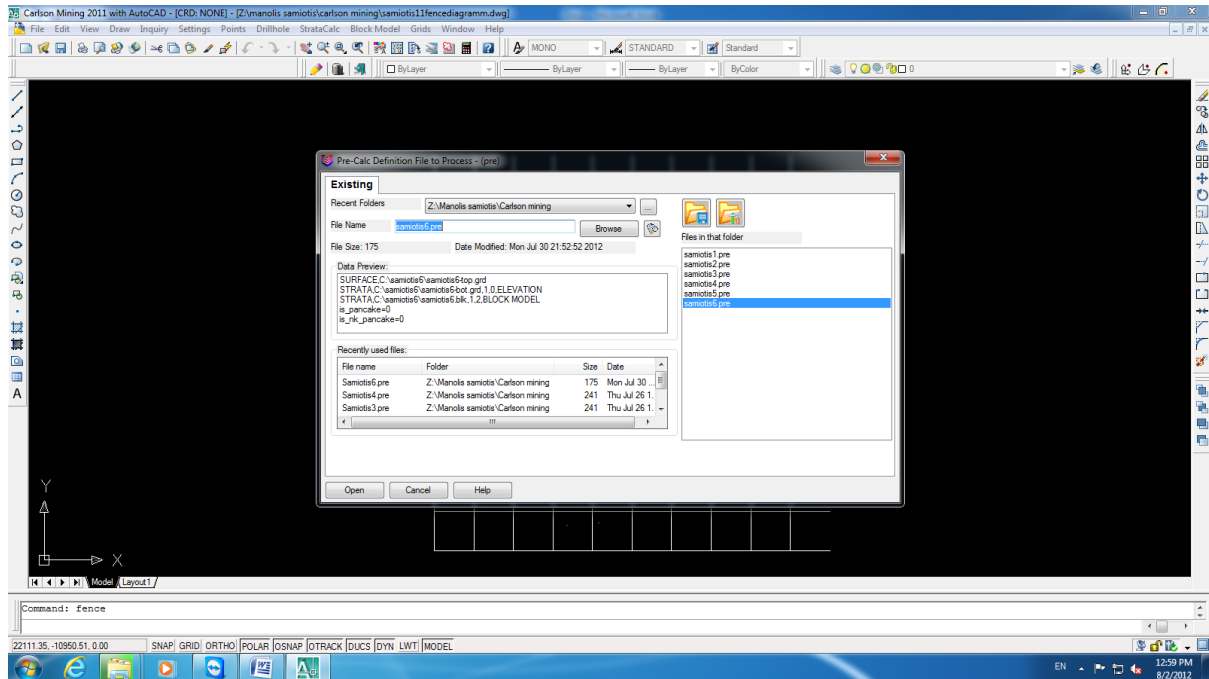


Εικόνα 4.54 Ρυθμίσεις των τομών

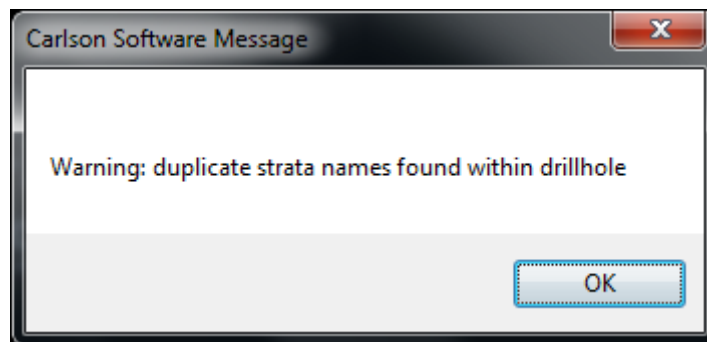
Στη συνέχεια ζητείται να δοθεί το αρχείο *.pre και το αρχείο *surface.grd του block model (εικόνα 4.55). Στη συνέχεια γίνεται ερώτηση για την θέση απεικόνισης της τομής.

Όμως οι τομές δεν δημιουργούνται και εμφανίζεται ένα μήνυμα (εικόνα 4.56). Αυτό λογικά συμβαίνει διότι το πρόγραμμα διαβάζει τις γεωτρήσεις που δεν έχουν ονόματα στρωμάτων. Η πρώτη κίνηση είναι να διαγραφούν όλες οι γεωτρήσεις που δεν έχουν όνομα (άρα είναι σίγουρα χωρίς ονόματα στρωμάτων) και να χαρακτηριστούν με (-) μπροστά από το όνομά τους αυτές που δεν έχουν ονόματα στρωμάτων (εικόνα 4.57). Έτσι με αυτόν τον τρόπο κάποιες από τις τομές λειτουργούν και εμφανίζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου. Για να μπορούν να εμφανιστούν όλες οι τομές θα έπρεπε να διαγραφούν όλες οι μη χαρακτηρισμένες γεωτρήσεις. Αυτό δεν έγινε, πρώτον διότι αρχικά δεν ήταν σίγουρο ότι ο λόγος ήταν αυτός και δεύτερον για να μην αραιωθεί πολύ η πυκνότητα των γεωτρήσεων, η οποία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον

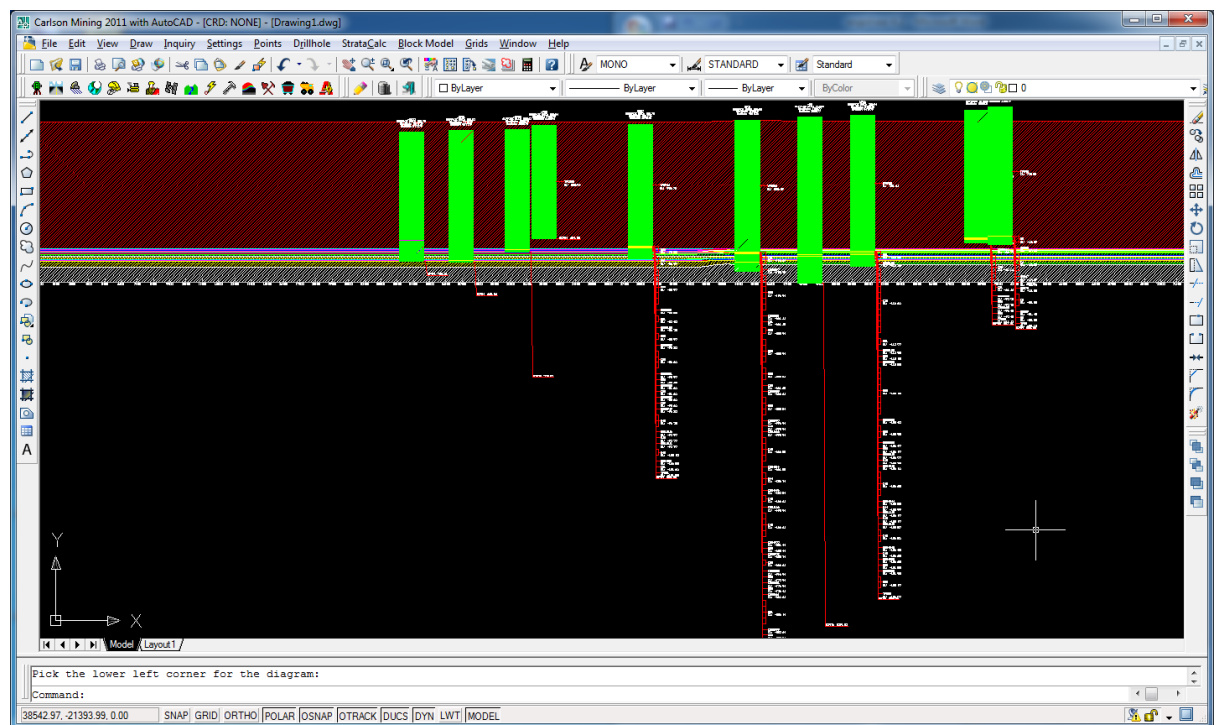
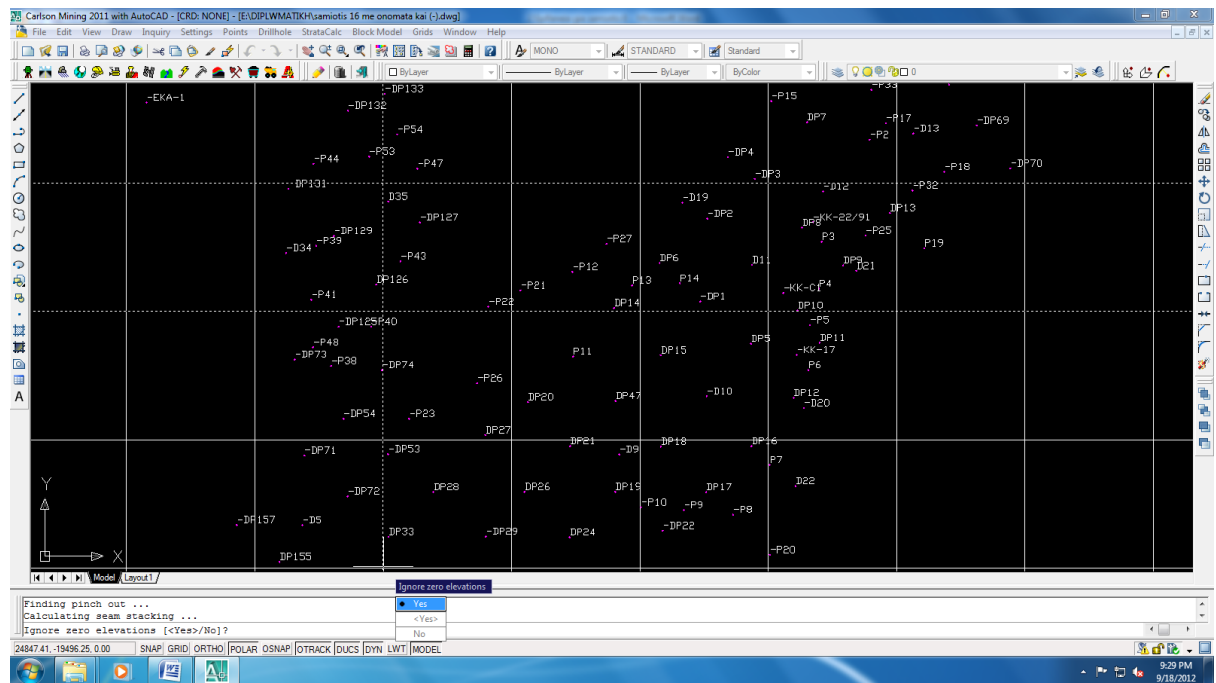
υπολογισμό των αποθεμάτων. Έτσι τρεις ενδεικτικές τομές (προβολές των γεωτρήσεων σε τομές), φαίνονται στις εικόνες 4.58-4.64. Στην εικόνα 4.63 παρατηρείται η στρωματογραφική συσχέτιση που πραγματοποιεί το λογισμικό Carlson.

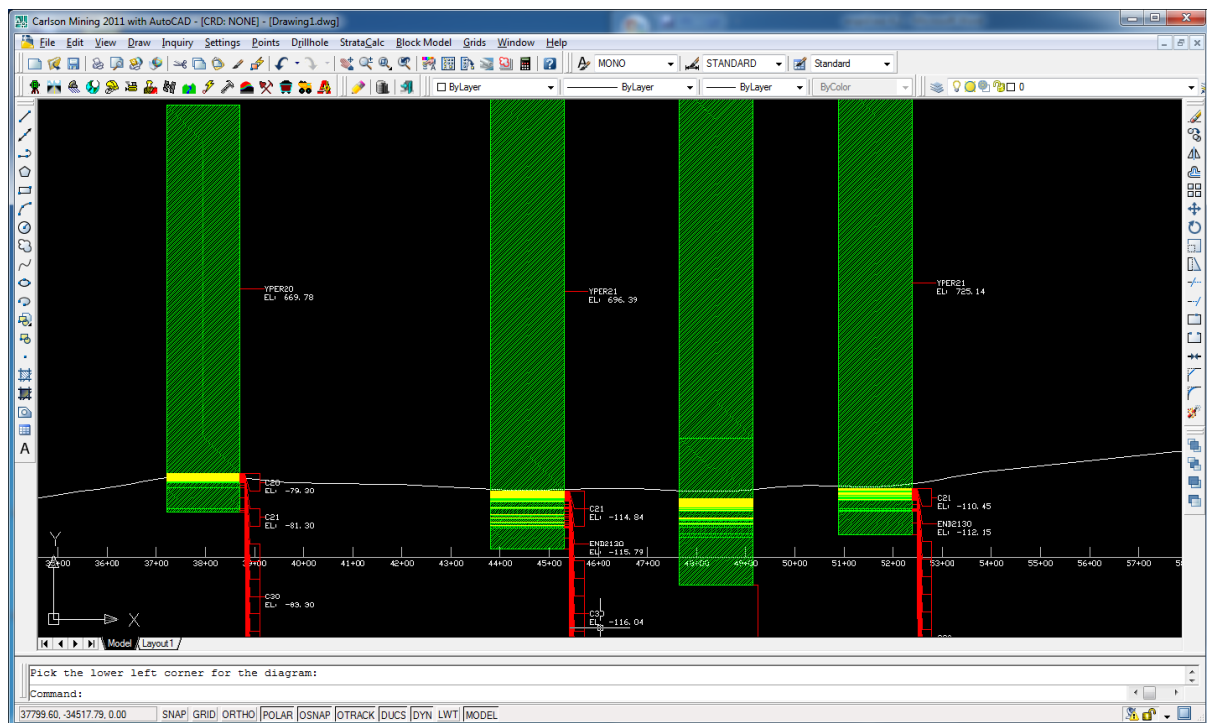


Εικόνα 4.55 Ζητείται το αρχείο *.pre

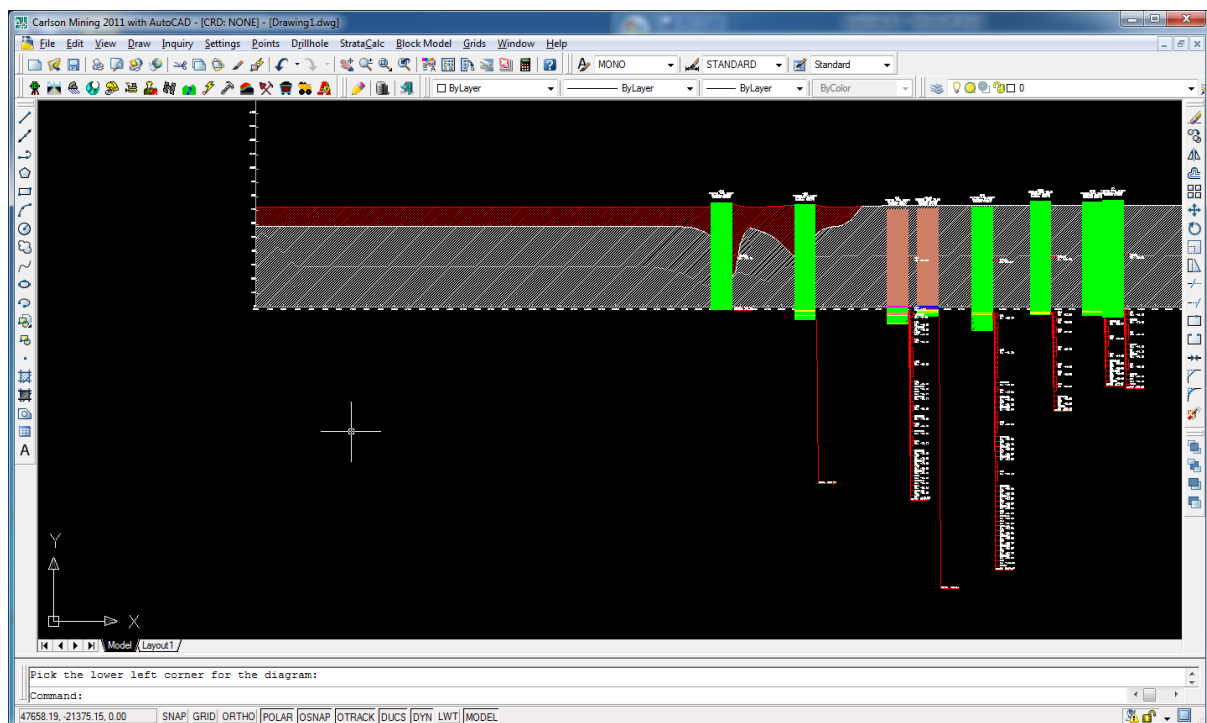


Εικόνα 4.56 Σφάλμα κατά την εκτέλεση της εντολής δημιουργίας τομών

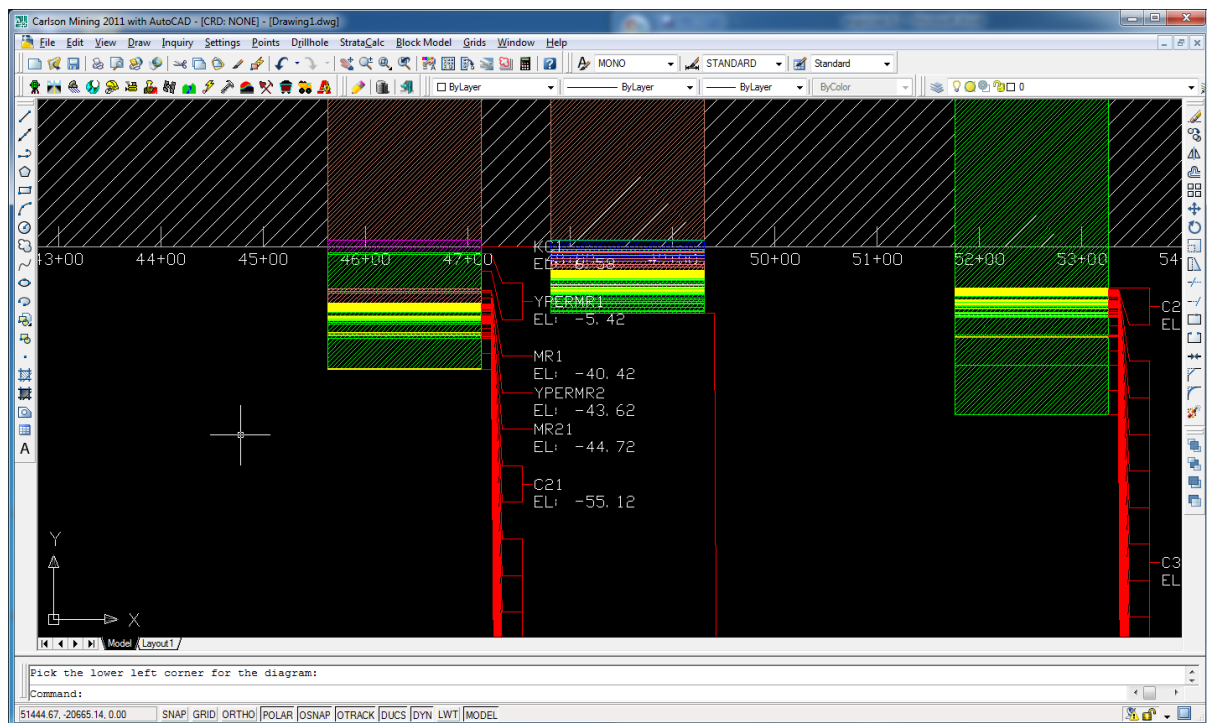




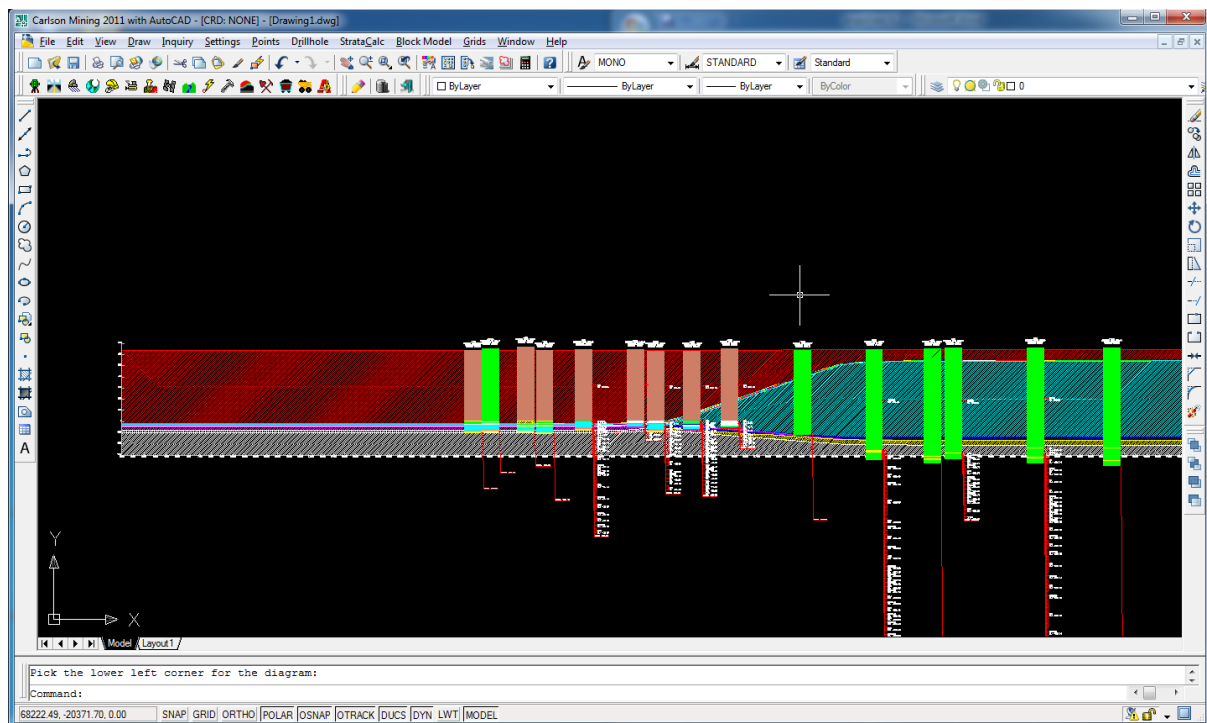
Εικόνα 4.59 Τομή 6^{ης} γραμμής (αναλυτική)



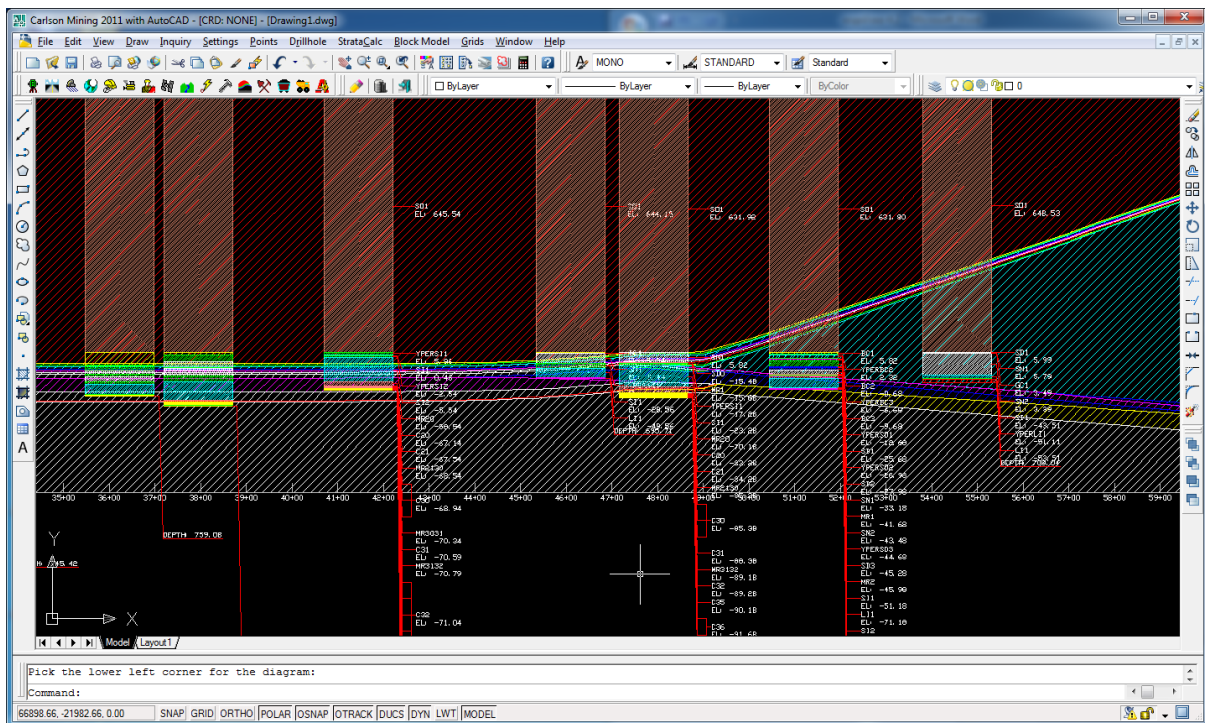
Εικόνα 4.60 Προεπισκόπηση τομής 7^{ης} στήλης



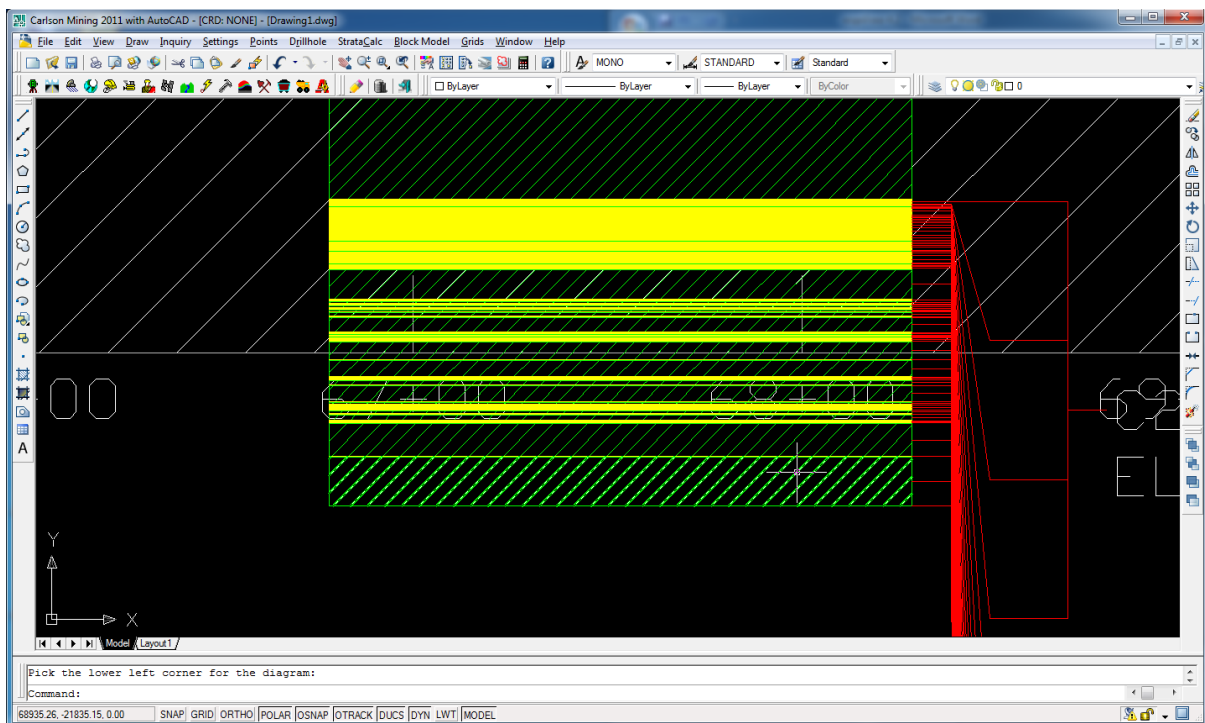
Εικόνα 4.61 Τομή 7^{ης} στήλης (αναλυτική)



Εικόνα 4.62 Προεπισκόπηση τομής 4^{ης} στήλης



Εικόνα 4.63 Τομή 4^{ης} στήλης



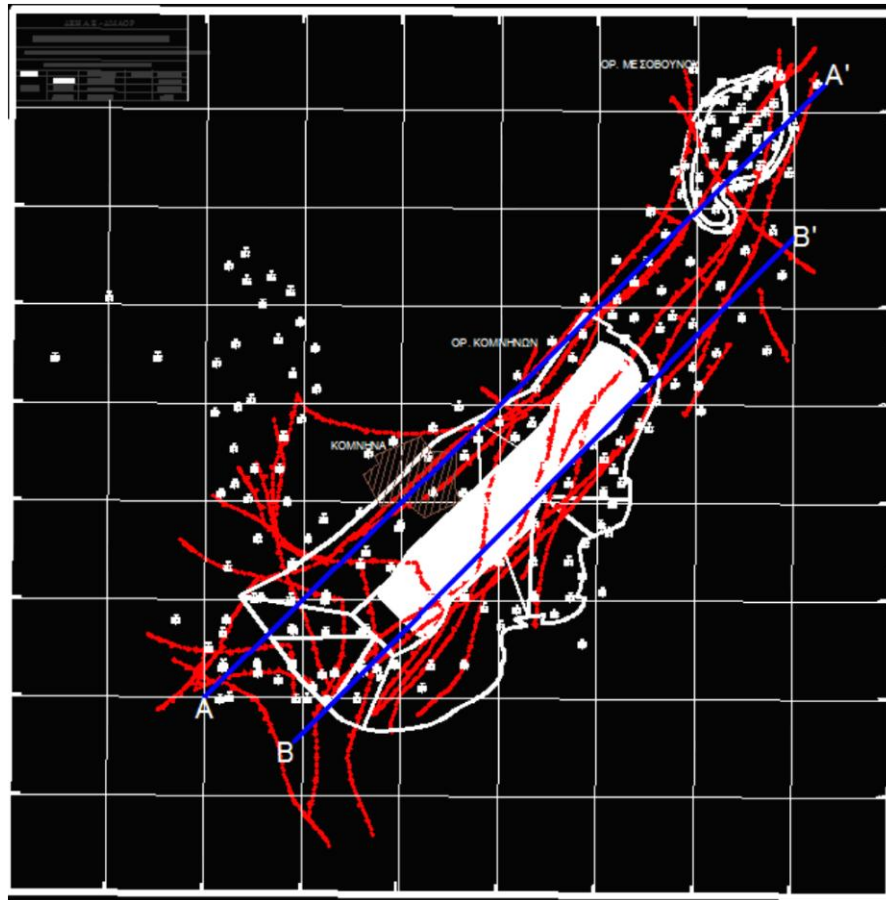
Εικόνα 4.64 Τομή 4^{ης} στήλης (αναλυτική)

4.9 Υπολογισμός αποθεμάτων

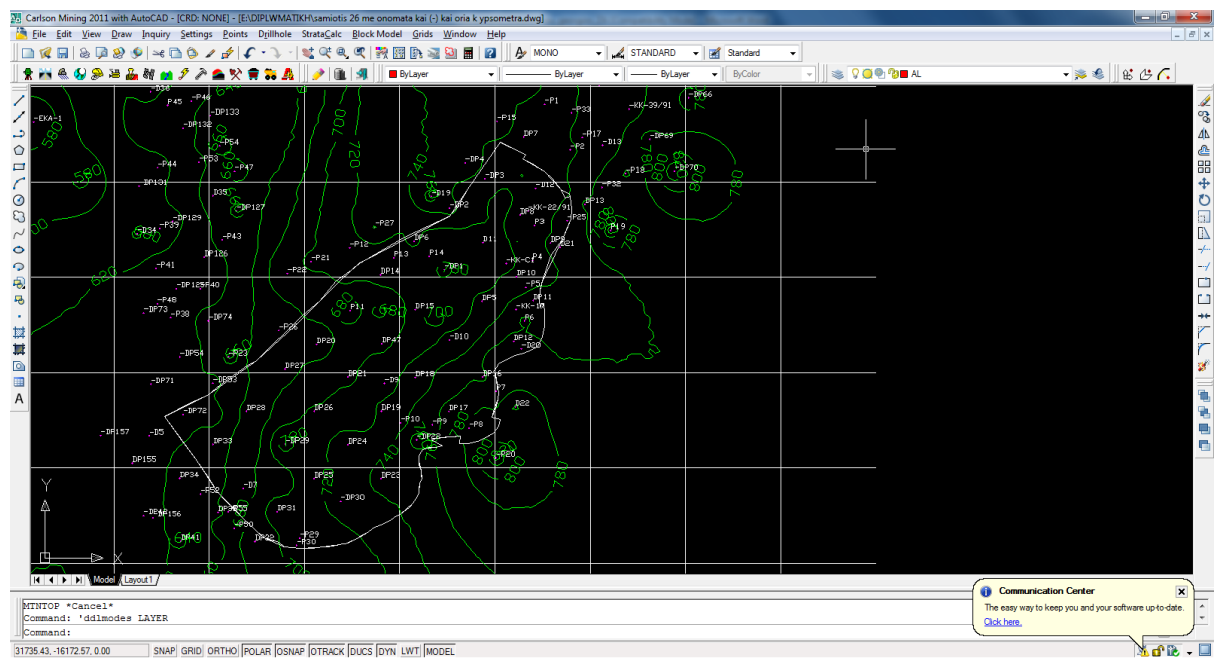
Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων θεωρήθηκαν τα όρια του κοιτάσματος όπως εκτιμήθηκε απο προγενέστερη μελέτη της ΔΕΗ. Αν τα δεδομένα ήταν πλήρη, θα μπορούσαν υπολογιστούν τα αποθέματα χωρίς αυτό το όριο, ή σε κάθε περίπτωση να υπολογιστούν για διάφορα εναλλακτικά όρια. Επίσης σημειώνεται ότι τα γεωλογικά αποθέματα δεν λαμβάνουν υπόψη την εκμετάλλευση με βαθμίδες και επομένως υπολογίζονται με βάση τον συνολικό όγκο λιγνιτή κάτω από το όριο του κοιτάσματος και για το δεδομένο βάθος υπολογισμών.

4.9.1 Εισαγωγή των ορίων του κοιτάσματος στο Carlson Software

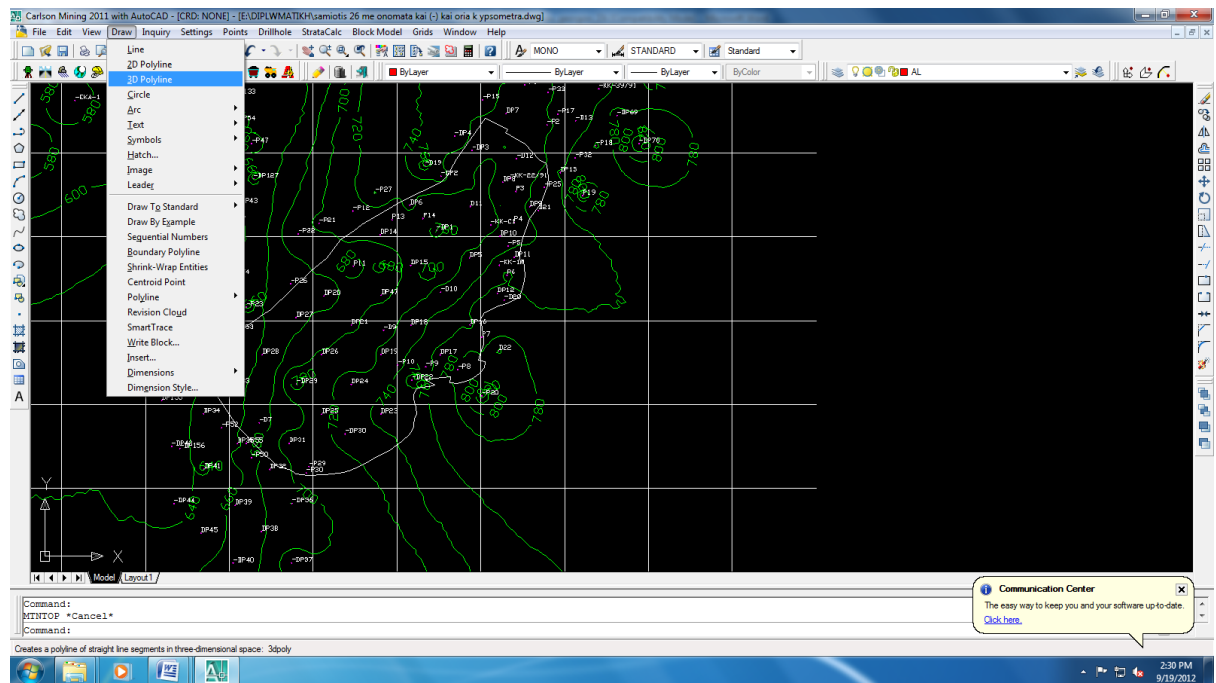
Σε ένα σχέδιο Autocad που έχει παραχωρηθεί από την ΔΕΗ Α.Ε., γίνεται απεικόνιση της περιοχής των Κομνηνών – Μεσοβούνου, κάτοψη των γεωτρήσεων καθώς και τα όρια της εκσκαφής για τα Κομνηνά αλλά και για την περιοχή Μεσοβούνου (εικόνα 4.65). Η χρήση της επιφάνειας εργασίας του Autocad στο πρόγραμμα Carlson δίνει τη δυνατότητα επιλέγοντας την polyline του σχεδίου με μια απλή αντιγραφή «copy with base point» να μεταφερθεί η polyline αυτή στην επιφάνεια του Carlson Software χωρίς καμία άλλη ενέργεια. Η αντιγραφή αυτή πρέπει να γίνει πάνω στο αρχείο του Carlson Software που εμφανίζονται οι ισοϋψείς (εικόνα 4.66). Για να καθοριστούν τα όρια του κοιτάσματος πρέπει να δοθούν μέσω μιας 3D Polyline, αυτό γίνεται πατώντας την επιλογή «3D Polyline» της καρτέλας «Draw» (εικόνα 4.67). Για το λόγο αυτό θα δημιουργηθεί ακριβώς πάνω από αυτήν που μόλις αντιγράφηκε. Κάθε φορά που η 3D Polyline διαπερνά μια ισοϋψή πρέπει να λαμβάνει υπόψη το υψόμετρο αυτής. Αφού δημιουργηθεί η 3D Polyline πρέπει πατώντας «Properties» να γίνει έλεγχος αν είναι «closed». Στη συνέχεια μέσω της επιλογής «Trim» κόβονται όλες οι ισοϋψείς εσωτερικά της τρισδιάστατης καμπύλης. Η διαδικασία αυτή γίνεται για τα Κομνηνά αλλά και για την περιοχή Μεσοβούνου. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.68. Η αρχική polyline που είχε αντιγραφεί μπορεί τώρα να διαγραφεί από το Carlson Software.



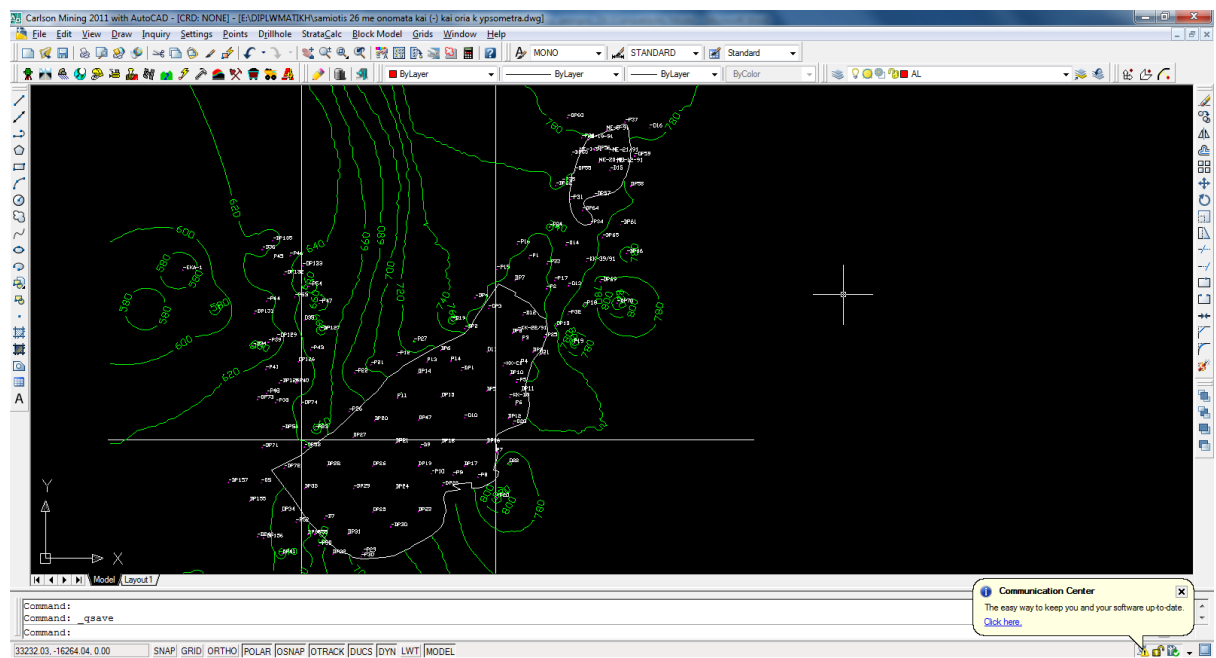
Εικόνα 4.65 Απεικόνιση ορίων εκμετάλλευσης



Εικόνα 4.66 Αντιγραφή polyline στο Carlson



Εικόνα 4.67 Δημιουργία 3D Polyline



Εικόνα 4.68 Όρια κοιτασμάτων έτοιμα για υπολογισμό αποθεμάτων

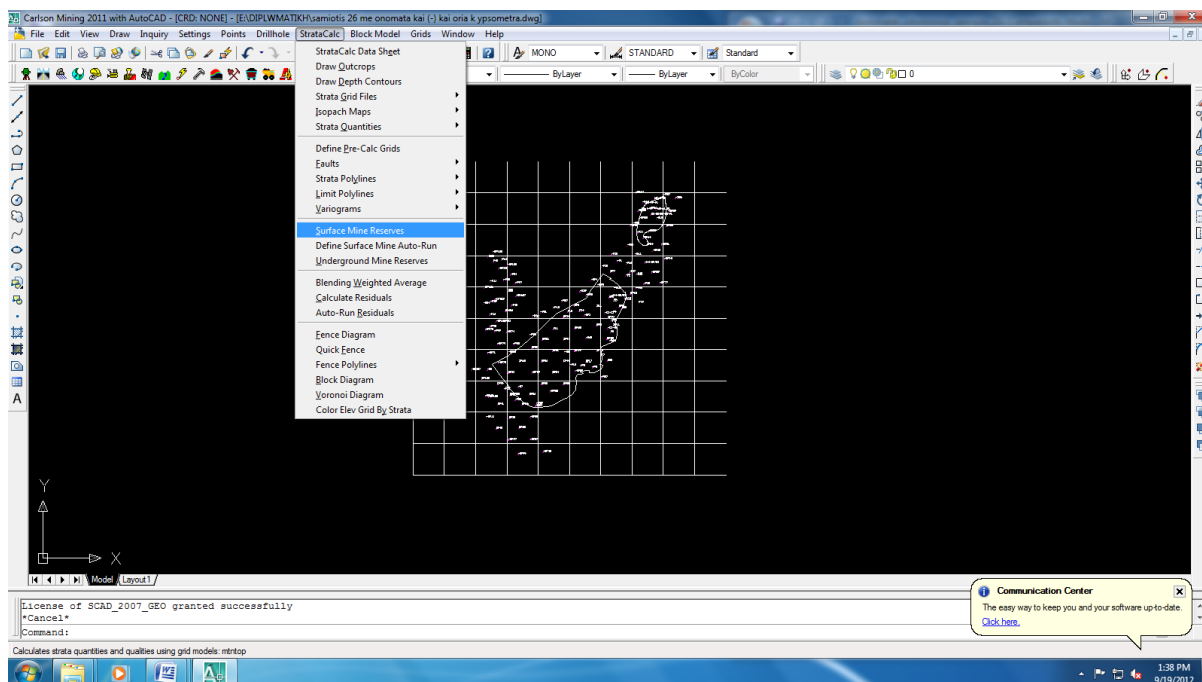
4.9.2 Υπολογισμός αποθεμάτων περιοχής Κομνηνών

Ο υπολογισμός αποθεμάτων είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για την οικονομοτεχνική μελέτη. Τα αποθέματα είναι αυτά που θα καθορίσουν σε σημαντικό βαθμό αν το κοίτασμα είναι εκμεταλλεύσιμο ή όχι.

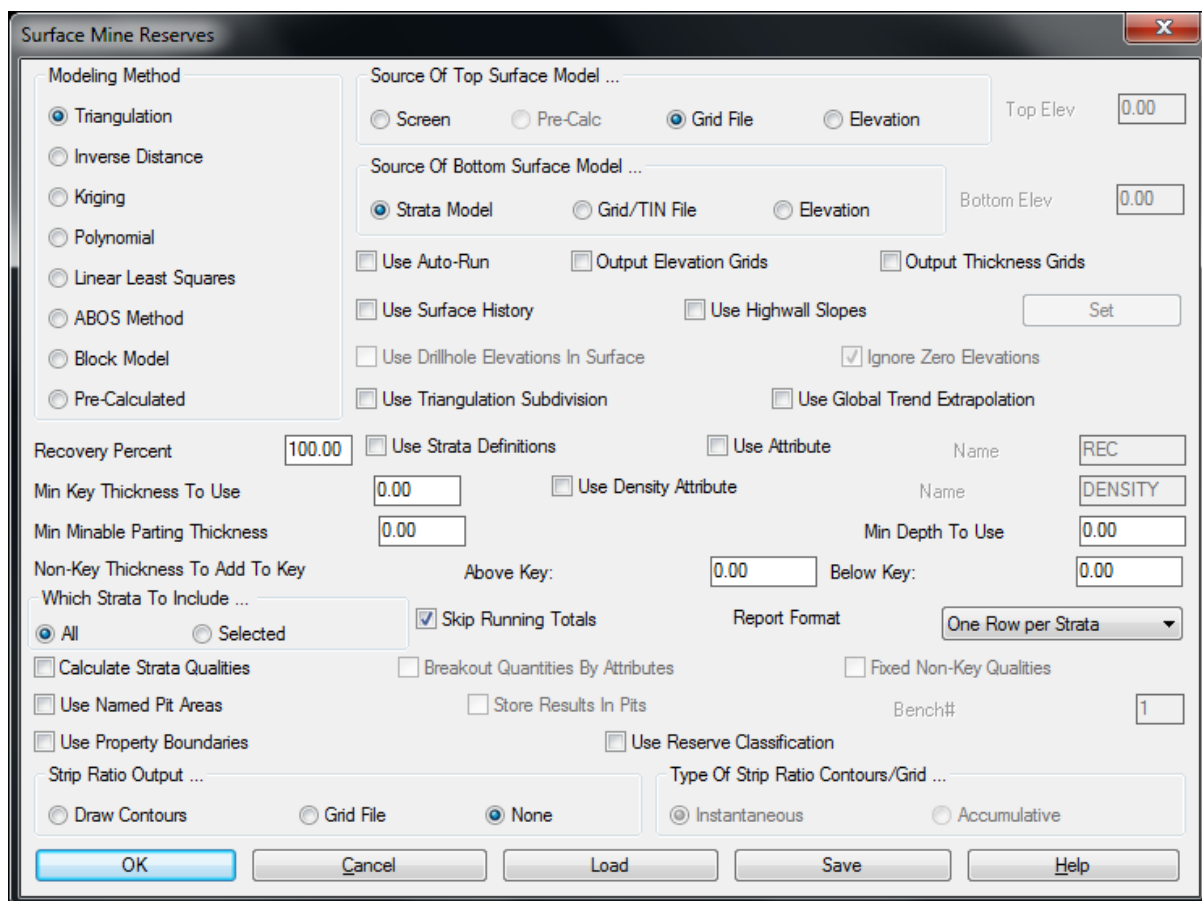
Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε ο υπολογισμός των αποθεμάτων με τρεις μεθόδους και με αρκετούς συνδυασμούς ρυθμίσεων και επιλογών.

Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων επιλέγεται από την καρτέλα «StrataCalc» η επιλογή «Surface Mine Reserves» (εικόνα 4.69). Στο παράθυρο που ανοίγει (εικόνα 4.70) γίνεται η επιλογή της μεθόδου υπολογισμού των αποθεμάτων, επιλέγονται οι πηγές από τις οποίες θα διαβάζεται η επιφάνεια και ο πυθμένας του κοιτάσματος, αυτή η ρύθμιση επιλέχθηκε ως εξής: (Grid File, Grid/TINFile) για την μέθοδο inverse distance,(grid file-strata model) για τη μέθοδο Kriging και (pre-calc-strata model) για τη μέθοδο block model, καθώς και το ποσοστό του λιγνίτη που θα ανακτηθεί (έχει επιλεγεί 100%). Να αναφερθεί επίσης ότι τα αρχεία *.grd που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους inverse distance και Kriging έχουν δημιουργηθεί από block model 50x50x0,2.

Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων στην περιοχή των Κομνηνών χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι: Kriging, inverse distance και block model. Στις δύο πρώτες μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 65 γεωτρήσεις, ενώ στη μέθοδο block model λήφθηκαν υπόψη όλες οι γεωτρήσεις. Για το λόγο αυτό η μέθοδος block model θεωρείται πιο αξιόπιστη.

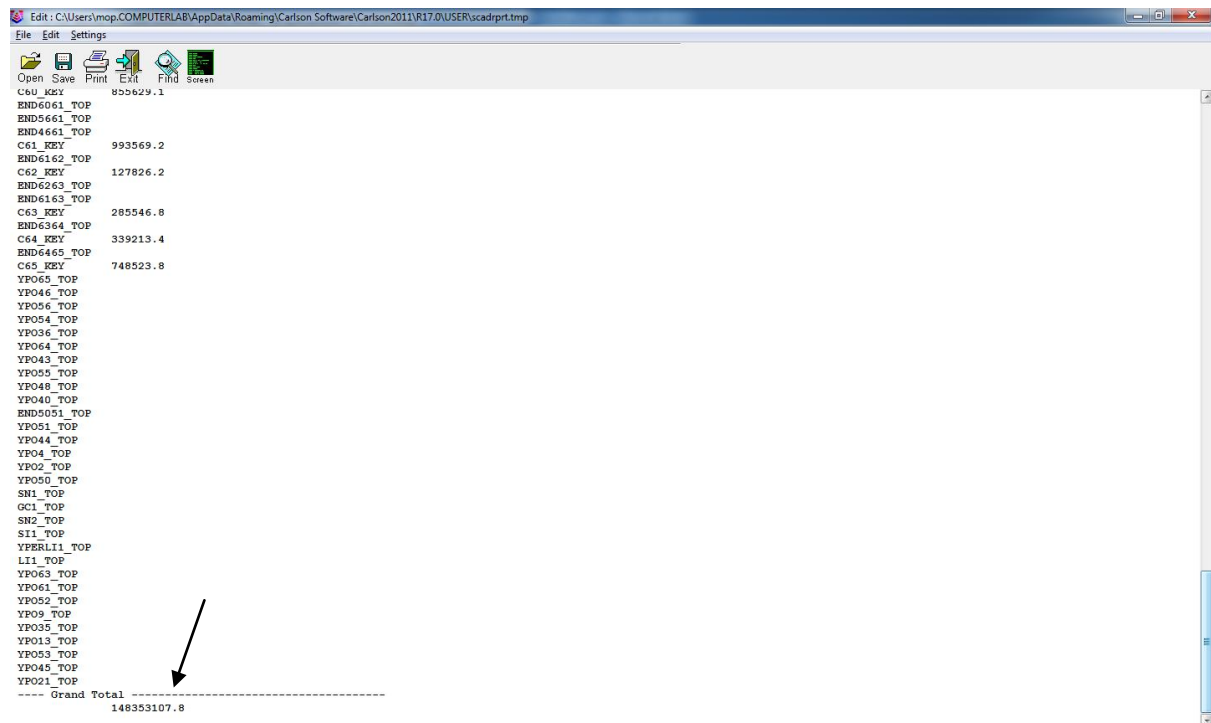


Εικόνα 4.69 Επιλογή εντολής για τον υπολογισμό αποθεμάτων



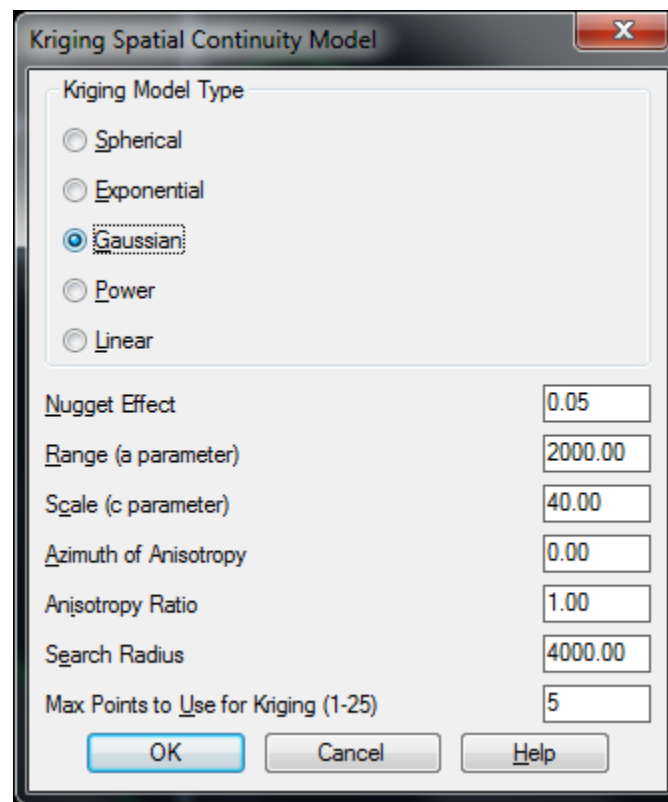
Εικόνα 4.70 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό αποθεμάτων

Επιλέγοντας τη μέθοδο inverse distance για τον υπολογισμό των αποθεμάτων, γίνεται η ερώτηση «use inverse distance to which power?», στην εργασία αυτή καταχωρήθηκε η απάντηση «second», επίσης ρωτήθηκε «use elliptical inverse distance?» και απαντήθηκε «yes», αυτές ήταν οι προεπιλεγμένες επιλογές από το πρόγραμμα. Ζητείται το αρχείο top.grd. Στη συνέχεια ζητείται να επιλεγούν οι γεωτρήσεις τις οποίες θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για τον υπολογισμό των αποθεμάτων. Έτσι επιλέχθηκαν οι γεωτρήσεις στις οποίες έχουν δοθεί ονόματα στρωμάτων (με λιγνίτη και χωρίς) και βρίσκονται εντός των ορίων καθώς και αυτές που βρίσκονται κοντά στα όρια του κοιτάσματος και στη συνέχεια ζητήθηκε να δοθούν τα όρια μέσα στα οποία θα γίνει ο υπολογισμός, οπότε επιλέχθηκαν τα όρια της εκμετάλλευσης. Η επόμενη ερώτηση που κάνει το πρόγραμμα είναι να δοθούν τα όρια έξω από τα οποία θα γίνει ο υπολογισμός, εκεί επιλέγεται «ENTER» αν δεν υπάρχουν τέτοια όρια. Τέλος ζητείται το αρχείο μορφής grd που δίνει την επιφάνεια του πυθμένα, οπότε δόθηκε το αρχείο bot.grd. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην εικόνα 4.71.



Εικόνα 4.71 Υπολογισμός αποθεμάτων λιγνίτη με τη μέθοδο Inverse distance σε m^3

Η επόμενη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος Kriging. Μόλις επιλεχθεί η μέθοδος kriging ανοίγει το παράθυρο της εικόνας 4.72, εκεί επιλέγεται το μοντέλο Gaussian. Στη συνέχεια ξεκινούν οι υπολογισμοί, τα αποτελέσματα φαίνονται στην εικόνα 4.73. Η μέθοδος αυτή εμφανίζει τον όγκο των αποθεμάτων σε κυβικά πόδια (C.F), όμως από τις αρχικές ρυθμίσεις του Carlson Software είναι γνωστό ότι για δεδομένα στο μετρικό σύστημα τα κυβικά πόδια αντιστοιχούν σε κυβικά μέτρα.

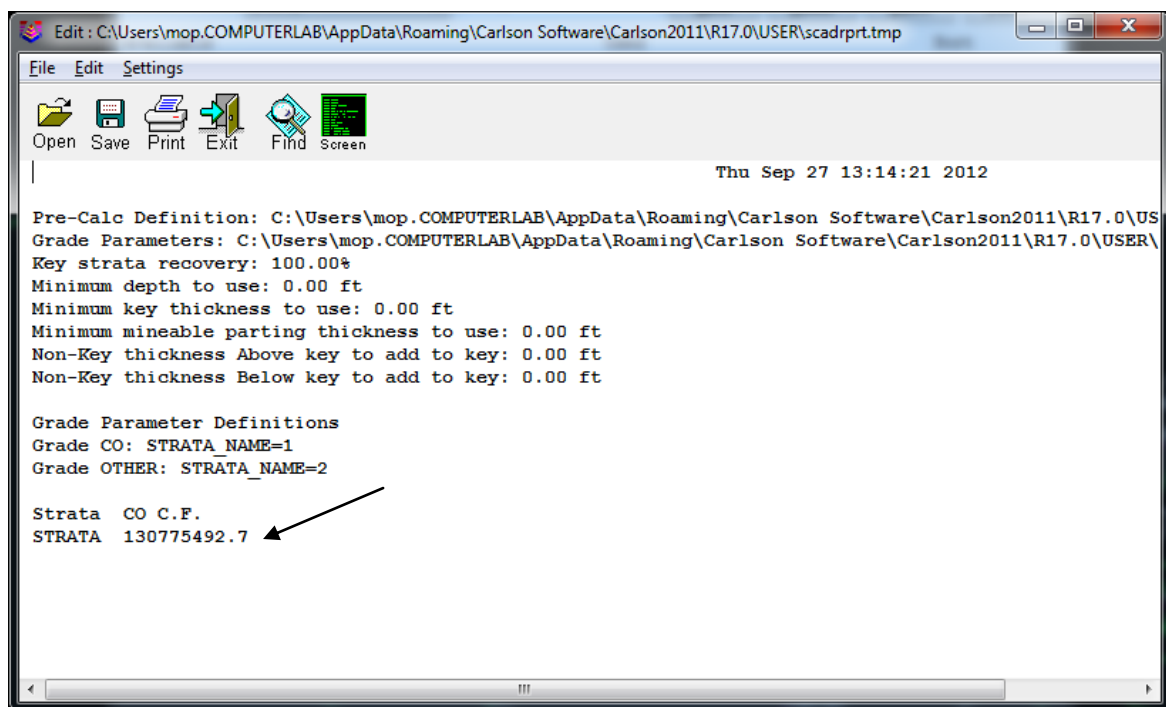


Εικόνα 4.72 Ρυθμίσεις για υπολογισμό αποθεμάτων με τη μέθοδο Kriging

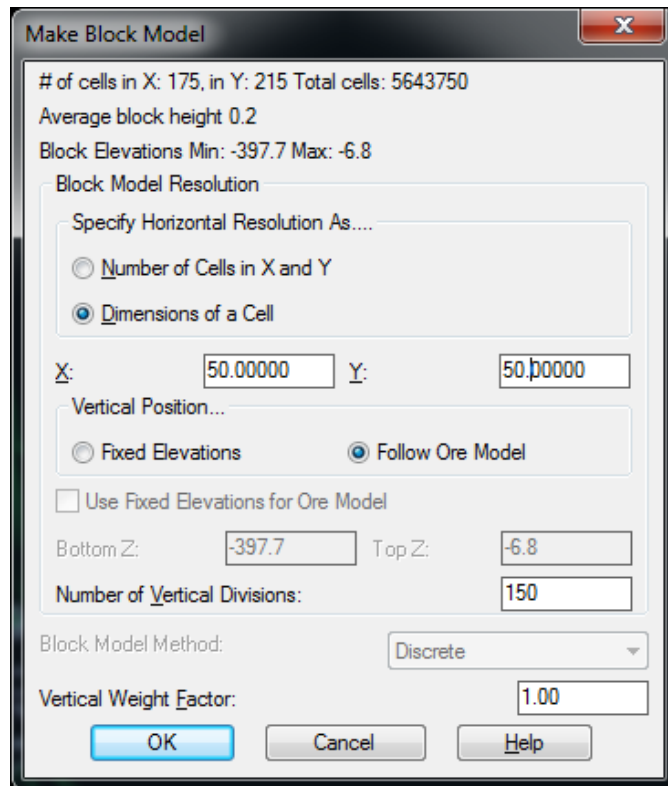
C58_KEY	3639867.8
END5860_TOP	
C60_KEY	5322913.1
END6061_TOP	
C61_KEY	4070342.3
YPO61_TOP	
END6163_TOP	
END6162_TOP	
C62_KEY	436329.4
END6263_TOP	
C63_KEY	1613586.3
YPO63_TOP	
YPO52_TOP	
YPO35_TOP	
YPO9_TOP	
END6364_TOP	
C64_KEY	4075065.4
YPO64_TOP	
END6465_TOP	
C65_KEY	6081360.1
YPO65_TOP	
---- Grand Total ----	154324523.1

Εικόνα 4.73 αποθέματα λιγνίτη Κομνηνών με τη μέθοδο Kriging m³

Ο υπολογισμός των αποθεμάτων με τη μέθοδο Block Model έγινε με πολλούς συνδυασμούς διαστάσεων block model, αλλά πάντα με την επιλογή «by strata names» και λαμβάνοντας υπόψη όλες τις γεωτρήσεις. Στην εικόνα 4.74 φαίνονται τα αποθέματα σε λιγνίτη με τη μέθοδο block model και διαστάσεις κυψελίδων 50x50x0,2. Στην εικόνα 4.75 φαίνονται οι ρυθμίσεις του block model με τη μέθοδο Discrete και διαστάσεις κυψελίδων 50x50x0,2 για στρώμα CO. Στον πίνακα 4.2 φαίνονται οι υπολογισμοί αποθεμάτων λιγνίτη σε m³ και σε εκατ. τόνους θεωρώντας την πυκνότητα του λιγνίτη 1,2 g/cm³ για την περιοχή των Κομνηνών με διάφορες παραλλαγές της μεθόδου block model.



Εικόνα 4.74 Υπολογισμός αποθεμάτων λιγνίτη σε m^3 με τη μέθοδο block model και διαστάσεις κυψελίδας 50x50x0,2



Εικόνα 4.75 Ρυθμίσεις block model για υπολογισμό αποθεμάτων

Πίνακας 4.2 αποθέματα περιοχής Κομνηνών με τη μέθοδο block model

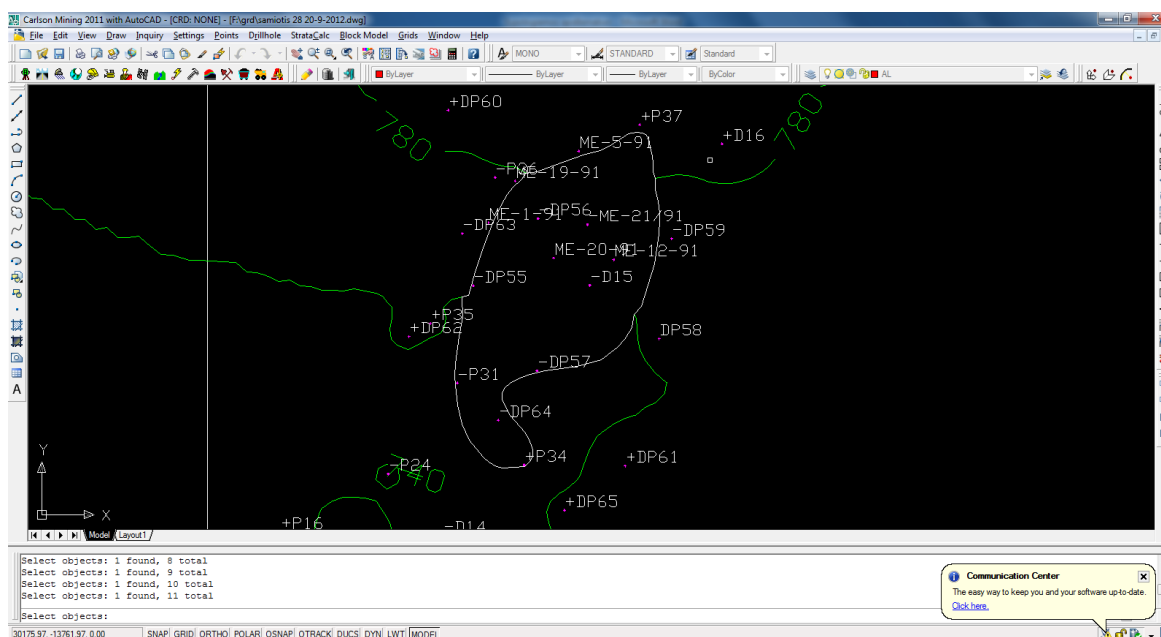
Αποθέματα	Μέθοδος Block model							
	50x50x1,8	50x50x1,4	50x50x0,2	25x25x0,2	20x20x1,4	10x10x1,4	100x100x0,2	75x75x0,2
m ³	132685607	129663946	130775492	131227112	129671428	129606037	130826218	131155551
Τόνοι *10 ⁶	159.2	155.6	156.9	157.5	155.6	155.5	157	157.4

4.9.3 Υπολογισμός αποθεμάτων περιοχής Μεσοβούνου

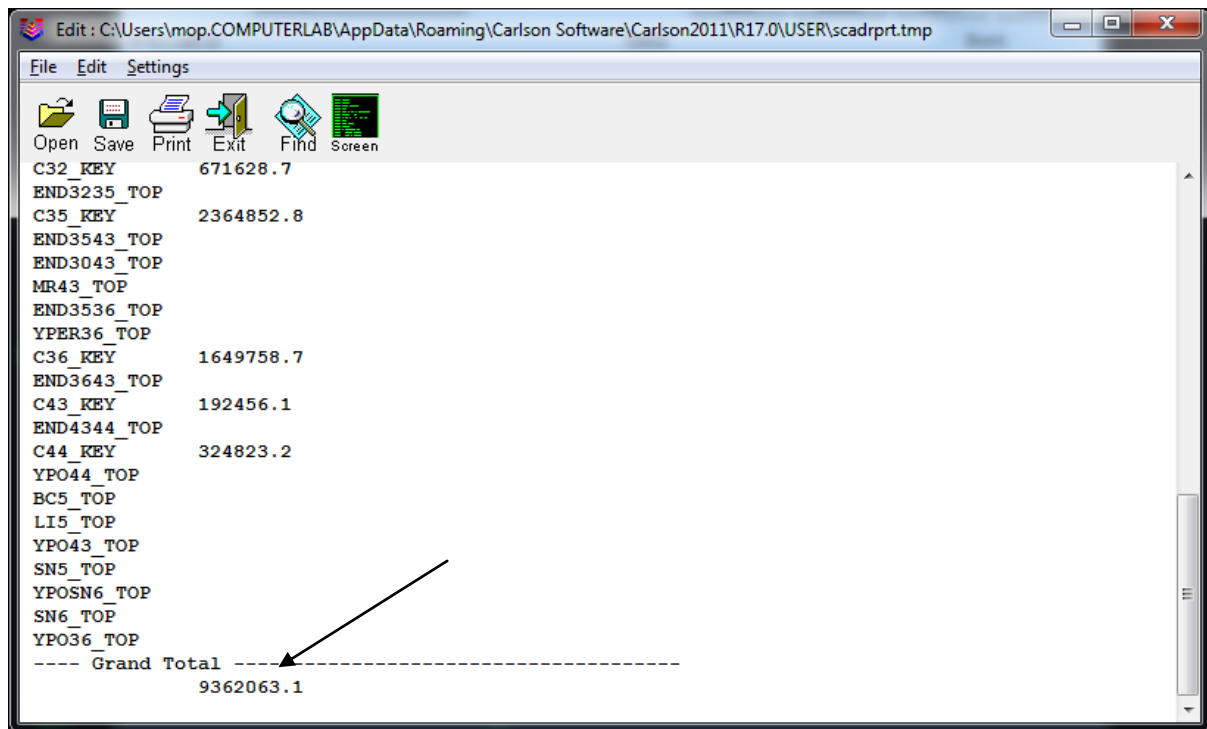
Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων στην περιοχή Μεσοβούνου χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι: Kriging και block model.

Για τους υπολογισμούς με τη μέθοδο Kriging λήφθηκαν υπόψη συνολικά 14 γεωτρήσεις εκ των οποίων 6 με λιγνίτη και 8 χωρίς λιγνίτη ενώ με την μέθοδο block model λήφθηκαν υπόψη όλες οι γεωτρήσεις. Στην εικόνα 4.76 φαίνονται οι γεωτρήσεις γύρω από τα όρια του κοιτάσματος της περιοχής Μεσοβούνου.

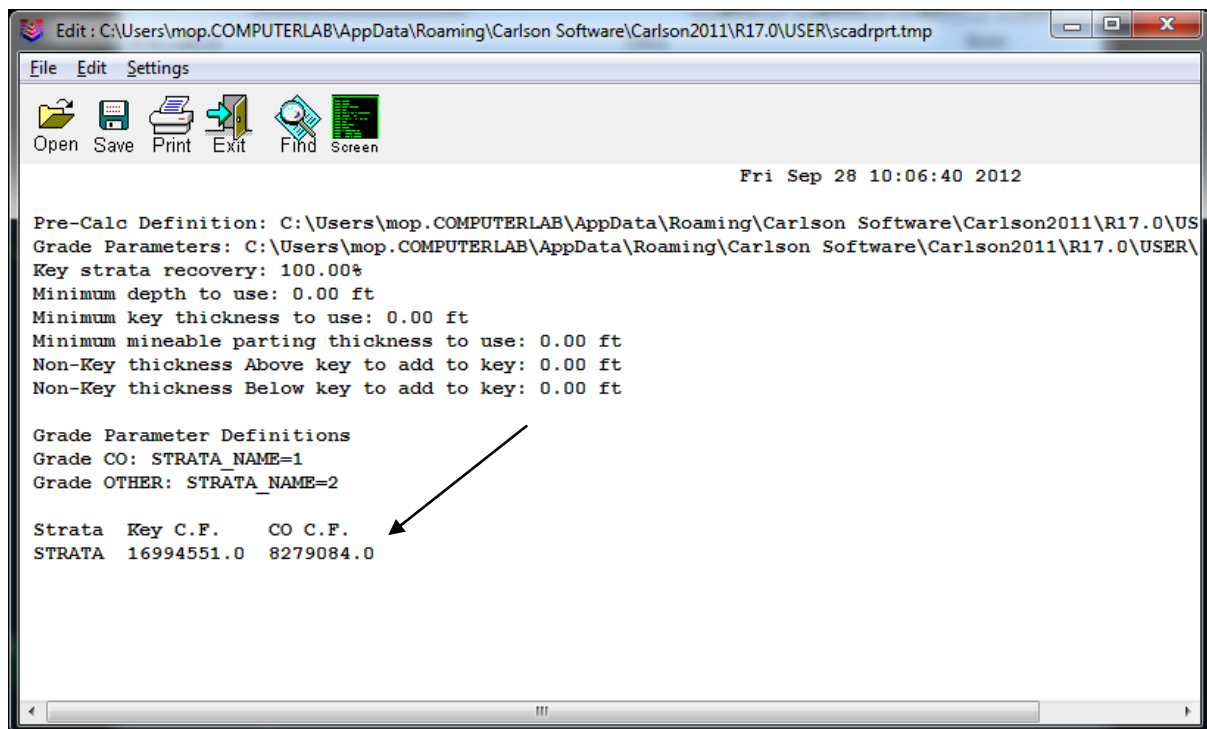
Τα αποτελέσματα της μεθόδου Kriging φαίνονται στην εικόνα 4.77, ενώ τα αποτελέσματα της μεθόδου block model φαίνονται στην εικόνα 4.78.



Εικόνα 4.76 Εμφάνιση γεωτρήσεων περιοχής Μεσοβούνου



Εικόνα 4.77 Αποθέματα λιγνίτη Μεσοβούνου με τη μέθοδο Kriging m³



Εικόνα 4.78 Αποθέματα λιγνίτη περιοχής Μεσοβούνου με τη μέθοδο block model m³

Γνωρίζοντας ότι η πυκνότητα του λιγνίτη είναι $1,2 \text{ g/cm}^3$ δηλαδή $1,2 \text{ ton/m}^3$ στον πίνακα 4.3 δίνονται τα αποθέματα σε τόνους. Οι τιμές αφορούν τα γεωλογικά αποθέματα.

Πίνακας 4.3 Αποθέματα λιγνίτη με διάφορες μεθόδους

Περιοχή	Γεωλογικά αποθέματα σε τόνους $\cdot 10^6$				
	Kriging	Inverse distance	Block model (50x50x0.2)	Block model M.O.	Μέση τιμή όλων των μεθόδων
Κομνηνά	185.2	178	156.9	156.8	173,36
Μεσόβουνο	11.2		9.9		10.55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα και προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων καθώς και προτάσεις για την περαιτέρω αξιοποίηση των δεδομένων.

5.1 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό Carlson Software προκύπτει ότι το κοίτασμα των Κομνηνών και του Μεσοβούνου έχουν αξιόλογες ποσότητες λιγνίτη που ανέρχονται σε 156 και 10 εκατ. τόνους (γεωλογικό απόθεμα) αντίστοιχα σύμφωνα με τη μέθοδο block model. Μια συνοπτική περιγραφή που δόθηκε από τη ΔΕΗ αναφέρει για τα Κομνηνά γεωλογικό απόθεμα 170 εκατ. τόνων και 95 εκατ. εκμεταλλεύσιμο με σχέση εκμετάλλευσης 7,4:1 και για την περιοχή του Μεσοβούνου 7.5 εκατ τόνοι απόθεμα με σχέση εκμετάλλευσης 4:1. Αν και οι εκτιμήσεις που υπήρχαν ήδη είναι πιο αισιόδοξες για την περιοχή των Κομνηνών, οι διαφορές στην εκτίμηση δεν διαφέρουν σημαντικά.

Βέβαια αν συγκριθούν οι μέθοδοι υπολογισμού και τα αποτελέσματά τους παρατηρείται ότι η μέθοδος Kriging υπολογίζει περισσότερα αποθέματα και για τις δύο περιοχές. Ο λόγος αυτής της διαφοράς είναι ότι η μέθοδος Kriging λαμβάνει υπόψη μόνο τις κοντινές γεωτρήσεις, ενώ η μέθοδος Block model χρησιμοποιεί στους υπολογισμούς όλες τις γεωτρήσεις. Ωστόσο ο μέσος όρος των αποθεμάτων για την περιοχή των Κομνηνών είναι 173 εκατ. τόνοι, λαμβάνοντας υπόψη τον μέσο όρο των μεθόδων (block model, inverse distance, kriging).

5.2 Προτάσεις

- i) Ο στρωματογραφικός χαρακτηρισμός των γεωτρητικών στοιχείων από έναν γεωλόγο με εμπειρία στη γεωλογία της περιοχής θα έδινε πιο ακριβές γεωλογικό μοντέλο άρα και πιο ακριβείς υπολογισμούς και αποτελέσματα.
- ii) Θα ήταν καλό όλες οι γεωτρήσεις που δίνονται να περιέχουν τη θερμογόνο δύναμη του λιγνίτη για να μπορούν να δοθούν ονόματα στα στρώματα και έτσι να μπορούν να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό αποθεμάτων σε όλες τις μεθόδους υπολογισμού των αποθεμάτων και στη δημιουργία τομών.
- iii) Σε επόμενη φάση, και όταν διασαφηνιστούν πλήρως τα στοιχεία όλων των γεωτρήσεων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό ώστε να υπολογίσει τα όρια της εκμετάλλευσης.
- iv) Θα υπήρχε η δυνατότητα με έναν υπολογιστή υψηλών επιδόσεων και όχι κοινό υπολογιστή γραφείου να εξασφαλίζονται μεγαλύτερες δυνατότητες απεικόνισης σε 3D εμφανίσεις.
- v) Τέλος για τον τελικό έλεγχο της αξιοπιστίας του προγράμματος Carlson Software σε επόμενη διπλωματική εργασία θα μπορούσε να γίνει υπολογισμός αποθεμάτων σε ένα ήδη εκμεταλλευμένο κοίτασμα, έτσι ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα του προγράμματος με τα πραγματικά αποθέματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Γαλετάκης Μ. (2009). *Σχεδίαση εκμεταλλεύσεων ορυκτών πόρων με ηλεκτρονικό υπολογιστή*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
2. Γαλετάκης Μ. (1996). Προσδιορισμός της ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
3. Δεληγιαννίδου Π. (2006). Ανάλυση γεωτρητικών δεδομένων για το ορυχείο Αμυνταίου. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
4. Καβουρίδης Κ. (1992). *Υπολογισμός απόδοσης καδοφόρου εκσκαφέα*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
5. Καπαγερίδης Ι. (1995). Μοντελοποίηση κοιτασμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κοζάνης, Κοζάνη.
6. Καπαγερίδης Ι. (2006). *Εισαγωγή στη γεωστατιστική*. Εκδόσεις ΙΩΝ.
7. Κολοβος Χ.Ι. (2004). *Τεχνολογία εκμετάλλευσης γαιανθράκων*. Εκδόσεις ΙΩΝ.
8. Κουκουζά Κ., Κώτη Θ., Πλουμίδη Μ., Μεταξά Α. και Δημητρίου Δ. (1983). *Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών Πτολεμαΐδας*. Έρευνες ενεργειακών πρώτων υλών Νο2, ΙΓΜΕ.
9. Μενεγάκη Μ. (2010). *Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
10. Μπατάλας Σ. (2011). Υπολογισμός αποθεμάτων και σχεδιασμός εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
11. Παπανικολάου Κ. και Κώτης Θ. (2005) Λιγνίτες στην Ελλάδα: ιδιότητες, χρήσεις και προοπτικές. ΤΕΕ, Αθήνα.

12. Ζαχαρόπουλος Χ. (2011). Υπολογισμός αποθεμάτων και σχεδιασμός προσπέλασης βωξιτικού κοιτάσματος. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Ιστοσελίδες

http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/history.csp

http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp

www.dei.gr

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B9%CE%B3%CE%BD%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>

<http://www.bp.com/bodycopyarticle.do?categoryId=1&contentId=7052055>

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Golosinski T.S. and Boehm F.G (1987). *Continuous surface mining*. Trans tech publications
2. Carlson Software Inc (2011). User's manual. September 27 edition.